



Министерство образования
Республики Беларусь



Белорусский национальный
технический университет



Унитарное предприятие
«Научно-технологический
парк БНТУ «Метолит»

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
СТУДЕНЧЕСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ

НАДЕЖНОСТЬ,
ЭФФЕКТИВНОСТЬ,
ДОЛГОВЕЧНОСТЬ!

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ

Посвящается пятидесятилетию
механико-технологического факультета

23-25 апреля, 2008 г.

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ:

Иваницкий Н.И., декан механико-технологического факультета, к.т.н., доцент;

ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:

Белявин К. Е., д.ф.н., профессор;

Пантелеенко Ф.И., д.т.н., профессор;

Константинов В.М., к.т.н., доцент;

Кукуй Д.М., д.т.н., профессор;

Немененок Б.М., д.т.н., профессор;

Лазаренков А.М., д.т.н., профессор;

Яглов В.Н., д.х.н., профессор;

Тимошпольский В.И., д.т.н., профессор;

Алексеев Ю.Г., к.т.н., в.н.с.;

Слуцкий А.Г., к.т.н., с.н.с..

РАБОЧАЯ ГРУППА

Ложечников Е.Б., д.т.н., профессор;

Рафальский И.В., к.т.н., доцент;

Хренов О.В., к.т.н., доцент;

Вейник В.А., старший преподаватель;

Одиночко В.Ф., к.т.н., доцент;

Науменко А.М., к.т.н., доцент;

Проворова И.Б., старший преподаватель;

Ратников П.Э., к.т.н., доцент.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ:

Арабей Анастасия Витальевна

Сборник научных работ IX Республиканской студенческой научно-технической конференции «Новые материалы и технологии их обработки» – Мн.: Унитарное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Метолит», 2008. – 252 с.

**Литейное
производство черных и
цветных металлов**

**Исследование и разработка технологии получения отливки "поршень"
из сплава АК12М2МгН с использованием компьютерной программы ProCAST**

Студенты гр.104113 Авраменко О.С., гр.104114 Сошенко А.А.

Научный руководитель – Немененок Б.М.
Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Поршень двигателя внутреннего сгорания представляет собой деталь типа "стакан", при чем его размеры и отношение высоты к диаметру (H/ϕ) определяются требуемой для каждого конкретного типа двигателя мощностью. Востребованная мощность двигателя для нужд современного автостроения колеблется в пределах от 1 до 1000 л.с. Для двигателей, отличающихся по мощности, отношение H/ϕ может иметь разные значения. Количество типоразмеров, производимых в настоящее время поршней двигателей внутреннего сгорания, достигает нескольких тысяч. Несмотря на кажущуюся простоту, поршень является нетехнологичной отливкой, поскольку здесь сочетаются тонкие стенки и достаточно массивные тепловые узлы.

Поршень является наиболее ответственной и специфичной деталью в современном двигателе. Его долговечность и надежность, экономия топлива, угар масла, содержание токсичных элементов в отработавших газах, уровень шума при работе и показатели мощности двигателя во многом зависят от конструкции и качества поршня.

В настоящее время применяется несколько технологий производства поршней, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Учитывая, что поршни отливают преимущественно в кокиль, то любые изменения в конструкции литниковой системы или формообразующих вставок сопровождаются значительными материальными затратами. Поэтому, в настоящее время, наблюдается рост популярности компьютерного моделирования среди инженеров-технологов литейного производства. На ведущих предприятиях процедура компьютерного моделирования становится стандартной при отработке технологии изготовления практически любой новой отливки. При помощи программного пакета у технолога появляется возможность промоделировать на компьютере процессы, протекающие при формировании отливки, отследить ошибки, допущенные при разработке технологии, внести в нее коррективы и снова проверить исправленную технологию на компьютере, и так вплоть до получения оптимального результата.

Использование программного пакета ProCAST при моделировании процесса получения отливки "поршень" позволило проследить гидродинамику и температуру расплава в процессе заливки при различных способах подвода металла в полость формы, исследовать температурный режим затвердевания отливки, спрогнозировать появление усадочных дефектов, изменить объем прибыли и продолжительность ее затвердевания. Для создания направленной кристаллизации применяли экзотермические материалы, ТЭНы, локальное охлаждение отдельных частей формы. Проведенное моделирование позволило оптимизировать литниково-питающую систему, повысить выход годного и снизить вероятность образования усадочной пористости в наиболее массивных частях отливки, оценить влияние модифицирования на процесс развития усадочных дефектов.

**Решение тепловых задач в компьютерной системе моделирования литейных процессов
ProCAST для оценки качества отливок из алюминиевых сплавов**

Студент гр. 104113 Лущик П.Е.

Научный руководитель – Рафальский И.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Применение компьютерных технологий позволяет проводить моделирование отливок сложной конфигурации с использованием большой номенклатуры сплавов, что значительно сокращает затраты на отладку технологического процесса.

Следует отметить, что процессы затвердевания и охлаждения-нагрева для большинства литейных задач являются определяющими и вопрос о согласованности литейных систем, в первую очередь, зависит от степени согласованности тепловых расчетов.

Одним из наиболее современных и часто применяемых численных методов для решения задач моделирования физических процессов является метод конечных элементов. Метод конечных элементов (МКЭ) является численным методом решения дифференциальных уравнений, встречающихся в физике и технике. Система ProCAST, основанная на использовании МКЭ, является достаточно универсальной по сплавам и способам литья, сравнительные расчеты проводились для варианта литья алюминиевого сплава АК9 в металлическую форму.

Для реальных сплавов величину скрытой теплоты и зависимость температуры от доли твердой фазы можно считать характеристикой сплава. Т.е. скрытая теплота и характер ее выделения предполагаются постоянными. Это справедливо в случае, когда существует устойчивая однозначная зависимость тепловыделения от количества твердой фазы в широком интервале скоростей охлаждения. В этом случае наиболее важен адекватный учет неравномерности тепловыделения в интервале температур затвердевания. Применение для этого различных функциональных зависимостей, связывающих количество твердой фазы с диаграммами состояния сплавов чаще всего малоэффективно и крайне неадекватно отражает действительный характер тепловыделения для реальных неравновесных условий. В связи с этим, единственным способом учета зависимости процентного количества выделившейся твердой фазы (и относительной теплоты) от температуры является применение экспериментально полученных данных с использованием методов термического анализа сплавов.

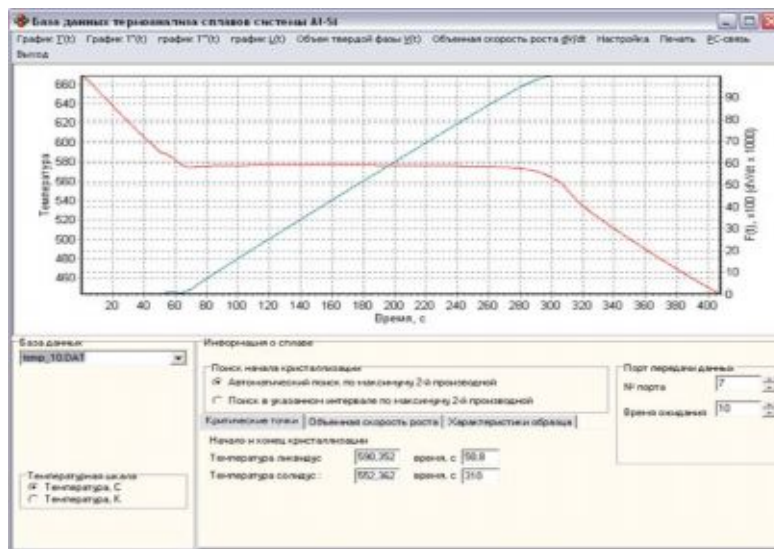


Рис.1 – Опытная температурная кривая пробы сплава Al-10%Si.

Наибольшую достоверность обеспечивает экспериментальный спектр тепловыделения. Методика его определения состоит в пересчете на тепловыделение опытной температурной кривой специальной пробы. Можно показать, что даже для простейших бинарных сплавов расчет спектра тепловыделения по диаграмме состояния приводит к дополнительным ошибкам, которые легко избежать, используя экспериментальный спектр.

Отклонения в задаваемом спектре соответственно дает отклонения при численном решении тепловой задачи. На рис.2 приведена расчетная кривая зависимости выделения твердой фазы в интервале затвердевания в отливке «Насос ММЗ» из сплава АК9, заливаемого в кокиль.

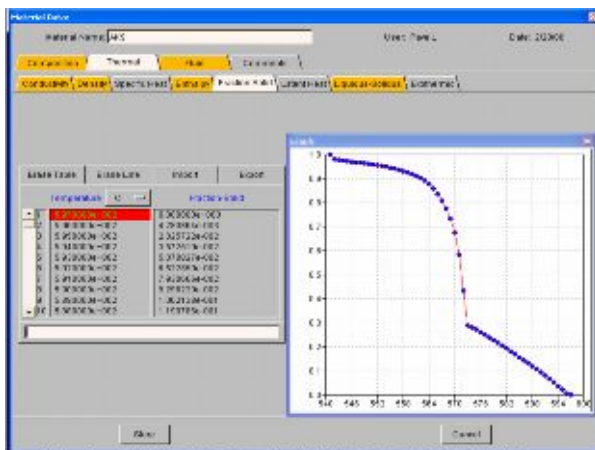


Рис.2 - Зависимость выделения твердой фазы от температуры (расчетная)

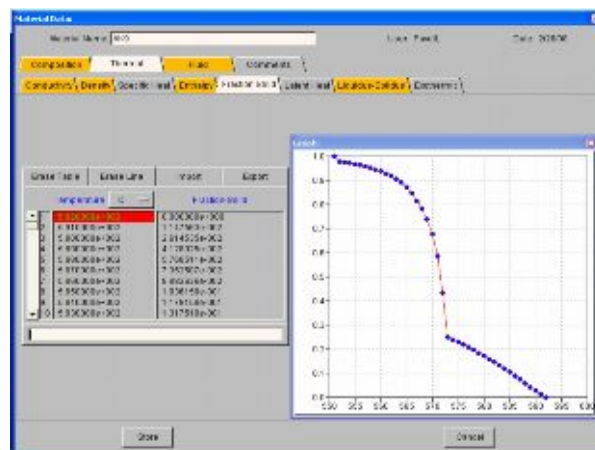


Рис. 3 - Зависимость выделения твердой фазы от температуры (измеренная)

Ликвидация усадочных дефектов в отливках является довольно сложным процессом при моделировании тепловых задач. Решение тепловой задачи, связанной с анализом усадочных дефектов, выполняли с использованием реальной отливки Минского моторного завода «Насос», которая имеет значительное количество термических узлов (Рис. 4). Задача состояла в разработке технологического процесса изготовления отливки, предупреждающего образование усадочных раковин. Технология – литье в

кокиль. Марка сплава АК9. Реальный химический состав (Si – 10; Mn – 0.4; Mg – 0.3; Fe – 0.8; Cu – 0.5; Zn – 0.2). Расчетная температура ликвидус – 597 °С, солидус – 541 °С.

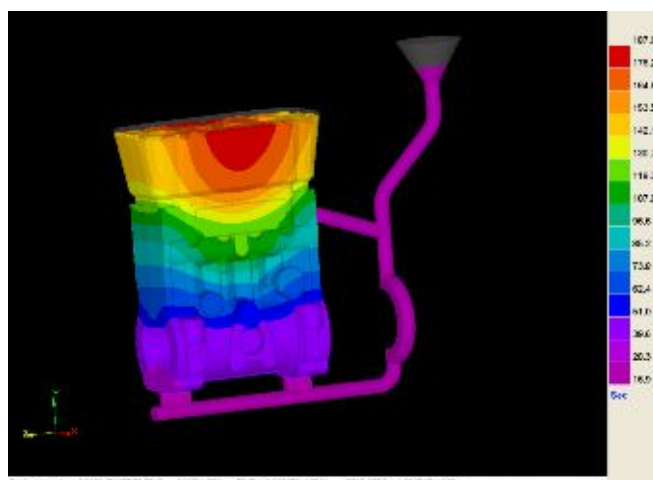


Рис. 4 - Динамика времени затвердевания отливки «Насос»

Результаты компьютерного моделирования процесса затвердевания показали, что образование усадочных дефектов можно ожидать в верхней части отливки (рис.5), что не полностью соответствовало реальному расположению усадочных дефектов в отливках, полученных после заливки в кокиль в заводских условиях. В связи с этим было высказано предположение о том, что возможной причиной неадекватного моделирования затвердевания отливки могут служить неточные данные о температурах фазовых переходов и отклонения в кинетике выделения твердой фазы.



Рис. 5 – Вероятность формирования усадочных дефектов (пористости) в отливке из сплава АК9 с использованием расчетных данных ProCAST

Для определения температур фазовых превращений реальных сплавов наиболее эффективным является использование метода термического анализа (ТА) по кривой охлаждения пробы расплава.

С целью проверки влияния значений температур фазовых превращений на результаты моделирования процесса затвердевания использовали данные термического анализа сплава АК9. Термический анализ проводили на установке, которая включала в себя измерительный блок и специальный штатив для крепления датчика температуры. Измерительный блок системы построен на базе электронных компонентов (16-рядного АЦП типа AD7710 и микроконтроллера с повышенной производительностью W77E58), и предназначен для получения термограмм кристаллизации металлов и сплавов с последующей передачей их в персональный компьютер (ПК). Для передачи информации в ПК измерительный блок оснащён интерфейсом последовательного обмена RS-232. В качестве термодатчика использовали хромель-алюмелевую термопару. Сигнал от термопары (термо-ЭДС) преобразовывался в цифровой вид и передавался для обработки в компьютер. Запись значений температуры во время процесса кристаллизации расплава осуществлялась через заданные промежутки времени: 0,48 мс. По завершению кристаллизации пробы производилась обработка термограммы и определялись параметры фазовых превращений, произошедшие в процессе кристаллизации.

В результате проведенного термического анализа было установлено, что реальная температура ликвидус – 592 °С, солидус – 553 °С. Результаты повторного компьютерного моделирования с учетом

экспериментально полученных данных о фазовых переходах показали, что характер затвердевания изменяется (рис.6).



Рис.6 – Вероятность формирования усадочных дефектов (пористости) в отливке с использованием экспериментальных данных о фазовых переходах сплава АК9

Как видно из полученных данных (рис.5-6), результаты моделирования процесса затвердевания и распределение усадочных дефектов существенно различаются. Такие различия при моделировании реальных отливок свидетельствуют о том, что определяющим фактором при моделировании литейных процессов является соответствие исходных расчетных данных – прежде всего, температур фазовых превращений и теплофизических характеристик сплава – их реальным значениям для данного сплава.

Методология учёта нестационарности функционирования источников выделения и источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от технологических процессов и оборудования литейного производства

Магистрант Глуховский М. В.
 Научный руководитель – Глуховский В.И.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

При работе технологического оборудования в литейных цехах наблюдается нестационарность выбросов, т.е. изменчивость во времени качественных и количественных характеристик загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух.

Данное явление обусловлено особенностями функционирования источников выделения, цикличностью и многостадийностью производственных режимов процесса получения литых заготовок.

В настоящее время вопрос методологии определения количественного и качественного состава выбросов, учитывающий специфику нестационарности является открытым и требует своего решения.

Изучив соответствующие данному направлению исследований публикации и технические нормативные правовые акты был предложен методический подход к решению данной задачи.

Установлено, что выявление и фиксация режимов работы источников выделения целесообразно производить на основании двух факторов:

- в соответствии с характерными особенностями, физической сущностью и содержанием происходящих явлений, а также изменчивостью основных технологических стадий процесса получения литых заготовок;

- на основании результатов изучения условий изменений, продолжительности и нагрузки работы источников выброса, тягодутьевых устройств и непосредственно источника выделений.

Максимальный разовый выброс загрязняющих веществ, соответствующий режиму регламентной нагрузки, M (г/с), определяемый по результатам инструментальных измерений концентраций и параметров газо-воздушной смеси на выходе из источника загрязнения атмосферного воздуха рассчитывается по формуле:

$$M = C \times 1000 \times V_t \times \frac{273}{T_r + 273} \times \frac{1}{1 + \rho_v \times 1,243 \times 10^{-3}} \times K_t, \quad (1)$$

где C – максимальная по результатам измерений концентрация загрязняющих веществ в газо-воздушной смеси на выходе из источника загрязнения атмосферного воздуха, мг/м^3 ($T = 0$ °С, $P = 760$ мм.рт.ст.);

T_r – температура газо-воздушной смеси на выходе из источника загрязнения атмосферного воздуха, °С;

V_t – полный объем газо-воздушной смеси (включая объем водяных паров), выбрасываемой в атмосферу из устья источника загрязнения атмосферного воздуха за 1 секунду при температуре газо-воздушной смеси, $\text{м}^3/\text{с}$;

ρ_v – влажность газо-воздушной смеси на выходе из источника загрязнения атмосферного воздуха, масса водяных паров, отнесенная к кубическому метру сухой газо-воздушной смеси при нормальных условиях, г/м^3 .

K_t – коэффициент, учитывающий длительность выброса или отбора пробы, τ минут, при измерении определяется по формуле 2:

$$K_t = \begin{cases} 1 & \text{при } \tau \geq 20 \text{ мин.} \\ \frac{\tau(\text{мин})}{20} & \text{при } \tau < 20 \text{ мин.} \end{cases} \quad (2)$$

Мощность выброса загрязняющих веществ, \overline{M} (г/с), используемая при определении валовых выбросов также рассчитывается по формуле 1. В качестве величины C принимается средняя по результатам измерений концентрация загрязняющих веществ в газо-воздушной смеси на выходе источника загрязнения атмосферного воздуха.

Если температура газо-воздушной смеси не превышает 30 °С, множитель в формуле 1 может быть приравнен к единице:

$$[T_r \leq 30^\circ\text{C}] \Rightarrow \left[\frac{1}{1 + \rho_r \cdot 1,243 \cdot 10^{-3}} = 1 \right] \quad (3)$$

Для каждого из рассматриваемых параметров газо-воздушной смеси принимается среднее значение этого параметра (за исключением максимальных концентраций), определенное по ряду результатов определений разовых значений этого параметра при работе источника загрязнения атмосферного воздуха в рассматриваемом режиме.

Значение годового выброса загрязняющих веществ из источника загрязнения атмосферного воздуха при определенном, k -м, режиме выбросов источников загрязнения атмосферного воздуха, M_k , (т/г), рассчитывается по формуле 4:

$$M_{k,\text{год}} = \overline{M}_k \times t_{k,\text{год}} \times 3,6 \times 10^3 \quad (4)$$

где \overline{M}_k – средняя мощность выброса этого загрязняющего вещества из рассматриваемого источника загрязнения атмосферного воздуха, при k -м режиме его выбросов, г/с;

$t_{k,\text{год}}$ – суммарная продолжительность (в часах) работы источника загрязнения атмосферного воздуха в k -м режиме в течение года, ч/год.

Значение суммарного годового выброса определенного загрязняющего вещества из рассматриваемого источника загрязнения атмосферного воздуха, $M_{\text{год}}$, рассчитывается как сумма годовых выбросов этого загрязняющего вещества из источника загрязнения атмосферного воздуха при всех режимах его выбросов по формуле 5:

$$M_{\text{год}} = \sum_{k=1}^{N_{\text{реж}}} M_{k,\text{год}} \quad (5)$$

где $N_{\text{реж}}$ – число режимов выброса рассматриваемого источника загрязнения атмосферного воздуха.

Таким образом, используя основные факторы, влияющие на нестационарность характеристик (параметров) источников выделения и источников выбросов, а также результаты определения изменчивости

этих характеристик, была предложена методология определены режимы функционирования (работы) источников выделения и источников выбросов, характеризующиеся относительно стабильными показателями выделений и выбросов загрязняющих веществ, а также и значениями других параметров (температуры, влажности и объема газов) применительно к условиям литейного производства.

УДК 621.74.043

Выбор компонентов смазок для пресс-форм литья под давлением

Студент гр.104124 Коротков С.Ю.
Научный руководитель - Михальцов А.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Литье под давлением – один из наиболее распространенных способов изготовления отливок в Беларуси, при этом получение качественной поверхности отливок зависит от используемых смазок для пресс-форм и прессующей пары.

Современные смазки для литья под давлением - многокомпонентные системы на водной основе. Как правило, приготавливаются в виде концентрата, который перед применением разбавляются водой.

Использование воды обязательно для создания новых смазок. Но смазывающие компоненты нерастворимы в воде и не смачиваются ей. Поэтому необходимо использовать поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Требования, предъявляемые к смазочным материалам: высокая смазывающая способность, низкая газотворность, отсутствие негативного влияния на качество поверхности отливок. Многочисленные требования, предъявляемые к смазочным материалам пресс-форм, приводят к усложнению их состава. Однако наиболее важными их компонентами являются вещества, определяющие смазывающую способность.

Основными смазочными материалами являются: графитовые препараты, горный воск, минеральные масла и др.

Разработанные и выпускаемые в Беларуси смазки на основе тяжелых минеральных масел и на основе горного воска морально устарели, и не в полной мере отвечают предъявляемым к ним требованиям.

Поэтому в последнее время проявляется интерес к сравнительно новому классу материалов – кремнийорганическим соединениям.

Преимуществом использования этих материалов заключается в том, что для извлечения стержня из отливки и отливки из пресс-формы необходимо приложить меньшее усилие, чем при использовании других материалов. Также применение смазок на основе силиконов дает возможность получения более качественной поверхности отливки.

Но при этом возникают трудности с получением устойчивой эмульсии. Известные ПАВ не позволяют получить стабильные эмульсии.

Поэтому необходимы нетрадиционные подходы для решения этой проблемы.

УДК 621.746

Производство поршневых сплавов, выплавленных из вторичного сырья

Студент гр. 104114 Сошенко А.А.,
магистрант Арабей А.В.
Научный руководитель – Рафальский И.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время в Республике Беларусь, в условиях рыночных отношений, перед машиностроителями остро стоит вопрос повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции и снижения ее себестоимости. Это затрагивает и такую область автомобилестроения, как производство поршней для двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Одним из важнейших направлений повышения эффективности производства является широкое вовлечение в хозяйственный оборот вторичных сырья (рециклинг). Повышение уровня использования вторичного сырья в хозяйственной деятельности обеспечивает экономию ресурсов, материалов, топлива и энергии, расширяет сырьевую базу промышленности, позволяет возратить в сферу производственной деятельности ценные и дефицитные металлы, уменьшает вредное воздействие отходов на окружающую природную среду, дает возможность получить значительный экономический эффект. Таким образом, производство вторичного сырья из года в год становится все более привлекательной отраслью промышленности как в Республике Беларусь, так и во

всем мире. Одновременно происходит увеличение номенклатуры сплавов и изделий, получаемых на основе переработанных отходов.

Производство цветных металлов постоянно растет, что главным образом это связано с увеличением потребности в них общества и промышленности. Однако производство цветных металлов из рудного сырья сопровождается значительными затратами в результате ухудшения горно-геологических условий разработки месторождений, снижения содержания металлов в рудах, повышение расходов на топливо, энергию и защиту окружающей среды, вовлечения в производство месторождений, находящихся в труднодоступных районах. В результате этого, металлы и сплавы, получаемые из вторичного сырья, составляют большой удельный вес в общем объеме производства и потребления цветных металлов.

Производство вторичных цветных металлов весьма эффективно, так как затраты сырья и материалов на их изготовление значительно ниже, чем на выпуск цветных металлов. Например, для производства одной тонны вторичного алюминия расход электроэнергии в 75 раз и топлива в 2,8 раза ниже, чем при производстве первичного алюминия. Таким образом, для плавки вторичного алюминия расходуется всего 5% энергии от ее затрат в производстве первичного алюминия. В связи с этим алюминий можно рассматривать как огромный аккумулятор энергии. Кроме того, в подавляющем большинстве случаев технология вторичного металла является экологически более чистой.

На предприятиях вторичной цветной металлургии из лома и отходов производят литейные алюминиевые сплавы: АК9; АК7; АК9М2; АК8М3; АК5М2; АК5М4; АК5М7; АК12М2МгН и др. Основными потребителями вторичного сырья являются такие предприятия республики, как РУП «Белорусский металлургический завод», ПРУП «Минский моторный завод», ОАО «Гомелькабель», РУП «Могилевский завод «Электродвигатель», РУП «Торгмаш», НПФ «Металлон», ЗАО «НПЛИП Веста» и другие.

Поршень, являясь одной из самых сложных и нагруженных деталей двигателя, определяет его ресурс и имеет непосредственное отношение к таким параметрам как долговечность, надежность, токсичность отработавших газов, шум и вибрации.

Приоритетные свойства материалов для поршней двигателей внутреннего сгорания и дизельных двигателей можно классифицировать следующим образом:

- высокая механическая прочность и жаропрочность;
- малая плотность;
- хорошая теплопроводность;
- низкий коэффициент линейного расширения;
- высокая коррозионная стойкость;
- хорошие антифрикционные свойства;
- высокая износостойкость и, соответственно, высокая технологичность и эффективность при производстве.

Для изготовления поршней автотракторных ДВС в настоящее время в основном используют алюминиевые сплавы, реже серый или ковкий чугун, а также композиционные материалы и сталь (в составных поршнях).

По способу производства поршни подразделяются на кованные и литые. Чаще всего в производстве используются литые поршни из Al-Si сплавов (силуминов). Отечественные и зарубежные производители литых поршней используют доэвтектические, эвтектические и заэвтектические силумины, отличающиеся содержанием легирующих компонентов и примесей. Применение различных составов объясняется назначением поршней. Установлено, что по назначению поршни подразделяются на:

1) Высоконагруженные – поршни дизельных двигателей внутреннего сгорания, к которым предъявляются повышенные требования по износостойкости (заэвтектические сплавы типа КС740, АК16, АК18 и др.);

2) Средненагруженные – поршни бензиновых двигателей легковых автомобилей и мотоциклов (сплавы эвтектического состава типа АК12М2МгН, АК12ММгН, Mahle 124 и др.);

3) Малонагруженные – поршни компрессорных, насосных установок и некоторых типов мотоциклов (доэвтектические силумины АК5М7, АС8В и др.).

Материал поршня должен обладать высокой прочностью в диапазоне рабочих температур (50 – 300 °С), износостойкостью, жаропрочностью, низким удельным весом и коэффициентом линейного расширения, а также высоким комплексом технологических и эксплуатационных характеристик. Практически всем этим требованиям в полной мере не может удовлетворять ни один существующих поршневых материалов. Поэтому при выборе материала для поршней, в каждом конкретном случае, в первую очередь учитывается удовлетворение основных требований, предъявляемых к поршневому материалу, часто в ущерб основным.

По опыту применения алюминиевых поршней в зарубежной практике можно заключить, что в мировом двигателестроении преимущественно используются поршни из алюминий-кремниевых сплавов с содержанием кремния от 9 до 16%. Содержание кремния в поршневых силуминах свыше 18% приводит не только к повышению твердости и шероховатости поверхности деталей из этих сплавов, не способствующих увеличению скользящих свойств, но и к ухудшению обрабатываемости и литейно-механических характеристик, снижению прочности при высоких температурах с увеличением длительности нагрузок, а также повышению склонности к трещинообразованию при теплосменах в диапазоне температур в 20-300 °С. Это позволяет сделать вывод о том, что для достижения высокой обрабатываемости, высокого уровня

прочностных свойств и технологических характеристик при достаточной износостойкости оптимальным является содержание кремния в сплавах от 12 до 18%.

Основное преимущество поршней, изготовленных из заэвтектических силуминов – способность работать при повышенных температурах и в тяжело нагруженных двигателях. Так как содержание легирующих элементов, помимо кремния, в заэвтектических и эвтектических силуминах примерно одинаковая, то именно наличие в структуре данных сплавов кристаллов первичного кремния наряду с другими интерметаллидными фазами определяет износостойкость поршней. Анализ поршней, изготовленных из заэвтектических силуминов показал, что для повышения уровня эксплуатационных характеристик поршней необходимо максимальное измельчение кристаллов первичного кремния в структуре сплава.

Разработка трехмерных моделей для изготовления литейной оснастки отливки полурамы трактора

Студент гр. 104113 Лущик П.Е.

Научный руководитель – Рафальский И.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время прогресс в машиностроении обеспечивается высокими темпами автоматизации производства и внедрения новейших информационных технологий, в том числе систем автоматизированного проектирования (CAD) и систем инженерного анализа (CAE). Особый интерес представляет совместное использование CAD и CAE систем для подготовки производства сложных изделий. Такое комплексное использование программных инструментов позволяет значительно сократить время, необходимое на проектирование изделий, снизить затраты на изготовление и доработку оснастки. В данной работе проведено моделирование отливки полурамы трактора и литейной оснастки, необходимой для ее изготовления (Рис. 1).

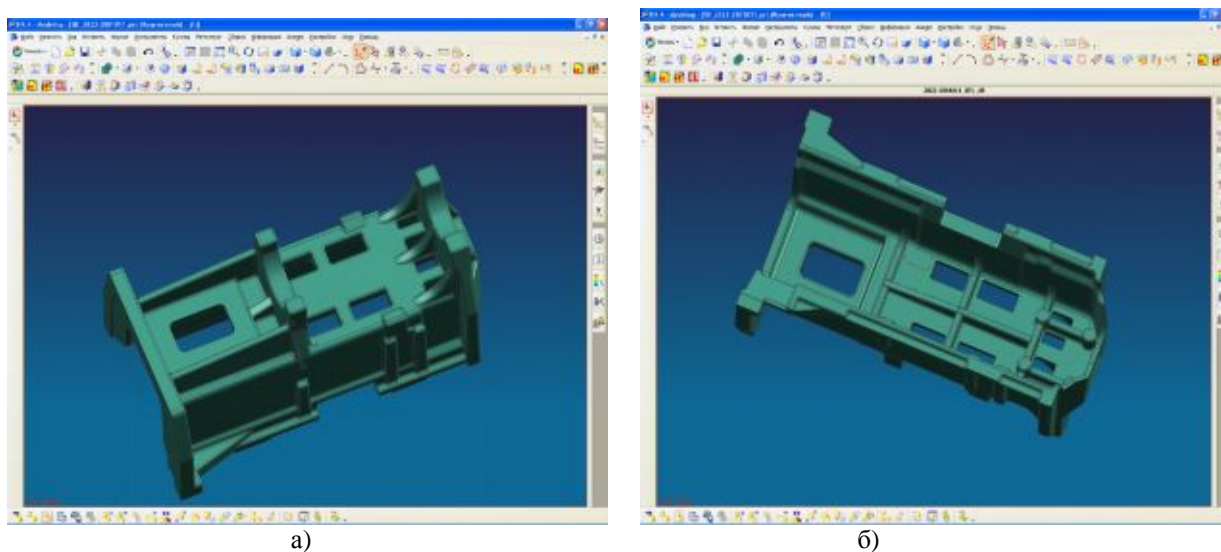


Рисунок 1 а, б – Модель отливки полурамы трактора

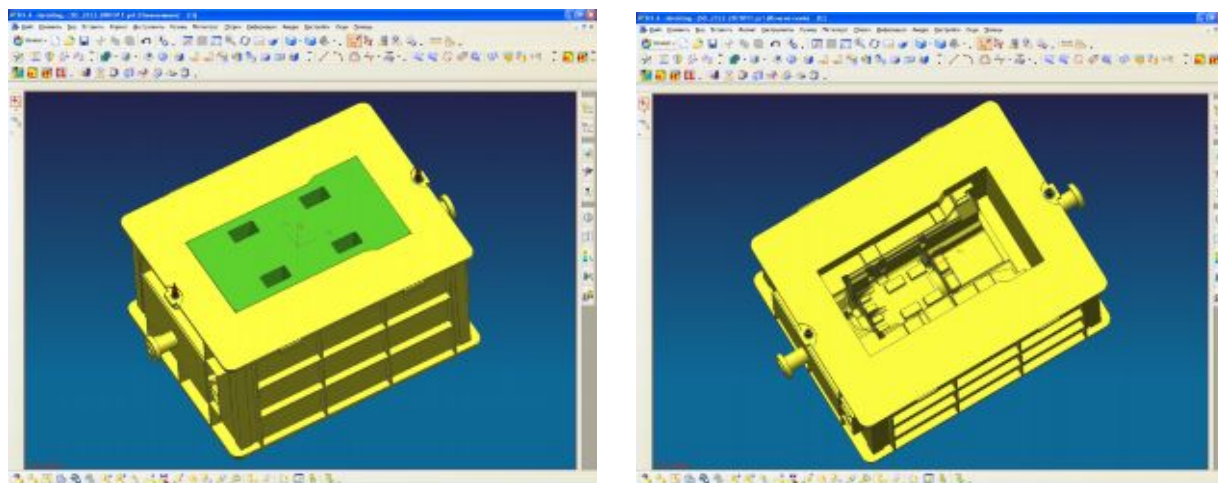
Разработка моделей литейной оснастки выполнялась в среде компьютерного проектирования Unigraphics, позволяющая легко проектировать самые сложные геометрические формы. Очень немногие системы могут использовать подобные объекты, и еще меньшее число систем способно довести их до станка. Модули механообработки Unigraphics постоянно апробируются в различных проектах аэрокосмической и автомобильной промышленности, в машиностроении. В последнее время приложения САМ Unigraphics приносят все большую пользу и в других отраслях промышленности, которые переходят к контурным поверхностям, чтобы улучшить эргономику, эстетичность и общую привлекательность своей продукции. Unigraphics лидирует на рынке благодаря тому, что учитывает опыт автоматизированной подготовки производства и имеет широкий спектр специализированных модулей.

По выбранным данным были построены следующие элементы литейной оснастки:

- а) модели низа и верха
- б) модельные плиты и опоки
- в) стандартные элементы крепления и центрирования модельных плит и опок

Результаты проектирования могут использоваться для изготовления элементов литейной оснастки на

станках с ЧПУ, что позволит значительно повысить качество проектирования и снизить сроки изготовления оснастки. Проектирование в трехмерной среде позволяет избавиться от многих ошибок, возникающих в процессе проектирования, при этом геометрия оснастки, полученная на станке с ЧПУ, полностью соответствует трехмерной модели оснастки.



а)

б)

Рисунок 2 – Опoka низа а) с проставленным стержнем
б) без проставленного стержня

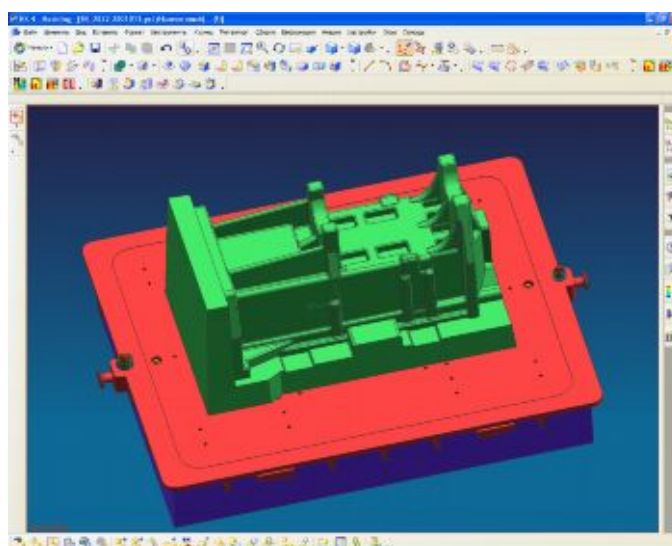


Рисунок 3 – Монтаж модели низа

УДК 669.187

Исследование рециклинга железосодержащих отходов

Студенты гр.104123 Бабаньков П.В., гр.104114 Иванов М.И.

Научный руководитель - Немененок Б.М.

Белорусский национальный технический университет
г.Минск

В связи с возрастанием требований к экологической безопасности металлургического производства, стремлением к снижению себестоимости выпускаемой продукции и дефицитом шихтовых материалов, стоит проблема более рационального использования железосодержащих отходов: прокатной окалины и пыли газоочистных сооружений дуговых сталеплавильных печей. Рециклинг железосодержащих отходов металлургического производства позволяет существенно сократить использование стального лома или передельного чугуна, т.к. содержание железа в пыли газоочисток составляет 35-38%, а в прокатной окалине 68-70%.

Обрабатывалось несколько вариантов металлизации железа из оксидов пыли и окалины. Наиболее эффективным и технологически приемлемым оказался способ их рециклинга путем брикетирования совместно с углеродсодержащими отходами и последующей подачи в ДСП в количестве 5-10% от массы металлозавалки. Из литературных источников известно, что в составе брикетов содержатся различные наполнители, прокатная окалина, пыль установок аспирации, известь, коксовая мелочь и связующие. При этом железосодержащие металлургические отходы составляют 65-80%, углеродсодержащие компоненты - 20-35% и связующие вещества - 7-9% (сверх 100% смеси). Состав связок определяется в каждом конкретном случае, но для условий электроплавки целесообразно применение таких связок как жидкое стекло, нефтяные смолы, отходы травильных ванн, при этом недопустимо использование цементных композиций из-за наличия в них водорода.

В работе исследовали 5 вариантов составов брикетов, где в качестве связующего использовали жидкое стекло. Брикетты имели форму параллелепипеда с размерами 190x150x130 мм с гладкой поверхностью по граням, достаточно хорошую плотность, высокую прочность ($\sigma_{сж} = 14-16$ МПа) и практически одинаковую массу 10,5-11,0 кг.

Содержание $Fe_{общ}$ по результатам химического анализа составляло 47,0-49,0%, при концентрации углерода 12,0-14,0%. Количество таких оксидов, как SiO_2 , Al_2O_3 , CaO и MgO , не восстанавливаемых по термодинамическим условиям из-за низких заданных пределов температуры эксперимента, суммарно не превышало 12%. Это исключало образование большого количества шлаковой фазы, препятствующей полноте протекания реакций восстановления оксидов железа углеродом и гарантировало высокую технологичность использования брикетов в сталеплавильных печах.

На стадии разработки технологии анализировали процессы, протекающие в железоуглеродистых брикетах при нагреве в атмосфере воздуха с интервалом температур 100°C в пределах 700-1400°C. Лабораторные исследования показали, что при нагреве до 1100°C брикет сохраняет свою форму и не разрушается, что важно для условий восстановления железа из оксидов при выплавке стали в ДСП. Реакция восстановления железа из оксидов при температуре свыше 1100°C протекают интенсивно и полностью заканчиваются до достижения температуры плавления металлолома (~1400°C) с образованием углеродистой металлической фазы. При этом оксидная фаза количественно не превышает 10-15% от массы металлической фазы.

Производственное испытание технологии проводили на ДСП-25, где брикетты в печь подавали в корзинах поверх металлолома в количестве 2 тонны на плавку. Наиболее оптимальные показатели получены при загрузке брикетов в печь в первой корзине совместно с 10-12 тоннами лома.

Анализ серии плавов стали в ДСП-25 по длительности процесса, расходу электроэнергии, количеству шлака и химическому составу стали фактически идентичны показателям плавов основного производства, что в условиях обострения дефицита металлолома и повышения его цены резко увеличивает значимость и актуальность полученных результатов.

УДК 621.74

Реализация программного комплекса ProCAST для литья под высоким давлением

Студентка гр.104113 Борис А.В.

Научный руководитель - Михальцов А.М.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск.

В сфере производства моделирование процесса литья металлов стало широко используемым и важным инструментом обработки литейных технологий с целью сокращения цикла проектирования изделий и повышения качества отливок. ProCAST — профессиональная система компьютерного 3D-моделирования литейных процессов методом конечных элементов. Система работает под ОС UNIX, MS Windows и позволяет моделировать практически все варианты литейных технологий, включая свободное литье в формы, литье под низким и высоким давлением, литье по выплавляемым моделям и т.д.

Все модули моделируют реальную физику соответствующих процессов (теплопроводность, потоки, напряжения и т.д.) и, следовательно, применимы к любому типу технологических процессов литья, где должны учитываться эти физические явления. Таким образом, программный комплекс ProCAST позволяет полноценно проанализировать технологию с учетом любых условий литейного производства.

ProCAST позволяет:

- прогнозировать микроструктуру большинства многокомпонентных промышленных сплавов, используя детерминированную модель, объединяющую макроанализ процесса теплопереноса во всех частях отливки с зарождением и ростом зерен.

- производить инверсионное моделирование, заключающееся в объединении численных методов с термоанализом для определения граничных условий и теплофизических свойств отливки и формы.

- производить расчет остаточных напряжений, пластических деформаций по специальному контактному алгоритму, обеспечивающему анализ контакта между отливкой и формой с последующим графическим выводом результатов вплоть до натеков и застывших капель.

В результате расчета можно получить информацию о температурных полях; полях скоростей; пористости (газовая и усадочная); образовании горячих и холодных трещин; внутренних напряжениях в отливке; короблении отливки; структуре зерен и их росте; макроликвации; и многое другое.

Для современного литейного производства большую значимость имеет использование литья под высоким давлением. При моделировании системой ProCAST этого способа изготовления отливок необходимо следующее: трехмерное изображение и марка сплава отливки; трехмерное изображение и марка сплава для подвижной и неподвижной полуформ; температура заливаемого металла и температура прессформы перед заливкой. Термоциклирование литья под высоким давлением включает в себя: загрузку модели в ProCAST; проверку геометрии; назначение свойств материалов для отливки, формы и вставок; создание способа контактного взаимодействия между компонентами и назначение коэффициента теплоотдачи на границе контакта; назначение граничных условий; установку вектора гравитации; установку постоянных начальных условий; установку параметров запуска; визуализацию результатов. По результатам проведенного анализа определяются причины возникновения дефектов, вносятся изменения в технологический режим изготовления отливки, дорабатывается оснастка.

УДК 621.746

Исследование влияния металлургической наследственности шихтовых материалов на процессы формирования кристаллической структуры алюминиевых сплавов

Магистрант Арабей А.В.
Научный руководитель – Рафальский И.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Основными факторами, влияющими на процесс формирования кристаллической структуры литых изделий, являются не только химический состав сплава, но также исходное состояние шихтовых материалов (размеры кусков, окисленность, кристаллическая структура) и способ их ввода в расплав. Общеизвестно, что состояние сплава в жидкой фазе и, как следствие, процессы формирования структурных составляющих сплава при кристаллизации могут существенно изменяться в зависимости от условий выплавки: температуры и скорости нагрева, времени выдержки при определенной температуре, модифицирующей обработки и т.п.

Целью исследования являлось установление закономерностей влияния металлургической наследственности шихтовых материалов, вводимых в сплавы в жидком состоянии в виде лигатур, на процессы формирования кристаллической структуры рабочих сплавов.

В качестве объекта исследования были выбраны сплавы системы Al-Si заэвтектического состава, являющейся одной из наиболее перспективных для получения поршней, с содержанием кремния 15-16% (масс.). Приготовление сплавов осуществляли в электрических печах сопротивления СНОЛ с автоматическим регулятором температуры.

В качестве исходных шихтовых материалов использовали технически чистый алюминий марки А9 и лигатуру следующего состава: 30-32% кремния, 0,8-1,2% железа, остальное – алюминий. Исходные шихтовые материалы (алюминий, лигатуру) предварительно плавил в печи в отдельных тиглях при температуре 950-1000 °С в течение 1 часа и после снятия окисной пленки и перемешивания заливали небольшими порциями в графитовые тигли. Часть лигатуры охлаждали вместе с печью для получения крупнокристаллической структуры – медленноохлажденной (МО) лигатуры (рисунок 1а), другую часть этой же лигатуры использовали для получения мелкокристаллических быстроохлажденных гранул (БГ) заливкой из жидкого состояния в воду (рисунок 1б). МО-лигатуру после охлаждения дополнительно подвергали механическому измельчению до размеров 1-3 см.

Исследуемые сплавы получали путем ввода в жидкий алюминий при температуре 900-950°С предварительно подогретой до температуры 520-530°С лигатуры (для минимизации потерь тепла расплавом алюминия при вводе лигатуры) из расчета 50% лигатуры и 50% алюминия. Охлаждение сплавов осуществлялось на воздухе, скорость охлаждения сплавов в жидком состоянии определялась по кривой охлаждения сплава и составляла 1,8-2 °С/с. Затем проводили металлографический анализ образцов проб на оптическом микроскопе с увеличением от 65 до 500 крат.



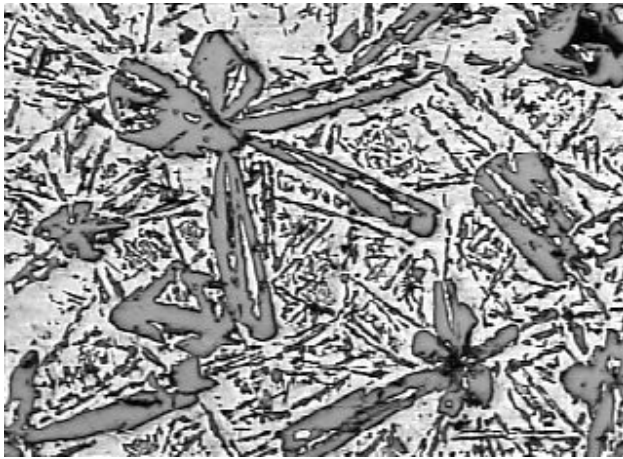
а)



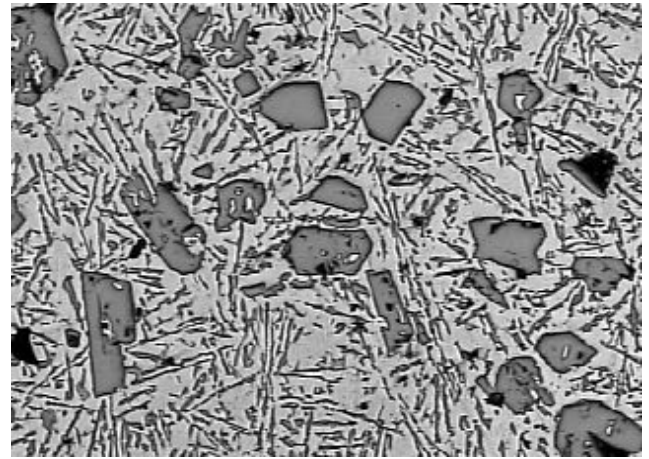
б)

а - медленноохлажденная (МО) лигатура;
 б - быстроохлажденная гранулированная (БГ) лигатура
 Рисунок 1 – Внешний вид лигатур в зависимости от скорости охлаждения

Результаты металлографического анализа исследованных сплавов представлены на рисунках 2, 3.



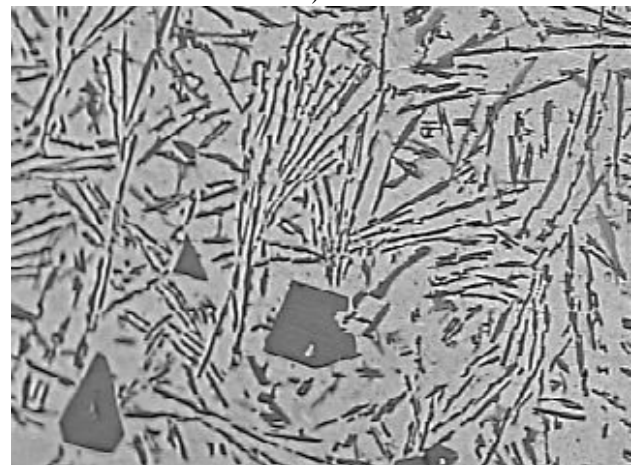
а)



б)

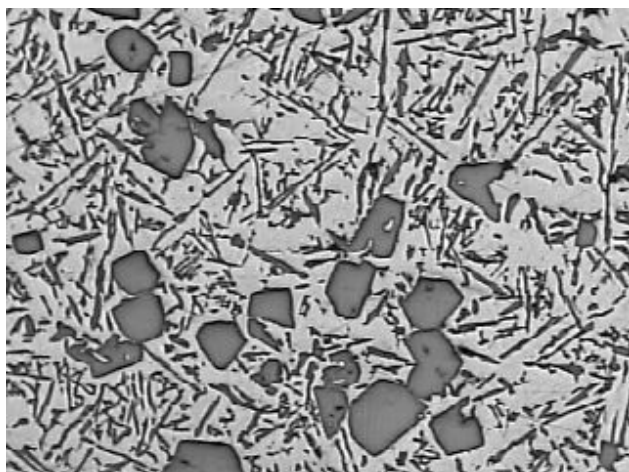


в)

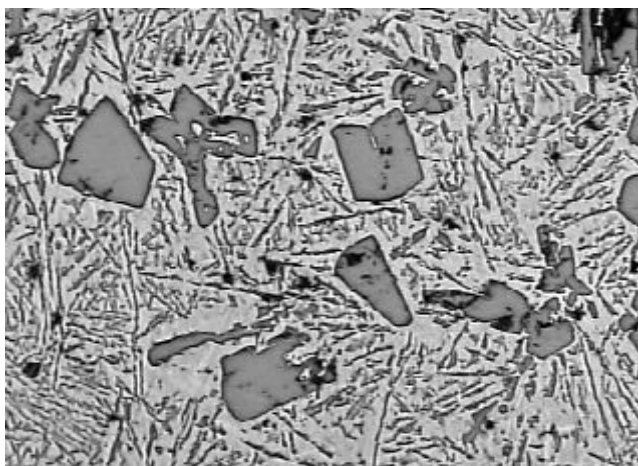


г)

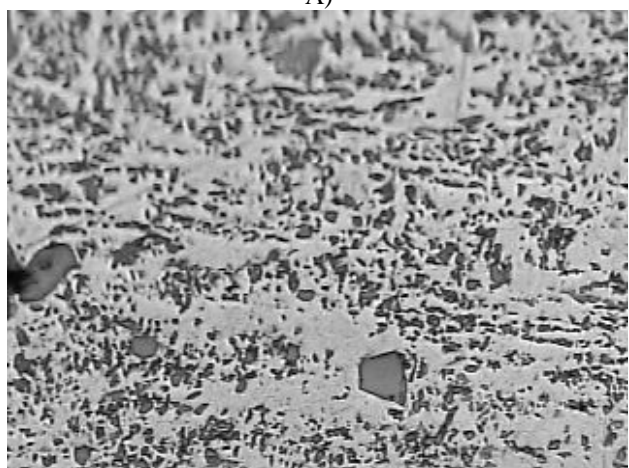
а – время выдержки сплава после ввода лигатуры в жидком состоянии 10 мин. (x125);
 б - время выдержки сплава после ввода лигатуры в жидком состоянии 30 мин. (x125);
 в – участок эвтектики, время выдержки сплава после ввода лигатуры 10 мин. (x250);
 г – участок эвтектики, время выдержки сплава после ввода лигатуры 30 мин. (x250)
 Рисунок 2 - Микроструктура сплава Al-16%Si, полученного из МО-лигатуры



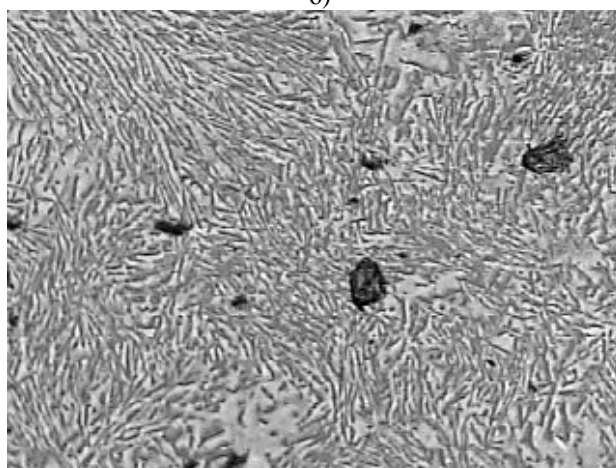
А)



б)



В)



г)

а – время выдержки сплава после ввода лигатуры в жидком состоянии 10 мин. (x125);
 б - время выдержки сплава после ввода лигатуры в жидком состоянии 30 мин. (x125);
 в – участок эвтектики, время выдержки сплава после ввода лигатуры 10 мин. (x250);
 г – участок эвтектики, время выдержки сплава после ввода лигатуры 30 мин. (x250)

Рисунок 3 - Микроструктура сплава Al-16%Si, полученного из БГ-лигатуры

Как видно из представленных данных, формирование кристаллической структуры в сплавах, полученных из лигатур с различной металлургической предысторией получения, является различной. Полученные данные могут быть использованы для разработки технологических процессов получения литых изделий из алюминиевых сплавов с мелкодисперсной структурой первичных и эвтектических фаз.

УДК 669.71

Оценка эффективности процессов рафинирования алюминиевых деформируемых сплавов.

Студенты гр.104123 Мартыненко О.А., Колошич С.В., гр.104114 Козлова О.В.
 Научный руководитель - Немененок Б.М.
 Белорусский национальный технический университет
 г.Минск

Проблема уменьшения загрязненности алюминиевых сплавов неметаллическими примесями возникла одновременно со становлением промышленной технологии производства полуфабрикатов. Несмотря на большое число работ, эта проблема остается актуальной и в настоящее время в связи с ростом загрязненности исходных шихтовых материалов и ужесточением требований стандартов к качеству получаемых профилей. Главной причиной возникновения и развития дефектов в деформируемых алюминиевых сплавах служат повышенное содержание водорода и наличие оксидных плёнок металла. Однако не следует стремиться к разработке универсальных процессов рафинирования для всех сплавов и разновидностей литейного производства. В зависимости от природы сплава, особенностей его

взаимодействия с газами и оксидами, требований к качеству полуфабрикатов, должны применяться различные методы рафинирования и в оптимальном их сочетании.

По технологическим признакам процессы рафинирования можно разделить на три основные группы: 1) рафинирование в емкости; 2) рафинирование при переливе (в струе) и 3) рафинирующий переплав. Каждый из этих процессов, в свою очередь, может быть конкретно охарактеризован на основе физических признаков метода рафинирования, составляющего его сущность; например, продувка нейтральными или активными газами, обработка различными флюсами, отстаивание, вакуумирование, фильтрование и т.д. Некоторые из указанных методов применимы только к одному из процессов, например, отстаивание - только к рафинированию в емкости, фильтрация - только к рафинированию при переливе. Другие методы, в частности вакуумирование, обработка флюсами и газами, применимы к любому процессу. При этом в одном процессе совмещено или последовательно могут быть задействованы два или несколько методов рафинирования. Специфичность взаимодействия отдельных сплавов с газами и оксидами, так же как и разнообразие требований к степени чистоты металла позволяет считать, что в зависимости от поставленных задач могут применяться различные методы рафинирования и их сочетания. Например, на СООО "Алюминтехно" для рафинирования расплава АД0 и АД31 успешно применяется продувка расплава инертными газами с последующей фильтрацией с использованием пенокерамических фильтров. Такая обработка является экологически чистой, обеспечивает высокую степень чистоты расплава от газовых и твердых неметаллических включений и реализуется при передаче металла из печи к установке непрерывного литья. Накоплен определенный положительный опыт рафинирования деформируемых алюминиевых сплавов путем продувки расплава в плавильной печи с использованием продувочных пробок. Такая технология рафинирования позволяет одновременно выравнивать химический состав и температуру расплава по высоте плавильной ванны. Для снижения стоимости рафинирующей обработки можно использовать также объемные фильтры из стеклоткани, которые по своей эффективности незначительно уступают элементам из вспененной керамики.

УДК 621.746

Компьютерный термический анализ для контроля фазовых переходов заэвтектических силуминов с учетом влияния температурной обработки расплава

Магистрант Арабей А.В.

Научный руководитель – Рафальский И.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Свойства каждого конкретного сплава системы Al-Si главным образом определяются индивидуальными физическими свойствами, объемной долей, морфологией и распределением его основных фазовых составляющих: α -Al твердого раствора и кристаллов кремния (Si). В промышленных силуминах содержание кремния находится на уровне от 5 до 23 % (масс.) и, как следует из равновесной диаграммы состояния, структура этих сплавов может быть доэвтектической, заэвтектической или эвтектической [1]. Кристаллы кремния, присутствующие в промышленных Al-Si сплавах, образуют практически чистые, беспримесные граненые кристаллы этого элемента, которые могут иметь различную морфологию: первичные, компактные включения в заэвтектических сплавах (β -фаза) и разветвленные пластины (или волокна) в эвтектике (α -Al+Si). Доэвтектические и заэвтектические сплавы кристаллизуются аналогично сплавам эвтектического состава, но отличаются лишь выпадением первичных α - и β -фаз соответственно [1,2].

Принято считать, что процесс эвтектической кристаллизации в силуминах является актом гетерогенного зарождения одной из фаз на подложках другой твердой фазы или посторонней примеси [2]. Однако единого мнения о решающей роли того или иного фактора, лимитирующего активность одной из фаз в качестве подложки для другой, не существует [1,2]. Более того, за последние годы накоплен значительный экспериментальный материал, свидетельствующий о существенной, если не решающей, роли жидкого состояния на процесс формирования кристаллической структуры силуминов [3-5]. Установлено, что после плавления силумины являются неоднородными, неравновесными системами, свойства которых зависят не только от химического состава, но и от условий приготовления сплава в жидкой фазе. Температурная обработка силуминов в жидком состоянии выше температуры ликвидуса приводит к значительному изменению не только свойств самих расплавов, но также к изменению свойств и структуры литых изделий после затвердевания сплавов. Эта взаимосвязь обнаруживается и подтверждается практикой производства отливок из силуминов.

В связи с вышеуказанным, особый интерес представляло исследовать влияния температурной предыстории выплавки расплава на температуры фазовых переходов, интервал кристаллизации и морфологию фаз при охлаждении и затвердевании силуминов. Для решения поставленной задачи изучали

параметры процесса кристаллизации и микроструктуры сплавов после их температурной обработки в жидком состоянии при различных перегревах от 720°C до 870°C.

В качестве объекта исследования использовали сплавы Al-16%Si заэвтектического состава, которые получали сплавлением в электрической печи типа СНОЛ алюминия марки А9 и лигатуры следующего состава: 30-32% кремния, 0,8-1,2% железа, остальное – алюминий.

Для исследования процесса кристаллизации использовалась универсальная микропроцессорная система термического анализа металлов и сплавов (УМСТА), построенная на базе микропроцессорных средств и персонального компьютера. Конструктивно УМСТА включает датчик, обеспечивающий измерения температур в интервале кристаллизации сплавов, персональный компьютер для обработки и визуализации термограмм, информационно-измерительный блок. В качестве термодатчика использовали хромель-алюмелевую термопару в защитном кварцевом колпачке. Сигнал от термопары (термо-ЭДС) поступал в информационно-измерительный блок, где преобразовывался в цифровой код, из которого формировалась термограмма кристаллизации. Измерения температуры (преобразования сигнала термопары в цифровой код) во время процесса кристаллизации расплава осуществлялось через равные промежутки времени (0,4-1,2 с, в зависимости от общей продолжительности затвердевания пробы расплава). Полученные термограммы передавались для обработки в персональный компьютер с помощью интерфейса передачи данных через USB-порт.

Для исследования влияния температурных режимов обработки сплавов в жидком состоянии на характер распределения и морфологию кристаллических фаз проводили металлографический метод анализа образцов проб исследованных сплавов после термического анализа (диаметр пробы 30 мм, масса пробы 35 грамм, скорость охлаждения в жидком состоянии 1,8-2 °C/с). Исследования микроструктуры проводились на оптическом микроскопе при увеличении до 500 крат. Приготовление шлифов осуществлялось путем механической полировки с последующей обработкой образцов в 0,5%-ном водном растворе HF.

В результате термического анализа было установлено, что с увеличением температуры перегрева расплава имеется тенденция к увеличению температуры начала кристаллизации (рисунок 1) и, соответственно, увеличение общего интервала кристаллизации сплава (рисунок 2).



Рисунок 1 - Зависимость температуры начала кристаллизации сплава Al-16%Si от температуры перегрева сплава в жидком состоянии

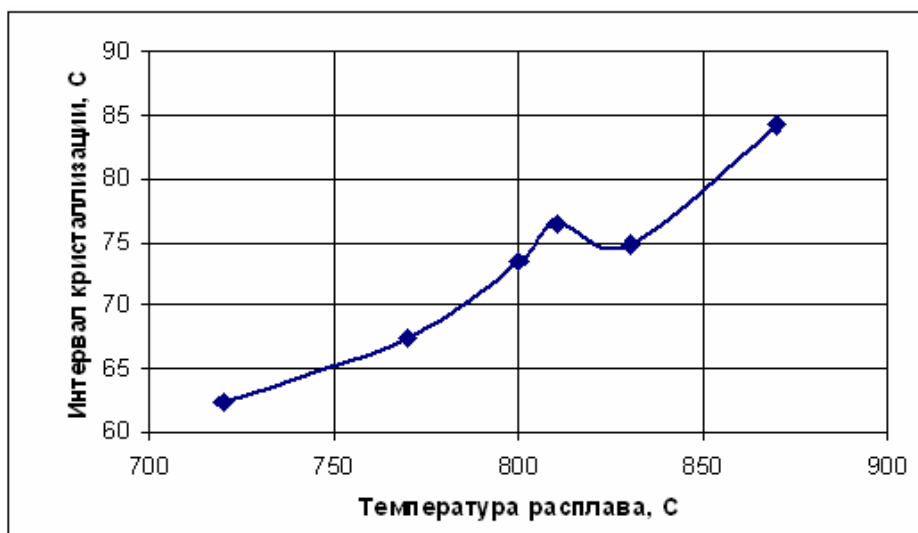


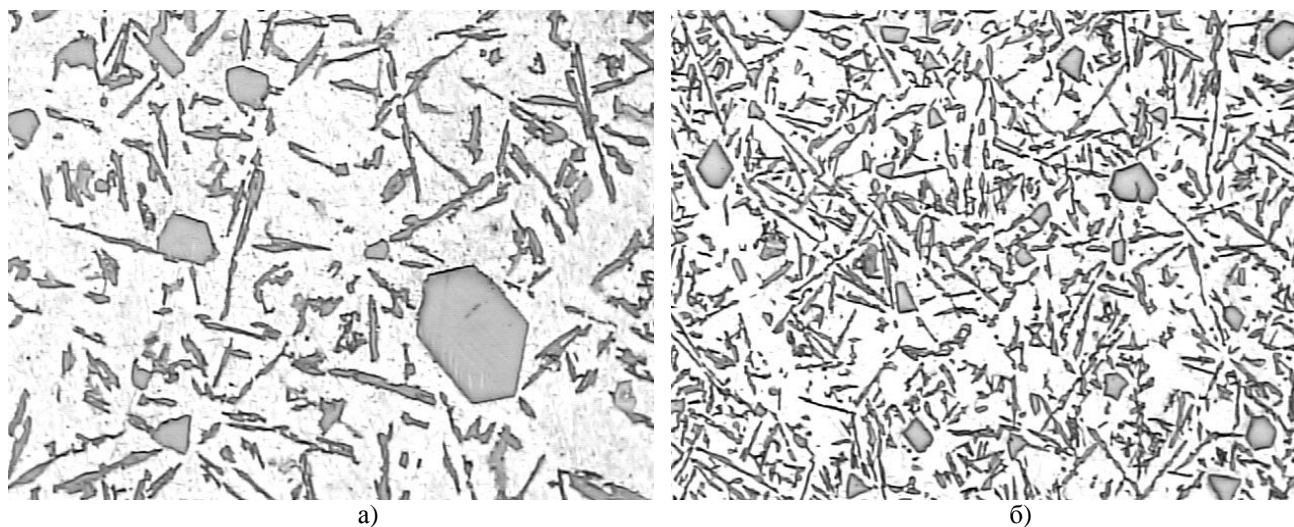
Рисунок 2 - Зависимость интервала кристаллизации сплава Al-16%Si от температуры перегрева сплава в жидком состоянии

Результаты металлографического анализа исследованных сплавов представлены на рисунках 3 - 5.



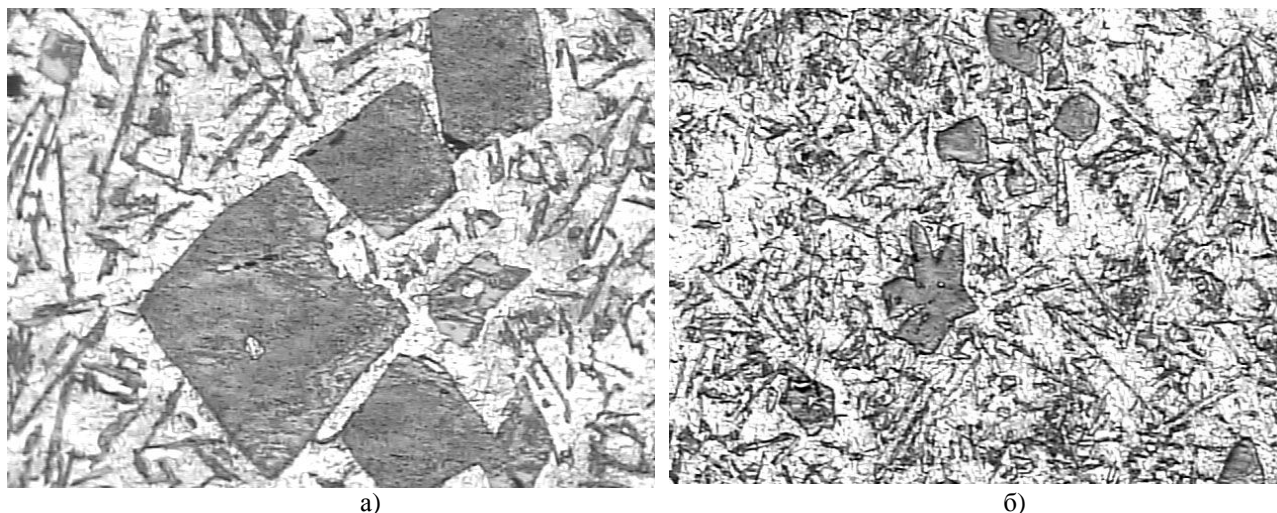
а – центральная часть образца; б – периферийная часть образца (x125)

Рисунок 3 - Микроструктура сплава Al-16%Si после выдержки в печи при температуре 720°C



а – центральная часть образца (x250); б – периферийная часть образца (x125)

Рисунок 4 - Микроструктура сплава Al-16%Si после выдержки в печи при температуре 830°C



а – центральная часть образца (x250); б – периферийная часть образца (x125)
 Рисунок 5 - Микроструктура сплава Al-16%Si после выдержки в печи при температуре 870°C

Результаты металлографического анализа свидетельствуют о том, что изменение температурного режима плавки (т.е. температурной предыстории расплава) приводит к заметному изменению параметров кристаллизации и микроструктуры сплава. При этом режим температурной обработки оказывает влияние на размер и морфологию как эвтектических, так и первичных фаз. При относительно небольших перегревах (100°C над линией ликвидус) эвтектика имеет тонкопластинчатую и даже в отдельных участках волокнистую морфологию (рисунок 3), первичный кремний образуется преимущественно в форме компактных относительно небольших кристаллов. При этом наблюдалась ликвация кристаллов первичного кремния в центральной зоне всех исследованных образцов.

Установлено, что повышение температуры расплава до 790-830 °C приводит к формированию преимущественно более утолщенных пластин эвтектического кремния, меньшей протяженности по сравнению со сплавами, температура нагрева которых в жидком состоянии не превышала 720°C (рисунок 4). При этом для образцов, особенно для периферийной их части, характерно наличие относительно небольших по размерам компактных выделений кристаллов первичного кремния, что может благоприятно отразиться на эксплуатационных свойствах, например, износостойкости. Дальнейшее повышение температуры расплава до 870°C приводит к заметному росту размеров кристаллов первичного кремния и их сильной ликвации в центральной части пробы (рисунок 5). Морфология эвтектики существенно не изменяется, кремний в эвтектике кристаллизуется в различной форме – от небольших утолщенных зерен до отдельных протяженных пластин.

Литература

1. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов: Пер. с англ.. Под ред. Ф.И.Квасова, Г.Б.Строгонова, И.Н.Фридляндера.- М.: Металлургия, 1979.- 640 с.
2. Строганов Г.Б., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием.- М.: Металлургия, 1977.- 272 с.
3. Попель П.С., Никитин В.И., Бродова И.Г., Баум Б.А., и др. Влияние структурного состояния расплава на кристаллизацию силуминов.- Расплавы, 1987, Т.1, вып.3. - С.31-35.
4. Новохатский И.А., Кисунько В.З., Ладьянов В.И. Особенности проявлений различных типов структурных превращений в металлических расплавах.- Изв. вузов. Черная металлургия, 1985, Т 5, с.1-9.
5. Рафальский И.В., Арабей А.В. Влияние температурного режима плавки на свойства литейных алюминиевых сплавов / Литье и металлургия, №2, 2005.– С.132-134.

УДК 669.714

Исследование процесса внепечного способа получения лигатур

Студентка гр.104113 Лущик Т.Н., студенты гр.104114 Шевцов А.А., Кирсанов Б.А.
 Научный руководитель – Слуцкий А.Г.
 Белорусский национальный технический университет
 г.Минск

Из всего разнообразия способов получения легирующих присадок и лигатур внепечной метод имеет ряд преимуществ. Это в первую очередь связано с исключением из технологической схемы энергоемких плавильных агрегатов. Внепечная металлургия широко используется при получении ферросплавов

титана, ванадия, хрома и др. В основу процесса положено восстановление металла из оксидной фазы элементом имеющего более высокое сродство к кислороду (алюминий, кремний, магний). Металлотермические процессы сопровождаются выделением большого количества тепла, что обеспечивает получение продуктов реакции в жидком виде. Основными условиями протекания металлотермического восстановления являются отрицательные значения энергии Гиббса ($\Delta\sigma$) и требуемая термичность смеси, которая определяется по формуле:

$$g = -\frac{\Delta H^{\circ}}{\sum M_{\text{исх.веществ}}} \quad (1)$$

где g – термичность смеси Дж/г;

ΔH° – тепловой эффект реакции Дж/моль;

$\sum M_{\text{исх.веществ}}$ – сумма молекулярных и атомных весов исходных веществ, взятых в стехиометрическом соотношении г/моль.

Согласно правила Жемчужного для самопроизвольного протекания металлотермического процесса без внешнего подогрева приход тепла должен быть не ниже 2300 Дж/г.

Целью работы является исследование процесса получения безжелезистых лигатур алюминотермическим методом. Для ее достижения проведены теоретические и экспериментальные исследования включающие термодинамические расчеты энергии Гиббса ($\Delta\sigma$), термичности смесей, а так же лабораторные эксперименты по получению лигатур системы хром-медь, хром-никель, кремний-медь. Результаты термодинамических расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты расчетов

Реакция восстановления	ΔH , Дж/моль	ΔG , Дж/моль	q , Дж/г
$2/3\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4/3\text{Al} = 2/3\text{Al}_2\text{O}_3 + 4/3\text{Fe}$	-569400	-517600	4029
$2/3\text{Cr}_2\text{O}_3 + 4/3\text{Al} = 2/3\text{Al}_2\text{O}_3 + 4/3\text{Cr}$	-357000	-304200	2600
$3/3\text{TiO}_2 + 4/3\text{Al} = 2/3\text{Al}_2\text{O}_3 + 3/3\text{Ti}$	-173367	-126167	1492
$2\text{NiO} + 4/3\text{Al} = 2/3\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Ni}$	-638067	-597867	3442
$\text{SiO}_2 + 4/3\text{Al} = 2/3\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Si}$	-206267	-142267	2148
$\text{CuO} + 2/3\text{Al} = 1/3\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cu}$	-396823	-374023	4069

Анализ полученных результатов показал, что достаточно высокой термичностью обладают смеси содержащие железо, никель и медь.

С целью проверки полученных расчетных данных в лабораторных условиях были проведены эксперименты по металлотермическому восстановлению железа, хрома, титана, никеля, меди и кремния их оксидов.

В качестве восстановления применяли порошок алюминия (марки ПАИ). Расчет шихты производили на получение 40 грамм металла. Подготовленные компоненты смеси тщательно перемешивались и засыпались в графитошамотный тигель. Для начала процесса смесь поджигали «бенгальскими» огнем и наблюдали за протеканием реакции. Затем продукты реакции извлекали из тигля и взвешивали на аналитических весах. Анализ полученных результатов показал, что процесс восстановления железа, меди и никеля протекал очень бурно со значительным выбросом продуктов реакции. Это отразилось и на металлургическом выходе. Реакция восстановления титана и кремния вообще не пошла, а по хрому протекала неактивно. На следующем этапе исследований были рассчитаны термичности различных комбинаций трудно и легковосстановимых оксидов и проведены эксперименты по получению лигатур хром-медь, хром-никель и кремний-медь. Определены оптимальные концентрации оксидов, обеспечивающие спокойное протекание процесса восстановления. Например, для лигатуры хром-медь количество оксида меди, в смеси не должно превышать 40%. При этом металлургический выход составил 80-85%. С целью дальнейшего повышения степени извлечения металлов провели эксперименты с различным количеством восстановителя. Хорошие результаты были получены при увеличении избыточного количества восстановителя в пределах 10-16%.

Изготовлены опытные образцы безжелезистых лигатур для проведения их испытаний при получении цветных сплавов.

Разработка состава жаростойкой стали литой оснастки термических агрегатов

Студент гр. 104113 Ровдо В.С.
Научный руководитель – Земсков И.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью настоящей работы является разработка состава жаростойкой стали с пониженным содержанием дорогостоящего никеля. В настоящее время для термической обработки деталей в нагревательных печах на РУП ПО МТЗ используют поддоны и другую оснастку из жаростойкой стали 35X18H24C2Л по ГОСТ 977-88, жаростойкость которой обусловлена высоким содержанием никеля и хрома. В процессе длительной эксплуатации при температуре 500-1000°C из γ -твердого раствора в большом количестве выделяются карбиды хрома и твердая хрупкая δ -фаза (FeCr), резко снижаются пластические свойства, сталь охрупчивается, детали (поддоны) растрескиваются и выходят из строя.

Анализ существующих диаграмм состояния системы Fe – Cr – Ni – C показывает, что концентрация никеля в этой стали неоправданно завышена, что следует из видоизмененной диаграммы Маулера, и содержание его можно снизить без потери эксплуатационной стойкости. Для этого необходимо оптимизировать химический состав стали, а главное использовать промежуточную термическую обработку с тем, чтобы повысить её пластичность. Температуру закалки можно приблизительно определить из псевдобинарных диаграмм. Для решения данной задачи необходимо выбрать серию сплавов различных химических составов и исследовать кинетику структурных превращений с тем, чтобы выбрать химический состав с меньшим выделением охрупчивающих фаз, а также разработать режимы промежуточной термообработки, способной увеличить пластичность и, соответственно, эксплуатационную стойкость. Исследования эксплуатационной стойкости жаростойких сталей проводили в окислительной и в восстановительной атмосферах. Для окислительной атмосферы исследовали стали с содержанием 18% Cr и 11, 15 и 24% Ni, а для восстановительной – с различным содержанием различных легирующих элементов (Si, Mn, Ti и Al). Режим испытаний в окислительной атмосфере – нагрев до 800°C и закалка в воду 5 раз в сутки, а в восстановительной – полный процесс цементации при температуре 900-910°C, 12 часов с подстуживанием до 550°C, повторный нагрев под закалку до 880°C и закалка в масло при 120°C. Исследования проводились на образцах-фрагментах. Через каждые 15 суток от них отрезались бобышки, на которых исследовалась структура, появление микротрещин и механические свойства (твердость HRB).

В процессе первого месяца эксплуатации идет распад дендритных крупных карбидов и выделение дисперсных карбидов в поле аустенита. После 2-3 месяцев образуются границы, по которым выделяются более крупные карбиды. Образование таких границ может являться началом образования трещин. При дальнейшей эксплуатации карбидная фаза преобразуется: становится крупнее и её становится больше. Не просматриваются границы зерен суспенита. У поверхности деталей сохраняется столбчатость карбидов, т.е. идет процесс диффузии углерода из печной атмосферы.

Исследования после 6 месяцев эксплуатации в восстановительной атмосфере показали, что стали оптимального состава не уступают стали 35X18H24C2Л.

Результаты предварительных испытаний в окислительной атмосфере показали отрицательное влияние повышенного содержания марганца (4-5%) из-за повышенного окалинообразования; повышенную трещиностойкость с понижением содержания углерода до 0,3%, повышением содержания никеля до 18% и использованием модифицирования редкоземельными элементами.

На основании проведенных исследований для производственных испытаний в качестве материала поддонов термических печей выбрана сталь 40X25H18C2ЮЛ. В настоящее время из этой стали изготовлено методом литья в песчаные сырые формы 40 отливок поддонов НО-2761.

Высокоэффективный таблетированный препарат для обработки расплавов на основе алюминия

Студенты гр.104125 Полуян М.О., Зенько П.В.
Научный руководитель – Задруцкий С.П.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Свойства изделий из сплавов на основе алюминия в значительной степени определяются содержащимися в них газами и неметаллическими включениями, что делает необходимым проведение операций рафинирующей обработки расплавов. Важность повышения эффективности процессов очистки металла акцентируется наблюдающейся в последнее время тенденцией увеличения в металлозавалке доли

вторичных алюминиевых сплавов, получаемых путем переплава загрязненных ломов и отходов производства.

Используемые в промышленности технологические процессы рафинирующей обработки расплавов на основе алюминия в таких условиях зачастую не обладают достаточной эффективностью, экологической безопасностью, либо требуют наличия дорогостоящего оборудования.

В рамках настоящей работы проанализирована возможность использования ряда экологически безвредных соединений для проведения рафинирующе-дегазирующей обработки расплава силумина, разработан и создан экологически безвредный таблетированный препарат, содержащий в своем составе

$NaNO_3$; Na_3AlF_6 ; KCl. Пропорции компонентов таблеток обеспечивают снижение пористости, уменьшение содержания неметаллических включений, создание сухого порошкообразного не содержащего алюминия шлака на зеркале расплава, отсутствие пироэффекта и дымовыделения в процессе рафинирующей обработки металла.

Характерные особенности работы электродуговой печи белорусского металлургического завода как источника выделения и выброса

Магистрант Глуховский М. В.

Научный руководитель – Глуховский В.И.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Электродуговые печи являются основными источниками выделения вредных веществ на Белорусском металлургическом заводе. Образующиеся в рабочем пространстве плавильного агрегата технологические газы, содержат в своём составе как газообразные – окислы серы, азота и углерода, так и твёрдые загрязняющие вещества – оксид железа, марганец и его соединения, кремния диоксид, оксид кальция, пыль неорганическая с содержанием SiO_2 менее 70%.

Условно, поступающий от электродуговых печей запылённый газовый поток можно разделить на две составляющие.

Часть технологических газов выделяется из печи через специально предусмотренное «четвёртое отверстие». Пройдя очистку в рукавных фильтрах, газо-воздушная смесь освобождается от твёрдых частиц, и выбрасывается в атмосферный воздух через дымовую трубу.

Другая – неорганизованная часть выбросов, которая является следствием несовершенства работы узла отбора газов от печи, и обусловлена негерметичностью свода, технологической необходимостью наличия свободного пространства (неплотностей) вокруг электродов, а также завалочного окна, поступает в помещение цеха, подсасывает из него воздух, и выбрасывается в атмосферу через аэрационные фонари.

Таким образом, в силу специфики процесса электродуговая печь представляет собой в одном лице совокупный (многогранный) комплекс организованного и неорганизованного источника выделений загрязняющих веществ. Образующаяся газо-воздушная смесь, содержащая вредные примеси, поступает в атмосферный воздух через два типа источника выброса (источник загрязнения атмосферного воздуха) – дымовую трубу и аэрационные фонари.

Процесс получения стали в электродуговых печах носит циклический характер. В течении суток он может повторяться 22 раза. Применительно к условиям БМЗ весь технологический цикл был условно разбит на шесть основных стадий: подготовка к плавке, загрузка шихты, проплавление, подвалка шихты, плавка, выпуск стали.

На первом этапе исследований были установлены средние значения концентраций загрязняющих веществ для каждой технологической стадии и всего цикла процесса получения стали в электродуговой печи.

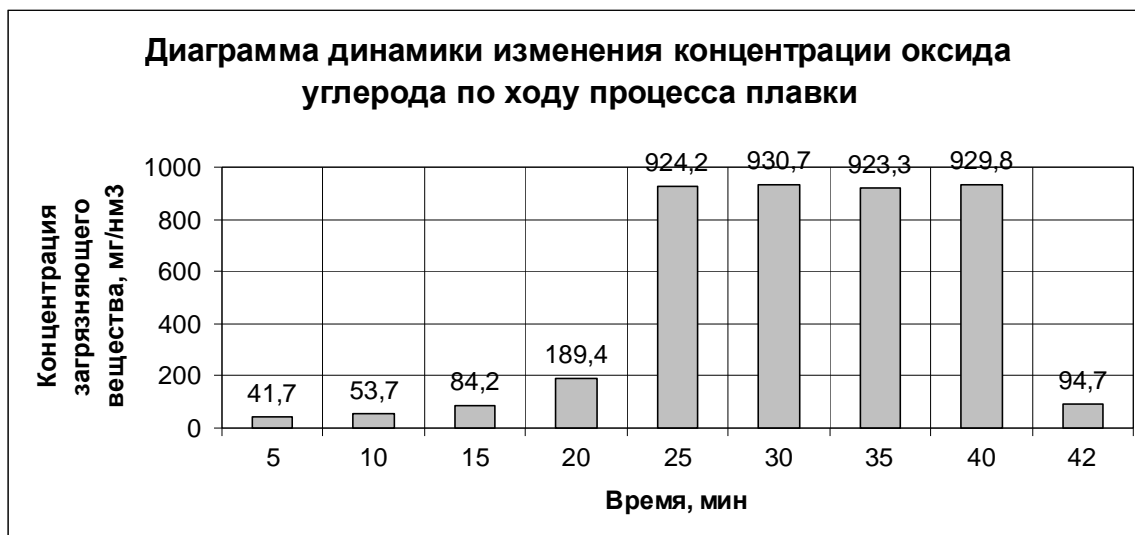
Анализ и обработка полученных данных показали, что основной вклад в среднее значение концентраций загрязняющих веществ, как по временному фактору, так и по значению массового выброса, для всего технологического процесса вносит непосредственно стадия плавки (расплавления металла).

На втором этапе исследований более детально была изучена динамика изменения выбросов на технологической стадии плавки и установлены максимально разовые значения для данного периода, которые были приняты в качестве норматива выбросов (г/с) для всего технологического цикла и источника выброса в целом.

Обобщённые данные результатов измерений, на примере оксида углерода представлены на диаграмме и в таблице №1.

Таблица 1. Обобщённые данные по результатам измерений нестационарности выбросов оксида углерода от электродуговой печи

№№ п/п	Наименование технологической стадии	Продолжительность технологической стадии, мин.	Удельный вес (доля) технологической стадии в процессе получения стали, доля от единицы	Средняя концентрация загрязняющего вещества для всего процесса получения стали, мг/нм ³	Средняя концентрация загрязняющего вещества на каждой технологической стадии процесса получения стали, мг/нм ³	Максимальная концентрация загрязняющего вещества для всего процесса получения стали, мг/нм ³
1	2	3	4	5	6	7
1.	Загрузка шихты	3	0,047	326,0	17,1	927,0
2.	Проплавление	8	0,125		133,6	
3.	Подвалка шихты	2	0,031		22,1	
4.	Плавка	42	0,656		463,5	
5.	Выпуск стали	3	0,047		55,2	
6.	Подготовка к следующей плавке	6	0,094		12,3	



Таким образом, в ходе выполнения работы изучены характерные особенности работы электродуговых печей Белорусского металлургического завода, исследована динамика изменения во времени концентраций загрязняющих веществ по ходу плавки стали.

УДК 621.74.021:688.71.011

Влияние смазок на качество поверхности отливок при литье под давлением алюминиевых сплавов

Студент гр. 104124 Пилипович С.В.

Научный руководитель – Пивоварчик А.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время к качеству поверхности отливок предъявляются высокие требования, а именно отливка не должна иметь подтеков и плёнов. Основное влияние на качество поверхности отливок изготавливаемых литьем под давлением оказывает смазка, наносимая на технологическую оснастку, с целью уменьшения усилий при извлечении отливок.

Смазку наносят вручную (при помощи щётки – смётки, квача) либо с помощи распылителей различных конструкций (пистолеты, блоки форсунок и т.п.).

Цель настоящей работы - исследование влияния смазок на качество поверхности отливок при литье под давлением.

В работе исследовали влияние наиболее часто используемых в отечественном производстве смазок на качество поверхности изготавливаемых отливок.

Исследование прошли водоэмульсионные смазки на основе нефтепродуктов (гидрофобизатор ГФК-1 и масло Вапор), на основе горного воска, смазка «Петрофер» производства Германии, а также разработанная смазка на основе высокомолекулярных кремнийорганических соединений.

Перед применением концентраты смазок разбавляли технической водой в пропорции 1:20.

Качество поверхности отливок определяли визуально.

В ходе работы установлено, что при использовании смазок на основе нефтепродуктов отливки на своей поверхности имеют темные разводы, использование смазки на основе горного воска приводило к появлению жёлтых пятен.

Наилучший результат был достигнут при использовании импортной смазки «Петрофер» и смазки на основе кремнийорганических соединений. Полученные отливки имели блестящую поверхность без каких-либо разводов и подтеков.

Следовательно, для получения отливки с качественной поверхностью целесообразно использовать смазку на основе кремнийорганических соединений.

УДК 621.74.021

Эрозионная стойкость смазочных слоев при литье под давлением алюминиевых сплавов

Студентка гр. 104113 Серко Н.В.

Научный руководитель – Пивоварчик А.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

При производстве отливок методом литья под давлением смазывание технологической оснастки является непременным условием. Нанесение разделительных покрытий способствует более свободному удалению отливок из полости пресс-формы, предотвращает образование задиrow, а также позволяет регулировать тепловой режим работы пресс-формы.

В зависимости от исходного состояния и способа нанесения разделительных покрытий смазки формируют защитный изоляционный слой, между литейной формой и кристаллизующейся отливкой.

Толщина слоя смазки, прежде всего зависит от способа нанесения разделительного покрытия на поверхность литейной оснастки[1].

Смазку наносят вручную (при помощи щётки – смётки, квача) либо с помощью распылителей различных конструкций (пистолеты, блоки форсунок и т.п.).

Цель настоящей работы - исследование эрозионной стойкости смазочных слоёв водоэмульсионных смазок при различных технологических режимах литья.

В работе изучали эрозионную стойкость слоёв смазок, полученные из продуктов нефтепереработки (ГФК-1 и масло Вапор), на основе горного воска, смазку «Петрофер» производства Германии, а также смазку на основе высокомолекулярных кремнийорганических соединений.

Измерение толщины образовавшегося слоя смазки до и после запрессовки жидкого металла осуществляли с помощью радиоволнового толщиномера марки ТМ-300, изготовленного в Институте прикладной физики РБ.

Установлено, что после смазывания пресс-формы водоэмульсионными разделительными покрытиями на основе нефтепродуктов толщина слоя смазки минимальна, по сравнению со слоями образованными остальными разделительными покрытиями.

Установлено, что после выпуска расплавленного металла в полость пресс-формы и удаления отливки толщина слоя, образованного после нанесения разделительных покрытий уменьшается на 40–60%, при использовании всех исследуемых составов.

Необходимо отметить, что трехкратное увеличение времени выдержки отливки в пресс-форме перед извлечением с 5 до 15 секунд ведет к незначительному уменьшению толщины смазочного покрытия, в среднем на 15–20%.

Установлено, что существенное влияние на эрозионную стойкость смазочных слоёв исследуемых разделительных покрытий оказывает скорость выпуска расплава в полость пресс-формы. Так при минимальной скорости выпуска металла толщина смазочного слоя снижается на 30–50%, при средней на 50–60%, максимальной – 75–85%, от толщины слоя разделительного покрытия полученного после нанесения смазки. Полученный результат объясняется тем, что с увеличением скорости выпуска расплава в полость пресс-формы струя жидкого металла более интенсивно рассеивается непосредственно при выходе из камеры прессования, что ведёт к более интенсивному смыву смазки.

В ходе работы также установлено, что максимальный смыв слоя смазки происходит в зоне литника. Независимо от скорости выпуска и используемых составов смазок толщина слоя разделительного покрытия в

зоне литника снижается на 90 – 95%. Это связано с тем, что в данной зоне затвердевание металла происходит в последнюю очередь и пресс-форма на данном участке испытывает наиболее сильное и длительное тепловое воздействие со стороны расплава.

Литература

А.К. Белоухов. Технологические режимы литья под давлением. – М.: Машиностроение, 1985.- С. 109

Отработка состава экзотермических вставок для обогрева прибылей при изготовлении отливки ступица колеса прицепа в условиях стальцеа №2 руп «МАЗ»

Студент Максимик М.Ю.

Научный руководитель – Розум В.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

При производстве стальных отливок на машиностроительных предприятиях около 30% металла расходуется на прибыли. Что объясняется несовершенством существующих способов питания.

В стальцеа №2 РУП «МАЗ» выпускается большая номенклатура стальных отливок, при этом на ряде отливок брак по усадочным раковинам достигает до 50%. К таким отливкам относятся ступица переднего колеса, ступица колеса прицепа.

В последнее время широкое распространение получили прибыли с экзотермическим обогревом. Применение таких технологий позволяет повысить качество отливок и снизить вес прибылей, повысив за счёт этого выход годного.

В лаборатории НИИЛит были проведены исследования и разработан состав экзотермической смеси для отливки ступица колеса прицепа. Отработку состава проводили экспериментальным методом.

Для приготовления экзотермических смесей использовали алюминиевый порошок фракции до 0.4 мм, шамот молотый фракции до 0.5 мм, окись железа фракции 0.2-0.4, окись марганца, в качестве крепителя применяли жидкое стекло.

Смеси готовили в лопастном смесителе, затем формовали вставки в виде двойного усеченного конуса используя металлическую форму.

После формовки вставок их высушивали в сушиле при температуре 180 °С в течении 2 часов, с последующим охлаждением на воздухе.

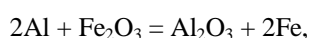
Время поджига вставок и горения определяли по следующей методике. В печь сопротивления, разогретую до температуры 950 °С, устанавливали алундовый тигель. Температура контролировалась непосредственно в самом тигле. Затем на дно тигля устанавливалась экзотермическая вставка и засекалось время до начала её возгорания и длительности горения.

Было исследовано влияние содержания алюминия в составе экзотермических смесей на время поджига и время горения вставок. Данные полученных результатов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Состав экзотермических смесей

п/п	Содержание компонентов, %				Температура поджига, °С	Время поджига, τ, сек	Время горения, τ, сек
	Al	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ NO ₃			
1	25	35	40	—	950	5	28
2	21	35	44	—	950	15	35
3	16	35	49	—	950	60	45
4	16	35	46	3	950	55	45
5	21	35	41	3	950	35	30

Анализ полученных данных показал, что при содержании Al в составе смеси 25% , что соответствует оптимальному содержанию, рассчитанному по реакции:



время возгорания составляет 4-5 сек, а длительность горения 28 сек.

Снижение добавки Al до 21%, замедлило возгорание вставки до 15 сек, при этом также и увеличилась длительность её горения до 35 сек. При дальнейшем снижении содержания алюминия время поджига повысилось до 60 сек и процесс горения проходил с низкой скоростью и неравномерно.

С целью повышения скорости реакции окисления алюминия в экзотермической смеси с содержанием его 16% в состав №4 дополнительно ввели 3% Na_2NO_3 . Однако это не значительно повлияло на время поджига. Но при добавке такого же количества Na_2NO в экзотермическую смесь содержащую 21% Al время поджига составило 35 сек, что соответствует периоду заполнения и кристаллизации отливки ступица колеса прицепа.

По результатам экспериментальных работ были изготовлены экзотермические вставки и в условиях сталелитейного цеха №2 проводились опытные плавки с их использованием.

Применение экзотермических вставок позволило получить отливки ступица колеса прицепа без дефектов, при этом вес прибылей уменьшился примерно на 8-10%.

Материаловедение в машиностроении

Магистрант Стрижевская Т.Н.
Научный руководитель - Константинов В.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Анализ тенденций развития энергосберегающих технологий термической обработки позволил классифицировать проводимые в настоящее время мероприятия по энергосбережению:

- 1) создание нового энергосберегающего термического оборудования;
- 2) реконструкция отслужившего свой срок термического оборудования;
- 3) энергосберегающая оптимизация режимов и технологий термической обработки.

Невозможность замены всего парка печей на новый в первую очередь по экономическим причинам требует проведения реконструкции отслужившего свой срок термического оборудования. Реконструкция предполагает два основных варианта:

- a) полная реконструкция;
- b) частичная реконструкция.

Полная реконструкция печи включает в себя:

- 1) замена изоляции всей печи на волокнистые теплоизоляционные материалы;
- 2) замена газогорелочной системы печи;
- 3) установка или модернизация имеющихся систем рекуперации тепла;
- 4) установка систем управления печью.

Частичная реконструкция печи включает:

1) выполнение местной теплоизоляции горячих зон кожуха волокнистыми материалами (например, места подвода термодар, расположения горелок, дверцы разгрузки-выгрузки, другие технологические проемы и отверстия);

- 2) замена газогорелочной системы и системы управления печи;
- 3) установка рекуператоров;
- 4) для электрических печей доработка конструкции или замена электронагревателей.

Способы экономии энергии при эксплуатации термического оборудования различают также и объемами вложенных в них затрат. Существуют пути экономии энергии при эксплуатации термического оборудования, которые не требуют значительных затрат:

- 1) использование не менее 70% рабочего пространства оборудования;
- 2) составление оптимальных графиков загрузки-выгрузки;
- 3) эксплуатация печей в продолжительном режиме;
- 4) контроль и учет потребления энергоносителей;
- 5) использование вторичных энергоресурсов.

Пути экономии энергии при эксплуатации термического оборудования, которые требуют значительных затрат:

- 1) уменьшение собственной термической массы в виде загрузочных средств, инструмента, оснастки и т.д., обеспечение быстрой и экономичной загрузки;
- 2) использование новой техники герметизации;
- 3) реконструкция дуговых печей переменного тока за счет перевода их на постоянный ток. Это позволяет снизить расход электроэнергии на 10...15%, в 2-5 раз расход электродов, на 20...30% расход огнеупорных материалов, на 1,5...2% - исходного сырья и дорогостоящих легирующих добавок на 20...60%;
- 4) переход на малотоннажное термическое оборудование (малоинерционность, модульные конструкции, многоцелевое назначение);
- 5) рациональное распределение мощности внутри объема термического оборудования (реконструкция нагревателей, применение принудительной конвекции).

При модернизации уменьшаются потери энергии в уже действующем оборудовании, но не изменяются сами принципы технологии и техники.

Сточки зрения режимов термической обработки можно выделить следующие пути экономии энергоресурсов:

- 1) использование защитных атмосфер вместо воздуха при нагреве выше 600°C. Это уменьшает или полностью исключает потери от образования и удаления окалины;
- 2) применение высокотемпературной термической обработки в вакууме;
- 3) применение кипящего слоя как среды нагрева;
- 4) переход на поверхностный нагрев там, где можно не осуществлять объемный (скоростной) нагрев, нагрев ТВЧ, ТПЧ, индукционный);
- 5) ускорение диффузионных процессов при термической обработке стальных деталей из среднеуглеродистых и низколегированных сталей. В процессах термической обработки используется длительная выдержка детали при высоких температурах. Эта выдержка необходима для полного протекания

фазовых превращений (например, перлитно-аустенитного при нагреве под закалку углеродистых сталей), гомогенизации твердого раствора (аустенита). Поскольку коэффициент температуропроводности стали значительно превышает коэффициент диффузии, то время выдержки определяется в основном не временем выравнивания температуры по сечению детали (кроме случая крупногабаритных деталей, когда медленный или ступенчатый нагрев необходим для предотвращения деформации и/или растрескивания), а временем, необходимым для достаточно полного протекания диффузионных процессов. Эта стадия операции термообработки является наиболее длительной и, следовательно, самой энергоемкой, поскольку происходящие во время изотермической выдержки физико-химические и структурные превращения лимитируются весьма медленным процессом – твердофазной диффузией. Возможность ускорения гомогенизации аустенита в процессе выдержки деталей при термической обработке свидетельствует о возможностях экономии энергоресурсов на 10-15 %;

б) замена улучшения нормализацией с учетом фактора ускорения протекания диффузионных процессов для некоторых случаев;

7) использования ковочного тепла для подготовки структуры стальных поковок к окончательной термической обработке.

Экономия энергоносителей при этом может составлять от 20% до 60% за счет уменьшения затрат и времени на разогрев печей, уменьшения теплотерь и потребляемой мощности, сокращения продолжительности ремонтов и межремонтных простоев, а также увеличения производительности печей.

УДК 621.785

Анализ возможности использования металлических отходов для наплавки в условиях РУП «МЗШ»

Магистрант Щербаков В. Г.

Научный руководитель - Константинов В.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Известно, что специализированных порошковых материалов для получения слоев, обладающих повышенной абразивной износостойкостью и в то же время не высокой ценой нет. Номенклатура порошковых материалов ограничена и в то же время является универсальной. Разработки этих сплавов проводились еще 10-50 лет назад. И все чаще возникает проблема выпуска не серийных партий наплавочных материалов, а необходимых в данный момент со всеми требуемыми определенными характеристиками.

Активно развиваются исследования в области экономного легирования наплавочных материалов для создания, прежде всего износостойких покрытий. Отличительными особенностями такого рода материалов является возможность создания узкоспециализированного сплава с широкими возможностями получения износостойких слоев и низкой стоимости.

На РУП «МЗШ» была поставлена задача, проверить возможность использования отходов чугуной колотой дроби ДЧЛ 08, после дробеструйной и дробеметной обработки, в качестве основы для изготовления наплавочного материала. Для анализа была выбрана дробь размером 0,4 – 0,5 мкм. Диффузионное легирование (борирование в карбиде бора) осуществляли в лаборатории кафедры на установке для диффузионного легирования, с вращающимся контейнером, изготовленной аспирантом кафедры Стефановичем А. В. Состав смеси: [90% ДЧЛ08 + 10% В₄С]+2% NH₄Cl. Температура обработки составляла 910 - 930°C. Время выдержки 1 час. Охлаждение контейнера производили на воздухе.

Шлифы дроби (исходной и борированной) и наплавленных слоев предварительно подвергали шлифованию. Твердость дроби и слоев измеряли на микротвердомере ПМТ-3 с нагрузками на индентор 50 и 200 г. соответственно. Микроструктура исходной дроби представляет собой мелкодисперсный ледебурит с мелкими включениями сорбита и тростита отпуска, а также карбидную фазу, входящую в состав эвтектики. Микроструктура борированной колотой дроби представляет собой металлическое ядро с выделившимися во время ХТО графитными включениями, боридную оболочку с более мелкими, но выраженными в большем количестве включениями графита, предположительно вследствие интенсификации графитизации при обработке во вращающемся контейнере. И переходную зону, также с включениями графита.

Наплавку смесей осуществляли на участке упрочнения РУП «МЗШ». Составы смесей для наплавки выбирались экспериментально и имеют следующие составы: 1 – 35% ДЧЛ 08 + 35% ФБХ-6-2 + 30% Жидкое стекло и 2 – 70% ДЧЛ 08 + 30% Жидкое стекло. Слои, полученные индукционной наплавкой, имеют доэвтектическую структуру: бористый феррит и эвтектика – железо и бороцементит. Микротвердость слоев составляет 6449 – 11440 МПа и 7385 – 12380 МПа соответственно.

Наличие в наплавленном слое №1 первичных карбидов правильной геометрической формы свидетельствует о полном расплавлении во время процесса наплавки. А чрезмерное развитие доэвтектической зоны в наплавленном слое №2 указывает на перегрев расплавленного сплава. Также в сечении слоев присутствуют темные участки, представляющие собой подкорковые пористости, вызванные

неудачными режимами наплавки и нецелесообразно завышенными толщинами исходных слоев для наплавки.

Наличие подкорковой пористости в наплавленных слоях не является сдерживающим фактором для дальнейшего изучения возможности замены наплавочного порошка ФБХ на борированные отходы чугунной колотой дроби. Твердость полученных слоев является достаточной для использования по назначению, а макродефекты в наплавленном слое вызваны не правильными подготовительными процессами перед наплавкой. Их следует изучить и найти оптимальные параметры между получаемой толщиной наплавленного слоя, исходным наплавляемым составом и параметрами наплавки.

УДК 621.793.

Исследование влияния состава плакирующего слоя на микрогеометрию подложки при напылении порошка NiCrBSi

Студент гр. 104213 Ильченко Н.В.
Научный руководитель – Соколов Ю.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В практике формообразования методом плазменного напыления порошков для предотвращения приваривания частиц порошка к подложке и снижении эрозионных процессов, определяющих микрогеометрию (параметр шероховатости) подложки на поверхность последней наносят плакирующий слой.

Целью настоящей работы является установление некоторых закономерностей структурообразования напыленных покрытий со стороны подложки, а также особенностей разрушения разнотипных по составу плакирующих слоев вследствие эрозионного изнашивания при контактном взаимодействии с частицами порошка, имеющими высокую тепловую и кинетическую энергию.

Исследовали два типа плакирующих слоев, полученных:

- электролитическим осаждением хрома на подложку из стали 45 (хромовый слой);
- термодиффузионной обработкой стали 45 в хромосодержащей смеси (карбидный слой).

О степени эрозионного изнашивания судили по изменению параметра шероховатости Ra (среднеарифметическому отклонению профиля микронеровностей) поверхности подложки в зависимости от кратности напыления. Измерение параметра Ra проводили с помощью профилографа – профилометра (типа А1 модели 252). Перед испытаниями поверхность подложки с плакирующим слоем полировали до шероховатости, соответствующей Ra = 0.032...0.060 мкм. Подложку с хромовым слоем дополнительно окислили при температуре 700 °С в течение 1ч. до получения на поверхности пленки оксида хрома Cr₂O₃, предотвращающей приваривание распыляемых частиц к поверхности подложки.

Установлено, что ухудшение параметра шероховатости Ra хромового слоя наблюдается уже после 2-х кратного напыления. После 4...5 кратного напыления происходит приваривание частиц порошка к поверхности подложки вследствие образования «кратеров» разрушения слоя. Параметр шероховатости на последнем этапе испытаний достигает 2.0...2.3 мкм.

Карбидный плакирующий слой показал более высокую стойкость против эрозионного изнашивания. Разрушение слоя начинается с изменения микрогеометрии поверхности подложки. В результате многократных теплосмен и деформационных воздействий на слой частиц распыляемого порошка в слое образуются трещины. Однако, они не получают дальнейшего развития из-за высокой твердости слоя и малой глубины проникновения частиц в трещины – раскрытие трещин не происходит вплоть до завершения испытаний. Приваривание порошка к плакирующему слою происходит частично лишь после 9..10 кратного напыления при сохранении параметра шероховатости Ra слоя на уровне 0.2..0.4 мкм.

Установленная зависимость позволяет обоснованно подойти к выбору типа плакирующего слоя подложки и повысить тем самым эффективность процесса плазменного формообразования.

УДК 669.715:621.78

Оптимизация термообработки сплава Д16

Студенты гр. 104512 Анискевич М.В., гр. 104513 Харитонович А.А.
Научный руководитель – Протасевич Г.Ф.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

История алюминиевых сплавов начинается с открытия в 1906 г. Альфредом Вильмом первого термически упрочняемого сплава. Предложенный им сплав дуралюмин содержал 4% Cu; 0,5% Mg и 0,5% Mn. Сплавы типа дуралюмин, такие как Д1 и Д16, широко распространены в современной промышленности.

Хотя по прочности дюралю и уступают сталям, но по удельной прочности (отношение временного сопротивления к плотности) превосходят их. Это обеспечило широкое применение алюминиевых сплавов в авиации и ракетной технике.

Вильям разработал и новый способ упрочнения сплавов – закалку с последующим старением. Цель закалки – получить в сплаве пересыщенный твердый раствор с максимальным содержанием легирующих элементов. Такое состояние обеспечивает возможность дальнейшего упрочнения при последующем старении.

Закалка алюминиевых сплавов заключается в нагреве их до температуры, при которой легирующие компоненты, находящиеся в интерметаллидных фазах, полностью или частично растворяются в алюминии, выдержке при этой температуре и быстром охлаждении до низкой температуры (10...20°C). Температура нагрева под закалку составляет для Д16 составляет 495-505 °С, но из-за колебания химсостава сплава ее желательно определять для каждой партии индивидуально.

Нагрев закаленных дюралю до температур 100...200 °С и выдержку при этих температурах от нескольких часов до нескольких десятков часов называют искусственным старением. При выборе режима старения (температура и продолжительность), как правило, исходят из условия обеспечения максимальной прочности.

В последние годы есть тенденция некоторого перестаривания сплавов для достижения более высокой конструктивной прочности – сочетания оптимальной прочности и вязкости.

В 2007 г. Были проведены исследования партии сплава Д 16 по выбору факторов термообработки и определены условия ее оптимизации, приведенные в таблице.

Таблица – Матрица планирования и условия проведения опытов

Характеристика	Факторы					Параметры оптимизации	
	Фиктивная переменная	Температура нагрева под закалку	Время выдержки	Температура старения	Время старения	твёрдость	Ударная вязкость
Размерность	-	°С	мин	°С	часы	НВ	кгс*м/см ²
Код	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	У ₁	У ₂
Основной уровень	-	495	40	200	6		
Интервал варьирования	-	10	20	50	2		
Верхний уровень	-	505	60	250	8		
Нижний уровень	-	485	20	150	4		
Опыты							
1	+	-	-	-	-		
2	+	+	+	-	-		
3	+	+	-	+	-		
4	+	+	-	-	+		
5	+	-	+	+	-		
6	+	-	+	-	+		
7	+	-	-	+	+		
8	+	+	+	+	+		

УДК 621.791.92

Исследование структуры отходов быстрорежущей стали после цементации

Студенты гр. 104513 Шахно А.А., Холод А.Г.
 Научный руководитель - Стефанович А.В.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Целью настоящей работы является исследование закономерностей формирования структуры по сечению стружки быстрорежущей стали Р6М5 после цементации.

По литературным данным [1] наплавочные материалы системы Fe-C- легирующий элемент, обеспечивающие высокую износостойкость при ударно-абразивном нагружении, должны иметь следующую структуру: 20-40% твёрдой фазы, чаще всего это карбиды или карбонитриды и металлическую матрицу,

состоящую из мартенсита и аустенита. С увеличением содержания аустенита пластичность наплавленного слоя повышается, что позволяет резко снизить износ за счет уменьшения выкрашивания слоя в зоне трения.

Получение данных материалов для наплавки возможно при использовании отходов быстрорежущих сталей (ОБС) предварительно подвергнутых цементации и нитроцементации. [2]

Насыщение углеродом ОБС проводили в порошковых смесях на основе угля и карбонатов щелочных металлов при температурах 950 и 1050° С в течении 1, 2, 4 часов. В качестве отходов ОБС использовалась стружка толщиной 10...50 мкм и линейными размерами до 400мкм.

Микроструктура ОБС после цементации представлена на рис. 1. Как видно из рисунка 1. ОБС после насыщения содержат повышенное количество карбидной фазы по всему сечению стружки и её количество в структуре зависит от следующих параметров:

1) температуры и времени насыщения, чем выше температура насыщения и время выдержки, тем больше карбидов в структуре (рис. 1 а, б).

2) при одинаковых температурновременных параметрах цементации больше карбидов содержится у стружки меньшей толщины (рис.1в), так как сквозное насыщение углеродом происходит раньше, чем стружки большей толщины.

3) от трещин в стружке, по которым происходит диффузия углерода и образуется сплошной слой карбидной фазы (рис. 1г).

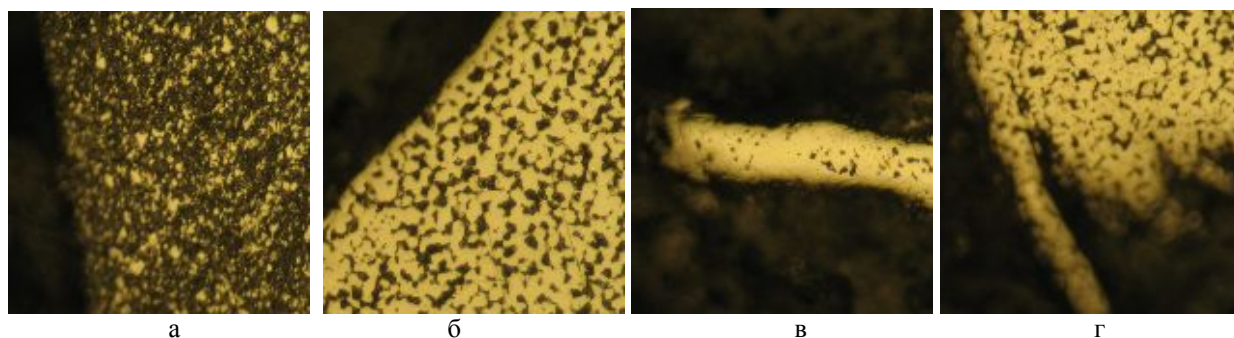


Рисунок 1- Микроструктура ОБС : а – без ХТО; после цементации 950°С (б) – 1050°С (в, г). х500

Химический анализ на углерод показал следующее, что в зависимости от значения температурновременных параметров цементации содержание углерода в ОБС колеблется в широких пределах (табл. 1). Так при насыщении при 950°С и выдержки 1 час в ОБС содержится 2,19% углерода, а при выдержки 4 часа 2,72%. Повышение температуры до 1050°С приводит к значительному повышению углерода в ОБС от 4,61% при выдержке 1 час до 5,16% при выдержке 4 часа.

Таблица 1 – Содержание углерода (%) в ОБС после цементации

Температура, °С	Время выдержки, ч		
	1	2	4
950	2,19	2,38	2,72
1050	4,61	4,92	5,16

Литература

1. Лифшиц Л.С. Наплавочные материалы и технология наплавки для повышения износостойкости и восстановление деталей машин. / Сварочное производство, 1991, №1, с. 15-17.

2. Получение наплавочных сплавов с карбидным упрочнением из цементованной стружки инструментальных сталей / А.В. Стефанович, В.М. Константинов // Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин: материалы VI республ. науч.-техн. конф. – Новополоцк, 2007. – Т.1 – с.98-101.

УДК 693.22.004.18

Фрактография усталостных изломов

Студентка гр. 104213 Залужная О.Г.

Научный руководитель – Константинов В.М.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Усталостные изломы — изломы, происходящие после многократного нагружения (сотни тысяч и миллионы циклов) при напряжениях ниже предела текучести материала и даже в несколько раз более низких. Этим объясняется отсутствие следов пластической деформации на участке собственно усталостного

развития излома. Усталостные изломы, как и другие типы изломов, имеют фокус, очаг разрушения, зону развития магистральной усталостной трещины и зону долома. Наиболее характерной их чертой является наличие зоны развития усталостной трещины, которая включает в себя участки медленного избирательного развития (иногда называемой зоной «отдыха») и ускоренного развития. Зона развития усталостной трещины не имеет фасеток и выраженных волокон металла, характеризуется наибольшим блеском, иногда до зеркального.

Другой характерной только для усталостных изломов особенностью является образование усталостных линий. Последние представляют собой границы уступов или зон с различной шероховатостью на поверхности усталостной трещины.

Образование усталостной линии обусловлено изменением режима нагружения и скорости роста усталостной трещины, изменением направления роста трещины при видимом непрерывном ослаблении «живого» сечения детали. Поэтому чем больше усталостных линий на изломе, тем в больших пределах менялся режим работы исследуемой детали. В экспертной практике часто исследуют усталостный излом шаровых пальцев. Практически у каждого усталостного излома рисунок усталостных линий сугубо индивидуален и отражает особенность режима эксплуатации конкретного автомобиля.

Приведена схема строения усталостных изломов при нагружении различных видов.

Число усталостных линий не зависит от размеров излома, геометрической формы концентратора напряжений в фокусе усталостного излома. Однако влияние концентратора сказывается на расположении (форме) усталостных линий на изломе, которые около точечного концентратора напряжений и очага разрушения обычно имеют форму (при нагружении изгибом) концентрических окружностей с центром в фокусе. Около концентраторов вытянутой формы (трещины, подрезы) усталостные линии имеют плавную форму огибающих концентратора. Форма усталостных линий зависит и от внешней конфигурации деталей: они перпендикулярны к внешней границе илома. Усталостные линии не пересекаются между собой, хотя и могут касаться (в случае, если распространяются из одного фокуса), что отличает их от линий Вальнера.

Граница между зоной собственно усталостной трещины и зоной долома не всегда резкая, особенно если последняя мала по сравнению с площадью всего излома. Перед окончательным разрушением образца или детали образуется зона ускоренного роста усталостной трещины, так как даже при сохранении величины внешних нагрузок прочность детали вследствие перерезания ее усталостной трещиной понижается, что увеличивает скорость роста трещины. Это также является причиной того, что усталостные линии при приближении к зоне долома обычно сгущаются. При ускоренном развитии трещины увеличивается шероховатость поверхности излома.

На последней стадии развития усталостной трещины, когда действующие нагрузки достаточны для однократного (малократного) разрушения детали, ослабленной трещиной, образуется зона долома и происходит разделение детали на части. Обычно зона долома имеет (особенно при однократном доломе) признаки хрупкого излома и лишь у очень пластичных материалов — волокнистое строение. Размер этой зоны относительно всей поверхности излома зависит от величины нагрузки и чувствительности материала к концентрации напряжений, причем роль концентратора играет сама усталостная трещина. Большая зона долома свидетельствует о большой величине нагрузки при окончательном изломе.

Помимо типично усталостных изломов целесообразно отметить следующие группы изломов с усталостными трещинами:

- а) повторно-усталостные, или малоцикловые;
- б) коррозионно-усталостные;
- в) питтинг, или контактное усталостное выкрашивание, называемое также шелушением или осповидным износом.

УДК 621.791.92

Исследование фазового состава быстрорежущей стали после нитроцементации

Студенты гр. 104513 Шахно А.А., Холод А.Г.
Научный руководитель - Стефанович А.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью данной работы является исследование фазового состава отходов быстрорежущей стали (ОБС) после нитроцементации.

ОБС толщиной 10...50 мкм и линейными размерами 100...400 мкм подвергали нитроцементации в порошковых смесях на основе угля и азотосодержащих солей при температурах 550, 600, 860°С в течении 1,4 часов. Насыщение при температуре 550°С обеспечивает преимущественное насыщение азотом; 600°С приблизительно равное насыщение азотом и углеродом; 860°С преимущественное насыщение углеродом. ОБС после нитроцементации подвергали размолу с целью устранения влияния поверхностного слоя на результаты исследования. Так после нитроцементации при температуре 550°С на поверхности образуется

белая фаза (рис. 1а), которая может исказить результаты исследования. При нитроцементации 860°С происходит сквозное насыщение ОБС и структура по сечению стружки практически одинаковая (рис. 1б).

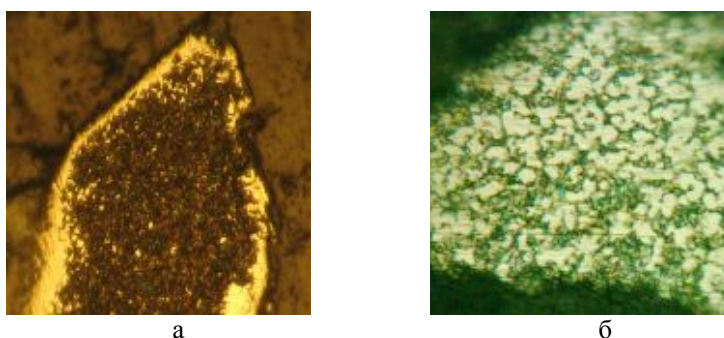


Рисунок 1 – Микроструктура ОБС после нитроцементации 550°С (а) и 860°С (б) x500

Рентгеноструктурный анализ проводили на аппарате ДРОН-3 с медным излучением. Съемку проводили под углами 23...90°. Расшифровку рентгенограмм проводили по общепринятой методике [1] используя каталог Power diffraction file Compiled by the JCPDS. Считали, что фаза присутствует в структуре, если на рентгенограммах присутствовало не менее трех линий с максимальной интенсивностью.

В результате расшифровки рентгенограмм были определены следующие фазы (рис 2). В ОБС не подвергнутых химико-термической обработке обнаружены фазы α -Fe и карбидов M_6C . После нитроцементации 860°С в течении 1 часа дополнительно к линиям α -Fe и M_6C появляются линии с низкой интенсивностью цементита Fe_3C соответствующие углам $2\theta = 45,065^\circ$; $2\theta = 45,872^\circ$; $2\theta = 49,271^\circ$ (рис. 2). Увеличение времени насыщения до 4 часов при 860°С приводит к появлению нитридной фазы $(Cr,Fe)_2N_{1-x}$ (линии соответствующие углам $2\theta=39,917^\circ$; $2\theta=42,885^\circ$; $2\theta=74,225^\circ$). Снижение температуры нитроцементации до 600°С приводит к появлению линий фазы Fe_3N соответствующих углам $2\theta=37,673^\circ$; $2\theta=43,288^\circ$; $2\theta=57,007^\circ$. Наиболее сильно изменяется фазовый состав ОБС после насыщения азотом и углеродом при 550°С в течении 1 часа. Интенсивность линий α -Fe и карбидов M_6C сильно снижается, а интенсивность линий Fe_3N , Fe_3C и $(Cr,Fe)_2N_{1-x}$ увеличивается. Фиксируются линии карбонитридных фаз $Cr_{0.63}$, $Cr_{0.35}$, $M_4(C,N)$.

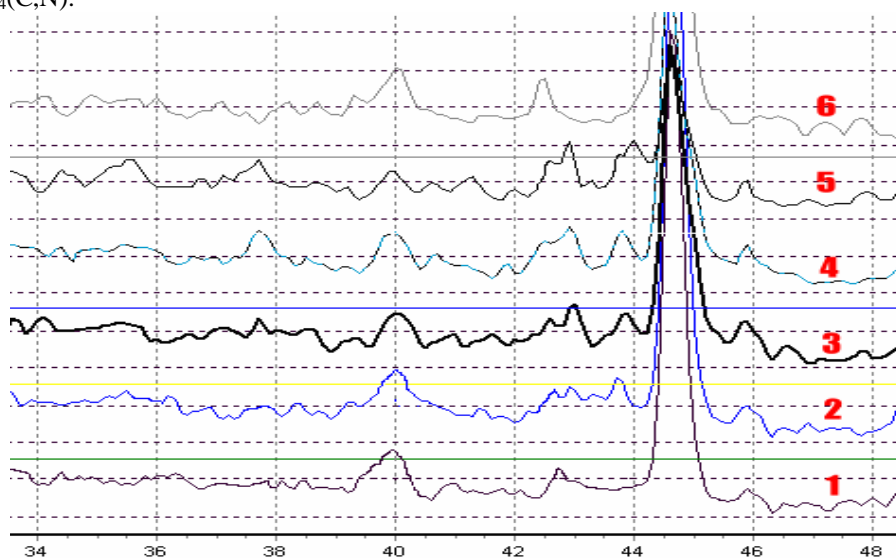


Рисунок 2 – Рентгенограммы ОБС после нитроцементации: 1- $t=860^\circ C \tau=1$ ч; 2 - $t=860^\circ C \tau=4$ ч; 3 - $t=600^\circ C \tau=1$ ч; 4 - $t=600^\circ C \tau=4$ ч; 5 - $t=550^\circ C \tau=1$ ч; 6 – без ХТО

Таким образом в результате исследований фазового состава ОБС после нитроцементации установлено, что в стружке появляется цементит, нитридные и карбонитридные фазы. В качестве металла в нитридных и карбидных фазах выступают железо и хром. Сильные карбидообразующие элементы в быстрорежущих сталях такие как V, W, Mo практически полностью связаны в первичные и вторичные карбиды, которые при температурах насыщения не растворяются. Поэтому в образовании новых фаз в процессе нитроцементации участвуют элементы входящие в феррит. По данным [1] феррит после отжига содержит 1,9%Cr; 0,8%W; 0,5%V остальное железо.

Литература

1. Миркин. Л.И. Рентгеноструктурный анализ. М. Наука, 1976, 327с.
2. Геллер Ю.М. Инструментальные стали. М. Металлургия, 1983, 527с.

Особенности фрактографического исследования разрушений деталей транспортных средств

Студентка гр. 104213 Залужная О.Г.
Научный руководитель – Константинов В.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Вид излома детали в определенной степени представляет собой отображение процессов, которые происходили при ее разрушении. Значение фрактографии для металловедения определяется тем, что она, во-первых, является эффективным средством анализа причин образования повреждений, а во-вторых, обеспечивает получение новой информации относительно микромеханизмов разрушения (излома) и внутренних особенностей структуры твердого тела.

Поскольку вид излома в определенной мере представляет собой своеобразную фотографию тех процессов, которые происходили при разрушении исследуемого объекта, фрактография является одним из основных источников информации о причинах и характере разрушения деталей.

В работе приведены основные термины и определения, используемые при описании макро- и микрорельефа изломов.

В настоящее время для исследования изломов применяют как традиционные оптические методы макро- и микроанализа с помощью бинокулярных металлографических микроскопов, позволяющих получать увеличение от 40 до 900 крат, так и использовать физические методы электронной микроскопии, которые позволяют изучить характерные особенности тонкого строения изломов.

Макростроение излома отражает характер действующих напряжений, степень перегрузки, расположение и характер очага разрушения, постоянство или изменение кинетики и фронта развития трещины, влияние остаточных напряжений, внешней среды и др. Расположение очага разрушения позволяет судить о степени влияния конструктивных, технологических и структурных концентраторов напряжений, а также дефектов металла, которые в одних случаях являются причиной поломки, а в других их влияние настолько мало, что даже не определяют совпадение очага разрушения с дефектом или концентратором. В задачу фрактографии, прежде всего, входит идентификация разновидностей разрушения с учетом всего многообразия в зависимости от вида нагружения (статическое, повторно-статическое, динамическое, усталостное).

Микростроение изломов раскрывает глубинные механизмы развития трещин, позволяет установить причинно-следственную связь между условиями нагружения детали и качеством материала.

Методы изучения вида изломов на микро- и макроуровнях дополняют друг друга.

Практические вопросы о причине разрушения деталей, решаются по результатам фрактографических исследований, т.е. путем анализа признаков излома, выявленных при сопоставлении структуры и свойств материала с характером действующей нагрузки.

Приведена классификация изломов по основным признакам макро- и микростроения.

Анализ причин разрушения материала труб полотенецсушителей

Студенты гр. 104513 Шахно А.А., гр. 104214 Генюш И.П., Гегеня Д.В.
Научные руководители – Стефанович В.А., Борисов В.Г.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью данной работы является установление причин точечного разрушения трубчатых элементов полотенецсушителей.

Трубчатые элементы полотенецсушителей выполнены из стальной трубы диаметром – 27мм, толщиной стенки 1,2 мм и покрыты эпоксидной эмалью.

Химический анализ исследуемой стали представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав исследуемой стали, %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Cu
0,012	0,007	0,200	0,019	0,0032	0,035	0,022	0,045	0,020

Стали, из которых изготавливают трубы, представлены таблице 2.

Таблица 2 - Химический состав стандартных сталей.

Марка стали	ГОСТ	Химический состав, %						
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu
Ст1кп	380-2005	0,06	<0,03	0,25...0,60	<0,040	<0,050	<0,035	<0,4
05кп	1050-88	<0,06	<0,03	<0,40	<0,030	<0,035	<0,100	<0,2
СК10 (С10Е)	DIN 1.1121	0,07...0,13	≤0,40	0,30...0,60	≤0,035	≤0,035	-	-

Исследуемая сталь является низкоуглеродистой. По содержанию серы и фосфора сталь можно отнести к высококачественной. По степени раскисления к кипящей. Содержание элементов раскислителей в исследуемой стали минимально, так содержание кремния 0,007%, марганца 0,2%, алюминия 0,045%. Исследуемая сталь раскислена только марганцем, содержание которого в 1,2...2,5 раза меньше, чем у кипящей стали (0,25...0,5% Mn). Слабое раскисление исследуемой стали обуславливает повышенное содержание кислорода, который находится в виде неметаллических включений.

Представленный для анализа трубчатый элемент имел коррозионное повреждение – сквозное отверстие в стенке трубы диаметром – 3мм на внешней поверхности. Внутренняя поверхность очага коррозионного поражения имела коническую грубую поверхность со следами продуктов коррозии.

Данное локальное коррозионное повреждение трубы представляет собой питтинг – точечную коррозию. Возникновение питтинга в малоуглеродистых сталях связывают с наличием повышенного количества неметаллических включений, выходящих на поверхность металла, соприкасающуюся с коррозионной средой.

Границы металла, соприкасающиеся с неметаллическими включениями являются анодами по отношению к включениям, что приводит к их быстрому разъеданию (рисунок 1, а).

По мере развития питтинга (рисунок 1, б) происходит выпадение неметаллического включения (рисунок 1, в) в электролит и дальнейшее развитие локальной коррозии происходит путем возникновения аэроционных пар – щелевая коррозия. В процессе роста питтингов их число практически не увеличивается. Это связывают с тем, что возникли питтинги, работающими анодами, они играют роль протекторов и тем самым резко уменьшают вероятность появления новых питтингов.

На представленном для анализа трубчатом элементе был проведен металлографический анализ, на наличие неметаллических включений (рисунок 2).

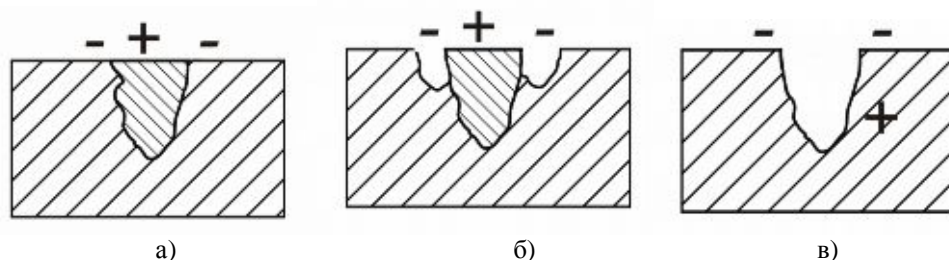


Рисунок 1 – Развитие коррозионного разрушения металла в зоне неметаллического включения: а – начало питтинга; б – развитие питтинга; в – выпадение неметаллического включения и переход питтинга в щелевую коррозию.

Проведенный анализ выявил в структуре стали наличие следующих неметаллических включений:

- а) оксиды точечные, расположенные группами в виде строчек по направлению оси трубы (прокатки).
- б) оксиды точечные, расположенные по всей плоскости шлифа;
- в) пластинчатые силикаты вытянутые вдоль оси проката;
- г) глобулярные или неправильной формы включения недеформируемых единичных или групповых силикатов.

Исследование на загрязненность неметаллическими включениями труб полотенцесушителя показало, что распределение неметаллических включений по длине и сечению трубы неравномерно: в отдельных местах загрязненность в 3...5 раз больше, чем других. Данные очаги повышенной загрязненности неметаллическими включениями, особенно крупными (рисунок 2), являются местами локального коррозионного разрушения трубы.



Рисунок 2 – Микроструктура продольного шлифа в зоне максимального загрязнения неметаллическими включениями x100

Таким образом, высокая загрязненность неметаллическими включениями в отдельных местах трубы является причиной высокой коррозии, что приводит к нарушению сплошности трубы в процессе эксплуатации

УДК 693. 22. 004. 18

Позднее внутриформенное графитизирующее модифицирование – эффективный способ предотвращения отбела в чугуном литье

Студент гр. 104213 Михайловская Т.В.
Научный руководитель – Щербаков Э.Д.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью данной работы является усиление внимания к проблеме отбела в чугуновых отливках. Способ введения модифицирующей добавки в расплав чугуна в значительной степени определяет кинетику первичной кристаллизации сплава. Принципиальное отличие внутриформенного модифицирования от ковочного способа обработки расплава чугуна заключается в реализации так называемого «позднего» модифицирования, когда время между операцией модифицирования и началом кристаллизации отливок сведено к минимуму. Особенно сильно воздействие этого фактора сказывается на процессе зарождения и роста графитной фазы. При вводе ферросилиция с активными элементами в расплав чугуна возникает, как термическая, так и химическая неоднородность расплава (по типу образования микрозон, обогащенных кремнием). Все это интенсифицирует процесс графитизации вследствие высокой каталитической активности дополнительных центров кристаллизации.

Присутствие редкоземельных и щелочноземельных элементов в модификаторе для вторичного графитизирующего модифицирования чугуна – позволяет стимулировать графитизацию за счет «замутнения» расплава дисперсными включениями – подложками для кристаллизации графита. Это приводит к увеличению удельного числа включений графита на единице площади.

Вместе с тем взаимодействие модификатора с жидким чугуном обусловлено введением в расплав элементов, активно реагирующих с примесями – серой, кислородом и другими металлоидами. Образующиеся неметаллические включения могут являться дополнительными подложками для кристаллизации таких центров графитных включений.

Присутствующие в сплавах неметаллические включения, в зависимости от характера их образования, разделяются на экзогенные, поступающие из печи, шлака, футеровки, формовочной смеси, и эндогенные – продукты сложных физико-химических процессов в жидком, затвердевающем и твердом металле.

Исследовали влияние состава модификатора на склонность чугуна к кристаллизации с образованием структурно-свободного цементита. В качестве графитизирующих модификаторов использовали Superseed 75 фирмы Elkem, SB5 фирмы SKW Giesserei и ФС65РЗМ1 с активными добавками. В качестве активных добавок использовались сложные железоорганические соединения.

Модификаторы разрабатывались до фракционного размера 0,1-1,0 мм и затем спрессовывались в цилиндрические таблетки для внутриформенного графитизирующего модифицирования. Исследования проводились на образцах, отлитых по оснастке, выполненной в виде «клиньев» с целью измерения величины отбела.

Прессованные модификаторы (цилиндрические таблетки) устанавливались на стеклофильтр под стояк.

Плавка чугуна осуществлялась в тигельной печи ИСТ – 016. Химический состав чугуна из печи С - 3,3%, Si – 2,1%, Mn – 0,7%, Cr – 0,12%, P-0,1%, S – 0,04%.

Заливка литейных форм расплавом чугуна производилась при различных температурах 1350⁰С, 1400⁰С и 1450⁰С. Расход пресованных модификаторов составлял 0,05% к металлоемкости литейных форм. Для сравнения проведена серия экспериментов, в которой использовались те же модификаторы по химическому составу:

Superseed 75, SB 5, ФС 65 РЗМ1 фракцией 0,8..10 мм. Графитизирующее модифицирование осуществляли в ковше металлоемкостью 100 кг. Обработка производилась при тех же температурах – 1350⁰С, 1400⁰С и 1450⁰С. Расход графитизирующих модификаторов составил 0,3%. После снятия шлака с зеркала металла, заливались формы с «клиньями» для определения отбела, такие же, как и в экспериментах с пресованными модификаторами

Анализ полученных данных показывает, что вариант позднего внутриформенного графитизирующего модифицирования имеет ряд преимуществ перед традиционным методом ковшового графитизирующего модифицирования фракционированными кусковыми модификаторами. В первую очередь, более эффективное устранение отбела при равных условиях температурного воздействия и кристаллизации отливок, а так же значительно меньшие расходные характеристики – 0,05%, вместо 0,3%.

Таким образом, исследования показали эффективность способа позднего внутриформенного графитизирующего модифицирования всех трех составов модификаторов, по сравнению с ковшевым модифицированием, для устранения такого распространенного литейного дефекта – кромочного отбела. При этом таблетированный модификатор ФС 65 РЗМ 1 с железоорганическим связующим для внутриформенного модифицирования обеспечил минимальные значения величины отбела в чугуне.

В развитие решения данной проблематики научно-производственное предприятие ОДО «Эвтектика» разработало химический состав, способ специальной подготовки модификаторов для поздней внутриформенной обработки под техническим наименованием : «Присадка графитизирующая для снятия отбела в чугуне» ТУ ВУ 100196035.008-2006. Присадки графитизирующие производят массой от 5 до 300 грамм, т.е. для литейных форм металлоемкостью от 10 кг и до 1 тонны, чтобы удовлетворить технологические и технические потребности литейщиков.

УДК 669.046

Химико-термическая обработка с использованием метода металлотермии

Студент гр. 104513 Ушаков В.Н.

Научный руководитель – Протасеви Г.Ф.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Целью настоящей работы является описание метода металлотермии, как одного из способов повышения свойств поверхностных слоев деталей машин и инструмента.

В настоящее время известно много способов повышения свойств поверхностных слоев деталей машин и инструмента, однако часто предпочтение отдают химико-термической обработке. При химико-термической обработке диффузионное легирование поверхностных слоев обрабатываемого металла или сплава позволяет не только резко повысить прочностные характеристики, но изменить химические и физические свойства.

В последние десятилетия как в нашей стране, так и за рубежом проводят интенсивные исследования процессов диффузионного насыщения сталей, алюминиевых и медных сплавов.

Как известно, диффузионное насыщение производят в газовых средах, в жидких (с электротоком и без него) и в твердой фазе (порошках). Каждый из этих способов имеет свои достоинства и недостатки. Этим объясняется применение для различных видов обработки разных способов насыщения, например газовой цементации, жидкого цианирования и электролитного борирования.

Здесь мы рассмотрим вопросы применения для диффузионного насыщения в твердых средах методов металлотермии.

Металлотермия — восстановление металлов из их соединений другими металлами, химически значительно более активными чем восстанавливаемые, при повышенных температурах.

Для разработки конкретных способов металлотермического получения диффузионных покрытий на сталях необходимо решить несколько общих вопросов. Первым является выбор восстановителя. Известно, что такие металлы, как Mg, Al, Ti, Si, а также некоторые лигатуры, содержащие эти элементы (силикокальций, силико-мишметалл, кальцийалюминиевая лигатура CaAl₂ и др.), обладают высоким сродством к кислороду и являются сильными восстановителями.

Наиболее широкое распространение среди металлотермических процессов получила алюминотермия, т. е. отрасль металлургии, основанная на восстановлении алюминием металлов из их кислородных или иных соединений. Алюминий — наиболее удобный элемент для восстановления окислов. К числу основных преимуществ, способствовавших широкому распространению алюминотермических процессов, следует отнести:

- 1) высокую восстановительную способность алюминия, позволяющую получать алюминотермическими методами сплавы большинства технически важных металлов;
- 2) возможность получения более низких содержаний вредных примесей, особенно углерода, чем при использовании других металлургических процессов;
- 3) несложное производство, хранение и использование алюминиевого порошка по сравнению с порошками таких восстановителей, как магний или кальций;
- 4) относительно небольшие затраты на аппаратное оформление процесса и легкость моделирования промышленной плавки в экспериментальных условиях.

Так, алюминий восстанавливает Ti, Si, B, Cr, Nb, Mn, V, Mo и другие элементы из их окислов (элементы расположены по степени стабильности их окислов). При применении алюминотермических смесей при химико-термической обработке возможны два варианта проведения процессов насыщения:

- 1) совмещенный процесс. В этом случае насыщаемые детали находятся в алюмотермической смеси во время прохождения в ней реакции восстановления;
- 2) раздельный процесс. Порошкообразную смесь готовят алюмотермическим методом и затем в ней ведут химико-термическую обработку обычным способом.

Совмещенный вариант — процесс предпочтительный во многих отношениях, однако в тех случаях, когда смесь обладает высокой термичностью, лучше применять раздельный процесс. Раздельный процесс в ряде случаев дает также более высокую концентрацию насыщающего элемента в диффузионном слое.

Температуры, развивающиеся при прохождении реакции восстановления, в большинстве случаев значительно превышают температуры плавления металлов и сплавов.

Для снижения температуры в алюминотермические смеси вводят «балластную» добавку, поглощающую часть теплоты реакции восстановления. Наиболее удобной и дешевой балластной добавкой является окись алюминия Al_2O_3 .

В качестве активаторов процесса насыщения можно использовать хлористый аммоний, фтористый алюминий, фтористый натрий и др. Конкретный выбор того или иного активатора зависит от степени термичности смесей и схемы проведения процесса насыщения (раздельной или совмещенной). При совмещенном варианте рекомендуется использовать малолетучие галогениды, например AlF_3 , NaF . Раздельный процесс насыщения лучше проводить с использованием в качестве активаторов NH_4Cl или NH_4F .

Использование алюминотермического метода в химико-термической обработке позволяет получать широкую гамму одно- и многокомпонентных покрытий, свойства которых не уступают свойствам покрытий, полученных традиционным методом в порошках чистых металлов или ферросплавов при снижении стоимости обработки в 10—15 раз и более.

С помощью металлотермии получают такие металлы, как, например, Ti, U, PЗМ, Nb, Ta, безуглеродистые сплавы, отличающиеся высокой чистотой. Высокая чистота конечных продуктов металлотермического восстановления обуславливает, например, высокую пластичность полученных металлов, т. к. содержание многих примесей в них, в первую очередь примесей внедрения, на очень низком уровне.

УДК 621.793

Исследование процесса структурообразования покрытий в условиях сверхбыстрых скоростей кристаллизации

Студент гр. 104213 Колесникова А.Е.
Научный руководитель – Соколов Ю.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью настоящей работы является установить взаимосвязь энергетических параметров плазменной струи и структуры покрытий NiCrBSi в условиях сверхбыстрых скоростей кристаллизации.

При порошковом плазменном распылении значительные скорости движения частиц в сочетании с высокими температурами плазмы открывают возможность варьировать структурой слоя покрытия, непосредственно контактирующего с твердой поверхностью, от мелкокристаллического до аморфного состояния. По существу в момент контакта капля расплава с основой происходит закалка частиц из жидкого состояния. При этом степень переохлаждения на границе частица-основа и будет определять характер структуры приконтактного с основой слоя покрытия. Именно этот слой является рабочим слоем формообразующей детали типа матриц пресс-форм и кокилей, полученных плазменным напылением по металлическим моделям. От уровня его свойств, компактности со стороны основы, при прочих равных условиях, зависит эксплуатационная надежность детали в процессе формирования изделий.

Напыление порошка проводили на подложку из стали 45 с противoadгезионным слоем, полученным электролитическим осаждением хрома. Температуру нагрева подложки, обусловленную спецификой

процесса формообразования, принимаем равной 650...700 °С. Граничные режимы напыления – 18 кВт ... 36 кВт.

Установлено, что с увеличением мощности дуги от 18 кВт до 30 кВт наблюдается измельчение блоков когерентного рассеяния никелевого твердого раствора. Переход через экстремум приводит к обратному – блоки несколько укрупняются, уровень микронапряжений заметно падает. Дополнительной иллюстрацией к этому служат результаты электронно-микроскопических исследований. При мощности дуги 24 кВт в структуре наблюдаются сетки дислокаций, характерные для стадии деформационного упрочнения. С увеличением мощности дуги до 30 кВт наблюдается формирование блочной структуры. В отдельных участках, преимущественно вокруг пор, заметны скопления дислокаций. Размер пор уменьшается за счет выхода дислокаций в свободное поровое пространство. Меньший размер пор, деформирование металла в условиях всестороннего сжатия и дислокационная структура (плотность дислокаций составляет $3,5 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$ и $7,1 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$ при мощности дуги напыления 24 кВт и 30 кВт, соответственно) дают основание предположить, что на стадии упрочнения, т. е. стадии формирования покрытий из частиц, находящихся в жидко-твердом состоянии, протекает истечение расплавленного металла в поровое межчастичное пространство и далее при увеличении доли жидкой фазы – реализация дислокационно-вакансионного механизма «залечивания» пор. Повышение мощности дуги до 36 кВт приводит к «разбрызгиванию» частиц по поверхности основы, сопровождающегося формированием полигональной структуры с большим углом разориентировки фрагментов и аморфизацией структуры слоя покрытия непосредственно контактирующего с основой. Последнее подтверждается анализом электронограммы от этого участка покрытия, на которой прослеживаются непрерывные концентрические окружности, характерные для аморфного состояния. Причины аморфизации структуры – высокая степень переохлаждения и скорость кристаллизации на границе частица – основа.

УДК 546.77.281

Защита сталей от высокотемпературной газовой коррозии

Студент гр.104213 Елизаров А.В.

Научный руководитель ст. преп. Вейник В.А.

Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Целью работы являлось повышение жаростойкости, термостойкости, термостабильности, увеличение толщины диффузионных алитированных покрытий на сталях и повышение их пластичности. Для конструкционного сплава, предназначенного для работы в условиях высокотемпературной газовой коррозии необходимо выполнение как специфических требований к структуре, так и увеличения стабильности поверхности, т.е. одновременно решаются три вопроса: условия применения, выбор сплава, выбор защиты. Покрытие для каждого сплава должно быть не только защитным, но и дешевым и надёжным.

При этом защитные свойства, достигнутые на экспериментальных образцах, должны быть реализованы на каждой детали. Надёжность покрытия заключается в хорошем сопротивлении износу, т. е. оно не должно разрушаться при небольших повреждениях. Для того чтобы быть действительно защитным для данного основного материала, покрытие должно удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Образовывать тонкую, плотно прилегающую оксидную плёнку, свободную от таких дефектов, как трещины, пузыри и т.д., иметь минимальный коэффициент переноса массы в плёнке (оксиды не должны отслаиваться, испаряться, подвергаться фазовым превращениям или разрушаться в результате реакции с отложениями солей).
2. Оставаться металлически связанным с основой; в процессе изготовления и работы должны отсутствовать несплошности и поры как в слое покрытия, так и на поверхности основного материала.
3. Быть диффузионно-инертным по отношению к сплаву-основе, чтобы в процессе эксплуатации детали не изменялся заданный состав системы покрытие – сплав.
4. Не оказывать неблагоприятного влияния на механические свойства основного сплава.
5. Иметь сходные характеристики по теплопередаче и термическому расширению с основным металлом.
6. Быть жаростойким, обладать хорошей термической выносливостью, сопротивлением эрозии и другими воздействиями.
7. Быть пластичным при всех температурах или иметь границу перехода хрупкость – пластичность при температурах более низких, чем рабочие температуры.
8. Не способствовать образованию жидкой фазы на поверхности основного сплава на в процессе выдержки при высоких температурах.

Типичным примером широко применяемого термодиффузионного покрытия является класс алюминидных покрытий . Этот метод повышения сопротивления жаропрочных сталей и сплавов окислению включает осаждение алюминия из внешних источников и диффузию его в основной металл с образованием в поверхностном слое интерметаллических соединений алюминия типа FeAl. Алюминидная фаза в

противоположность алюминию имеет высокую температуру плавления. Более того, она очень медленно окисляется, образуя защитный оксид Al_2O_3 . В процессе выдержки в случае частичного отслаивания оксида соединения алюминия на вновь образовавшейся поверхности повторно окисляется до Al_2O_3 . Это качество «самозалечивания» алюминидного покрытия замедляет действие окисления на металл основы. У сплавов без покрытия отслаивание окалина вызывает обеднение алюминием. При отсутствии процессов самозалечивания это приводит к быстрому местному окислению.

Несмотря на большое количество исследований, сведения о которых приведены в литературе, данные о механизме формирования алитированных слоев на сталях, их структуре и жаростойкости после насыщения при различных условиях противоречивы и нуждаются в уточнении. Применение алитированных слоев ограничивается образованием на поверхности изделий хрупкой зоны алюминидов, которая скалывается при взаимодействии механических нагрузок и термических ударов. Ниже приведены результаты исследования возможности получения на сталях алитированных слоев, обладающих наряду с высокой жаростойкостью стойкостью против воздействия термических ударов.

Образцы технического железа и стали 45, 20X13, 08X18H10T и 12X23H18 алитировали в порошковых смесях из алюминия АПС-1 и оксида алюминия марки х. ч. в контейнерах с плавким затвором. В качестве активаторов использовали фтористый алюминий и хлористый аммоний. Увеличение содержания алюминия в смеси приводило к значительному росту толщины слоев (см. таблицу 1).

Таблица 1. Толщина алитированных слоев на сталях в зависимости от содержания алюминия в смеси из АПС-1, Al_2O_3 и 2% AlF_3 полученных при $1000^\circ C$ за 5 ч, мкм

Содержание алюминия в смеси, %	Марка стали			
	45	20X13	08X18H10T	12X23H18
0	210	220	180	150
10	410	430	250	200
20	650	570	310	250
30	860	670	380	310
40	1100	740	440	350
50	1300	800	500	400

При содержании алюминия в смеси более 20%, алитированные слои имели низкое качество поверхности, трещины, сколы. Поэтому в дальнейших исследованиях более подробно изучали насыщение в смесях с содержанием алюминия до 20 %.

Структура диффузионных слоев на железе и сталях, полученных при $900-1100^\circ C$, состояло из двух основных зон: поверхностной зоны алюминидов и зоны столбчатых кристаллов α -твердого раствора с концентрацией алюминия на границе раздела с зоной алюминидов приблизительно 35 %. В зоне столбчатых кристаллов α -твердого раствора при охлаждении от температуры алитирования происходит упорядочение с образованием сверхструктур Fe_3Al и $FeAl$.

Рассмотрим влияние содержания алюминия в смеси на толщину зон алюминидов и α -твердого раствора на стали 08X18H10T. При послойном рентгеноструктурном анализе диффузионного слоя, полученного в смеси, содержащей 20% алюминия, установлено наличие в поверхностной зоне алюминидов Fe_2Al_5 , вероятно, легированного хромом и никелем. Под алюминидным слоем располагался слой α -твердого раствора столбчатого строения с выделением алюминидов. Повышение температуры алитирования и содержания алюминия в смеси приводило к увеличению общей толщины слоя, особенно толщины зоны алюминидов. После насыщения в смесях с 15 и 20 % алюминия при $900^\circ C$ на острых кромках образцов наблюдались мелкие трещины и сколы. С повышением температуры насыщения до $1100^\circ C$ качество поверхности образцов ухудшалось, заметно увеличивались размеры трещин, появлялись сколы. При содержании алюминия в смеси 5 – 10% алитированные образцы имели поверхность хорошего качества, без сколов и трещин.

На техническом железе и стали 45 алитирование в смесях с 15 и 20 % алюминия при температуре $1100^\circ C$ приводит к формированию на поверхности образцов структурной зоны алюминидов, по внешнему виду напоминающей пластинчатый перлит. Вероятно, это эвтектоид, образовавшийся при распаде ϵ -фазы и состоящий из алюминидов $FeAl_2$ и α -твердого раствора. При тех же условиях насыщения на легированных сталях в поверхностной зоне алюминидов наблюдались участки со структурой, напоминающей зернистый перлит, на острых кромках – участки эвтектоида с пластинчатой структурой.

Рассмотрим результаты испытаний на жаростойкость образцов стали 08X18H10T после алитирования в смесях с 5 – 10% алюминия при температурах насыщения 800, 900, 1000 и $1100^\circ C$ в течение 5ч. Испытания проводили по схеме: нагрев до $1000^\circ C$, 2-2.5ч, выдержка при $1000^\circ C$ 5ч, охлаждение до $200-300^\circ C$ вместе с печью, 15ч, а затем на воздухе. После каждого цикла испытаний определяли относительное

изменение массы (г/м²). Длительность испытаний составляла 20 циклов, суммарная выдержка при 1000⁰С – 100ч.

На поверхности образцов без покрытий, взятых для сравнения, уже после первого цикла испытаний на жаростойкость образовывался толстый слой окалины, появлялись трещины, изменялась форма образцов.

Слои, полученные в смеси с 5% алюминия при 800 и 900⁰С, имели практически одинаковое увеличение массы за 100ч испытаний, полученные при 1000⁰С – несколько меньше, при 1100⁰С – несколько больше. Однако скорости окисления слоев, полученных при различных температурах в смеси с 5% алюминия, после двух – четырех циклов испытаний становились практически одинаковыми.

В смеси с 10% алюминия при 800, 900 и 1000⁰С получены слои, уровень жаростойкости которых одного порядка с таковым слоев, полученных в смеси с 5% алюминия. Повышенный температуры алитирования до 1100⁰С привело к уменьшению удельного изменения массы образцов за 100ч испытаний до 35г/м².

Аналогичные зависимости по жаростойкости получены также для технического железа и сталей 45 и 20Х13.

Циклические испытания на жаростойкость в сочетании с резкими термическими ударами проводили по следующему режиму: нагрев до 1000⁰С за 5 мин, выдержка при 1000⁰С 5ч, охлаждение в воде. Увеличение массы образцов, которое наблюдается для некоторых режимов насыщения, объясняется образованием на поверхности покрытий плотных, не скалывающихся окисных пленок, надежно защищающих сталь от окисления. Уменьшение массы образцов при таких испытаниях связано с отслаиванием образовавшейся при 1000⁰С окалины и хрупкой зоны алюминидов покрытия. Наилучшими защитными свойствами при таких испытаниях обладают слои, полученные в результате насыщения в смеси с 5% алюминия при 1100⁰С, имеющие структуру α -твердого раствора, зону FeAl на поверхности и концентрацию алюминия около 35%. Алитирование в смеси с 10% алюминия приводит к образованию на поверхности зоны алюминидов Fe₂Al₅, обладающего повышенной хрупкостью. Эта зона скалывалась при испытаниях.

Для устранения хрупкой зоны алюминидов Fe₂Al₅ проводили отжиг алитированных слоев, полученных при 1000⁰С в смеси с 10% алюминия, при 1100⁰С в течении 5 часов, который привел к увеличению общей толщины слоя, уменьшению концентрации алюминия на поверхности, обеспечил получение плотной защитной окисной пленки, практически не скалывающейся при испытании.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать условия алитирования, позволяющие получить слои, пригодные для работы в условиях высокотемпературной газовой коррозии и термических ударов: 1) алитирование в смеси с 5% алюминия при 1100⁰С 5 ч; 2) алитирование в смеси с 10% алюминия при 1000⁰С 5 ч, отжиг при 1100⁰С 5ч.

УДК 621.793.

Трансформация микроструктуры напыленных покрытий при термической обработке

Студентка гр. 104213 Евдасева И.Л.
Научный руководитель – Соколов Ю.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Варианты термообработки применительно к покрытиям сводятся, в основном, к оплавлению покрытий или отжигу. При термообработке преследуется цель очистки слоёв покрытий от кислорода и азота, снижения количества пор и оксидов в покрытии.

Оплавление покрытий проводится как после напыления, так и при напылении путём совмещения операций. Процесс оплавления осуществляют на открытом воздухе, в инертной атмосфере, вакууме. В качестве источника энергии используют плазму, газ, лазерный луч, переменное магнитное поле индуктора. Оплавление обеспечивает повышение уровня свойств напылённых покрытий. Отмечается снижение пористости, увеличение износо- и коррозионной стойкости оплавленных покрытий.

Нетрадиционный подход к достижению конечного результата – повышения физико-механических свойств покрытий – может быть осуществлён посредством использования циклических тепловых воздействий – термоциклической обработки (ТЦО). Под ТЦО понимают процесс термического воздействия, осуществляемого путём циклического изменения температуры и сопровождающегося многократными структурными или фазовыми превращениями при нагревах и охлаждениях. Параметрами ТЦО являются температурный интервал циклирования, количество циклов, скорость нагрева и охлаждения.

Целью настоящей работы является установление влияния термоциклирования на характер изменения микроструктуры напыленных покрытий.

Установлено, что независимо от состава распыляемого порошка микроструктура покрытий имеет ярко выраженное слоистое строение с развитой сеткой межслойных границ и заметной пористостью. Поры располагаются, преимущественно, в приграничных объемах.

Термоциклическая обработка обеспечивает «дробление» пор и частичное их залечивание с одновременным повышением однородности структуры покрытия. Это объясняется интенсификацией диффузионных процессов вследствие увеличения концентраций вакансий и плотности дислокаций, что является результатом деформационного эффекта термоциклирования. Последний интенсифицируется термическими и структурными напряжениями и проявляется в микропластической деформации матричного твердого раствора. Так, например, для покрытий из порошка FeWMoCr средний размер пор в приконтактном с подложкой слое после термоциклирования в интервале $1050^{\circ} \leftrightarrow 850^{\circ}\text{C}$ (10 циклов) составляет $25 \dots 35 \text{ мкм}^2$ против $80 \dots 100 \text{ мкм}^2$ до циклирования, а покрытий из порошка NiCuBSi после термоциклирования в интервале $950^{\circ} \leftrightarrow 850^{\circ}\text{C}$ (15 циклов) – $8 \dots 10 \text{ мкм}^2$ и $35 \dots 40 \text{ мкм}^2$ после напыления.

Результат термоциклирования проявляется в совокупности таких эффектов как измельчение зерна, диспергирование структурных составляющих, гомогенизация, дробление эвтектик и карбидных ячеек, формирование фрагментированной субзеренной структуры.

Современные программные средства, применяемые для проектирования процессов термообработки

Студент гр.104213 Малинкович В.А.
Научный руководитель – Мельниченко В.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью данной работы являлся анализ программных средства компьютерного проектирования, применяемых в машиностроении и возможность их применения для процессов термической обработки металлов и сплавов.

В ходе работы был проведен обзор наиболее популярных систем компьютерного проектирования отечественной и зарубежной разработки. Наиболее доскональному анализу были подвергнуты CAE (Computer Aided Engineering) системы проектирования, как наиболее подходящие для прикладного применения при проектировании процессов термообработки.

CAE-системы автоматизированного анализа и оптимизации технологических процессов, позволяющие подобрать материал в зависимости от требуемых свойств и спрогнозировать свойства в зависимости от обработки материала. Примерами данных систем являются: SYSWELD, MSIT Workplace, ПроТерм, Dynamic Designer, PartAdviser, MSC. NASTRAN, ANSYS, MSC. MARC, THERMOSIM и другие.

Полезность анализируемых программных комплексов оценивалась по следующим критериям:

1. Функциональные возможности применения.
2. Требуемая подготовка системы для работы.
3. Требуемая подготовка специалиста для работы с системой.
4. Сопоставимость финансовых затрат с полезным эффектом от использования системы.

При анализе CAE систем, как универсальных, так и специализированных, наибольший интерес вызвали среди универсальных систем - система ANSYS, среди специализированных - система THERMOSIM.

Отличительными особенностями ANSYS являются высокая универсальность, то есть возможность моделирования различных физических процессов и явлений и открытость, то есть модифицируемость и дополняемость. ANSYS позволяет решать задачи прочности, теплофизики, гидрогазодинамики, электромагнетизма совместно с расчетом усталостных характеристик и процедурами оптимизации. Более того, путем использования в программе специализированных конечных элементов, имеющих помимо перемещений и поворотов в узлах также и степени свободы по температуре, напряжению и так далее и переключения типа элемента (например, с электромагнитного на прочностной) реализованы большие возможности проведения связанного анализа.

Широкие возможности представляются также препроцессором. На разработанной модели пользователь может удалять несущественные мелкие детали, дорабатывать определенные детали, проводить сгущение / разрежение сетки и другие важнейшие операции, без которых, порой, дальнейшее решение будет совершенно некорректно или вообще не сможет быть достигнуто. Построение поверхностной, твердотельной и каркасной геометрии и внесение изменений осуществляется средствами собственного геометрического моделиера.

Описанный подход объединяет преимущества обоих методов и позволяет численно моделировать процессы формования материалов, анализа аварийных столкновений и ударов при конечных деформациях, нелинейном поведении материала и контактном взаимодействии большого числа тел. С использованием этой функции перехода могут быть решены задачи динамического поведения предварительно напряженных конструкций и задачи исследования разгрузки конструкций, подвергнутых большим деформациям.

Следует отметить, что ANSYS – единственная конечно-элементная система с таким полным охватом явлений различной физической природы: прочность, теплофизика, гидрогазодинамика и электромагнетизм с возможностью решения связанных задач, объединяющих все перечисленные виды.

Однако, для решения задач термообработки требуется создание дополнительных моделей и написание подпрограмм пользователя, учитывающих кинетику фазовых превращений и расчет твердости. ANSYS также не содержит сведений о фазовых составляющих сталей и сплавов. Данная задача решается, но весьма трудоемка. Также проблемой является стоимость лицензионного программного комплекса, которая находится порядка 20 000 у.е.

Программный комплекс THERMOSIM, разработанный БГУИР (Минск) предназначен для моделирования процессов термообработки деталей сложной конфигурации и диагностики технологических процессов термообработки деталей приборо- и машиностроения. В результате расчета пользователь получает распределения полей: температур, фазового состава, деформаций, напряжений, твердости. Наибольший интерес данный программный комплекс представляет по той причине, что при прочих равных возможностях обладает удобным интерфейсом и приемлемой стоимостью.

По распределению напряжений можно судить о превышении пределов текучести и прочности и, как следствие, возможности образования трещин.

Основное назначение (функция) программного комплекса заключается в оптимизации технологического процесса термообработки с целью:

- избежания появления трещин в результате превышения пределов текучести и прочности;
- экономии электроэнергии на предприятии путем определения минимального;
- времени закалки, необходимого для достижения заданных свойств закаливаемой детали.

Оптимизация технологического процесса термообработки для заданного материала заключается в оптимизации картины распределения напряжений путем корректировки режима термообработки (определенных начальных параметров):

- температуры нагрева;
- скорости охлаждения (среды охлаждения);
- термокинетической диаграммы для определенного химического состава и т. д.

Пользователь также имеет возможность сделать вывод о необходимости изменения геометрии модели детали с целью избежания концентраторов напряжений (острых кромок, резких переходов из большого объема в малый, просечек и т. д.).

В результате работы были проанализированы наиболее применяемые системы САЕ проектирования, рассмотрены возможности и условия их применения. В рамках ознакомления с программным комплексом Thermosim был смоделирован процесс термической обработки детали валшестерня изготовленной из стали 45 и подвергнутой закалке с температуры 850 градусов Цельсия в воду с температурой 20 градусов Цельсия, что, после сравнения с лабораторными данными, дало возможность говорить о высокой адекватности получаемых результатов.

УДК 620.2 С60

Сплавы с эффектом памяти формы

Студент гр.104214 Генюш И.П.
Научный руководитель – Пучков Э.П.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью данной работы является повышение внимания к сплавам с эффектом памяти формы...

В начале 60-х годов XX в. появился класс материалов с эффектом памяти формы (ЭПФ), которые обладают обратимостью неупругой деформации. Образцу, находящемуся в аустенитном состоянии (высокотемпературную фазу принято называть аустенитом, низкотемпературную- мартенситом), при повышенной температуре придают нужную форму, затем при более низкой температуре в интервале мартенситного превращения придают новую форму, а после нагрева исходная форма образца восстанавливается. Например, если при повышенной температуре проволоку закрутить в спираль, выпрямить при комнатной температуре, то при последующем нагреве проволока снова примет форму спирали. При теплосменах такие материалы могут многократно обратимо деформироваться, причем восстановление формы не может быть подавлено внешним силовым воздействием. Реактивные напряжения в некоторых материалах с ЭПФ могут достигать 1300 МПа.

Наибольшее практическое применение нашли сплавы Ti-Ni, близкие по составу к эквиатомному (нитинол). Используют также более дешевые сплавы на основе меди (Cu-Al-Ni и Cu-Al-Zn).

Известно, что в случае термоупругого мартенсита при обратном превращении межфазные границы проходят пути, обратные тем, что они проходили при прямом превращении. ЭПФ проявляется в сплавах, характеризующихся термоупругим мартенситным превращением, когерентностью решеток аустенитной и мартенситной фаз и малыми изменениями объема при превращении.

На рисунке представлена зависимость фазового состава от температуры

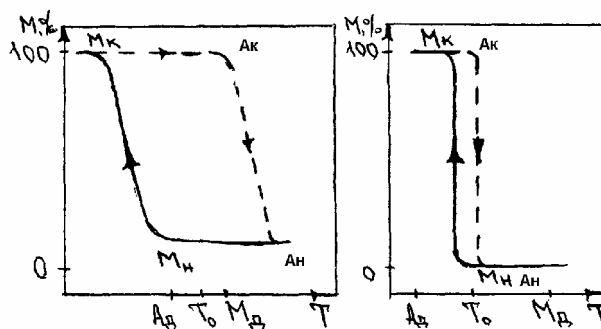


Рисунок 1- Зависимость фазового состава сплава от температуры:
а- широкий гистерезис; б- узкий гистерезис

При охлаждении из аустенитного состояния мартенситное превращение протекает в интервале $M_n - M_k$. При нагреве превращение мартенсита в аустенит в интервале $A_n - A_k$. При полном термоциклировании получается гистерезисная петля, температурная ширина которой различна для разных материалов. В процессе превращения межфазные границы между аустенитом и мартенситом сохраняют когерентность и легко подвижны. Для полного восстановления формы необходимо, чтобы мартенситное превращение являлось кристаллографически обратимым: при обратном ($M \rightarrow A$) превращении должна восстанавливаться не только кристаллическая структура исходной фазы (А), но и кристаллографическая ориентировка аустенита перед превращением.

Мартенситное превращение может инициироваться не только изменением температуры, но и механическими напряжениями. Поэтому вводят еще три характеристических температуры на фазовых диаграммах: T_0 - температура термодинамического равновесия; M_d - температура, ниже которой мартенсит может возникать не только вследствие понижения температуры, но и под действием механических напряжений; A_d - температура, выше которой аустенит может образовываться не только вследствие нагрева, но и под действием механических напряжений.

При воспрепятствовании восстановлению исходной формы при нагреве сплавы с ЭПФ генерируют реактивные механические напряжения, которые могут достигать значительных величин.

В таблице 1 приведен химический состав и характеристическая температура сплавов никелида титана

Таблица 1- Химсостав и характеристические температуры сплавов никелида титана

Марка сплава	Основные элементы		Примеси, не более				Температура, °С			
	Ni	Ti	Fe	Si	C	Co	M_n	M_k	A_n	A_k
ТН-1	53,5-56,5	остальное	0,3	0,15	0,10	-	90	60	100	135
ТН-1К	50,5-53,5	««	2,5-4,5	0,15	0,10	0,2	50	20	55	25

Приведем некоторые примеры использования сплавов с ЭПФ.

При освоении космоса необходимо сооружение таких громоздких объектов как антенны. Для этого используют саморазворачивающиеся листы или стержни, свернутые в спирали и помещенные в углубление в спутнике. После запуска и выведения спутника на орбиту антенна нагревается с помощью специального нагревателя или солнечного тепла, в результате чего она разворачивается и выходит в космическое пространство.

Материалы с ЭПФ используют для соединения трубопроводов в авиации, атомных подводных лодках, надводных кораблях, для ремонта трубопроводов для перекачки нефти со дна моря и т.д.

Стопоры из сплавов с ЭПФ позволяют выполнить операции крепления, если невозможно осуществить какие-либо действия на противоположной стороне скрепляемых деталей (например, в герметичной пустотелой конструкции). Принцип действия стопора с ЭПФ показан на рисунке 2.

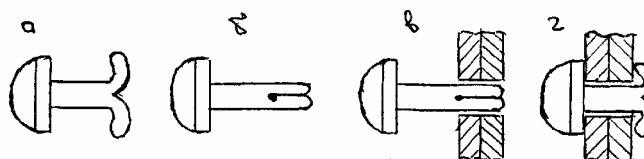


Рисунок 2- Действие стопора с ЭПФ

В исходном состоянии стопор имеет раскрытый торец. Перед операцией крепления стопор погружают в сухой лед или жидкий воздух; после чего выправляют торцы и вводят в отверстие для крепления. При повышении температуры до комнатной происходит восстановление формы, торцы штифта расходятся и операция крепления завершается.

Материалы с ЭПФ используют для создания роботов, действия которых приближаются к действию мускульного механизма. Все большее применение находят материалы с ЭПФ в медицине.

УДК 669.640.191

Коррозионностойкие хромомарганцевые стали

Студент гр.104214 Гегеня Д.В.

Научный руководитель – Пучков Э.П.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью настоящей работы является усиление внимания к проблеме замены дорогостоящих хромоникелевых сталей более дешевыми.

Основным элементом, обуславливающим высокую коррозионную стойкость сталей является хром, обеспечивающий способность стали к пассивации. Присутствие хрома в стали в количестве 18 % делает сталь стойкой во многих средах окислительного характера, в том числе в азотной кислоте в широком диапазоне концентрации и температур.

Легирование никелем в количестве 9—12 % переводит сталь в аустенитный класс, что имеет принципиально важное значение, так как обеспечивает стали высокую технологичность в сочетании с уникальным комплексом эксплуатационных свойств. Это дает возможность использовать хромоникелевые стали в качестве коррозионностойких, жаростойких, жаропрочных и криогенных материалов.

Однако у этих сталей есть существенный недостаток – высокая стоимость ввиду большого содержания дорогостоящего никеля. Это послужило основанием для создания довольно большого числа сталей аустенитного класса, в которых марганец играет роль заменителя никеля.

Однако в связи с более слабым аустенитообразующим влиянием марганца получить в сталях, легированных 12—14 % Сг и более, чисто аустенитную структуру в диапазоне от комнатной температуры до температур горячей пластической деформации не удается. Поэтому аустенитные стали на хромомарганцевой основе в большинстве случаев содержат в своем составе дополнительно либо никель, либо азот, а часто оба элемента совместно. Степень дополнительного легирования никелем и азотом возрастает с повышением содержания хрома в стали.

Марганец относится к элементам, не склонным к пассивации, поэтому скорость коррозии хромомарганцевых сталей в окислительных средах в основном определяется содержанием в них хрома и окислительными свойствами среды.

Хромомарганцевый аустенит отличается от хромоникелевого по ряду свойств. В отличие от никеля марганец увеличивает растворимость углерода в γ -твердом растворе. Кривая растворимости карбида Cr_{23}C_6 при 1000 °С имеет вид, представленный на рисунке 1. Увеличение растворимости углерода сопровождается повышением ударной вязкости стали после отпуска при 700 °С (рисунок 3). Марганцевый аустенит отличается большей склонностью к наклепу по сравнению с никелевым аустенитом. Так для сталей X18Г14А и X18Н10А при близком для обеих сталей пределе прочности в закаленном состоянии, после пластической деформации на 20 % разница между обеими сталями по этой характеристике составляет примерно 300 МПа, а при наклепе на 60 % около 500 МПа (рисунок 2). Указанные свойства хромомарганцевых сталей следует учитывать при операциях, связанных с холодной пластической деформацией.

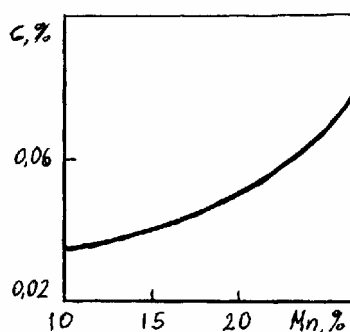


Рисунок 1 – Влияние марганца на растворимость карбида хрома Cr_{23}C_6 при 1000 °С

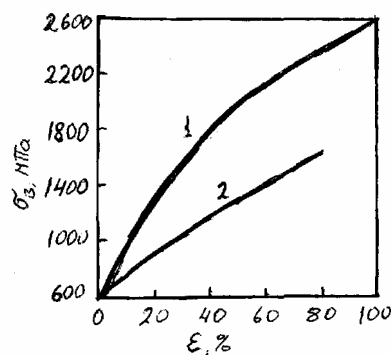


Рисунок 2 – Зависимость предела прочности сталей типа X18Г14А (1) и X18Н10А (2) от степени холодной пластической деформации ϵ при 20 °С 3 — 5 ч.

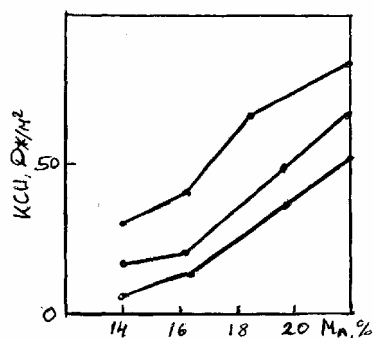


Рисунок 3 – Влияние марганца на ударную вязкость после нагрева при 700 °С стали типа X13АГ14-22: 1 — 20 мин; 2 — 1ч;

Термическая обработка коррозионностойких аустенитных сталей на основе системы Cr—Mn практически не отличается от термической обработки хромоникелевых аустенитных сталей. Поэтому разность в цене между хромомарганцевыми и хромоникелевыми сталями определяется стоимостью марганца и никеля.

Сталь 10X14Г14Н4Т рекомендуется как заменитель стали 12X18Н9Т, 08X18Н10Т, 12X18Н10Т при изготовлении разнообразного сварного оборудования, работающего в средах химических производств слабой агрессивности, криогенной техники до температуры -253 °С, а также используют в качестве жаростойкого и жаропрочного материала до 700 °С.

Аустенитная сталь 10X14АГ15 используют как заменитель коррозионностойких сталей типа X18Н9, X18Н10, X18Н9Т и X18Н10Т преимущественно в виде тонкого листа в сварных соединениях, а также для несварных изделий в больших сечениях. Рекомендуется для изготовления торгового и пищевого оборудования, деталей бытовых приборов, а также в качестве немагнитного материала, работающего в слабоагрессивных средах.

УДК 669.225'295(047)

Исследование структуры и свойств покрытий системы 44Ni-56Ti полученных методом СВС с последующим переплавом

Студентка гр. 104513 Мурашова И.В., аспирант Гринкин А.В.
 Научный руководитель – Протасевич Г.Ф., Поболь И.Л.
 Белорусский национальный технический университет,
 Физико-технический институт НАН Беларуси
 г.Минск.

Физико-механические свойства поверхностных слоев металлов и сплавов определяют ресурс деталей. Для его повышения улучшают износо- и коррозионную стойкость и другие характеристики поверхности изделий. Для уменьшения стоимости деталей создают относительно тонкий слой покрытия из материала, который берет на себя эти нагрузки. Особый интерес представляют технологии комбинированного нанесения защитных покрытий. Такие методы реализуются путем сочетание традиционных способов нанесения покрытий (дугового и плазменного напыления, наплавки и т.д.) с последующей обработкой потоками плазмы, ионов, лазерным или электронным лучом. Это позволяет в

широких пределах варьировать структурный и фазовый состав покрытий, значительно улучшить эксплуатационные характеристики изделий.

Имеется ограниченный ряд публикаций о получении покрытий на металле методами самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) с использованием энергии экзотермического взаимодействия реагирующих элементов. Продукты СВС представляют собой твердые материалы произвольной формы с высокими значениями пористости. Исследуемые нами покрытия на основе системы Ni-Ti обладают повышенной износостойкостью, стойкостью против коррозии, хорошими прочностными характеристиками. Метод СВС не обеспечивает требуемых значений эксплуатационных характеристик, поэтому недостатки синтеза мы устраняем применением последующего электронно-лучевого оплавления. Это позволяет повысить адгезию покрытия к подложке, сбалансировать твердость переходной зоны металл-покрытие, а также снизить пористость в нанесенном материале.

Анализ структурных составляющих системы 44Ni – 56Ti показал, что основной фазой является NiTi, однако присутствуют и вторичные фазы Ni₄Ti₃, Ti₂Ni. Частицы NiTi являются матрицей покрытия и в микроскопе просматриваются как темный фон, белые частицы - фаза Ti₂Ni. Вторичная фаза Ni₄Ti₃ когерентна матрице, поэтому не выявлена обособленными частицами в микроскопе и исчезает при последующей термической обработке. Рентгеноструктурный анализ покрытия после оплавления показал наличие фаз NiTi и Ti₂Ni, что соответствует диаграмме состояния при данном соотношении компонентов (44:56). Фаза Ti₂Ni представляет собой твердый раствор никеля в титане, отвечающего эвтектике и расположенного большими областями в виде прослоек внутри и по границам зерен. Эта структурная составляющая имеет высокую износостойкость, коррозионную стойкость и твердость порядка 8,3 ГПа.

Исследования твердости покрытий системы 44Ni – 56Ti показали, что из-за высоких значений пористости вблизи поверхности материала твердость (HRC 45-47), измеренная со стороны поверхности, не соответствует высоким значениям микротвердости (8-9 ГПа) модифицированного материала в центральной части.

Практическое применение материал может найти как защитное покрытие для деталей машин, изготовленных из углеродистой нелегированной стали, с целью повышения их механических характеристик.

УДК 678.027

Свойства пресс-композиций из текстильных отходов и вторичного полипропилена

Студент гр. IV ф-та ХТиТ Поплавский Р.П.
Научные руководители – Колос А.А., Ставров В.П.
Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

В связи с повышающимися требованиями к охране окружающей среды возникает необходимость более эффективной утилизации текстильных бытовых отходов. Одна из возможностей состоит в формировании изделий из разволокненных отходов текстиля в композиции с полимерными отходами, утилизируемыми в настоящее время не в полном объеме. Такая возможность практически не используется, а технологические и физико-механические свойства пресс-композиций, получаемых из смешанных отходов, не исследованы в той мере, которая необходима для задания оптимальных режимов формования изделий. При прессовании полимерных композиций происходят следующие основные процессы: уплотнение, нагрев, консолидация (сплавление) и вязкое течение. Параметры этих процессов зависят от технологических характеристик композиций.

Цель работы – установление возможных режимов совмещения текстильных отходов и вторичного полипропилена, получаемого разволокнением мешковины, и формования изделий из такой композиции.

Композиции получали смешиванием волокна регенерированного ТУ 00012641.119-2000, полученного из бытовых текстильных отходов на Бобруйском комбинате нетканых материалов, и разволокненной полипропиленовой мешковины (в виде отрезков волокон длиной ~20 мм), полученной на ЧП «Белвнешпродукт». Долю текстильных волокон в композиции варьировали в пределах от 30 до 70 % масс. Испытывали также образцы, полученные сплавлением волокон матричного полипропилена.

Уплотняемость композиции изучали, сжимая навеску массой 20 г в пресс-форме с размерами в плане 250х20 мм при температурах 70 и 140 °С. Записывали зависимость толщины сжимаемого слоя от усилия сжатия (вплоть до среднего давления 20 МПа). По диаграмме уплотнения в координатах «давление – плотность» находили давление, необходимое для достижения достаточной плотности.

Выяснили, что от температуры формы в большей степени зависят кинетика процесса и качество получаемых заготовок и меньшей мере - значения плотности композиции. Заготовки, полученные при температуре 70 °С, разрушаются вскоре после снятия давления в результате упругого восстановления волокнистой системы. Более качественными получились заготовки, отпрессованные при 140 °С. Плотность их составляет около 0,9 г/см³, а образующийся по периметру облой обеспечивает удовлетворительную консолидацию композиции. Давление, необходимое для уплотнения заготовок со степенью наполнения 50% масс., оказалось наименьшим, а качество заготовок более высоким.

Коэффициент температуропроводности композиций определяли по времени достижения заданной температуры (50 °С) в центре квадратных пластин со стороной квадрата 20 мм, нагреваемыми между плоскопараллельными плитами с температурой 100°С. Получена зависимость этого показателя от состава и плотности композиций. Коэффициент температуропроводности композиции с плотностью ~ 1 г/см³ составляет 0,11 мм²/с и мало отличается от коэффициента температуропроводности матричного полипропилена – 0,12 мм²/с.

Образцы из матричного полипропилена и композиций различного состава получали путем прямого прессования в пластицированном состоянии. Опробовали два метода пластикации – путем контактного нагрева между плитами, имеющими температуру 180-200 °С, и в червячном экструдере ЧП 32-25, оснащенный накопителем пластицированной композиции. Для отработки процесса пластикации использовали предварительно отформованные заготовки в виде плит с размерами 250x250 мм – для пластикации контактным нагревом и в виде гранул с размерами 250x25x5 мм – для пластикации в экструдере. Гранулы получали прессованием смеси компонентов при температуре 140 °С, выдерживая 10 мин под давлением 20 МПа. Затем их подсушивали при температуре 70 °С в течение 2 ч. Температура зон нагрева экструдера 170, 180 и 190 °С, накопителя - 190 °С. Частота вращения шнека 135 об/мин. Производительность пластикации около 2,5 кг/ч, что значительно ниже номинальной производительности экструдера при пластикации матричного полимера.

Из пластицированных композиций прессовали плиты с размерами 250x250x(4-5) мм, выдерживая 2 мин при нагрузке 450 кН (среднее давление 7,2 МПа). Поверхность плит имела удовлетворительное качество.

Из плит вырезали образцы для определения показателей механических свойств: разрушающего напряжения и модулей упругости при растяжении и изгибе (по ГОСТ 11262-80, ГОСТ 9550-80 и ГОСТ 4648-71 соответственно) и прочности при срезе ГОСТ 17302-71.

Установлено, что наполнение вторичного полипропилена текстильными отходами мало влияет на модули упругости материала (они находятся в пределах 1,7–2,2 ГПа), несколько повышает прочностные показатели при изгибе (35,8 МПа у матричного полипропилена и 39,8 МПа у композиции со степенью наполнения 50% масс.), приводит к некоторому снижению прочности при срезе (27,1 и 21,1 МПа соответственно) и к значительному, почти двукратному, снижению прочности при растяжении (23,9 и 13,0 МПа).

Показатели механических свойств исследованных композиций находятся в целом в диапазоне, типичном для высоконаполненных вторичных термопластов. Существенное снижение прочности при растяжении можно объяснить значительной неоднородностью композиции, поэтому технология совмещения компонентов требует дальнейшего совершенствования.

Результаты проведенного исследования могут быть использованы при разработке конструкции и технологии изготовления изделий из композиций на основе текстильных и полимерных отходов.

Работа выполнена в рамках задания 4.3 ГНТП «Ресурсосбережение-2010».

УДК 678.06

Конструкция и технология изготовления стеллажа из отходов термопластичных полимеров, армированных стеклянными волокнами

Студент гр. V–1 ф-та ХТиТ Каменчук С. А.

Научный руководитель – Ставров В. П.

Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

На предприятиях переработки пластмасс образуются не используемые в настоящее время смешанные отходы термопластичных полимеров. Использование этих отходов для изготовления продукции массового производства способствовала бы улучшению экологической ситуации. Одним из возможных направлений утилизации полимерных отходов является применение их в качестве матриц для получения композиционных материалов. Армирование полимеров может дать дополнительный экономический эффект. Однако сложные реологические свойства расплавов полимерных смесей, отсутствие данных о физико-механических характеристиках получаемых из них материалов затрудняет разработку эффективных конструкций.

Цель работы – выяснение возможных конструктивных и технологических решений для изделий из смешанных отходов термопластичных полимеров, армированных стеклянными волокнами, на примере конструкции стеллажа и технологии изготовления его деталей как типовых элементов.

В качестве матричных полимеров для получения композиционных материалов разрабатываемого изделия выбраны отходы металлизированной пленки на основе полиэтилентерефталата ТУ РБ 00916408.00294, образующиеся в значительных объемах в СП "Амипак", и смешанные отходы полипропилена и АБС-пластика, образующиеся при замене материала литевых изделий на Осиповичском заводе автомобильных агрегатов (так называемые «продавки»).

Прорабатывается стеллаж сборной конструкции, состоящей из стоек и перекладин, выполненных из профилей, однонаправлено армированных стеклянными волокнами, и полок преимущественно плоской формы, получаемых из хаотически армированной композиции на основе смешанных термопластов.

Определены технологические свойства вторичных термопластов и получаемых из них композиций, пригодных для изготовления элементов конструкции стеллажа. Построена температурная зависимость вязкости в форме закона Аррениуса, на ее основе рассчитаны продолжительность пропитки волокнистого слоя и температурные режимы формования профиля. Найдены также характеристики прочности и модули упругости однонаправлено и хаотически армированных стекловолокнистых композиций как функции степени наполнения (до 40% масс.).

По результатам расчета на жесткость и прочность оптимизирована гибридная структура профиля, предназначенного для изготовления стоек и перекладин. Сечение профиля - в виде квадрата со стороной 50 мм и с круглым отверстием диаметром 43 мм, включающей однонаправлено армированные стренги, связанные между собой композицией хаотически армированные рубленным стеклоровингом ровингом (30%). Показана возможность получения профиля из композиционных материалов на основе отходов металлизированного ПЭТФ и смеси полимеров ПП+АБС.

Проработаны варианты технологии изготовления профилей гибридной структуры. Наряду с известной технологией получения гибридной структуры путем ввода в экструзионную головку предварительно сформованных однонаправлено армированных стренг, предложена одностадийная технология, по которой стеклоровинг вводится в формирующую полость экструзионной головки и пропитывается полимерным расплавом, отфильтровываемым от хаотически наполненной композиции на отклоняющих элементах, вводимых в экструзионную головку. Такой одностадийный метод позволяет снизить тепловое воздействие на матричный полимер и уменьшить энергоемкость процесса. На основе технологических расчетов определены необходимое давление экструзии стеклонеполненной композиции и продолжительность охлаждения сформованного профиля в калибрующей части оснастки, проработана конструкция экструзионной головки для получения профиля гибридной структуры по одностадийному методу.

Для изготовления полок стеллажа применен хаотически армированный композиционный материал, аналогичный материалу сердцевины профилей. Для уменьшения толщины полки предусмотрены ребра жесткости. Метод изготовления полок – прессование из предварительно пластифицированных заготовок. По технологическим характеристикам композиции найдены основные параметры этого процесса.

По результатам исследования проведены расчеты профиля и полки на жесткость и прочность, определены оптимальные параметры сечений этих элементов. Найдены конструктивные решения для узловых соединений отрезков профилей в стеллаже с использованием стандартных квадратных труб и гнутых П-образных профилей.

Результаты работы используются при разработке конструкции оснастки для изготовления профильных изделий гибридной структуры по одностадийному методу, а также для разработки других изделий из исследованных материалов.

Работа выполнена в рамках задания 1.29 ГППИ «Полимерные материалы и технологии».

УДК 621.923

Исследование обрабатываемости деталей оборудования пищевой промышленности

Студенты гр.1 рпт Головкин В.В., Садченко А.Г.

Научный руководитель – Сергеев Л.Е.

Белорусский государственный аграрный технический университет
г. Минск

В настоящее время единой универсальной характеристикой обрабатываемости нет, Металл или сплав, обладающий хорошей обрабатываемостью с точки зрения уровня целесообразных скоростей, не может иногда обеспечить требуемую шероховатость поверхности, при этом возникают слишком большие силы резания и наоборот. Кроме того, необходимо учитывать, что оценка обрабатываемости имеет всегда относительный характер. Например, допустимая скорость зависит не только от свойств обрабатываемого материала, но и от качества режущего инструмента. Шероховатость обрабатываемой поверхности тесно связана с геометрическими параметрами инструмента и условиями резания, в частности и скоростью резания, при изменении которой можно получить самые различные результаты [1]. Обрабатываемость в нормативно-справочной литературе [2] оценивается в первую очередь интенсивностью затупления режущих инструментов и уровнем целесообразных скоростей резания. Однако скорость резания как характеристика обрабатываемости имеет ряд недостатков. В настоящее время разработаны различные способы оценки обрабатываемости. Условно их можно разделить на три основные группы [2].

Первый - "классический" и заключается в определении зависимости $V=f(T)$, где T - период стойкости, но он обладает высокой степенью трудоемкостью и требует большого расхода обрабатываемого материала. Во второй группе физическими параметрами процесса являются силы резания, уровень

температур, шероховатость обработанной поверхности. Третья группа включает сведения о физических и механических свойствах материалов. Две последние группы представляет собой перспективное направление, что связано с существенным снижением трудоемкости и расхода обрабатываемого материала. Кроме того, подобные способы можно эффективно использовать в лабораторных условиях. В данной работе критерием был выбран удельный массовый съем материала и шероховатость поверхности после обработки.

Были приведены сравнительные исследования обрабатываемости головок делителя теста ШЗ-ХДУ-33. Используемые финишные методы - шлифование и MAO. Материал - бронза БрАЖ9-4 ГОСТ 18175-72. Исходная шероховатость поверхности Ra1=1,6-2,0 мкм. Применяемый инструмент при шлифовании - круг алмазный АСМ зернистостью № 25 твердостью СМ1 на связке Б1, режимы шлифования - скорость круга, Vк=20-40 м/с; подача, S=1-2 м/мин; глубина резания, t=0,01-0,05 мм; MAO - магнитная индукция, B=0,8-1,1 Тл; скорость резания Vр=0,5-2,0 м/с; скорость осцилляции, Vo=0,15-0,25 м/с, амплитуда осцилляции, A=1-3 мм; величина рабочего зазора, δ=1-2 мм; время обработки, t=45-75 с. Ферроабразивный порошок Ж15КТ - ТУ 6-09-03.483-81 и ФАПД-ФТИ-25 паспорт-сертификат БГАТУ от 15.12.1998 г. Оценка производилась по среднему результату. Результаты исследований представлены в таблице.

Таблица – Показатели обрабатываемости головок делителя теста ШЗ-ХДУ-33

Показатели	Шлифование	MAO	
		Ж15КТ	ФАПД-ФТИ-25
Удельный массовый съем материала ΔG, мг/см ² мин	7,4	8,2	10,1
Достижимая шероховатость поверхности, Ra2, мкм	0,4-0,6	0,4-0,5	0,2-0,4

Литература

1. П.И. Ящерицин и др. "Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах" Минск: Вышэйшая школа, 1990. - 512 с.
2. Режимы резания металлов: Справочник /под ред. Ю.Б. Барановского. М.: Машиностроение, 1972. - 408 с.

УДК 621.793

Формирование плазменных покрытий в условиях вибрации подложки

Студент гр. 104213 Лынов П.Н.
 Научный руководитель – Соколов Ю.В.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Целью настоящей работы является установить режим вибрации подложки обеспечивающей снижение внутренних напряжений в плазменных покрытиях в процессе их формирования. Уровень вибрации обеспечивали путем наложения на подложку переменного электромагнитного поля. Напыляли порошок системы FeWMoCr.

Установлено, что под действием знакопеременного магнитного поля, обеспечивающего резонансную частоту вибраций происходит снятие внутренних напряжений в покрытиях, возникающих вследствие термических условий напыления. Снижение напряжений объясняется тем, что при резонансных режимах вибраций, возбуждаемых через подложку в напыленных покрытиях происходит развитие релаксационных процессов. При этом напряжения, действующие в покрытии и превышающие по своей величине значения критического сопротивления сдвига, реализуют избыток энергии, запасенной при пиковых (резонансных) значениях частот вибраций, путем перераспределения дислокаций с образованием фрагментов. Если это не находит отражения в изменении микроструктуры, то хорошо заметно на электронных микрофотографиях. Здесь четко прослеживается эффект формирования блочной структуры, свидетельствующей о развитии разупрочняющих процессов в напыленном покрытии при резонансном режиме вибраций подложки. При напылении на неподвижную подложку в структуре покрытий блоков не обнаружено. Наблюдается хаотическое распределение дислокаций с образованием дислокационных скоплений.

Так, с увеличением мощности дуги в интервале 20 кВт ... 30 кВт приводит к плавному повышению плотности покрытия за счет прироста температуры частиц и их пластичности. Более высокая плотность частиц снижает долю упругой деформации при ударе о поверхность подложки и обеспечивает формирование покрытия высокой плотности. При переходе через экстремум (мощность дуги 30 кВт) на кривой наблюдается падение плотности, связанное, по-видимому, с интенсивно протекающими при напылении окислительными процессами, следствием чего является увеличение количества частиц оксидных соединений в структуре покрытий и межслойных границ с развитой сеткой пор. Полученные закономерности в изменении ударной вязкости, прочности на сжатие объясняется теми же причинами. Ход

кривых твердости и износостойкости связан с развитием упрочняющих процессов, вызванных окислением железа с образованием оксидов и условиями формирования покрытий при напылении на холодную подложку в условиях ее вибрации.

УДК620.22.(075.8)

Исследование влияния нормализации бесшовных труб после прокатки на механические свойства (РУП «БМЗ»)

Студентка гр.104513 Пугеева А.С.
 Научный руководитель – Пучков Э.П.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

В настоящее время на РУП БМЗ осваивается технологический процесс производства бесшовных труб для машиностроительной промышленности наружным диаметром от 21,3 до 168,3 мм с толщиной стенки от 2,3 до 32,0 мм; из стали .St52 (С345).

Таблица 1-Химический анализ St 52,№ плавки300092

№ проб	C	SI	MN	P	S	CR	NI	CU
82	0,1654	0,4560	1,3344	0,0147	0,0175	0,1594	0,1325	0,1950
81	0,1620	0,4663	1,3336	0,0152	0,0178	0,1588	0,1330	0,1980
83	0,1550	0,4545	1,3456	0,0141	0,0162	0,1592	0,1328	0,1952
49	0,1650	0,4791	1,3339	0,0155	0,0172	0,1596	0,1275	0,1917
46	0,1650	0,4800	1,3340	0,0157	0,0168	0,1582	0,1265	0,1946
	AL	AS	SB	TI	MO	SN	V	
82	0,0323	0,0071	0,0007	0,0044	0,0256	0,0075	0,0051	
81	0,0314	0,0073	0,0012	0,0044	0,0253	0,0078	0,0049	
83	0,0321	0,0067	0,0006	0,0031	0,0259	0,0073	0,0049	
49	0,0320	0,0071	0,0023	0,0060	0,0256	0,0076	0,0054	
46	0,0301	0,0080	0,0030	0,0064	0,0257	0,0081	0,0056	

В ряде случаев по требованию заказчиков к трубам предъявляются механические свойства, не обеспечиваемые после прокатки. Поэтому возникла необходимость в исследовании влияния термической обработки на механические свойства материала труб.

Исследовано влияние нормализации труб после прокатки на механические свойства.

Для исследования были предоставлены образцы труб 168,3*24 мм. после прокатки, которые были подвергнуты нормализации.

Механические свойства после прокатки и после нормализации представлены в таблице2.

Таблица 2-Механические свойства

Сос-тоя-ние образ-цов	Ма-рка ст	Плавка	$\sigma_{0.2}$ МПа	σ_b МПа	$\frac{\sigma_b}{\sigma_{0.2}}$	$\delta, \%$	Т испытаний, °С	Дл. после раз- рыва, мм	Нач. Расч длин- на, мм	Толщина стенки, мм	Размер трубы нар. Диаметр ,мм
После прокатки	St 52	300092	329	523	1,589	32,2	Ок.ср	33,1	25	24	168,3
Нормал.			409	550	1,344	34	Ок.ср	33,5	25	24	168,3
После прокатки			252	510	2,023		+400		25	24	168,3
Нормал.			245	544	2,22		+400		25	24	168,3

Статические испытания проводились на образцах после прокатки и после нормализации при температуре окружающей среды и при температуре 400°С.

При температуре окружающей среды после прокатки предел прочности увеличился с 523 Н/мм² до 550 Н/мм².

При температуре 400°C. после прокатки предел прочности увеличился с 510 Н/мм² до 544 Н/мм².

Нормализация бесшовных труб из стали St52 (C345) № плавки 300092 поводится по следующему режиму:

Трубы в печи нагревают до температуры 900-920 °С в течении определенного времени в защитной атмосфере и охлаждают на воздухе

Ускоренное охлаждение на воздухе приводит к распаду аустенита при более низких температурах, что повышает дисперсность феррито цементитной структуры и увеличивает количества перлита. В результате повышается прочность нормализованной стали.

Значения ударной вязкости (KCV) после прокатки и после нормализации представлены для стали St52 (C345) № плавки 300092 на рис1 Образцы для испытаний вырезают из материала труб. Образец должен быть длиной 55 мм, иметь квадратное сечение с длиной сторон 10 мм. В центре образца делается V – образная прорезь.

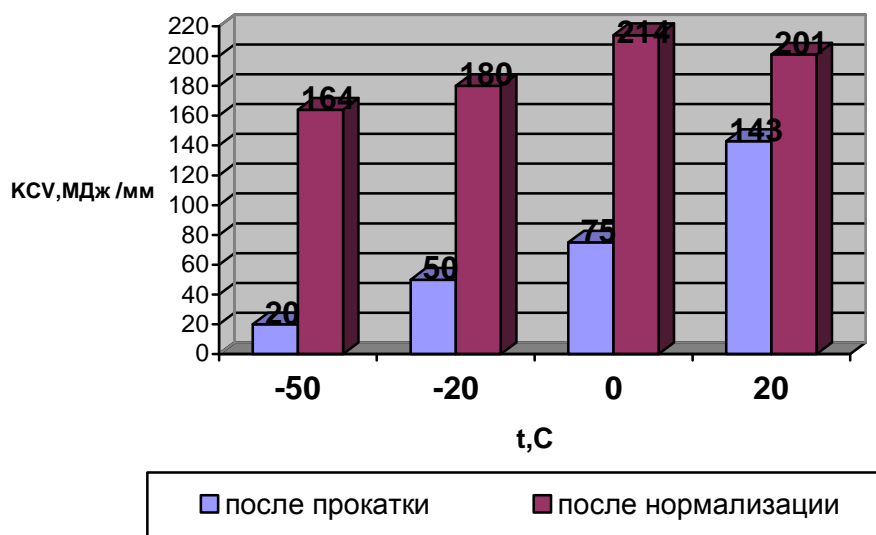


Рис.1 - Диаграмма зависимости ударной вязкости от температуры испытания.

Из диаграммы состояния видим, что с уменьшением температуры, значения ударной вязкости после нормализации, возрастают в 3-8 раз в зависимости от температуры проведения испытаний.

Нормализация вызывает полную фазовую перекристаллизацию горячекатаной стали и измельчает структуру полученную при прокатке.

Этим объясняется повышение сопротивления хрупкому разрушению, снижение порога хладноломкости и повышение работы развития трещины. По-видимому чем мельче зерно, тем больше суммарная межзеренная граница и тем меньше концентрация вредных примесей на границах зерен, в первую очередь примесей внедрения, таких, как, азот, кислород

Одним из основных требований, обеспечивающих низкий порог хладноломкости является низкое содержание вредных примесей: не более 0.025% S и не более 0.025% P. При малом количестве углерода вредные примеси концентрируются вблизи межзеренных границ, а при содержании их свыше предела растворимости выделяются в виде избыточных фаз по границам зерен. Это ведет к ослаблению межзеренной связи и повышению порога хладноломкости.

Наличие в стали содержания в небольших количествах Ni понижает порог хладноломкости, а содержание в стали Cг и Mn обеспечивает сквозную прокаливаемость, что так же ведет к снижению порога хладноломкости.

После прокатки действительное зерно по ASTM E112 FFA7,5 балла, отдельные зерна 6 балла (рис. 2), после нормализации 8,5 балла (рис. 3). На нормализованном образце у поверхности выявлен участок зерна 7 балла (рис. 4)

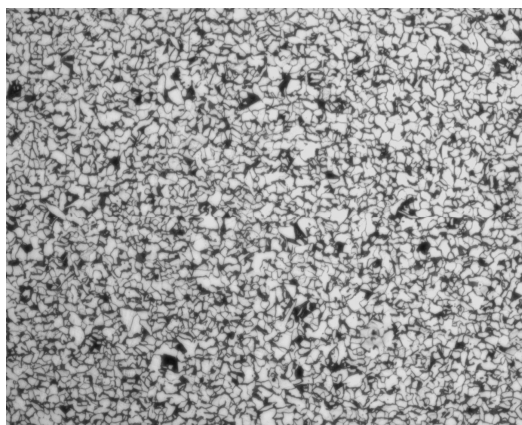


Рис.2 - Действительное зерно по ASTM E112 7,5 балла, *100.

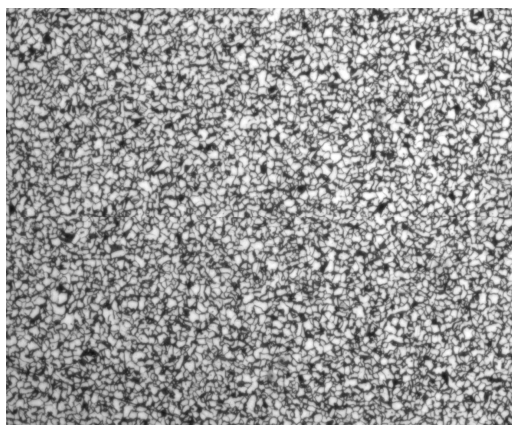


Рис. 3 - Действительное зерно по ASTM E112 8,5 балла, *100.

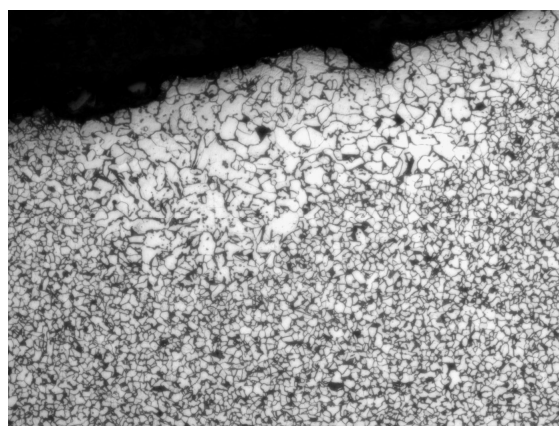


Рис.4 - Отдельный участок у поверхности 7 балла,*100.

Надежность бесшовных труб для машиностроительной промышленности наружным диаметром от 21,3 до 168,3 мм с толщиной стенки от 2,3 до 32,0 мм; из стали .St52 (C345), эксплуатируемых при низких температурах в значительной степени определяется хладноустойкостью используемых материалов. Важнейшей характеристикой для таких сталей является ее высокая вязкость и сопротивление хрупкому разрушению при низких температурах. Сопротивление стали хрупкому разрушению зависит от ее структурного состояния, определяющее влияние оказывает состав стали, величина зерна, структура, полученная в результате обработки, наличие и количества вредных примесей (S, P и др.)

УДК 669

Анализ возможности снижения энергетических затрат при индукционной наплавке деталей плугов на РУП «Минский завод шестерен»

Магистрант Рабцевич А.В.

Научный руководитель - Константинов В.М.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Упрочнение деталей наплавкой диффузионно-легированного порошка, является современным, перспективным методом, позволяющим добиться высокой износостойкости рабочих поверхностей при одновременном снижении энергоемкости и материальных затрат.

Температура плавления наплавочного порошка для индукционной наплавки составляет более 1200 °С, что отрицательно сказывается на качестве получаемого слоя и технологии наплавки в целом. Высокая температура наплавки приводит к интенсивному окислению наплавляемого порошка, ухудшению его эксплуатационных свойств и повышенному энергопотреблению установки для наплавки порошка. Так как плавление наплавочного порошка происходит за счет теплопередачи от металла подложки имеющей температуру порядка 1250 – 1300 °С. Выросшее в процессе наплавки, зерно аустенита, после закалки даст структуру, плохо выдерживающего динамические нагрузки, крупнооугольчатого мартенсита, что в свою

очередь повлечет необходимость дополнительной термообработки, а следовательно и увеличение энергозатрат.

Снижение температуры плавления порошка позволит значительно снизить потери энергии в фазе наплавки, не допустить перегрева металла основы, а также произвести качественную термическую обработку непосредственно с температуры наплавки. Использование индукционной наплавки позволяет достичь достаточно высокой производительности при производстве наплавленных деталей, а использование спрейерной закалки дает возможность отказаться от применявшейся ранее закалки в масле и улучшить экологическую обстановку на рабочем месте.

Применяемый в настоящее время на РУП «Минский завод шестерен» процесс индукционной наплавки боридного порошка на лемеха и долота плугов заключается в непосредственной закалке лемехов с температур наплавки, а затем повторной термической обработки в электрических толкательных печах. Такая схема дает стабильный результат, но требует слишком больших затрат энергии.

Оптимизированная схема позволяет совместить процесс наплавки с последующей термической обработкой. Закалка детали проводится с помощью спрейерного устройства совмещенного с индуктором, после подстуживания ниже критической точки A_{c1} и повторного нагрева до температур выше A_{c3} . При этом тепло аккумулированное деталью на стадии наплавки позволяет достичь температуры закалки быстрее и следовательно снизить расход энергии, а повторный нагрев позволяет уменьшить размер зерна аустенита. Контроль температур наплавки, времени подстуживания и нагрева осуществляется при помощи оптического пирометра, встроенного в схему управления индуктором.

Таким образом, совмещение процесса наплавки с последующей термической обработкой позволит отказаться от применяемого сейчас метода. Использование тепла, аккумулированного деталью на различных участках наплавки, даст возможность существенно сократить время нагрева, а также отказаться от повторного нагрева, необходимого для отпуски изделий. Это приведет к экономии 23% электроэнергии, по сравнению с применявшейся технологией, снижению себестоимости продукции на 10% и увеличению производительности изготовления в 1,3 раза, а применение пирометра в качестве регулирующего устройства позволит добиться стабильности получаемых результатов.

УДК 621.923

Интенсификация финишной обработки крупногабаритных подшипников

Студенты – Головков В.В., Садченко А.Г.
Научные руководители – Акулович Л. М., Сергеев Л.Е., Сенчуров Е.В.
Белорусский государственный аграрный технический университет
г. Минск

Известно, что подшипники качения являются основными видами опор в машинах и механизмах. Работоспособность тяжело нагруженных подшипниковых узлов в значительной степени зависит от шероховатости и точности обработки посадочных поверхностей [1].

Установлено, что подшипники, изготовленные из обычных шарикоподшипниковых сталей типа ШХ-15 и т.д. ГОСТ 801-78 удовлетворительно работают при температурах ниже 200-220°C [2]. При их повышении мартенсит переходит в троостит отпуска, что сопровождается падением твердости и резким снижением долговечности изделия. Тяжелонагруженные и крупные подшипники находятся в более напряженном состоянии трущихся поверхностей. Поэтому их обоймы выполняются с цементируемыми рабочими поверхностями по специальным техническим условиям из стали 12Х2Н4А и 20Х2Н4А. Например, глубина цементированного слоя достигает 5-6 мм, а продолжительность процесса цементации составляет 120-150 ч при температуре 850-900°C. После цементации заготовки подвергают отжигу при $t=800^\circ\text{C}$. Затем осуществляется закалка при $t=750-800^\circ\text{C}$ и отпуск при $t=180-200^\circ\text{C}$ [2]. Данной технологической характеристикой подчеркивается трудоемкость всего производственного процесса по изготовлению подшипников качения, а также роль финишных операций как завершающих и потому на которые падает особая ответственность по обеспечению требуемых эксплуатационных свойств деталей.

В качестве образцов использовались кольца подшипников $d_{вн}=216$ мм из стали 12Х2Н4А (ГОСТ 4543-71) твердостью 61-63 HRC. Финишная обработка деталей по заводской технологии состояла из шлифования и последующего хонингования, по сравниваемой — из шлифования и магнитно-абразивной обработки (МАО) [3-6]. Режущим инструментом при МАО является ферроабразивный порошок Ж15КТ (ТУ 6-09-03-483-81) на основе карбидов титана, зернистость которого составляет 160/200 мкм (рис.1).

Измерение шероховатости и запись микрорельефа поверхности после различных финишных операций производились на профилографе-профилометре “252-Калибр”. Рентгеноструктурные и рентгенографические исследования проводились на дифрактометре ДРОН-3 с ионизационным методом регистрации интерференционных максимумов. Съемку производили в кобальтовом монохроматизированном излучении. Установление количества остаточного аустенита осуществлялось сравнением с интенсивностью соответствующих линий стали Х19Н9Т (ГОСТ 5632-72) в отожженном состоянии, имеющей полностью аустенитную структуру. Структура поверхностного слоя определялась на металлографическом

микроскопе “Neophot-2”. Напряжения первого рода измерялись по смещению рентгеновской линии $(211)_\alpha$ на приборе УРС-50И. Для расчета характеристик кристаллической решетки использовали метод аппроксимации.



Рис.1. Форма частиц ферроабразивного порошка Ж15КТ, x 100.

Выявление структуры аустенита осуществлялось с использованием реактива Марбле в качестве травителя [7]. Согласно специальным техническим условиям структура подшипниковых сталей должна состоять из скрытокристаллического или мелкокристаллического мартенсита и мелких избыточных карбидных включений. На рис.2 показана исходная структура стали 12Х2Н4А после цементации, закалки и отпуска. Данная структура имеет типовую морфологию кристаллов в составе твердого раствора (мартенсита) и полностью отвечает особенностям фазовых мартенситных превращений [7].

Известно, что тяжелонагруженные подшипниковые узлы требуют постоянного подвода масла для поддержания режима жидкостной смазки и отвода тепла, выделяющегося при трении. Необходимым условием контакта при этом виде смазки является требование, чтобы минимальный зазор между рабочими поверхностями был не менее суммы средних высот микронеровностей данных поверхностей [8]. В соответствии с современными представлениями о режиме работы подшипникового узла, для сохранения параметров жидкостного трения следует иметь оптимальное значение шероховатости поверхностного слоя $R_a=0,08-0,63$ мкм.

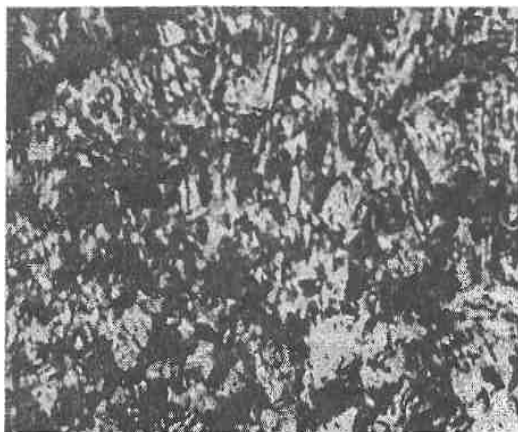


Рис.2. Структура стали 12Х2Н4А после термообработки (цементация, закалка, отпуск), x1000.

При неупорядоченном расположении микронеровностей, образованных традиционными методами обработки, наиболее благоприятным является профиль, обладающий развитой несущей поверхностью [2]. Шероховатость после шлифования, хонингования и MAO составляет $R_a=0,6,0,2$ и $0,1$ мкм соответственно. Для поверхностного слоя, созданного шлифованием, характерна большая высота микронеровностей, чем для хонингования и MAO, что может привести к снижению его несущей способности и повышению вероятности падения давления в масляном слое. MAO образует наиболее приближенный к оптимальному микрорельефу, который, однако, по сравнению с хонингованием отличается меньшей упорядоченностью. Вместе с тем присутствует рост выглаженности вершин и впадин микронеровностей, что увеличивает действительную площадь контакта трущихся поверхностей. Согласно [9], контактная жесткость и износостойкость поверхностей тем выше, чем больше их опорная площадь и меньше углы профиля микронеровностей, что и характерно для слоя, созданного MAO. Когда под действием высокой температуры процесса происходит локальные фазовые и структурные превращения. Это проявляется в виде “шлифовочных прижогов” и сопровождается потемнением обработанного участка, в отдельных случаях обнаруживаемого визуально. Структурные превращения в этих местах приводят к локальным объемным изменениям, вызывающим рост

внутренних напряжений разного знака. Если напряжения превышают временное сопротивление металла, происходит разрыв поверхностного слоя в центре или на границах участка “прижога”, как в точке наибольшей их концентрации. Возникновение микротрещин на поверхности резко снижает сопротивление усталости изделия [10].

В таблице представлены данные по определению остаточных напряжений в поверхностном слое деталей после различных операций финишной обработки. Поскольку при МАО процесс преимущественно носит характер тонкого пластического деформирования, то происходит образование сжимающих напряжений, как и после хонингования.

Таблица - Величина остаточных сжимающих напряжений в поверхностном слое после различных методов финишной обработки

Метод обработки	Величина остаточных напряжений, МПа
Исходное состояние (цементация, закалка, отпуск)	660
Шлифование	150
Хонингование	810
Магнитно-абразивная обработка	980

При шлифовании высоколегированной закаленной стали в результате вторичной закалки образуется поверхностный слой, имеющий аустенитно-мартенситную структуру. Этот слаботравящийся белый слой, открытый В.П.Кравз-Тарнавским в 1928 г., обладает повышенными по сравнению с основным металлом твердостью и хрупкостью. Его структура отличается от структуры стали после обычной закалки повышенным содержанием остаточного аустенита (до 80%) и увеличенным параметром кристаллической решетки. Поскольку пластической деформации в первую очередь подвергаются зерна остаточного аустенита, то в процессе обработки скопления дислокаций сосредотачиваются именно в аустенитной фазе, что часто приводит к образованию микро- и макротрещин. В связи с этим при циклическом воздействии контактных нагрузок деформированные зоны остаточного аустенита служат концентраторами напряжений и способствуют снижению прочности [11].

Применение таких финишных операций как хонингование и МАО приводит к устранению дефектного слоя глубиной 50 мкм и образованию характерного микрорельефа и структуры поверхности, обеспечивающих более качественные характеристики материала по сравнению со шлифованием. В отличие от хонингования, магнитно-абразивная обработка обеспечивает увеличение остаточных сжимающих напряжений на поверхности деталей в среднем на 20% при равных размерах областей когерентного рассеяния.

Литература

1. Подшипники качения. Справочник. Ред. В.Н.Нарышкин, Р.В. Коросташевский. М: Машиностроение, 1984. 280 с.
2. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. Кн.2. М.: Машиностроение, 1988. 544 с.
3. Ящерицын П.И., Кожуро Л.М., Ракомсин А.П., Сергеев Л.Е., Сидоренко М.И. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле. Минск: Изд. Физ-тех ин-та, 1997. 416 с.
4. Скворчевский Н.Я., Федорович Э.Н., Ящерицын П.И. Эффективность магнитно-абразивной обработки. Минск: Наука і тэхніка, 1991. 215 с.
5. Барон Ю.М.. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущего инструмента. Л.: Машиностроение, 1986. 172 с.
6. Yascheritsin P.I., Sergeev L.E., Sidorenko M.I. The comparative appraisal of quality characteristics of holes after different finishing methods. Adv.Perform.Mater., 1997, v.4, No.3, p.337-347.
7. Металловедение и термическая обработка стали. Справочник. Ред. М.Л. Бернштейн, А.Г. Рахштадт. Т.1, кн.2. М.: Металлургия, 1991. 462 с.
8. Гаркунов Д.Н. Триботехника. М.: Машиностроение, 1989. 328 с.
9. Трение, изнашивание и смазка. Справочник. Ред. И.В. Крагельский, В.В.Алисин. Кн.1. М.: Машиностроение, 1978. 400 с.
10. Ящерицын П.И., Мартынов А.Н. Чистовая обработка деталей в машиностроении. Минск: Вышэйшая школа, 1983. 190 с.
11. Ящерицын П.И., Еременко М.Л., Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. Минск: Вышэйшая школа, 1990. 512 с.

Машины и технология литейного производства

Студент гр. 104315 Ероховец П.
Консультант – Фасевич Ю.Н.
Научный руководитель – Кукуй Д.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Эффективность вставки определяется тем, как долго она может задержать отверждение металла внутри прибыли. Тепло, выделившееся экзотермической вставкой, может замедлить или даже предотвратить потери тепла от прибыли, тем самым, замедляя формирование твёрдой корки на ранних стадиях отверждения, а также увеличивая общее время затвердевания прибыли. В отдельных случаях, например точечное питание, вставка для прибыли может быть спроектирована таким образом, чтобы обеспечить теплом перегрев металла в прибыли, что приведёт к значительному увеличению времени отверждения.

Сегодня моделирование процессов литья - хорошо укоренившийся инструмент для оптимизации моделей и методов литья. В действительности, приспособления для моделирования постепенно развиваются, чтобы стать интегрированной частью всего процесса производства отливок, от проектирования отливки до установки производственных параметров.



По этой причине, знание о выделяющемся тепле от экзотермической вставки важно для правильного моделирования процесса отверждения металла в прибыли и определения питания металлом отливки.

Очевидно, что моделирование всего комплекса особенностей, которые приводят к освобождению экзотермического тепла, находится за пределами моделирования процесса литья. Однако, потери тепла могут быть промоделированы, используя три параметра: полная производимая энергия на единицу массы материала вставки, температура, выше которой воспламеняется вставка и начинается реакция (температура воспламенения), и промежуток времени, когда небольшой образец материала вставки освобождает существенную энергию (время горения).

Необходимыми характеристиками для описания теплового обмена, накопления и отвода тепла для всех материалов в литейной системе являются плотность, удельная теплоёмкость, тепловая диффузия, тепловая проводимость.

В целом, одни и те же материалы могут быть использованы при производстве широкого спектра экзотермических вставок для изделий различных форм и размеров, а точные данные обязательны для верного соответствия этим широким диапазонам. Это возможно лишь тогда, когда определены действительные термо-физические свойства материалов, и они же используются в производстве. Так как условия, при которых свойства измеряются в лаборатории, могут значительно отличаться от условий, существующих на реальном производстве, становится очевидным, что дальнейшие усилия экспериментов должны быть направлены на улучшение свойств моделирования литья.

В процессе рассмотрения результатов полученных в результате моделирования процесса отверждения металла в прибыли и определения питания металлом отливки определены направления в изучении свойств экзотермических смесей:

необходимое время начала экзотермической реакции (с момента, когда экзотермическая реакция в результате соприкосновения с расплавом); скорость горения экзотермической смеси; нахождение температуры в центре экзотермической реакции и время достижения максимальной температуры; определение количества теплоты выделившейся в определенное время.

Студент гр. 104323 Карбанович С.А.
 Научный руководитель – Скворцов В.А.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Процесс литья под давлением заключается в том, что расплавленный металл заливается в камеру машины, соединенную литниковыми каналами с замкнутой полостью разъемной металлической формы. Под действием поршня металл перегоняют из камеры в полость формы, где она затвердевает и образует отливку. При раскрытии формы отливку удаляют.

Движение расплавленного металла в литниковых каналах и в рабочей полости формы, как и движение любой вязкой жидкости, подчиняется законам гидравлики. В разработке теоретических вопросов заполнения полости формы принимали участие исследователи: Л.Фроммер, Х.Брантон, Я.И.Островский, Л.И.Винберг, А.К.Белопухов и многие другие.

При литье под давлением основным расчетным элементом литниковой системы является сечение впускного канала-питателя. Размеры питателя влияют на гидродинамический и тепловой режимы литья и, следовательно, от них зависит качество отливки.

Площадь поперечного сечения питателя определяют по формуле:

$$f = \frac{G_{отл}}{\gamma \omega \tau}, \text{ м}^2$$

где $G_{отл}$ – масса отливки, кг; γ – плотность жидкого сплава, кг/м³; ω – скорость впуска, м/с; τ – время заполнения полости формы, с.

При проектировании литниковой системы масса отливки ($G_{отл}$) и плотность жидкого сплава (γ) задаются.

Главными физическими параметрами, по которым ведется расчет площади поперечного сечения, являются скорость впуска (ω) и время заполнения (τ). Анализ процесса заполнения показывает: характер движения металла в форме зависит от скорости струи и вязкости жидкого металла.

Если скорость струи превышает какую-то критическую величину, зависящую от сил сцепления, упругости и вязкости сплава, и толщины струи, то при ударе происходит рассеивание струи и часть жидкого металла отбрасывается в различных направлениях. Это приводит к захватыванию металлом воздуха и, как результат, образованию пористой отливки.

Наилучшими условиями заполнения для отливки «Картер масляный» будут такие, при которых скорость впуска не превышает критического значения и разбрызгивания не происходит. Характер движения потока в этом случае является ламинарным и отливка имеет плотную структуру, что очень важно при получении нашей отливки.

Таким образом, учитывая рекомендации исследователей, выбираем давление прессования в пределах 0,005-0,20 МПа, при котором скорость впуска и время заполнения формы не превышают критического значения.

Студентка гр. 104323 - Боярчук М. А.
 Научный руководитель - Кукуй Д. М.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Металлокорд является основным продуктом для армирования шин и рукавов высокого давления. Продукция БМЗ составляет 5% мирового производства металлокорда, он является ведущим поставщиком этого продукта. Значительная его часть поставляется на экспорт. Основными потребителями являются известные изготовители шин — фирмы «Континенталь», «Гудиер», «Пирелли», «Мишлен», «Данлоп» и др. Исходной заготовкой для производства металлокорда служит катанка, качество которой определяется всей технологией ее производства, начиная от выплавки стали и заканчивая прокаткой и термообработкой катанки на проволочном стане.

В ЭСПЦ-2 высококачественную углеродистую сталь, сталь для метал-локорда и легированную сталь производят по схеме:

ДСП – печь-ковш – вакууматор RH (VD) – печь-ковш – МНЛЗ.

Весь металл, производимый по этой схеме и предназначенный для разливки на МНЛЗ-№ 3, проходит через участок внепечной обработки; до 80% плавов в зависимости от марки стали обрабатывается на вакууматорах.

Цех, получения литых заготовок для производства металлокорда, состоит из:

- печь ДСП-№ 3 с эркерным выпуском и возможностью загрузки окатышей и вдувания доломитовой муки;

- установка печь-ковш;
- вакууматоры RH и VD;
- установка обжига известняка № 2;
- четырехручьева МНЛЗ-№ 3, сечение заготовки 250x300 и 300x400 мм;
- вспомогательное оборудование.

Электродуговые печи предназначены для производства углеродистых, кордовых, легированных и высоколегированных сталей.

Т. к. печи оснащены эркерным выпуском, то это обеспечивает полную отсечку печного шлака. Благодаря более компактной струе при выпуске, а также уменьшению его продолжительности снижаются потери температуры металла, загрязненность металла шлаковыми включениями и т. д., что наряду с другими факторами приводит к уменьшению длительности плавки и расхода энергии. Так как время выпуска сокращается, снижаются вторичное окисление и насыщение стали азотом.

Каждая печь оснащена тремя газокислородными горелками, расположенными в стенах, и установкой по продувке ванны расплава кислородом, закрытой шумозащитным кожухом. Ввод кислорода через кислородное копые интенсифицирует процесс выплавки стали.

При эксплуатации печей чередуются два метода выплавки стали: с завалкой шихты на «сухую» (очищенную от остатков шлака и металла) подину — одна и более плавов и с завалкой шихты на «болото» (на шлак и примерно на 1/15 часть массы металла предыдущей плавки) — 2...12 плавов. Максимальное повышение производительности дуговых печей достигается при завалке металлошихты на остаток металла и шлака предыдущей плавки. Основная технология — одношлаковый процесс с завалкой шихты на «болото».

Стандартная шихта складывается из 80...100% металлizadosанных окатышей со степенью металлизации > 92% и из 10...20% оборотного лома. К достоинствам использования окатышей является возможность непрерывной загрузки их через свод печи в течение всей плавки. ДСП № 3 оборудована специальной системой подачи окатышей в ванну. Технология непрерывной подачи окатышей и извести в соотношении 10:1 позволяет совмещать плавление шихты с окислением избыточного углерода. Во всех случаях обеспечивается содержание хрома, никеля и меди менее 0,05% каждого. В качестве флюса применяют известь химического состава $\text{CaO} + \text{MgO} > 94\%$.

Постоянная присадка извести, шпата, кокса и обновление шлака снижают количество фосфора и серы в стали. Регулярная присадка кокса необходима также для образования пенного шлака, экранирующего футеровку стен и свода и препятствующего насыщению стали азотом во время плавления.

Эффективной мерой повышения качества высокоуглеродистых сталей явилась внепечная обработка стали на вакууматорах.

В состав отделения внепечной обработки стали БМЗ входят циркуляционный (RH) и ковшевой (VD) вакууматоры, а также установка печь-ковш. Основная задача вакуумирования — по возможности максимальное удаление газов из стали. Оба вакууматора обслуживаются одной системой насосов, обеспечивающих остаточное давление менее 100 Па. Дегазации подвергаются высокоуглеродистые и легированные стали.

Раскисление и легирование стали производятся в ковше при выпуске стали из печи. Весь металл обрабатывается инертными газами (аргон, азот). Установка продувки инертным газом предназначена для доводки, усреднения химического состава.

При дегазации в циркуляционном вакууматоре во всасывающий патрубок подается аргон интенсивностью 400...500 л/мин. В качестве основной схемы обработки стали в дегазаторе VD применили стандартную технологическую схему ДСП -> печь-ковш -> VD -> печь-ковш с обязательным удалением шлака перед вакуумированием.

Во время обработки стали с помощью вакууматора VD сталь продували аргоном с оголением зеркала металла. После обработки плавов на установке VD для закрытия дуги при подогреве металла на установке печь-ковш присаживали известь (300...400 кг) и плавиковый шпат (80...100 кг). В качестве резервной технологии использовали обработку стали по схеме ДСП -> VD -> печь-ковш.

Разливка высококачественных сталей, в том числе кордовых и легированных, производится на МНЛЗ № 3. Машина четырехручьева, относится к машинам вертикального типа с прямолинейным кристаллизатором с последовательным изгибом и выпрямлением заготовок. Сечение заготовок 250x300 и 300x400 мм. Диапазон скоростей 0,1...1,5 м/мин, расстояние от зеркала металла до средней точки радиуса 3200 мм, радиус дуги 10 м.

Студент гр. 104324 Колоско П.С.
 Научный руководитель – Чичко А. А.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Одной из задач современного сталеплавильного производства является снижение себестоимости выплавляемой стали. Важную роль при этом играет оптимизация плавки с целью уменьшения расходуемых шлакообразующих, коррозии футеровки и потерь тепла со шлаком. Потери тепла в ходе окислительного рафинирования стали обусловлены нагревом и разложением вводимых шлакообразующих, износ футеровки – вымыванием из нее окиси магния. Мерой снижения материальных и энергетических затрат может являться оптимизация состава сталеплавильного шлака.

Целью настоящей работы является моделирование шлакового режима плавки с целью установления пределов удаления фосфора при обновлении шлака добавкой извести с фиксированной массой, а также оптимизация концентрации окиси магния в сталеплавильном шлаке.

При моделировании шлакового режима использовались термодинамические расчеты растворимости окиси магния, коэффициента перераспределения фосфора между металлом и шлаком а также нагрева и разложения известняка. Для расчета растворимости окиси магния и распределения фосфора использовался аппарат теории регулярных ионных растворов, при этом с использованием теории Кожеурова наряду с влиянием температуры учитывалось взаимное влияние компонентов шлака на их активности. При этом предварительно была произведена проверка адекватности используемых моделей: для коэффициента распределения фосфора – по экспериментальным данным Белорусского металлургического завода, для растворимости окиси магния – по литературным данным [1]. В качестве источника термодинамических данных был использован справочник [2]. В ходе проведения экспериментальных исследований осуществлялся отбор образцов шлака и металла с интервалом 3 – 4 мин через рабочее окно 100 – тонной дуговой печи РУП БМЗ. При этом для получения адекватной картины каждая проба шлака включала 4 – 5 одновременно отобранных образцов. Далее с помощью плазменной спектроскопии проводились анализы отобранных проб шлака на содержание SiO_2 , CaO , FeO , MgO и металла на содержание C и P .

В основе коррозии футеровки лежит процесс растворения и вымывания одного из основных компонентов – оксида магния. Скорость протекания данного процесса описывается уравнением:

$$V = kS(C_{\text{нас.}} - C)$$

где: V – скорость растворения, кг/с; S – площадь раздела фаз, м^2 ; $C_{\text{нас.}}$ и C – концентрации оксида магния в соответственно насыщенном и текущем составе шлака, %

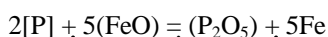
Распространенной практикой снижения агрессивного воздействия шлака на футеровку является повышение основности шлака и его насыщение по окиси магния путём введения добавок доломита. При этом достигается предел растворимости по окиси магния, разность $(C_{\text{нас.}} - C)$ уменьшается и растворение футеровки блокируется. Однако при введении доломита важно не допустить превышения концентрации окиси магния над пределом ее растворимости, что в противном случае вызовет выделение кристаллической фазы из шлака, то есть сделает его гетерогенным и ухудшит его рафинирующую способность вследствие затруднения протекания в нем массопереноса.

Разработанный алгоритм расчета растворимости окиси магния в сталеплавильных шлаках позволяет оценить массу добавки доломита, необходимой для достижения предела насыщения и снижения агрессивного воздействия на футеровку сталеплавильного агрегата. При этом учитывается влияние компонентов шлака и температуры.

Пределы удаления фосфора

Фосфор является вредной примесью, отрицательно влияющей на механические свойства стали, в частности, вызывающей повышение хрупкости. В большинстве распространенных марок сталей допустимое содержание фосфора ограничивается пределами 0,015 – 0,07%. Поэтому при получении высококачественной стали распространенной практикой является окисление фосфора и перевод его в шлак по ходу плавки, то есть дефосфорация металла. Шлак при этом выступает в роли экстрагента, извлекающего фосфор из металла и прочно его удерживающего в виде оксида.

В основе удаления фосфора лежит химическая реакция, которую в упрощённом виде можно представить так:



Как видно из уравнения реакции, протеканию процесса удаления фосфора из металла способствует понижение активности его оксида в шлаке. Поэтому для успешного протекания дефосфоризации необходимо как дальнейшее связывание оксида фосфора в шлаке в форме различных соединений, так и

обновление шлака. Наиболее прочные соединения формируются при введении в шлак извести, однако ее избыточные количества также нежелательны. В рамках разработанной модели возможен расчет коэффициента распределения фосфора между металлом и шлаком в зависимости от его состава и температуры. Точность моделирования была проверена путем экспериментального определения коэффициента распределения фосфора. Коэффициент парной корреляции массивов экспериментальных и расчетных данных составил 0,75. Результаты сравнения экспериментальных и расчетных данных представлены на рис. 1:

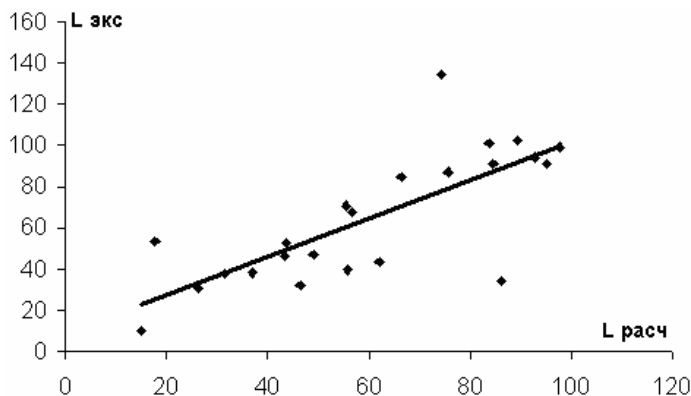


Рис. 1. Корреляция экспериментальных и расчетных значений коэффициента распределения фосфора L

При известном значении коэффициента распределения L можно рассчитать количество фосфора, удаляемое при введении в шлак извести известной массы. На рис. 2 приведен пример моделирования снижения общего содержания фосфора в модельной системе при введении порций извести в шлак массой 10 кг, находящийся на металле массой 100 кг и общим содержанием фосфора 0,1 кг:

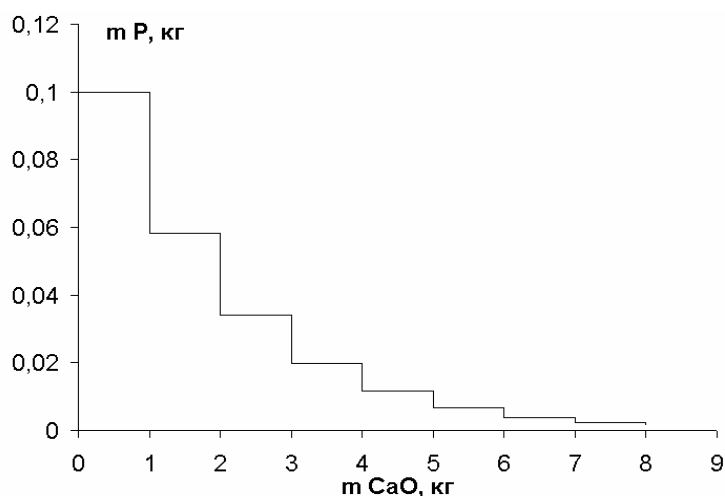


Рис. 2. Остаточный уровень содержания фосфора в системе при введении порций извести массой по 2 кг

Экономические затраты

Зачастую улучшение одного из показателей может приводить к общему удорожанию процесса, поэтому при любых рекомендациях по совершенствованию шлакового режима требуется расчёт сопутствующих энергетических и экономических затрат. Разработанная модель позволяет учесть тепловые потери на нагрев и разложение вводимых шлакообразующих добавок, что наряду с исходными данными по стоимости используемых материалов и электроэнергии помогает выбрать наименее затратный способ осуществления процесса.

Литература

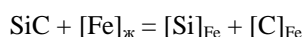
1. Кожеуров В. А. Термодинамика металлургических шлаков. – Свердловск: ГНТИЛ, 1955.
2. Краткий справочник физико-химических величин / Под редакцией Мищенко К.П., Равделя А.А. – Л.: Химия, 1974.

Студент гр. 104324 Мишкевич М.Г.
 Научный руководитель – Соболев В. Ф.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

При выплавке чугуна в вагранке для доведения химического состава по кремнию используется дорогостоящий ферросилиций.

На Минском заводе отопительного оборудования была проведена серия опытных плавов с целью частичной замены ферросилиция металлургическим карбидом кремния марки SiC-88, используемым в качестве раскислителя.

Карбид кремния при температурах характерных для ваграночного процесса не плавится. Как следует из диаграммы состояния системы Si-C при температуре 2545⁰C протекает перитектическая реакция с образованием твердого углерода и расплава кремния насыщенного углеродом [1]. Вместе с тем при контакте с расплавом железа SiC реагирует с растворением в нем углерода и кремния по реакции:



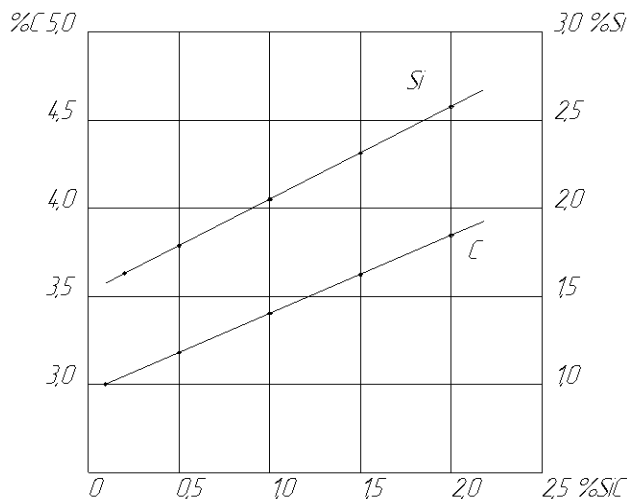
Карбиды кремния – термически прочные соединения. Для реакции $\text{Si}_{\text{ж}} + \text{C}_{\text{тв}} = \text{SiC}$ зависимость изменения энергии Гиббса от температуры описывается выражением

$$\Delta G_{1683 - 2000\text{K}} = -100600 + 34,97T \text{ Дж/моль.}$$

Термодинамическая вероятность взаимодействия SiC с жидким железом с растворением углерода и кремния в нем с образованием растворов может быть оценена по следующим реакции:

$$\begin{aligned} \text{SiC} &= \text{Si}_{\text{ж}} + \text{C}_{\text{тв}}; \\ \Delta G_T^0 &= 100600 - 34,97T \text{ Дж/моль}; \\ \text{Si}_{\text{ж}} &= \text{Si}_{(\text{р-р в Fe})}; \\ \Delta G_T^0 &= -119130 - 25,46T \text{ Дж/моль}; \\ \text{C}_{\text{тв}} &= \text{C}_{(\text{р-р в Fe})}; \\ \Delta G_T^0 &= 22600 - 42,3T \text{ Дж/моль}; \\ \text{SiC} &= [\text{Si}]_{\text{Fe}} + [\text{C}]_{\text{Fe}}; \\ \Delta G_T^0 &= 4076 - 102,66T \text{ Дж/моль.} \end{aligned}$$

Анализ приведенных термодинамических данных свидетельствует, что SiC может взаимодействовать с расплавом ниже точки его плавления, однако скорость процесса будет тем больше, чем выше температура расплава. Из зависимости $\Delta G_T^0(T)$ для реакции взаимодействия SiC с расплавом следует, что указанная реакция идет с расходом тепла. Это обстоятельство необходимо учесть при проведении опытных плавов.



Плавка чугуна осуществляется в вагранке с кислой футеровкой, причем часть ферросилиция заменялась карбидом кремния. Карбид кремния давали в металлизавалку в виде брикетов. При введении возрастающего количества брикетов SiC возрастало содержание углерода и кремния по сравнению с базовым чугуном.

Существенно снизилась склонность чугуна к отбелу. Так клиновые пробы, отлитые из базового чугуна, имели сквозной отбел, то после введения SiC величина отъела составляла 2,5–3 мм.

Таким образом проведенные теоретические и экспериментальные исследования подтвердили принципиальную возможность получения чугуна из некондиционной шихты с использованием брикетов карбида кремния.

В заключение необходимо отметить, что выплавка чугуна в вагранке с кислой футеровкой с исходно низким содержанием углерода и кремния и использование SiC-брикетов является весьма эффективным процессом как с технической так и с экономической точки зрения.

Литература

1. Порада А.Н., Гашк М.И. Электротермия неорганических материалов.–М.: Металлургия. 1990.– 232с.

УДК 669.14

Выбор путей создания инструментальных материалов повышенной износостойкости при переплаве отходов инструментального производства

Студент гр.104313 Иванкович Е.В.
Научный руководитель – Рудницкий Ф.И.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Необходимость в технологиях изготовления литых инструментальных заготовок путем переплава отходов в Республике Беларусь не вызывает сомнений. В настоящее время стоимость 1 т проката быстрорежущей стали, ввозимой из-за пределов страны составляет от 60 до 100 млн. рублей. Стоимость лома инструментального производства – 9-10 млн. рублей. Суммарные затраты на выплавку 1 т заготовок не превышают 2 млн. рублей.

Основной проблемой внедрения таких технологий является достижение стабильности качества заготовок, обеспечивающего необходимые физико-механические и эксплуатационные свойства инструментального материала.

При исследовании технологических аспектов плавки инструментального лома в работе предпринята попытка повышения износостойкости инструмента путем введения в состав стали бора и повышенного количества углерода. Эти элементы в значительной степени повышают твердость, теплостойкость и износостойкость быстрорежущей стали за счет увеличения в ее структуре доли карбидов и карбоборидов сложного состава.

Использование таких элементов при традиционном металлургическом способе производства инструментальных заготовок невозможно из-за необходимости проведения операцийковки и прокатки. При использовании же литейных технологий такие операции исключаются из технологического процесса.

В результате трибологических испытаний экспериментальных образцов установлено, что сталь с повышенным содержанием бора и углерода в 1,4-1,8 раз превосходит литую сталь Р6М5 и в 2,8-3,6 раз деформированную аналогичного состава.

УДК 621.743.074:544.332-971.2

Сущность экзотермического подогрева прибылей

Студент гр. 104324 – Прохорченко И.Ф.
Научный руководитель – Кукуй Д.М.
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск

Повышение качества отливок, сокращение и исключение литейных дефектов – важнейшая задача современного литейного производства. Качество и работоспособность литых деталей определяются не только химическим составом и свойствами материала, из которого они изготовлены, но и наличием (или отсутствием) литейных дефектов. Одна из серьезных проблем – большие усадочные раковины и рыхлоты, возникающие в узлах отливки при ее кристаллизации. Данные пороки в местах скопления металла в отливках - снижают механические свойства деталей и могут привести к отбраковке отливки в целом.

Действенной мерой является конструирование специальных литниковых систем, чтобы избавиться от этих пороков в отливке, а именно установка в местах скопления металла прибыли. Однако это усложняет литниковые системы, увеличивает расход металла для получения качественных отливок и зачастую не обеспечивает полного решения проблемы.

Анализ влияния различных технологических факторов на повышение эффективности действия прибылей показывает, что выход годного при производстве стальных и чугунных отливок удастся повысить лишь на 9-12% путем изменения геометрии прибылей и их теплоизоляции. Применение газотворных патронов для этих целей не дает стабильных положительных результатов, т.к. их действие определяется температурными условиями заливки металла.

Наиболее рациональным и эффективным технологическим процессом при производстве отливок из черных сплавов, который обеспечил бы повышение годного в среднем на 15-20%, является обогрев прибылей экзотермическими смесями.

Сущность экзотермического подогрева прибылей заключается в следующем. Из экзотермической смеси изготавливают вставки, которые после сушки устанавливаются на модели отливок и заформовываются, после заливки экзотермическая смесь от соприкосновения с жидким металлом начинает сгорать и выделяет большое количество тепла, вокруг жидкого металла образуется раскаленная «рубашка» и металл прибыли поддерживается в жидком состоянии до полного затвердевания отливки.

Такого рода специальные экзотермические вставки появились сравнительно недавно: всего 5-10 лет назад ведущими европейскими производителями вспомогательных литейных материалов «Foundrycoseg» (Италия), «AUG.GUNDLACH KG» (Германия), HUTTENES-ALBERTUS (Германия) потребителям были предложены экзотермические вставки для снижения металлоемкости стальных и чугунных отливок. Популярность их среди литейщиков быстро растет, а эффективность и необходимость использования особенно при изготовлении ответственных отливок не вызывает сомнений.

УДК 621.74

Снижение удельных энергозатрат при электроплавке чугуна и стали

Студентка гр.104313 – Мосько Л.В.

Научный руководитель – Ровин С.Л.

Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Повышение эффективности использования энергии – одна из важнейших задач современного производства. Наиболее энергоемкими процессами машиностроения являются плавка и термообработка металлов, при этом наиболее дорогим источником энергии сегодня, по-прежнему, остается электроэнергия.

Среди способов сокращения удельных затрат электроэнергии на электроплавку чугуна и стали наиболее эффективным является предварительный газовый подогрев металлошихты. При этом горячие газы для нагрева шихты могут быть получены как за счет сжигания природного газа или жидкого топлива, так и за счет использования вторичных энергоресурсов - скрытой (химической) и тепловой энергии газов, отходящих от основного технологического (плавильного и нагревательного) оборудования.

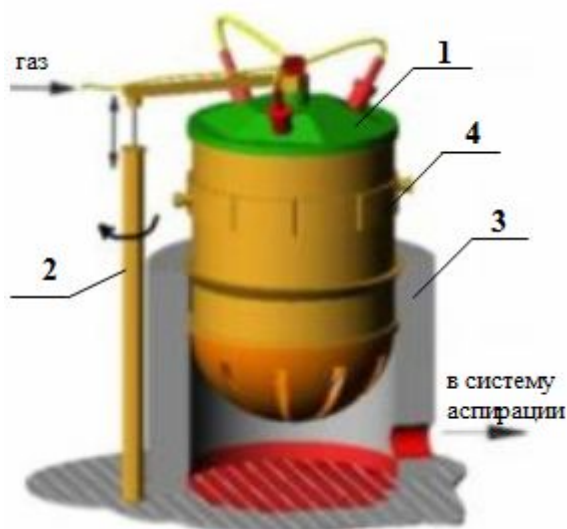


Рис.1 – Установка подогрева шихты: 1 – свод; 2 – опорная стойка; 3 – основание; 4 – бадья-термос

Высокотемпературный нагрев металлошихты в потоке горячих газов может быть реализован в автономной одноступенчатой установке подогрева шихты в завалочных бадьях – термосах. Предлагаемая установка (рис.1) включает в свой состав: свод, оснащенный приводом поворота и подъема, на котором устанавливается одна или несколько газовых горелок, свод консольно крепится к опорной стойке; основание, подключаемое к системе аспирации, на которое устанавливается бадья с шихтой; систему аспирации и очистки и систему снабжения установки природным газом. Предлагаемая установка может обеспечить нагрев 6-9 тонн металлошихты в час до температуры 500-550⁰ С в среднем по объему бадьи. Удельный расход природного газа на нагрев шихты до указанной температуры составляет 12-14 м³ на 1 тонну. При этом сокращение удельного расхода электроэнергии на расплавление 1 тонны шихты составит не менее 20-25 % от уровня расхода на холодной шихте (т.е. около 140-170 кВт час). К.П.Д. установки – не менее 60-65%. Оригинальная конструкция бадьи (бадья-термос) исключает перегрев ее стенок и грузоподъемной траверсы. Высокотемпературный нагрев шихты обеспечивает сокращение времени электроплавки, снижение угара основных элементов, увеличение срока службы футеровки, повышает безопасность ведения плавки (исключая попадание в ванну жидкого металла влажной и замасленной шихты) и ее экологические параметры. Ведение плавки на горячей шихте, полученной на предлагаемой установке, позволяет снизить себестоимость 1 тонны жидкого металла на сумму, эквивалентную 14-16 долл. США. Окупаемость предлагаемой установки составляет не более 3-5 месяцев.

УДК 621.74

Исследование структуры и свойств цинковых антифрикционных сплавов для изготовления тяжело нагруженных вкладышей подшипников

Студент гр. 104323 Курбатова М.И.
Научный руководитель – Рудницкий Ф.И.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Сплавы на основе цинка широко применяются для изготовления разнообразных изделий промышленного и бытового назначения: детали приборов, фурнитура, корпусные изделия и др. Основным способом их получения является литье под давлением. Наиболее широко применяемым сплавом при этом является ЦАМ 4-1 (алюминий – 4%, медь – 1%, цинк – остальное). Сплав обладает высокой жидкотекучестью, удовлетворительными механическими свойствами и имеет относительно невысокую стоимость.

В качестве антифрикционных используются широко известные сплавы ЦАМ 10-1, ЦАМ 10-5. Их структура в полной мере отвечает принципу Шарпи для антифрикционных материалов – наличие твердых включений в мягкой основе. Твердые включения служат опорой вращающемуся валу, а мягкая основа обеспечивает прирабатываемость. Роль твердых и мягких структурных составляющих в этих сплавах выполняют твердые растворы на базе входящих компонентов и эвтектическая смесь твердых растворов. Однако область применения таких сплавов в подшипниках скольжения ограничена. Они допускают небольшие силовые и температурные воздействия и не могут быть применимы для изготовления тяжело нагруженных подшипников.

Для расширения области применения сплавов на основе цинка и возможной замены более дорогостоящих бронз в работе предпринята попытка увеличения содержания алюминия в сплаве и, соответственно, доли твердых структурных составляющих.

В результате проведения исследований обоснованы предпосылки создания антифрикционных сплавов на основе цинка по прочностным свойствам, не уступающим бронзам. Технология получения разработанных сплавов предусматривает использование в качестве исходных шихтовых материалов лома сплавов ЦАМ 4-1, ЦАМ 10-1 и др.

Предварительные промышленные испытания подтвердили правильность полученных в работе выводов.

УДК 621.74

Компас-график – современная система для создания конструкторской документации

Студент гр. 104316 Гуминский Ю.Ю.
Научный руководитель – Одинокко В.Ф.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Чертежный редактор КОМПАС-График разработанный компанией АСКОН (Россия) предоставляет широчайшие возможности автоматизации проектно-конструкторских работ в различных отраслях

промышленности. Он успешно используется в машиностроительном проектировании, при проектно-строительных работах, составлении различных планов и схем.

КОМПАС-График может использоваться как полностью интегрированный в КОМПАС-3D модуль работы с чертежами и эскизами, так и в качестве самостоятельного продукта, полностью закрывающего задачи 2D-проектирования и выпуска документации.

Система ориентирована на полную поддержку стандартов ЕСКД, СПДС, ISO. При этом она обладает возможностью гибкой настройки на стандарты предприятия.

Средства импорта/экспорта графических документов (КОМПАС-График поддерживает форматы DXF, DWG, IGES, eDrawings) позволяют организовать обмен данными со смежниками и заказчиками, использующими любые чертежно-графические системы.

Весь функционал КОМПАС-График подчинен целям скоростного создания высококачественных чертежей, схем, расчетно-пояснительных записок, технических условий, инструкций и прочих документов. КОМПАС-График имеет:

- продуманный и удобный интерфейс,
- многолистовые чертежи,
- разнообразные способы и режимы построения графических примитивов (в том числе ортогональное черчение, привязка к сетке и т.д.),
- управление порядком отрисовки графических объектов,
- средства создания параметрических моделей для часто применяемых типовых деталей или сборочных единиц,
- создание библиотек типовых фрагментов без какого-либо программирования,
- любые стили линий, штриховок, текстов,
- многочисленные способы простановки размеров и технологических обозначений,
- автоподбор допусков и отклонений,
- быстрый доступ к типовым текстам и обозначениям,
- встроенный текстовый редактор с проверкой правописания,
- встроенный табличный редактор.

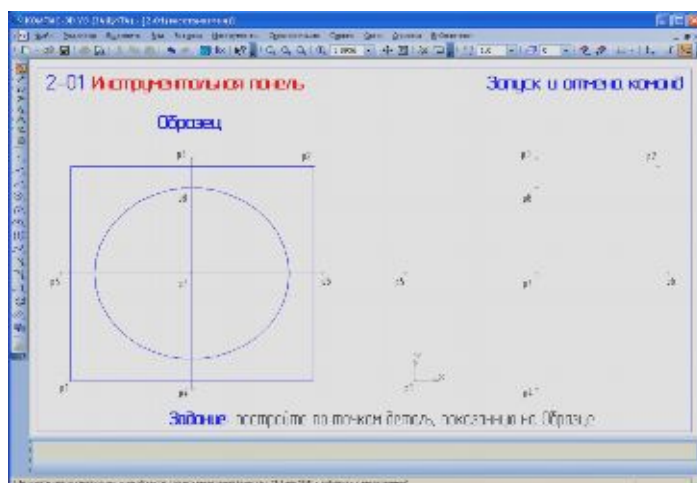
КОМПАС-График автоматически генерирует ассоциативные виды трехмерных моделей (в том числе разрезы, сечения, местные разрезы, местные виды, виды по стрелке, виды с разрывом). Все они ассоциированы с моделью: изменения в модели приводят к изменению изображения на чертеже. Стандартные виды автоматически строятся в проекционной связи.

Данные в основной надписи чертежа (обозначение, наименование, масса) синхронизируются с данными из трехмерной модели.

Система проектирования спецификаций позволяет выпускать разнообразные спецификации, ведомости и прочие табличные документы.

Спецификация может быть ассоциативно связана со сборочным чертежом (одним или несколькими его листами) и трехмерной моделью сборки.

Возможна автоматическая передача данных из чертежа или модели в спецификацию или из спецификации в подключенные к ней документы.



Рисунок

Система проектирования спецификаций поддерживает заполнение разделов и подразделов и стандартную сортировку строк внутри них. Правила сортировки строк по умолчанию соответствуют стандарту; при необходимости они могут быть изменены пользователем. Система позволяет создавать не только спецификации в соответствии с ГОСТ. Механизмы модуля разработки спецификаций отлично подходят для работы с различными ведомостями, перечнями, каталогами и списками: их строки можно

нумеровать, сортировать, связывать с документами и графическими объектами и т.д. Комбинируя различные настройки спецификации, можно создавать ведомости спецификаций, ведомости ссылочных документов, ведомости покупных изделий, таблицы соединений, листы регистрации изменений и прочие документы.

КОМПАС-График включает библиотеки стандартных изделий, материалов и сортаментов, электродвигателей, редукторов, элементов кинематических, гидравлических, пневматических схем и другие.

Для обучения пользователей работе в КОМПАС-График компанией АСКОН разработаны упражнения, оформленные в виде фрагментов КОМПАС-График и изложенные в практическом руководстве. Пример оформления графической части файла задания **2-01 Инструментальная панель** представлен на рисунке. Аналогично оформлены остальные 200 заданий.

Графическая часть файла упражнения состоит из двух частей (рисунок). Слева расположен **Образец** для самостоятельного контроля правильности выполнения упражнения. Рядом с образцом расположено само задание, в котором нужно выполнить все построения, следуя указаниям в текстовой части упражнения.

Литература

КОМПАС-3D V7. Практическое руководство. Том 1. Акционерное общество АСКОН, 2004

УДК 621.74

Тема «Влияние термоциклической обработки на структуру и механические свойства литого борсодержащего сплава»

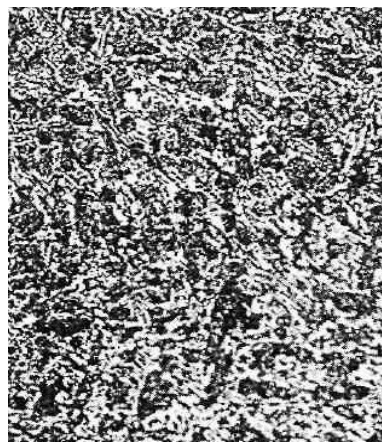
Студент гр. 104324 Чирун Д. А.
Научный руководитель – Невар Н. Ф.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Борсодержащие сплавы хорошо зарекомендовали себя в качестве конструкционных материалов, применяемых при изготовлении деталей, работающих в условиях абразивного и ударно-абразивного износа.

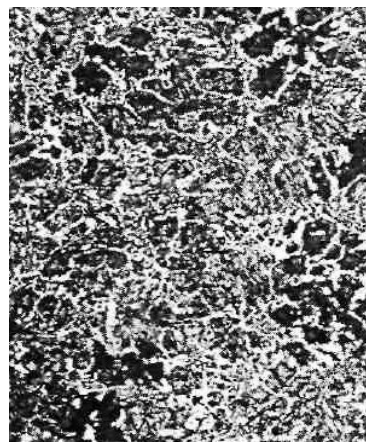
На сегодняшний день, при исследовании влияния термической обработки на эти сплавы, концентрировали своё внимание на различные режимы закалки и отжига. Оставалась без внимания термоциклическая обработка.

В отличие от термической обработки при термоциклической обработке появляются дополнительные источники воздействия на структуру, которые реализуются только при циклических тепловых воздействиях. Результатом проведения термоциклической обработки может стать резкое изменение микро и субструктуры сплавов. Основное структурное изменение в сталях – измельчение зерна, устранение разнотерности, гомогенизация[1]. Особенно важные изменения для борсодержащих сплавов – диспергирование первичных выделений и хрупких избыточных фаз, а также измельчение эвтектики.

В связи с этим были выполнены исследования влияния термодинамической обработки на борсодержащие стали. Процесс термоциклирования осуществляли на железобористых сплавах с содержанием бора 2 и 4 % (рис.1). Была выбрана следующая схема проведения: количества циклов-4; температурный режим - 1000↔800 °С. Образцы нагревали в селлитовой печи до требуемой температуры, после чего охлаждали на воздухе до температуры, обеспечивающей прохождение необходимых структурных изменений.



а)



б)

Рисунок 1 – Микроструктуры сплавов: а) 2% бора; б) 4% бора; ×500

Как следует из анализа микроструктур сплавов, после термоциклической обработки отмечается изменение морфологии структурных составляющих. Структура приобретает гомогенный характер за счет того, что при проведении ТЦО происходит диффузионное перераспределение компонентов, входящих в структуру металла. Отмечается измельчение и частичная глобуляризация таких фаз как Fe_2B и $Fe_3(C_{0,2},B_{0,8})$.

Твёрдость сплава возрастает по сравнению с отожженным состоянием, но не достигает показателей твердости после закалки.

Наиболее интересны показания ударной вязкости термоциклированных образцов. Эта характеристика сплава имеет лучшие показатели, чем после отжига или закалки. Это можно объяснить уменьшением размеров зерна, а также снижением количества избыточных хрупких фаз. С возрастанием содержания бора ударная вязкость уменьшается из-за увеличивающегося влияния первичных выделений кристаллов Fe_2B .

Износостойкость термоциклированных образцов превышает данный показатель образцов подвергнутых отжигу, но уступает закаленным образцам. Важное влияние на износостойкость отожженных образцов влияет повышенный размер зерна. Из-за этого во время абразивного износа увеличивается количество центров абразивного выкрашивания. Этому недостатка лишены образцы подвергнутые термоциклированию. Результаты по исследованию эксплуатационных свойств приведены в таблице 1.

Таблица 1

Образец	Свойства после термоциклирования		
	Твердость, HRC	Ударная вязкость, МДж/м ²	Износостойкость, кг/м ²
2% В	48	8,2	3
4% В	60	7,3	2

Стоит отметить, что во время термоциклической обработки уменьшается ликвационная неоднородность сплавов, что повышает конструкционную прочность.

С экономической точки зрения термоциклическая обработка выглядит выгоднее отжига и закалки, так как на её проведение требуется меньшее количество энергии и времени.

Литература

Федюкин В. К. Смагоринский М. Г. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. — Лен., Машиностроение, 1989.-265 с.; ил.

УДК 669.14

Перспективы улучшения структуры и свойств литых сплавов путем модифицирования наноструктурированными добавками

Студент гр.104313 Стрельчения С.В.

Научный руководитель – Рудницкий Ф.И.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время значительно возрос интерес к вовлечению в производственный цикл вторичных металлических материалов, образующихся при обработке, в связи с высокой стоимостью ввозимого проката и первичных материалов. При этом наибольшая отдача ощутима при рециклинге высоколегированных сталей и сплавов, содержащих в своем составе дорогостоящие и дефицитные легирующие элементы: вольфрам, молибден, ванадий, хром, олово, медь и др.

Для эффективного использования вторичных материалов необходимы сведения о закономерностях формирования структуры и свойств сталей и сплавов, получаемых в результате переплава, применение дополнительных технологических приемов раскисления, рафинирования и модифицирования, что обусловлено спецификой самих материалов. Они могут быть представлены в виде кусков, стружки, металлоабразивного шлама, окалины, скрапа. Если переплав кусковых металлоотходов не представляет особой сложности, то использование других видов отходов в качестве шихтовых материалов, без снижения качества отливок, затруднительно. Стружка, окалина, скрап, дисперсные отходы шлифования отличаются высокой степенью загрязненности, окисленности и, поэтому, требуют специальной подготовки перед плавкой, хотя, несмотря на нее все равно оказывают определенное влияние на структурные и качественные показатели литых изделий. В связи с этим в работе наибольшее внимание уделено разработке модифицирующих комплексов, введение которых в расплав позволяет не только устранить все недостатки исходной шихты, но и значительно повысить структурные и эксплуатационные показатели литых изделий.

В связи с тем, что в последнее время большой интерес представляют нанотехнологии, модифицирующие добавки вводили в расплав в наноструктурированном виде. Основной проблемой, выявленной в экспериментах, явилась проблема усвоения элементов, содержащихся в таких добавках,

учитывая их высокую поверхностную активность из-за дисперсности. Для решения этой проблемы в процессе экспериментов изменяли последовательность введения раскислителей, способ введения, применяли брикетирование и др. способы.

В результате проведенных работ установлены оптимальные технологические параметры процесса модифицирования расплавов наноструктурированными добавками.

УДК 669.27:519

Особенности выбора вентиляционных отверстий кокильной оснастки при использовании методов численного моделирования

Студент гр. 304312 Душкевич М.А.
 Научный руководитель – Матюшинец Т.В.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Выбор положения вентиляционных отверстий при разработке кокильной оснастки является одним из важнейших этапов проектирования кокилей. Известно, что пространственное расположение вентиляционных отверстий, обеспечивает выход значительной части газовой фазы из внутренней полости кокиля в условиях кристаллизующегося металла. Формирование усадочной и рассеянной пористости под действием газовой фазы и процесса кристаллизации существенно влияют на качество отливок получаемых литьем в кокиль. Поэтому разработка методов расчета диаметра (сечения) и пространственного положения вентиляционных отверстий является важной научно-технической задачей. Существующие методики расчета вентиляционных отверстий основаны на эмпирических подходах и практически не учитывают пространственную конфигурацию кокиля, а также перемещение расплава при его заполнении. Невозможность учета этих факторов делает существующие инженерные методики неэффективными, особенно когда речь идет об изготовлении сложных фасонных отливок. Число отверстий их положение и диаметр могут изменять газовый режим течения воздуха в кокиле и вызывать брак в отливках по газовым дефектам.

В настоящей работе предлагается метод выбора вентиляционных отверстий кокильной оснастки, который отличается от известных, учетом особенностей распределения температур и скоростей в системе «отливка- кокиль».

Анализ существующих методов расчета вентиляционных каналов [1, 2] показывает, что расчет газового режима основывается на балансе массы газа в полости кокиля:

$$dM = dM_r - dM_b, \quad (1)$$

где dM – изменение массы газа в рабочей полости кокиля; dM_r – приращение массы газа вследствие газификации облицовки; dM_b – масса газа, утекающего через вентиляционные отверстия.

Дальнейшее преобразование уравнения (1) с конкретизацией взаимосвязи давления, температуры, массы и объема с учетом уравнения Менделеева – Клапейрона приводит к формуле (2)

$$(V_{1H} - V(t)) \left[\frac{dp_1}{dt} - \frac{p_1}{T_1} \frac{dT_1}{dt} \right] = \frac{m(t)}{\rho_0} + q_{y\phi} \frac{T_1}{k} \frac{dS_\phi}{dt} - ap_1(p_1 - p_c), \quad (2)$$

где V_{1H} – объем рабочей полости кокиля; $V(t)$ – объем залитого расплава в момент времени t ; p_1 – давление газа в рабочей полости кокиля; T_1 – температура газа; $m(t)$ – массовая скорость заливки; ρ_0 – плотность заливаемого металла; $q_{y\phi}$ – массовая газотворная способность единицы поверхности покрытия формы; S_ϕ – площадь поверхности контакта заливаемого металла и кокиля; k – параметр, определяемый начальным состоянием газа, a – обобщенная характеристика вентиляционной способности формы, p_c – давление газа в окружающей среде.

Как можно увидеть из представленного уравнения (2) традиционный метод не учитывает свойств расплава в расчете давления газа заключенного в объеме формы. При этом температурный фактор, играющий важную роль в расчетах вентиляционных отверстий, так же не мог быть учтен в полной мере из-за проблем расчета динамики температурного поля, зависящей от процесса заполнения.

Учет температурного фактора может быть проведен с использованием современных компьютерных систем [3, 4]. В этом случае определение температурного и скоростного поля металла заполняющего

полость формы позволяет с высокой точностью определять области для положения вентиляционных каналов. Причем, моделируя различные режимы заполнения можно выделять оптимальные области для положения отверстий кокиля.

Таким образом, расчет давления газа в полости формы на каждый момент времени представляет собой итерационный цикл, содержащий в своем теле шесть шагов.

Шаг 1. Находится начальная масса воздуха заключенного в полости формы.

$$m_0 = \frac{P_0 V_0}{RT_0}.$$

Шаг 2. По значениям из таблиц данных на момент времени τ рассчитывается давление, которое бы имело место в полости формы на момент времени τ при условии отсутствия вентиляционных каналов.

$$P_1 = \frac{P_0 V_0}{V_1},$$

где V_0 – объем полости формы незанятой металлом на предыдущий момент времени; V_1 – объем полости формы незанятой металлом на момент времени τ , определяемый по положению координат точек фронта металла в объеме формы.

Шаг 3. Определим скорость истечения газа из вентиляционного отверстия заданного сечения при найденном давлении.

$$v = \sqrt{2 \frac{(P_1 - P_{\text{ат}}) RT_1^{cp}}{P_1}},$$

где T_1^{cp} – усредненная температура газа в полости формы на момент времени τ .

Шаг 4. Определить объем истекшего газа за время $\Delta\tau$.

$$\Delta V = S \cdot v \cdot \Delta\tau.$$

Шаг 5. Определяются массы истекшего и оставшегося газа.

$$\Delta m = \frac{P_1 \Delta V}{RT_1^{cp}}; \quad m_1 = m_0 - \Delta m.$$

Шаг 6. Определяется реальное давление в полости формы на момент времени τ .

$$P_1' = \frac{m_1 R_1 T_1^{cp}}{V_1}.$$

На каждом итерационном шаге расчета давления газа в полости кокиля производится проверка условия (5) о не превышении рассчитанного давления значения допустимого давления для данного рода заливаемого металла.

$$P_1' \leq P_{\text{дон}}. \quad (5)$$

В случае выполнения условия производится расчет давления в полости формы для следующего момента времени, в противном случае расчет перезапускается.

Использование системы математического моделирования ПроЛит либо любой другой системы того же класса (ProCast, .. и др.) позволяет производить расчеты вентиляционных каналов, для каждой отливки индивидуально учитывая как конфигурацию самой отливки, так и конфигурацию литниковой системы.

Литература

1. Руденко А.Б., Серебро В.С. Литье в облицованный кокиль. – М.: Машиностроение, 1987. – 184 с.
2. Вейник А.И. Теория особых видов литья. – М.: МАШГИЗ, - 1958. – 300 с: ил.
3. Чичко А.Н., Соболев В.Ф., Лихоузов С.Г. Комплекс программных средств «ПроЛит» для моделирования процессов течения и охлаждения расплавов // Программные продукты и системы. – 2002. – №4. – С. 47-48.
4. Чичко А.Н., Лихоузов С.Г. Клеточно-автоматное моделирование процесса течения расплава в форме // Доклады НАН Беларуси. – 2001. – Т.45, №4. – 2001. – С.110-114

Селективное отверждение песчаной смеси

Студент гр. 304312 Тугин С.В.
Научный руководитель – Крутилин А.Н.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Современный этап развития характеризуется значительным усложнением проектируемых изделий, использованием новых конструкционных материалов, в связи с этим существенно возрастает время на проектирование и технологическую подготовку производства. На этапе освоения в производственных условиях, разработка технологии в большинстве случаев выполняется методом проб и ошибок, что существенно удлинняет и удорожает процесс разработки окончательной технологии. Сокращение сроков технологической подготовки производства, возможно на основе широкого использования интегрированных систем автоматизированного проектирования технологических процессов. Для сохранения лидирующих позиций в литейном производстве на мировом рынке в конце 80-х гг. ведущие фирмы стали использовать принципиально новую концепцию CIM (Compact Intelligent Manufacture) – компактного интеллектуального проектирования и новые технологии быстрого прототипирования – RP (Rapid Prototyping), основанные на использовании мощных компьютерных станций.

Опыт промышленно развитых стран свидетельствует о том, что для решения фундаментальных научно-технических проблем народно-хозяйственного значения требуется разработка и проведение единой государственной политики в этих вопросах, централизованного финансирования и координации исследований в рамках государственных научно-технических программ, результаты которых обеспечивают прорывы на важнейших направлениях научно-технического прогресса.

При разработке и производстве продукции в условиях жесткой конкуренции на мировом рынке появляется необходимость постоянного обновления выпускаемых изделий при сокращении времени и средств на их разработку. Возрастает сложность конструкции изделий, возникает необходимость оперативного конструирования и изготовления ряда прототипов объектов для выбора оптимального варианта, требуется производство небольших партий продукции.

Одним из наиболее интересных направлений для решения проблемы оперативного конструирования, является изготовление литейных форм и стержней из песка, непосредственно используя данные компьютерного проектирования.

Основное назначение технологии – обеспечение быстрого изготовления опытных образцов металлических литых деталей больших размеров со сложной геометрической формой в мелкосерийном производстве без использования модельной оснастки.

Принципиальная схема процесса заключается в послойном нанесении песка, предварительно смешанного с отвердителем и нанесения в необходимых местах с помощью многоструйной печатающей головки связующей смолы. Несвязанный песок в последующем удаляется пылесосом.

Основные преимущества технологии:

- изготовление форм и стержней из формовочных песков и смол, которые обычно применяются в литейной промышленности;
- обеспечение быстрого изготовления опытных образцов металлических литых деталей больших размеров, любой сложности и мелкосерийного производства без изготовления модельной оснастки;
- при изменении конструкторско-технологической документации позволяет оперативно (в течение нескольких часов) провести изменения САД моделей песчаных форм и стержней;
- технология полностью совместима с технологией литья в землю, нет необходимости в построении специальной литниковой системы.

Материалы литых тормозных барабанов

Студент гр.104313 Босяков К.Г.
Научный руководитель – Курбатов М.И.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Прежде чем говорить про материалы, которые используются для изготовления тех или иных отливок, следует проанализировать условия их работы, учесть все вредные влияния, которым они будут подвержены. Какие же вредные воздействия могут оказывать влияние на работу отливки типа «Тормозной барабан» «Тормозной диск»? Принцип действия тормозной системы основан на трении между тормозной колодкой и тормозным диском, барабаном. Так как автомобили обладают большим весом и достигают высоких скоростей, при торможении возникают значительные силы трения, кинетическая энергия

преобразуется в тепловую, и происходит значительное нагревание наших отливок. Поэтому материал должен быть во первых термостойкий, а во вторых обладать высокой теплоемкостью и теплопроводностью для отвода тепла в окружающую среду, во избежание коробления диска. В общем виде требования к материалу барабанов(дисков) можно сформулировать следующим образом:

1. Материал должен обладать прочностью при высоких температурах, термоциклической стойкостью;

2. Усталостная прочность материала при повышенной температуре должна обеспечивать безаварийную работу в течение всего срока службы;

3. Материал должен иметь высокую твердость при комнатной и повышенной температурах. Твердость при повышенных температурах, является показателем сопротивляемости сплава пластическому деформированию;

4. Используемый материал должен иметь высокую теплоемкость и теплопроводность, коррозионную стойкость, быть достаточно дешевым и технологичным.

Наиболее часто в качестве материала используют чугун. Чугун обладает хорошими фрикционными свойствами, и не высокой стоимостью производства. Наряду с этими преимуществами, чугун имеет ряд существенных недостатков, которые ограничивают его использование в некоторых типах транспортных средств – спортивных машинах и мотоциклах. При регулярных интенсивных торможениях, вызывающих значительное повышение температуры (400 °С и выше), возможно коробление диска, а если на его перегретую в таких режимах поверхность попадает вода, например, из лужи, чугунный диск покрывается сетью трещин и иногда даже рассыпается. Кроме того, такие диски очень тяжелые, и после длительных стоянок их рабочая поверхность покрывается коркой ржавчины. Чтобы избежать этих недостатков, диски, в большей степени мотоциклетные и значительно реже автомобильные, начали делать из «нержавейки». Более слабые фрикционные свойства этого материала компенсировали увеличением диаметра дисков и их рабочей поверхности. Для изготовления этой ответственной детали тормозной системы используют и обычную сталь, которая, как и «нержавейка», не столь чувствительна к перепадам температур и обладает несколько худшими фрикционными свойствами, чем чугун.

В 70-е годы на спортивные машины начали устанавливать тормозные диски из углепластика – карбоновые. Преодолев период роста, карбоновые тормоза оставили своих металлических коллег далеко позади. Посудите сами: вес тормозного диска из карбона на порядок меньше металлического, коэффициент трения на порядок выше, а рабочий диапазон, ограничивающийся на обычных тормозах 500-600 С, здесь простирается далеко за отметку в 1000 С. Карбоновые диски не коробятся, а снижение неподрессоренных и вращающихся масс положительно сказывается на ходовых качествах автомобиля. Тем не менее путь к обычным дорожным автомобилям таким тормозам пока заказан. Стоимость комплекта карбоновых тормозов может достигать стоимости нового автомобиля малого класса, а нормально работать они начинают только после хорошего прогрева: до этого коэффициент трения тормозов даже ниже обычных! Нельзя забывать и об удобстве управления замедлением: если с традиционными тормозами все просто и понятно, то здесь контролировать замедление сверхсложно. Фактически в обычных условиях карбоновые тормоза будут аналогом переключателя «ехать/стоять».

Более радужные перспективы в автомобилестроении имеют керамические тормоза. Они не имеют такого ошеломляющего коэффициента трения, как карбоновые, но обладают целым рядом преимуществ. У керамики гораздо больше возможностей, чем у металла или различных композитов. Этот материал отличается отличной устойчивостью к высоким температурам, высокой стойкостью к коррозии и износу, небольшой удельной массой и высокой прочностью. Но это еще не все. Керамические тормозные диски, в сравнении аналогичным деталями из серого чугуна легче на 50%. Вес, например, керамического тормозного диска PORSCHE 911 в два раза легче обычного, значит, меньше и неподрессоренные массы, а следовательно, и нагрузка на подвеску. Уменьшается и так называемый гироскопический эффект, когда вращающееся с большой скоростью тело сопротивляется смене направления вращения. Кроме того, применение керамики позволяет увеличить на 25% коэффициент трения, а заодно резко повысить эффективность торможения в горячем состоянии. Еще одно преимущество – невероятная долговечность. Керамические диски обычно не требуют замены на протяжении 300 000 км. К сожалению, есть и недостатки. Во-первых, холодные керамические диски хуже останавливают машину, чем холодные тормозные диски из металла. Во-вторых, керамика плохо работает при очень низких температурах. В третьих, такие диски при работе неприятно скрипят. И, наконец, в четвертых, цена у них ну просто непомерная.

В мире больших скоростей, в автоспорте используются диски на основе углеволокна (carbon fiber composite). Такие тормоза значительно легче своих чугунных собратьев и работают очень эффективно. Однако карбоновые тормоза работают лишь при очень высоких температурах. То, что для обычных стальных или чугунных дисков может считаться экстремально высокой температурой, для карбоновых дисков – нормальное рабочее состояние. То есть на обычных автомобилях в обычных условиях эксплуатации такие тормоза просто не будут работать – не успеют разогреться. По этой причине применение углепластиковых композитов в тормозах ограничивается болидами Формула-1 и автомобилями, участвующими в других подобных гонках. Да и цена подобных изделий не маленькая.

Студентка гр.104314 Леднева М.Ю.
Научный руководитель – Крутилин А.Н.
Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Рациональное использование металла в значительной степени определяется уровнем развития литейного производства. Приближение отливки к обрабатываемой детали, снижение ее массы, сокращение брака, снижение припусков на механическую обработку, повышение коэффициента использования металла – все это, в конечном счете, единое понятие, характеризующее современное направление и цель развития литейного производства.

В настоящее время подавляющее количество литых заготовок изготавливают литьем в песчаные формы. Наряду с высокой степенью универсальности и простотой этот способ литья обладает целым рядом недостатков, таких как повышенный расход металла на литниковые и питающие системы, значительные припуски на механическую обработку и т.д. Поэтому в тех случаях, когда это возможно и экономически оправдано, литье в песчаные формы заменяют специальными методами литья, которые позволяют получать литые заготовки ограниченной номенклатуры, но с наилучшими технико-экономическими показателями.

Широкому использованию специальных методов литья способствует специализация и кооперация производства, на основе которых становится возможным создание специализированных цехов по производству отливок узкой номенклатуры с использованием наиболее выгодного для данного класса отливок специального способа литья. Особое развитие получают способы, которые легко вписываются в поточное производство, обеспечивают широкое применение механизации и автоматизации производственных процессов.

С этими требованиями хорошо согласуются методы непрерывного литья, при которых металл заливают в охлаждаемую металлическую форму – кристаллизатор и периодически извлекают из него в виде заготовки определенного профиля.

В настоящее время методы непрерывного литья широко применяются в металлургической промышленности для получения слитков из стали. Их использование обеспечивает значительное увеличение выхода годного металла, существенное улучшение качества слитков, снижение себестоимости и капитальных затрат.

Значительные преимущества непрерывных методов литья предопределяет стремление использовать их непосредственно в литейном производстве для получения литых заготовок машино – и станкостроения. В настоящее время непрерывное литье все более отдаляется от непрерывной разливки и превращается в специальный способ литейного производства, обеспечивающий получение качественных литых заготовок.

Из всего многообразия непрерывных методов литья лишь некоторые могут быть с успехом использованы для получения машиностроительных заготовок. В нашей стране наибольшее распространение получили способы - литья намораживанием (Институт технологии металлов г. Могилев), полунепрерывное литье с использованием разрушаемых стержней (БНТУ г. Минск), способ горизонтального непрерывного литья (ЧУП «Литейный завод» г. Молодечно, завод «Центролит» г. Гомель).

Отличительной особенностью способа литья намораживанием является то, что процесс формирования отливки происходит под действием направленного теплоотода в условиях обильного питания фронта кристаллизации жидким металлом. В этих условиях отливка получается исключительно плотной, имеет высокие механические свойства. В отливке отсутствуют усадочные раковины и газовая пористость. Засоры и шлаковые включения всплывают на поверхность расплава и удаляются из зоны формирования при извлечении заготовки.

Однако, установка и технологическая оснастка для реализации способа достаточно сложна и не универсальна. Переход с одного типоразмера заготовок на другой вызывает большие трудности и требует значительных затрат. Существенной проблемой является выбор оптимального материала и конструкции соединительного стакана, который в значительной степени определяет стабильность процесса литья и качество заготовок.

Более универсальным является способ вертикального полунепрерывного литья с использованием разрушаемых стержней. Сохраняя многочисленные достоинства способов непрерывного литья, он приобретает универсальность литья в песчаные формы. На установках вертикального полунепрерывного литья возможно получение практически всей номенклатуры заготовок получаемых на линиях горизонтального литья.

Способ горизонтального непрерывного литья нашел наиболее широкое применение для получения заготовок из серого и высокопрочного чугуна. Однако, используемая технология получения различных заготовок из высокопрочного чугуна еще далека от совершенства. Существующая технология предусматривает проведение термической обработки, которая значительно снижает технико-экономические показатели процесса.

Совершенствование технологического процесса горизонтального непрерывного литья требует решения широкого спектра задач от теоретического анализа процесса формирования заготовок в характерных для способа условиях до чисто практических вопросов, связанных с использованием процесса в производстве.

В связи с этим, проведение исследований для определения оптимальных технологических параметров литья, увеличение производительности установок при существенном увеличении качества литых заготовок представляет значительный интерес.

УДК 621.74.047

Теоретический анализ процесса разогрева отливки на выходе из кристаллизатора

Студентка гр.104314 Леднева М.Ю.

Научный руководитель – Кругилин А.Н.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

При полунепрерывном литье на выходе отливки из кристаллизатора происходит мгновенное изменение условий охлаждения. Интенсивное охлаждение в кристаллизаторе ($\alpha=500-2000$ Вт/м² °С) сменяется охлаждением в естественных условиях на воздухе при коэффициенте теплоотдачи 130 – 190 Вт/м² °С. В результате резкого роста термического сопротивления теплоотдачи на поверхности при неизменном термическом сопротивлении тела отливки значительно уменьшается удельный тепловой поток с поверхности отливки в окружающую среду. Происходит перераспределение температуры в теле отливки при сохранении температуры внутренней поверхности равной температуре расплава. Температура наружной поверхности отливки начинает повышаться. При этом увеличивается тепловой поток с поверхности отливки в окружающую среду и уменьшается градиент температур в теле отливки и тепловой поток подводимый к поверхности. В момент выравнивания этих тепловых потоков температура поверхности достигает максимального значения. С ростом температуры поверхности увеличивается и средняя температура затвердевшей корки, уменьшается ее прочность. Появляется слабое сечение, прочность в котором в сопоставлении с уровнем действующих в отливке напряжений, может определять стабильность процесса. Поэтому для выбора технологических параметров необходимо знать значение максимальной температуры поверхности и время достижения этой температуры или расстояние до наиболее разогретого сечения от нижнего торца кристаллизатора.

Как показали расчеты и экспериментальные данные время разогрева сопоставимо со временем формирования отливки в кристаллизаторе. Температура поверхности отливки с увеличением ее толщины уменьшается по гиперболическому закону. Увеличение толщины с 1,5 до 17 мм вызывает уменьшение температуры поверхности на 150 °С и соответственное увеличение на 150 °С или более чем в три раза перепада температур. Изменение максимальной температуры поверхности носит характер близкий к линейному. Аналогичное изменение толщины отливки приводит к уменьшению максимальной температуры с 1130 до 1030°С. Учет затвердевания в процессе разогрева, уменьшает максимальную температуру поверхности на 5 –20 °С. Уменьшение средней температуры поверхности с увеличением толщины отливки еще менее заметно (1130-1075 °С). Коэффициент теплоотдачи от поверхности отливки в окружающую среду в указанном интервале температур изменяется в пределах 137-211 Вт/м² °С.

Зависимость времени разогрева от толщины отливки на выходе из кристаллизатора носит экспоненциальный характер. Время разогрева корки толщиной 1,5 мм составляет 0,6 с, а толщиной 17 мм – 42 с.

Длина участка разогрева при малых толщинах затвердевшей корки растет весьма интенсивно. Увеличение толщины в 3 раза с 1,5 до 4,5 мм вызывает увеличение длины участка разогрева почти в 2 раза с 0,08 до 0,15 м. При больших толщинах корки рост длины участка разогрева замедляется. Так увеличение толщины корки в 3 раза с 5 до 15 мм приводит к увеличению длины зоны разогрева с 0,155 до 0,2 м или менее чем на 30%.

Таким образом, в результате анализа кинетики формирования непрерывнолитой заготовки в кристаллизаторе и последующего разогрева затвердевшей корки на воздухе нами получены данные о толщине затвердевшей корки, температуре ее поверхности и средней температуре. Определено место расположения наиболее опасного сечения.

Наличие этих данных, а также физико-механических свойств чугуна при высоких температурах позволяет перейти к определению оптимальных технологических параметров процесса.

Студент гр. 304312 Милош П.З.
 Научный руководитель – Фасевич Ю.Н.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

В последние годы все более широкое применение в сталелитейных цехах находят экзотермические прибыли и вставки, использование которых позволяет не только повысить качество отливок, но и на 15-20% повысить выход годной продукции. В связи с этим весьма актуальной представляется проблема выработки теоретических основ выбора материалов необходимых для эффективной работы прибылей.

Как показывает анализ литературных источников основными требованиями предъявляемыми к экзотермическим смесям являются:

- ✓ оптимальный уровень экзотермичности смеси для компенсации охлаждающего эффекта и обеспечение в ряде случаев дополнительного подвода тепла к металлу;
- ✓ регламентированная температура горения смеси для предотвращения чрезмерных потерь тепла излучением;
- ✓ низкие теплоемкость и теплопроводность смеси, что обеспечивает снижение тепловых потерь через зеркало металла в течение длительного периода кристаллизации отливки;
- ✓ низкая температура воспламенения и оптимальная скорость горения смеси;
- ✓ отсутствие вредных выделений при сгорании смеси;
- ✓ малый удельный расход смеси и низкие затраты на ее применение.

Эффективные составы экзотермических смесей обычно представляют собой многокомпонентные композиции, число составляющих которых может достигать 6-8 и более. К основным компонентам относятся горючие составляющие (алюминий и алюминийсодержащие материалы, железная окалина и др., твердые окислители, наполнители (огнеупорные и теплоизоляционные материалы) и вещества, инициирующие и управляющие процессом горения.

При разработке составов смесей особое внимание следует уделять обеспечению их низкой теплоемкости и малой теплопроводности смеси. Необходимая экзотермичность достигается, в первую очередь, обеспечением высокого коэффициента использования и получением продуктов реакции, не требующих значительного расхода тепла для их нагрева.

Важная роль в смесях принадлежит материалам, регулирующим основные параметры процесса горения (температуру начала загорания (воспламенения) и скорость горения). При значительном многообразии горючих компонентов наилучшим по показателям удельного тепловыделения, недефицитности и условиям применения следует считать алюминий. Наиболее распространенным видом такого материала является алюминиевый порошок или стружка. Использование алюминийсодержащих отходов (отсевы, шлаки, термообработанная фольга и т.п.) возможно в ограниченных количествах с заменой не более 30-50 % алюминиевого порошка при условии соблюдения требований по их фракционному составу и отсутствию нежелательных примесей (кремнезема и других компонентов).



При выборе состава смесей следует учитывать, что наличие оксидных пленок на поверхности восстановителя затрудняет дальнейшее окисление и препятствует непосредственному взаимодействию реагентов. При наличии прочной защитной пленки на алюминии его взаимодействие с окислителем наступает при нарушении ее целостности, например, в результате объемного расширения алюминия при нагреве и плавлении. Температура воспламенения составов при этом существенно превышает температуру плавления алюминия. Добавки фторсодержащих компонентов заметно снижают температуру воспламенения алюминия и в определенной степени повышают скорость горения смесей.

С учетом результатов теоретических обобщений применения, так называемых экзотермических прибылей, в которых слой прибыльной части изготавливается из экзотермической смеси, жидкая сталь дольше сохраняет перегрев над температурой солидуса. В результате этого в системе прибыль-отливка достигается идеальные условия для питания.

Студентка гр.104314 Леднева М.Ю.
Научный руководитель – Крутилин А.Н.
Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Режим движения отливки в значительной мере определяет стабильность процесса литья, так как от него зависит продолжительность пребывания отливки в кристаллизаторе, возможность образования зависаний, различных дефектов поверхности.

На установках непрерывной разливки используются различные режимы движения отливки относительно кристаллизатора. Наиболее часто встречаются непрерывный и циклический режим движения, при неподвижном или совершающем колебания кристаллизатора.

При проведении настоящей работы исследовали непрерывное перемещение отливки при качающемся кристаллизаторе, непрерывное перемещение отливки при стационарном кристаллизаторе, циклическое и непрерывное перемещение отливки при стационарном кристаллизаторе с наложением вибрации.

Исследования режимов движения с использованием качающегося кристаллизатора проводили на установке полунепрерывного литья при получении заготовок с толщиной стенки от 25 до 60 мм. Скорость литья изменяли от 0,1 до 0,4 м/мин, частота движения кристаллизатора 30-60 циклов/мин, амплитуда колебаний 5-10 мм. Необходимо отметить относительно высокую стабильность процесса. Однако, наружная поверхность заготовки характеризуется наличием большого количества мелких надрывов и поворотов начальной корки. Неудовлетворительное качество наружной поверхности отливки связано с трудностями согласования скоростей вытягивания отливки и движения кристаллизатора, отсутствием периода покоя затвердевшей корки, большой скоростью перемещения корки относительно кристаллизатора при ходе его вверх. Как показали эксперименты, оптимальная скорость литья при непрерывном вытягивании отливки, составляет 0,1-0,2 м/мин. Использование циклического режима движения позволило увеличить скорость литья до 0,3 м/мин, однако качество поверхности не изменилось. Качающийся кристаллизатор значительно усложняет конструкцию установки и, как показали дальнейшие эксперименты с использованием стационарного кристаллизатора, не имеет существенных преимуществ перед ним.

При непрерывном движении затвердевающей отливки в неподвижном кристаллизаторе мениск металла все время остается на постоянном уровне. Если и происходит надрыв начальной корки, то последующее “залечивание” происходит под мениском, без контакта оторвавшейся корочки с воздухом и, соответственно, без ее окисления. Качество поверхности отливки в этом случае существенно лучше. Под действием металлостатического напора корка все время прижимается к рабочей поверхности кристаллизатора. Процесс устойчив при относительно низких скоростях литья в пределах 0,3-0,5 м/мин, для заготовок диаметром 100-150 мм. Увеличение скорости литья приводит к частому образованию зависаний, нарушающих стабильное ведение процесса. Для устранения зависаний необходимо, чтобы затвердевшая корка периодически находилась в неподвижном состоянии, как это имеет место при циклическом извлечении отливки из неподвижного кристаллизатора. За время остановки ранее образовавшаяся корка достаточно прочно соединяется с формирующейся начальной коркой, предупреждая тем самым возникновение зависаний. С этой точки зрения циклический режим движения отливки является наиболее благоприятным. Вместе с тем при циклическом перемещении отливки вдоль неподвижного кристаллизатора наблюдается рассогласование скорости подачи металла со скоростью движения отливки. В пределах одного цикла движения мениск металла перемещается в пространстве на высоту амплитуды протяжки. В этом случае при образовании зависания начальная корка выходит из под уровня металла и окисляется. Кроме того, вследствие низкой прочности и отсутствия воздействия металлостатического напора, корка может отходить от кристаллизатора. При последующем очередном подъеме мениска в период остановки протяжки в образовавшийся зазор между коркой и кристаллизатором может попадать жидкий металл, образуя глубокие завороты. Наиболее часто это явление возникает при односторонней подаче металла, когда струя металла размывает начальную корку.

С целью определения возможности полного устранения зависаний в ходе экспериментальных исследований проверены различные варианты циклического режима движения с изменением частоты и амплитуды перемещения отливки за один цикл. Лучшие результаты получены в двух вариантах. Первый заключается в увеличении частоты циклов, при соответствующем уменьшении длины хода отливки за один цикл, второй – в протяжке отливки с амплитудой хода вплоть до половины высоты кристаллизатора, но при существенно уменьшенном соотношении времени остановки и времени движения. В обоих случаях режим движения отливки приближается к непрерывному, обеспечивается высокое качество наружной поверхности отливки. Состояние покоя отливки относительно кристаллизатора предотвращает образование устойчивых “зависаний”, что повышает стабильность процесса литья.

Исследованиями, проведенными в лабораторных условиях, установлено, что стабильный режим литья, при высоком качестве наружной поверхности отливки, обеспечивается при наличии остановки не

менее 0,2-0,3 с. Оптимальная частота циклов 60-120 ц/мин. Устойчивая область скоростей литья при первом варианте составляет 0,7-0,8 м/мин (диаметр отливки 100 мм, толщина стенки 25 мм), при втором - несколько ниже, около 0,6 м/мин.

УДК 621.7

К вопросу получения литых тормозных барабанов

Студент гр.104313 Босяков К.Г.
Научный руководитель – Курбатов М.И.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Жизнь в наше время предполагает большие скорости. И для обеспечения собственной безопасности необходимо чтобы ваше средство передвижения, ваш автомобиль работал исправно. Тормозная система – важнейший элемент безопасной работы вашего автомобиля, и соответственно гарант вашей безопасности. Тормозная система должна обеспечивать оптимальные условия при замедлении и остановке вашего автомобиля, который должен мгновенно и точно подчиняться вашим действиям.

В большинстве современных автомобилей на задние колеса устанавливаются барабанные тормозные механизмы. Которые состоят из:

- чугунного тормозного барабана,
- тормозных колодок, установленных на опорном диске, с накладками из фрикционного материала с высокой износостойкостью и термостойкостью,
- колесного цилиндра, который прижимает тормозные колодки к тормозному барабану.

Тормозные барабаны — крайне важная деталь автомобиля. От их качества зависит надежность функционирования тормозной системы. Некачественные барабаны могут заблокировать одно из задних колес, что может привести к заносу автомобиля, скрипу тормозов, увеличению тормозного пути. Поэтому к их изготовлению надо относиться серьезно

Для того чтобы получить качественный литой тормозной барабан, необходимо тщательно проработать конструкцию литниково-питающей системы и выбрать оптимальные технологические параметры.

Процесс проектирования состоит из нескольких этапов. На первом этапе в системе создаем трехмерную твердотельную модель отливки.

В системе Полигон проводим моделирование процесса формирования отливки. Полигон позволяет моделировать следующие процессы: тепловые процессы при затвердевании, образование усадочных раковин и макропористости, образование микропористости, гидродинамические процессы при заливке, деформационные процессы для прогноза кристаллизационных трещин. Базовые модели, опираясь на реальную физику процессов, максимально универсальны по сплавам и способам литья. Моделирование ведется на базе метода конечных элементов, который позволяет использовать наиболее адекватные физические и геометрические модели. Полигон, являясь системой *анализа*, не дает ответы на вопросы типа: «Как делать?». Полигон дает ответ на вопросы типа: «Что получится, если сделать так?». Таким образом, Полигон никаких рекомендаций не дает, он лишь «проигрывает» на компьютере процесс формирования отливки и, возможно, дефектов в ней. На базе полученных результатов в системе Полигон анализируем все предложенные варианты и выбираем наиболее оптимальный вариант получения отливки тормозного барабана.

УДК 621.74.047

К вопросу о восстановлении оксидов

Студент гр.104324 Кухарчук М.В.
Научный руководитель – Крутилин А.Н.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В процессе непрерывного литья заготовок, термической обработки, нагрева заготовок под последующую обработку давлением, на металлургических заводах безвозвратно теряется до 5-6% полезной массы металла в виде окалины. Наряду с железом окалина содержит большое количество легирующих элементов, таких как молибден, никель, ванадий, хром и т.д. Возвращение в производство вторичного сырья, наряду с решением экологических проблем, представляет значительный источник сырья для производства черных металлов, позволяющий одновременно повысить экономические показатели металлургического производства.

Вопросам высокотемпературного окисления и обезуглероживания стали, в технической литературе

уделяется достаточно много внимания, однако наиболее полные издания по этой тематике относятся к 70-80 гг. XX века.

В последнее время наблюдается интенсивный рост числа работ, направленных на создание новых процессов и агрегатов прямого получения губчатого железа и металла из мелкодисперсных материалов, в том числе из окалины, пыли и шламов газоочисток в продукт, пригодный для производства стали в электродуговых печах.

Ведутся работы по оптимизации процесса нагрева стали под последующую прокатку, с целью снижения количества образующейся окалины. Динамика этих процессов зависит от ряда факторов, важнейшими из которых являются температура, средство углерода и металла к кислороду, скорость образования, прочность оксидной пленки, ее дефектность и др.

Методы прямого восстановления оксидов железа в основном подразделяются по типу восстановителя: восстановление газами и с помощью твердого углерода.

Основным восстанавливающим агентом считается монооксид углерода CO, роль твердого углерода сводится к регенерации CO по реакции газификации. Однако считается, что по отношению к термодинамически прочным оксидам, таким как Cr_2O_3 , TiO , ZrO , Nb_2O_5 монооксид углерода является термодинамически слабым восстановителем, что подтверждается экспериментальными данными. Углеродсодержащие материалы, применяемые в качестве восстановителей в металлургии, содержат возгоняемые компоненты, в основном это водород и метан. Шихтовые материалы при нагреве могут выделять конституционно связанную воду, которая после взаимодействия с углеродом дает водород и CO. Следует отметить, что интенсифицирующее влияние водорода наблюдается только в присутствии твердого углерода, когда создаются условия для его газификации водородсодержащими газами. Восстановление оксидных соединений металлов, осуществляемое за счет присутствующего в системе углерода, принадлежит к группе важнейших металлургических процессов, и перспективы использования его возможностей далеко не исчерпаны. Наиболее полную информацию о восстановительной способности веществ можно получить, если провести балансовые расчеты выхода целевого продукта в заданных равновесных условиях в зависимости от исходного состава системы, а также по парциальному давлению восстановителя, и по количеству восстановителя, которое затрачивается на достижение конкретной степени восстановления металла из оксида.

Значительным резервом интенсификации процессов восстановления может стать создание в металлургическом агрегате условий для образования газообразных углеродсодержащих соединений, обладающих повышенной восстановительной способностью.

В настоящее время все большее внимание уделяется использованию энергетических воздействий с целью интенсификации технологических процессов, в основе которых лежат гетерофазные взаимодействия. Большой научный и практический интерес представляет воздействие бесконтактного электростатического поля на газовое и углеродотермическое восстановление оксидов металлов. Металлизация Fe_2O_3 , при наложении электростатического поля протекает в три стадии, подтверждая классическую схему $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{FeO} - \text{Fe}$. Особенностью восстановления Fe_2O_3 в поле является интенсификация третьей стадии процесса. Завершающая стадия металлизации Fe_2O_3 начинается приблизительно с $T=850$ °C. Таким образом, на этапе восстановления $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ при приложении электростатического поля к моменту достижения $T_m=915$ °C скорость реакции увеличивается в 2 раза по сравнению с металлизацией в обычных условиях.

При углеродотермическом восстановлении практически у всех изученных оксидов электростатическое поле не оказывает заметного влияния на температурные интервалы процессов. Влияние поля на кинетические закономерности углеродотермического восстановления оксидов металлов вероятно связано с тем, что внешнее поле играет роль независимого термодинамического параметра системы, аналогично температуре, давлению и составу. Заметное изменение термодинамических потенциалов наблюдается только при полях напряженностью $E \sim 10^8 - 10^9$ В/см. Следует предположить, что наблюдаемое изменение кинетических закономерностей восстановления оксидов под воздействием электростатического поля происходит за счет протекания реакции на границе раздела газ - твердое тело. Из-за дефектов примесей и свойств поверхностных слоев, локальная диэлектрическая проницаемость и поляризуемость поверхности твердого тела значительно отличаются от их усредненных значений в объеме образца. Под воздействием электростатического поля происходит активация дефектов, что приводит к интенсификации восстановительных процессов, происходящих на границе раздела газ - твердое тело [1].

При существующем уровне развития науки и техники до создания относительно дешевых, технологичных и легко реализуемых способов массового безокислительного и безуглеродного нагрева стали под прокатку и ковку, вероятно, пройдет не одно десятилетие. В связи с этим разработка технологических процессов обеспечивающих значительное снижение образующихся оксидов, а также способов эффективного восстановления их, представляет значительный интерес.

1. Д.И. Рыжонков, В.В. Левина, М.А. Вишкарева, СБ. Костырев Влияние воздействия бесконтактного электростатического поля на восстановление оксидов металлов. Известия вузов Черная металлургия, 1997 г.

УДК 621.7

К вопросу компьютерного моделирования процесса получения литых тормозных дисков

Студент гр.104313 Каштелян А.А.
Научный руководитель – Курбатов М.И.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Что самое дорогое в любом автомобиле? Даже самом эксклюзивном? Это жизнь его владельца и тех людей, которые находятся с ним рядом! Это высказывание не требует доказательств.

Тормозные диски — крайне важная деталь автомобиля. Если диск добротный и надежный, значит, тормоза работают как надо, и в экстремальной ситуации машина вовремя остановится. Если же он подведет, то это может закончиться печально

При изготовлении тормозных дисков нет права на ошибку. Поэтому на самом раннем этапе создания технологии необходимо тщательно прорабатывать каждый этап процесса. Тормозные диски изготавливаются с использованием современных технологий.

Настоящая работа посвящена проектированию литнико-питающей системы с применением современных систем автоматизированного проектирования. Процесс проектирования состоит из нескольких этапов. На первом этапе в системе Solid Works создаем трехмерную твердотельную модель.

На втором этапе в системе Полигон проводим моделирование процесса формирования отливки. Полигон позволяет моделировать следующие процессы: тепловые процессы при затвердевании, образование усадочных раковин и макропористости, образование микропористости, гидродинамические процессы при заливке, деформационные процессы для прогноза кристаллизационных трещин. Базовые модели опираясь на реальную физику процессов, максимально универсальны по сплавам и способам литья.

В процессе моделирования проверили ряд предлагаемых технологических решений и выбрали наиболее оптимальную геометрию литнико-питающей системы, которая позволила получить качественную плотную отливку.

УДК 621.74.

Разработка технологии получения массивных заготовок из высокопрочного чугуна

Студент гр.104326 Сергееня В.Н.
Научный руководитель – Крутилин А.Н.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Несмотря на большие потребности в массивных заготовках из высокопрочного чугуна, как в РБ, так и в странах ближнего и дальнего зарубежья, в настоящее время нет технологии их стабильного получения, в связи с этим данная задача является весьма актуальной.

Совершенствование технологического процесса изготовления чугунных заготовок затрагивает все стадии производственного процесса. Одним из наиболее эффективных методов воздействия на кристаллизацию, с целью получения оптимальной структуры графита и матрицы, а, следовательно, и на физико-механические свойства заготовок, является модифицирование.

Практикой литейного производства найдены общие закономерности, определяющие наиболее универсальные составы комплексных модификаторов. Высокая эффективность действия модификаторов на основе кремния, обусловлена возникновением локальных химических и тепловых неоднородностей при растворении модификатора в расплаве. В зонах с высокой концентрацией кремния растворимость углерода уменьшается, в результате выделяется избыточный углерод, образующий микрогруппировки, которые могут являться потенциальными зародышами графита при кристаллизации.

С течением времени группировки становятся термодинамически неустойчивыми, происходит дезактивация потенциальных зародышей кристаллизации графитовых включений, что определяет термовременной характер модифицирующего эффекта. Анализ известных теоретических и практических данных показывает, чем интенсивнее влияние модификатора в начальный момент после модифицирования, тем быстрее эффект затухает во времени. С понижением температуры расплава продолжительность модифицирующего эффекта возрастает, а эффективность модифицирования, вследствие ухудшения усвоения модификаторов, падает.

Одним из основных факторов эффективности модификатора является обеспечение им высокой степени сфероидизации графитовых включений (ССГ) в высокопрочном чугуне отливок, особенно при длительной разливке и малой скорости затвердевания чугуна в отливках. При изотермической выдержке модифицированного чугуна ССГ уменьшается, но интенсивность этого процесса зависит от состава модификатора.

Характерным для всех модификаторов является отсутствие пропорциональности между продолжительностью выдержки жидкого чугуна и величиной ССГ в отливках. За первые 10 минут выдержки значение ССГ уменьшается для всех модификаторов на 5-15%, за последующие 10 мин – на 15-40% по сравнению с первоначальным.

Продолжительность сфероидизирующего эффекта зависит от остаточного содержания магния в расплаве и при обычном его содержании 0,07-0,05% не превышает 10-15 минут, после чего эффект ослабевает. Скорость снижения остаточного магния в расплаве при 1450°C в первые 15 минут составляет 0,003% в минуту.

Окислительные потери магния возрастают на 87% с повышением температуры от нижнего предела 1400-1350°C до верхнего 1450-1400°C.

На число включений шаровидного графита и увеличение продолжительности действия модификаторов положительное действие оказывает церий. Однако, обработка относительно чистых по вредным примесям расплавов, модификаторами с высоким содержанием РЗМ, по данным фирмы Elkem (Норвегия), приводит к чрезмерно быстрой демодификации расплава.

Основной недостаток церия состоит в том, что даже незначительный избыток его сильно повышает склонность чугуна к отбелу. Оптимальное остаточное содержание церия после модифицирования составляет 0,004-0,008%.

Положительное влияние на эффект сфероидизирующего модифицирования оказывает увеличение концентрации V_i и РЗМ в модификаторах, помимо повышения начального количества глобулей, комплексная присадка вызывает также значительное замедление скорости затухания эффекта модифицирования.

При вводе церия совместно с магнием ситуация существенно зависит от соотношения вводимых присадок и содержания примесей в расплаве. Небольшие добавки церия преимущественно реагируют с серой, а присутствующий магний – с кислородом. Такая последовательность взаимодействия, отличающаяся от обработки индивидуальными элементами, определяется исходя из минимизации свободной энергии системы. Преимущественное взаимодействие магния с кислородом имеет место при всех присадках церия вплоть до тех, когда он полностью связывает серу. Аналогично кальцию добавки церия приводят к росту остаточной концентрации магния при постоянном его расходе, но при этом следует отметить повышенные расходы церия по сравнению с кальцием. Микродобавки ферроцерия эффективны только при использовании основной или нейтральной футеровки. Поздний ввод микродобавок РЗМ, имеющих высокую адсорбционную активность, способствует очищению границ зёрен и для массивных отливок из ЧШГ его следует считать необходимым, так как при отсутствии РЗМ в расплаве чугуна интенсивность угара магния всегда возрастает.

Одним из наиболее сильных раскислителей и десульфураторов является кальций. Ввод силикокальция вместо ферросилиция, в количестве 1%-1,5%, увеличивает “живучесть” эффекта сфероидизации, обработанного магнием расплава с 7 до 20-25 минут. В отличие от ферросилиция при модифицировании силикокальцием не отмечено повышения твердости и увеличения содержания цементита с увеличением времени выдержки расплава до кристаллизации, т.е. и графитизирующий эффект при наличии кальция проявляется более длительное время.

Продолжительность сфероидизирующего эффекта зависит от остаточного содержания магния в расплаве и при обычном его содержании 0,07-0,05% не превышает 10-15 минут, после чего эффект ослабевает.

При изготовлении массивных отливок из чугуна с шаровидной формой графита (время затвердевания > 0.5...1 ч) остаточное, после модифицирования, содержание сфероидизирующих элементов, имеет преобладающее значение.

Для сохранения эффекта обработки сфероидизирующими элементами, необходимо снизить содержание серы в чугуне, исключить возможность прохождения процесса ресульфурации, уменьшить площадь поверхности, контактирующей с воздухом, а также ограничивать количество шлака, образующегося в результате реакции окисления железа и кремния.

В производственных условиях основное внимание при изготовлении заготовок из высокопрочного чугуна уделяют процессу десульфурации расплава. Контроль за содержанием кислорода в расплаве не производится, так как чугун считают самораскисленным расплавом, кроме того, содержание кислорода легко восстанавливается при переливе расплава из печи в форму.

Для получения заготовок из высокопрочного чугуна, с точки зрения содержания кислорода, поднимать температуру расплава выше 1400-1420°C не рекомендуется. Кроме того, дальнейшее увеличение температуры расплава ведет к растворению зародышевой фазы, уменьшению степени графитизации, увеличению переохлаждения. С экономической точки зрения, высокий перегрев расплава также нецелесообразен, т.к. связан с большими затратами энергии и времени.

Увеличение продолжительности сохранения сфероидизирующего эффекта при длительной изотермической выдержке расплава до кристаллизации можно достигнуть повышением расхода сфероидизирующих элементов.

Однако, при повышении расхода сфероидизирующего модификатора сверх необходимого для образования шаровидного графита уменьшается количество графитовых включений, повышается склонность к образованию структурно-свободных карбидов.

На скорость удаления Mg из жидкого модифицированного чугуна заметно влияет также емкость и соотношение размеров ковша. Чем больше масса чугуна, тем дольше, при прочих равных условиях, можно выдерживать его перед разливкой по формам. Установлено, что чем меньше отношение диаметра ковша к его высоте, тем меньше скорость удаления магния из чугуна.

При сливе металла в ковш и заливке литейных форм в результате контакта жидкого металла с воздухом и инъекции его потоком расплава происходит повторное окисление. При переливе в ковш и заливке в формы жидкий чугун на 10-25% насыщается кислородом, при этом его активность повышается. Окисление потока, образование вторичных шлаков и пены происходит также в процессе заполнения полости формы расплавом.

Конструкция литниковой системы должна обеспечивать спокойное заполнение формы, предотвращая окисление поверхности металла и попадание уже образовавшихся оксидных плен в отливку. Пленобразование жидкого чугуна резко увеличивается с понижением температуры заливки ниже 1300 °С и при содержании остаточного магния свыше 0,07%.

Изучение существующих способов модифицирования позволяет заключить, что наиболее перспективным способом продления сфероидизирующего эффекта при модифицировании является внутриформенное модифицирование, предельно уменьшающее время между модифицированием и кристаллизацией расплава.

При обработке расплава ЧШГ в реакционной камере, расположенной непосредственно в форме, модификатор контактирует с кислородом воздуха непродолжительное время лишь при заполнении свободного пространства камеры, которое составляет всего 2...3 % от объема расплава, после чего плавление и растворение происходит в практически бескислородной жидкометаллической среде. Наиболее полное усвоение Mg, стабильность процесса, минимальный расход модификаторов в период взаимодействия его с расплавом возможны при создании восстановительной атмосферы в реакционной камере. У чугуна, модифицированного в литейной форме, наблюдается повышенное количество центров графитизации и отсутствие или незначительное количество структурно-свободного цементита в микроструктуре, даже при низком содержании кремния. Наибольший эффект модифицирования проявляется в первые 15-30 с после ввода модификатора в расплав. При прочих равных условиях внутриформенное модифицирование по сравнению с модифицированием в ковше, требует для сфероидизации графита в чугуне в 3-4 раза меньше модификатора.

УДК 621.7

Основные требования, предъявляемые к литым тормозным дискам

Студент гр.104313 Каштелян А.А.
Научный руководитель – Курбатов М.И.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Первые автомобильные тормоза были барабанные, за много лет они не сильно изменились и широко используются до сих пор. Современные автомобили комплектуются более эффективными дисковыми тормозами. Дисковые тормоза — не новое изобретение. В 1902 г. в Англии доктор Ланчестер запатентовал проект дискового тормоза. Эти тормоза устанавливались на одноименный автомобиль Lanchester с 1906 по 1914 г. Однако по причине низкой эффективности этих первых дисковых тормозов о них на время забыли. Первые автомобили имели один тормоз на заднюю ось. Отдельные тормоза на каждое колесо появились в 20-х годах 20 века. Дисковые тормоза вернулись во время второй мировой войны и использовались в авиации, в конструкции посадочного шасси. В 1952 г. дисковые тормоза стали применять на спортивных автомобилях, а четыре года спустя – на серийных машинах.

К тормозным дискам предъявляются следующие требования:

1) Устойчивость к перегреву при интенсивном торможении.

Конечно же, большая устойчивость к перегреву присуща вентилируемым тормозным дискам, которыми, как правило, оснащаются передние тормоза в большинстве современных машин. В последнее время наметилась тенденция на применение вентилируемых тормозных дисков и на задних тормозах.

Устройство вентилируемого тормозного диска не отличается особой сложностью – тормозной диск не является сплошным, а как бы разделяется на два диска, соединенных перегородками. При помощи этих перегородок происходит циркуляция воздуха между обеими частями тормозных дисков и, таким образом, происходит дополнительный отвод тепла, которое интенсивно выделяется при взаимодействии тормозных дисков и тормозных колодок.

Существуют также перфорированные тормозные диски. На таких тормозных дисках по всей поверхности просверлены отверстия, обеспечивающие дополнительный теплоотвод, и, к тому же упрощает

вывод продуктов износа рабочей пары «тормозной диск тормозная колодка» из пятна контакта. Хотя следует учитывать тот факт, что перфорированные тормозные диски по своей конструкции могут быть вентилируемыми.

2) Износоустойчивость

Необходима такая износостойкость, которая не сказывается отрицательно на соответствующее качество тормозных колодок. Чересчур жесткие тормозные диски будут приводить к излишнему расходу тормозных колодок. Слишком мягкие тормозные диски потребуют их замены при каждой смене тормозных колодок. Оба этих варианта являются крайностями, которые на практике не рекомендуются.

3) Устойчивость к коррозии.

Наверняка все автовладельцы замечали, как блестят рабочие поверхности тормозных дисков при регулярной эксплуатации автомобиля. И то, как быстро их покрывает ржавчина при попадании на них воды. При регулярной эксплуатации такая ржавчина не опасна, поскольку дисковым тормозам присуща способность достаточно хорошо самоочищать рабочую поверхность. Также ржавчина может появляться и в местах соприкосновения колесного диска с тормозным диском, что в некоторых случаях приводит к самопроизвольному ослабеванию затяжки колесных болтов и откручиванию колеса на ходу. Для предотвращения коррозии в центральной части тормозного диска используется специальное покрытие. Неоригинальные тормозные диски, столь популярные в магазинах автозапчастей, как правило, такого покрытия не имеют.

4) Доступная цена. Хотя многие автовладельцы не считают цену на оригинальные тормозные диски доступной, но только такие диски удовлетворяют всем вышеперечисленным качествам.

Срок службы, а также и свойства тормозных дисков напрямую зависят от способа получения их. На основе требований к тормозным дискам и анализе существующих способов их получения, остановились на литье в постоянные формы. В ходе выполнения работы спроектировали оригинальную конструкцию кокиля с горизонтальным разъемом.

УДК 621.9

Создание математической модели формовочной смеси для управления смесеприготовлением

Магистрант Филипенко Е. В.

Научный руководитель – Драгун Н. П.

Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого

г. Гомель

Цель исследования: установить количественную зависимость между реологическими параметрами формовочной смеси и её компонентным составом для разработки модели песчано-глинистой формовочной смеси.

Задачами исследования являются: 1) установить количественную зависимость между компонентным составом формовочной смеси и её деформацией, прочностью на срез; 2) разработать математическую модель песчано-глинистой формовочной смеси; 3) построение номограмм для управления процессом смесеприготовления на основе методов реологии; 4) создать алгоритм программы реализации полученной математической модели.

Оборудование и инструмент. В процессе проведения исследования для приготовления смеси применялся лабораторный смеситель (модель LM-2), весы лабораторные (модель ВЛК-500г-м ГОСТ 24104-88), уплотнение образцов из песчано-глинистой смеси для испытаний проводится тремя ударами копра лабораторного (модель L4). Анализ влажности проводили высушиванием проб до постоянного веса и последующим взвешиванием на электрических весах. Содержание активного бентонита в смеси оценивали по поглощению метиленового голубого красителя. Измерение образцов на сжатие и срез производилось на приборе для измерения прочности (модель 04116А).

В экспериментах использовалась смесь, близкая по составу к единой смеси, применяемой на РУП «Гомельский завод литья и нормалей». Такая смесь содержит 93,38-90% отработанной смеси; 6,1-7,8% кварцевого песка; 0,33-1,33% глины бентонитовой; 0,047-0,12% связующего КО; 0,01-0,026% крахмалита; 0,13-0,67% угля каменного молотого; воду техническую. Влажность готовой смеси 3,3-3,6%, содержание активного бентонита 6-11%.

Было принято решение в опытах изменять содержание влаги и бентонита, так как влияние этих факторов на свойства смеси по априорным данным определяющее и представляет собой особый интерес. Содержание бентонита изменялось от 6 до 12%, а влажность изменялась от 3 до 6%.

План эксперимента. Первоначально нами использовался дробный факторный план 2^2 для того, чтобы определить адекватность модели первого порядка, описывающей зависимость между долями компонентов смеси и её реологическими свойствами. В этой модели оба фактора комбинировались друг с другом на верхних и нижних значениях (всего имеется 4 комбинации).

Проведённое исследование показало, что модель первого порядка является адекватной только для некоторой узкой области значений факторов и неадекватной для всех значений факторов. То есть

зависимость между факторами и откликом является нелинейной. Поэтому нами в дальнейшем использовался центральный композиционный ротatableльный план, в котором дисперсия отклика является постоянной во всех точках, одинаково удалённых от центра плана, а также модели первого и второго порядка.

Анализ экспериментальных данных проводился с помощью программы STATISTICA.

Прежде всего для свойств оценивалась адекватность модели второго порядка. При анализе деформации, получили, что статистически значимые эффекты имеют два линейных члена $B(L)$ и $W(L)$. Таким образом у нас имеется линейная зависимость между свойством и компонентами. Анализ линейной модели показал что данная модель представляется адекватной для описания отклика. Для прочности на срез статистически значимые эффекты дают как линейные, так и квадратичные члены. Так как такая зависимость является сложной для описания, для данного диапазона значений можно рассмотреть линейную модель. Оценка данной модели показала, что она является адекватной.

Далее были найдены регрессионные коэффициенты и получены зависимости $\epsilon=f(B,W)$ и $\tau=f(B,W)$.

Для визуализации зависимостей построены графики поверхностей отклика.

Таким образом, для исследуемой смеси математическая модель имеет вид:

1) при сжатии $\epsilon=592,380W-268,833B+15,751$;

2) при срезе $\tau=2,569 W+7,069B+0,243$

Полученная математическая модель показывает связь реологических параметров с основными компонентами состава формовочной смеси: содержание бентонита в формовочной смеси оказывает в 2 раза меньшее влияние на ее деформационные характеристики, чем влажность; содержание бентонита в формовочной смеси оказывает в 3 раза большее влияние на ее прочностные характеристики, чем влажность.

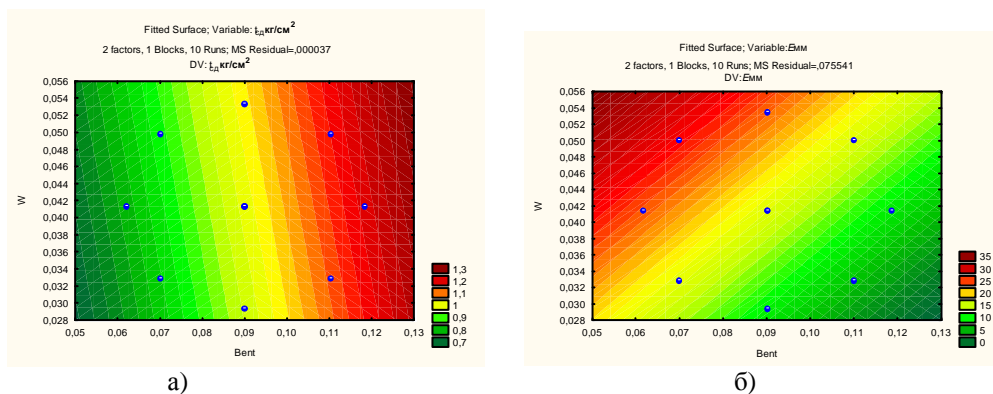


Рисунок 1 – зависимость деформации сжатия от влажности и содержания бентонита (а); зависимость предела прочности на срез от влажности и содержания бентонита (б).

На основе математической модели для современных смесеприготовительных систем, использующих ЭВМ, разработана программа для АСУ ТП смесеприготовления. Программа создана в системе программирования Delphi (рис.2). Она по известным свойствам смеси (τ, ϵ) и массе выдает процентное содержание бентонита в смеси и ее влажность. В соответствии с требуемыми свойствами смеси выдаются рекомендации для корректировки состава.

Требуемые свойства смеси

Введите массу смеси	<input type="text" value="2000"/> кг	Прочность, кг/см ²	минимальная	максимальная
Введите прочность	<input type="text" value="0.73"/> кг/см ²		<input type="text" value="0.751"/>	<input type="text" value="1.113"/>
Введите деформацию	<input type="text" value="16"/> мм	Влажность, %	<input type="text" value="3.3"/>	<input type="text" value="3.6"/>

Расчет

Характеристика свойств смеси

Влажность смеси, %	<input type="text" value="2.6423"/>	Низкая прочность смеси: низкая влажность смеси!
Содержание бентонита, %	<input type="text" value="5.76230805"/>	

Корректировка состава

Добавить	<input type="text" value="25.5132882387"/>	л воды
Добавить	<input type="text" value="77.6782678260"/>	кг бентонита
Добавить	<input type="text" value="0"/>	кг песка

Рисунок 2 – Окно программы Delphi.

Использование данной программы в совокупности с установкой непрерывного автоматизированного контроля реологических свойств формовочных смесей позволит корректировать состав смеси в процессе смесеприготовления для обеспечения требуемых свойств.

УДК 621.74.047

Особенности конструкции установки горизонтального непрерывного литья

Студентка гр.104314 Леднева М.Ю.

Научный руководитель – Крутилин А.Н.

Белорусский национальный технический университет

г.Минск

Принципиальная схема процесса горизонтального непрерывного литья показана на рис.1. Жидкий металл 1 заливают в металлоприемник 2, выполненный в виде металлической коробки с футеровкой внутри. Из металлоприемника металл попадает в полость кристаллизатора, образованную графитовым вкладышем 3, головная часть которого через футеровку входит в металлоприемник, а охлаждаемая часть вставлена в закрепленный на металлоприемнике водоохлаждаемый корпус кристаллизатора 4. Затвердевшую в кристаллизаторе отливку 5 циклически извлекают тянущим устройством 6. При непрерывном литье чугуна из кристаллизатора извлекают лишь частично затвердевшую отливку, наружная оболочка которой способна выдержать металлостатическое давление и воздействие перегретого расплава без подплавления и деформации корки. Для предотвращения провисания отливки при перемещении от кристаллизатора до тянущего устройства она опирается на поддерживающие рольганги 7. Начальный момент процесса осуществляют при помощи затравки, перекрывающей полость кристаллизатора и проходящей через тянущее устройство. После того, как отливка войдет в тянущее устройство, затравку отделяют. За тянущим устройством отливку разделяют на мерные части. Процесс осуществляют в непрерывном режиме работы в течение 8-20 часов, до момента существенного износа графитовой втулки, т.к. любая длительная остановка требует замены кристаллизатора и металлоприемника.

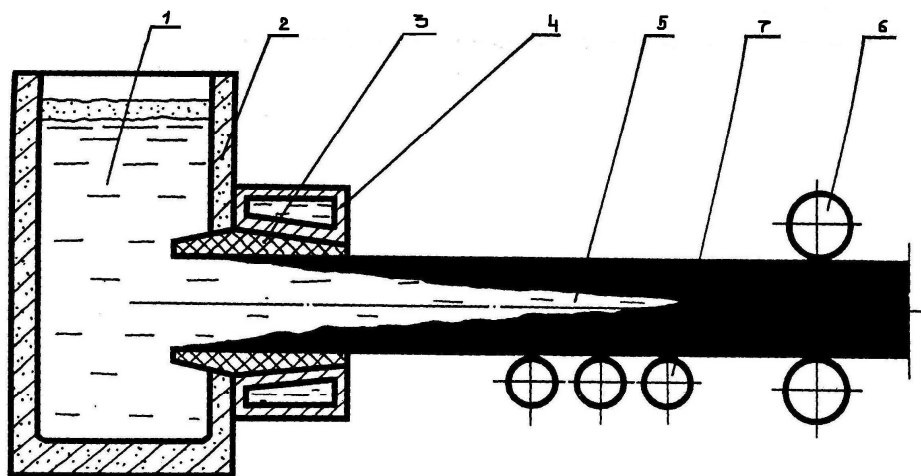


Рис. 1 – Принципиальная схема процесса горизонтального непрерывного литья

Отличительной особенностью установки горизонтального непрерывного литья чугуна, используемой на ЧУП «Литейный завод» г. Молодечно, является сервопривод разработанный ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси. Изучение мировых тенденций в управлении процессом горизонтального непрерывного литья показывает, что применение сервоприводов, по данным разработчиков, является наиболее эффективным. Их использование позволяет достичь наилучших характеристик систем автоматизации. В процессе работы в зависимости от изменения нагрузки обеспечивается быстрое регулирование тока и скорости с использованием контура обратной связи с функцией автоматической подстройки в реальном времени, что обеспечивает отличные динамические характеристики. Для ввода и оперативной корректировки технологических параметров вытягивания заготовки (скорости и величины перемещения заготовки и интервала времени остановки) в системе управления реализован интерфейс на базе программируемого терминала.

Металлоприемник выполнен в виде индукционной единицы, что обеспечивает постоянство температуры расплава в течение всего времени литья. Контроль за температурой расплава осуществляют с помощью пирометра. Особенно эффективно использование данной установки для получения мелкого профиля диаметром от 30 до 150 мм.

Дальнейшие исследования будут направлены на совершенствование конструкции основного узла установки – кристаллизатора. Основная цель: получение высококачественных заготовок из серого и высокопрочного чугуна с максимально возможными скоростями литья.

УДК 621.74

Противопригарные покрытия для литейных форм и стержней

Студент гр. 104323 – Копач В.Ю.

Научный руководитель – Николайчик Ю.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Борьба с пригаром продолжает оставаться важнейшей задачей литейщиков, так как операции по обрубке и очистке могут достигать до 30-35% общей трудоемкости изготовления отливок. Кроме этого, очистка отливок от пригара является операцией вредной для здоровья работающих и плохо поддающейся механизации и автоматизации.

Наиболее действенным и перспективным способом решения проблем борьбы с пригаром является применение противопригарных покрытий. По П.П.Бергу под покрытиями следует понимать слои, наносимые на поверхность формы или стержня, придающие поверхности отливок заданные свойства.

Противопригарные покрытия должны обладать достаточной огнеупорностью, высокой седиментационной устойчивостью, хорошей кроющей способностью, высокой прочностью сцепления с поверхностью форм и стержней при заливке металлом, малой газотворностью и гигроскопичностью. Современные противопригарные покрытия состоят из следующих основных ингредиентов: огнеупорного наполнителя, связующего и стабилизатора равномерно распределенных в дисперсной среде (растворителе). Наполнитель является активной составляющей покрытия, в значительной мере определяющий эффективность его действия. Выбор наполнителя осуществляется в зависимости от применяемого сплава и геометрических характеристик отливок. Основными характеристиками наполнителей являются его огнеупорность, точка плавления, термическое расширение, зерновой состав, твердость. Кроме этого, огнеупорный наполнитель не должен вступать в химическое взаимодействие с металлом и смачиваться металлом. В таблице 1 представлены огнеупорные наполнители применяемые в составах противопригарных покрытий.

Таблица 1 – Огнеупорные наполнители.

Наполнитель	Химическая формула	Плотность, кг/м ³	Температура плавления, °С
Цирконовый концентрат	ZnO ₂ ·SiO ₂	4,6 – 4,7	2200
Дистен-силлиманит	Al ₂ O ₃ ·SiO ₂	3,2 – 3,5	1810
Электрокорунд	Al ₂ O ₃	3,9 – 4,0	2050
Металлургический магнезит	MgO	3,5	2800
Графит	C	2,1	3000
Кварц	SiO ₂	2,65	1700
Тальк	4SiO ₂ ·3MgO·H ₂ O	2,7	1250

Выбор растворителя осуществляется в зависимости от типа связующего, входящего в состав покрытия, условий отверждения (тепловая сушка или сушка на воздухе), метода нанесения покрытия. В случае использования водных покрытий на их стабильность могут оказывать влияние соли, растворенные в воде. При выборе горючих растворителей принимают во внимание огнеопасность и токсичность. Наиболее дешевым и в техническом отношении пригодным для использования в качестве растворителя является отход спиртопроизводства – фракция головная этилового спирта (ЭАФ). ЭАФ как и изопропиловый спирт хорошо сочетается со смолами, используемыми в качестве связующих в покрытиях, и со стабилизаторами. Однако в экономическом плане ЭАФ на порядок дешевле изопропилового спирта, что существенно снижает себестоимость противопригарных покрытий.

Важным для структуры покрытий является равномерное распределение твердых частиц наполнителя в растворителе, для чего вводится стабилизатор. Широкое распространение в водных покрытиях в качестве стабилизаторов нашли бентониты и другие виды глин. Преимущества их использования заключаются в сообщении ими хороших тиксотропных свойств и высокой связующей способности при высоких температурах; недостаток - время, требуемое для стабилизации. Кроме этого могут также использоваться целлюлозы и альгинаты.

В качестве связующего в составах противопригарных покрытий используют материалы органического и неорганического происхождения, способные растворяться в водном или неводном

растворителе и образовывать после удаления последнего прочные пленки. Количество связующего определяется размером частиц наполнителя с одной стороны и количеством и скоростью газовой выделением из него, с другой. Предпочтительно, чтобы связующее растворялось или смешивалось с используемым растворителем. В водных системах в качестве связующих могут использоваться фосфаты, декстрины, сульфитный щелок, ПВА, и др. При использовании декстрина и сульфитного щелока необходимо введение в состав противопригарных покрытий антисептиков во избежание ферментации и брожения.

Сушка покрытий должна производиться при оптимальном для каждого связующего режиме; повышение температуры сушки снижает сопротивление абразивному воздействию. Сушка при комнатной температуре покрытий на некоторых связующих невозможна из-за их гигроскопичности.

Бентониты, глины, фосфаты и жидкое стекло используются как высокотемпературные связующие в водных системах, хотя при введении последних двух связующих может возникнуть флокуляция или пептизация с бентонитом. Наряду с обычными водорастворимыми связующими используются также типы связующих, подобные применяемым в лакокрасочной промышленности, необратимые на воздухе.

В спиртовых покрытиях используются спирторастворимые синтетические полимеры такие, как поливинилбутираль (ПВБ), новолаки, кетоны и природные смолы, а так же некоторые спирторастворимые пластмассы. Их выбор обусловлен совместимостью связующего с наполнителем. Важным критерием также является миграция связующего на поверхность, пленкообразование и содержание блестящего углерода.

Увеличивающиеся требования к качеству отливок, снижение стоимости очистных операций требуют разработки новых систем покрытий. Одним из важных условий является санитарно-гигиеническая безопасность процессов окраски. Другим направлением новых разработок является использование в составах противопригарных покрытий ультрадисперсных наполнителей, а так же использование техногенных отходов производств.

УДК 621.743.074:544.332-971.2

Методы определения основных свойств экзотермических смесей

Студент гр. 104315 Сорока И.
Научный руководитель – Фасевич Ю.Н.
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск

Свойства экзотермических смесей условно могут быть разделены на технологические и теплофизические. К технологическим относят свойства, общие для всех формовочных смесей: прочность во влажном состоянии; влажность; прочность в сухом состоянии; газопроницаемость; гигроскопичность; живучесть; нетоксичность; неспекаемость. Вместе с тем критериями новых составов должны быть, прежде всего, прочность во влажном и сухом состояниях и газопроницаемость.

Первые четыре свойства определяют общепринятыми стандартными методами.

Гигроскопичность определяют двумя методами. По первому – образцы из экзотермических смесей после сушки хранят на воздухе в течение одной недели. Каждые сутки измеряют прочность и теплофизические свойства смесей. Изменения этих свойств служат косвенным показателем насыщения смесей влагой. По второму определяют непосредственно водопоглощение в стандартных условиях над растворами серной кислоты в эксикаторе путем взвешивания через каждые сутки в течение пяти суток.

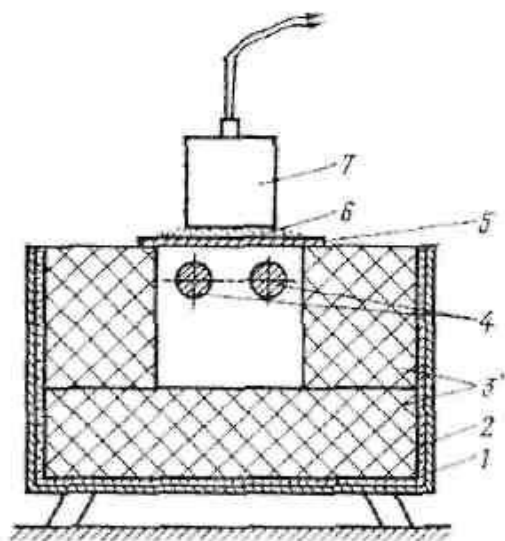
Для определения живучести приготовленную смесь помещают в коробку, накрытую металлической крышкой (негерметично) или влажной мешковиной. В обоих случаях каждые 2 ч отбирают смесь, изготавливают образцы и определяют прочность на сжатие во влажном и сухом состояниях. Живучесть определяют как продолжительность хранения смеси, при которой снижение прочности превышает 20—25% исходной величины.

Под теплофизическими свойствами экзотермической смеси понимают свойства, характеризующие процесс горения и изменения теплосодержания. К ним должны быть отнесены также стандартные теплофизические характеристики — теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность и т. п.

Для экзотермических смесей целесообразно определять следующие показатели: температуру воспламенения; максимальную температуру в образце; скорость горения; характер затвердевания шаровой пробы.

Определение характера затвердевания производится с помощью стандартных цилиндрических образцов 50X50 из экзотермической смеси. Образцы изготавливают стандартным методом и высушивают при температурах соответствующих составам смесей. Установка для сжигания образцов представляет собой печь, футерованную пеношамотом 3, с засыпкой из шамотной крошки 2 силитовыми нагревателями 4. Печь открыта только сверху. На верхнее окно помещают стальную пластину 5, на нее насыпают тонкий слой сухого песка 6 и устанавливают образец 7. При достижении определенной температуры на нижней поверхности образца начинается горение и печь можно отключать. t_0 определяют, как показано на рисунке. При формовке образца в него закладывают кварцевый колпачок, а затем устанавливают термопару так,

чтобы спай был на уровне нижней поверхности. Точка перегиба на температурной кривой соответствует температуре воспламенения.



Для определения скорости горения изготавливают образец длиной 200 мм и сечением 20x20 мм. Образец закрепляют в держателе штатива таким образом, чтобы он стоял на верхней плоскости цилиндрического образца: зажигание происходит от нижнего образца через некоторое время после его сгорания. Нижний образец в свою очередь зажигают.

Для оценки эффективности действия экзотермических смесей применяют шаровую пробу. Сталь при температуре 1580—1600° С заливают в шаровую полость диаметром 150 мм, облицованную слоем испытуемой экзотермической смеси толщиной 30 мм или жидкостекольной смеси. Посредством термодары, спай которой совпадает с центром шара, фиксируется продолжительность затвердевания металла в шаровой пробе. Коэффициент эффективности смеси определяют как отношение времени затвердевания пробы, облицованной испытуемой экзотермической смеси, к времени затвердевания пробы, залитой в жидкостекольную смесь.

УДК 621. 74

Технологический цикл выплавки кордовой стали в ДСП

Студент гр. 104323 Чайковский Д. В.
Научный руководитель - Кукуй Д. М.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Производство высококачественной стали и непрерывнолитых заготовок обеспечивается технологией производства, начиная от загрузки шихтовых материалов в дуговые сталеплавильные печи и заканчивая разливкой на МЛНЗ.

Стандартная шихта складывается из 80% металлизированных окатышей со степенью металлизации > 92% и из 10...20% оборотного лома. К достоинствам использования окатышей как шихты для дуговых печей является возможность непрерывной загрузки их через свод печи в течение плавки. ДСП 3 оборудована специальной системой подачи окатышей в ванну. Технология непрерывной подачи окатышей и извести в соотношении 10:1 позволяет совмещать плавление шихты с окислением избыточного углерода. Во всех случаях обеспечивается содержание хрома, никеля и меди не более 0,05% каждого.

Постоянная присадка извести, шпата, кокса и обновление шлака снижают количество фосфора и серы в стали. Регулярная присадка кокса необходима также для образования пенного шлака, экранящего футеровку стен и свода и препятствующего насыщению стали азотом во время плавления.

Разработан и применяется способ раскисления и легирования стали пироуглеродом при сливе из расчёта получения в металле 0,55% углерода, после чего присаживается ферросилиций.

Высокая стоимость и дефицит металлизированного сырья, повышенный расход электроэнергии и извести при выплавке стали обусловили поиск альтернативных источников сырья. В результате были выделены отдельные виды «чистого» металлолома. Для получения стабильно низких содержаний азота и кислорода в ДСП при выплавке кордовой стали с использованием металлолома разработан способ, заключающийся в том, что для регулирования скорости окисления углерода в окислительный период в печь

присаживают твердые окислители различной фракции и плотности в количестве 0,8...1% от массы металлошихты.

В 1998-2000 гг. на всех ДСП внедрена технология донной продувки ванны инертным газом. Результат внедрения донной продувки снижение работы печи под током на 3 мин, расход электроэнергии уменьшился на 15...20 кВт ч/т, угар раскис-лителей и легирующих элементов снизился до 5%, выход годного возрос на 0,52%.

Эффективной мерой повышения качества высокоуглеродисты сталей явилась выпечная обработка стали на вакууматорах.

В состав отделения выпечной обработки стали БМЗ входят циркуляционный (RH) и ковшевой вакууматоры, а также установка печь-ковш. Основная задача вакуумирования – по возможности максимальное удаление газов из стали. Оба вакууматора обслуживаются одной системой насосов, обеспечивающих остаточное давление 100 МПа. Дегазации подвергаются высокоуглеродистые и легированные стали.

При дегазации в циркуляционном вакууматоре во всасывающий патрубок подается аргон интенсивностью 400...500 л/мин. В качестве основной схемы обработки стали в дегазаторе VD применили стандартную технологическую схему ДСП → печь-ковш → VD → печь-ковш с обязательным удалением шлака перед вакуумированием.

Дегазация нераскисленной кордовой стали на вакууматоре RH занимает не более 25 мин, а снижение температуры металла 40-50°C.

Во время обработки стали с помощью VD вакууматора сталь продували аргонном оголением зеркала металла. После обработки плавков на установке VD для закрытия дуги при подогреве металла на установке печь-ковш присаживается известь (300...400 кг) и плавиковый шпат (80...100 кг). В качестве резервной технологии используют обработку стали по схеме ДСП → VD → печь-ковш. Средняя продолжительность обработки стали на VD с учетом времени перестановки сталеразливочного ковша со сталеваза на установку и обратно и времени скачивания шлака по этим схемам было равно соответственно 63 и 48 мин. Снижение температуры металла за время вакуумирования с учетом времени перестановки ковша и скачивания шлака составило 70...80°C.

На основании анализа результатов исследований отработаны режимы дегазации стали, обеспечивающие минимальное содержание газов в сталях. Наличие системы подачи ферросплавов и шлакообразующих на установке печь-ковш и вакууматоре обеспечивает возможность получения элементов в стали с отклонениями 0,002%, а также азота менее 0,002%.

На БМЗ загрязненность кордовой стали оценивают по методу фирмы «Pirelly» с использованием электронного микроскопа. В соответствии с данной методикой определяется химический состав оксидных включений и подсчитывается их количество. Установлено, что качественный состав и количество оксидных неметаллических включений формируются в процессе выпечной обработки. В дальнейшем они не претерпевают принципиальных изменений.

Для повышения деформируемости металла при волочении необходимо было снизить в металле концентрацию алюминия и кислорода до пределов, исключающих образование недеформируемых включений, а также создать условия перевода состава включений из недеформируемой области в деформируемую. Были исследованы различные варианты выпечной обработки и раскисления кордовой стали, включая обработку высокоосновным шлаком низкоуглеродистым шлаком, затем низкоосновным шлаком на установке печь-ковш, обработку силикокальциевой проволокой с основностью менее 1,5 и вакуумирование на вакууматоре циркуляционного типа. В результате создана новая технология ковшевого рафинирования кордового металла с помощью синтетического шлака, обладающего высокой ассимилирующей способностью к оксиду алюминия. Эта технология для снижения запороченности стали неметаллическими недеформируемыми включениями предусматривает раскисление и легирования стали пироуглеродом при сливе из расчета получения в металле 0,55% углерода, после чего присаживается ферросилиций.

Эффект повышения пластичности включений получен в результате того, что химический состав включений изменится при обработке металла кислым шлаком, приближаясь по составу к синтетическому низкоосновному шлаку, который имеет более низкую температуру плавления. При дальнейшей переработке катанки диаметром 5,5 мм в волочильном производстве с использованием новой технологии выплавки и выпечной обработки стали обрывность проволоки по неметаллическим включениям снизилась от 700 до 2000 км на обрыв. Таким образом снижена загрязненность стали крупными недеформируемыми включениями и модифицированы оставшиеся мелкие алюминатные включения.

При достижении заданного химического состава и температуры 1550...1620°C в зависимости от марки стали металл передается на МЛНЗ.

Промежуточные ковши перед разливкой разогреваются до температуры 1000...1100°C. При разливке струя металла между сталеразливочным и промежуточным ковшами защищена специальным колпаком, в полость которого подается аргон. Струя металла между промежуточным ковшом и кристаллизатором защищается погружным стаканом.

Машина непрерывного литья заготовок

Студентка гр. 104313 - Несмачная Е.В.
 Научный руководитель – Кукуй Д.М.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

1. В металлургической промышленности сталелитейного производства нашли применение машины непрерывного литья заготовок. Такие машины предназначены для производства заготовок различного сечения из углеродистых, углеродистых качественных, конструкционных, низколегированных, рельсовых и кордовых марок сталей.

2. Существуют различные типы машин непрерывной разливки:

- радиальная МНЛЗ для отливки заготовок сечением 100-150x100-150 мм, шестиручьевая с выпрямлением заготовки в одной точке;

- радиальная МНЛЗ для отливки заготовок сечением 200-265x200-300 мм, четырехручевая с независимым оборудованием для каждого ручья;

В МНЛЗ таких типов резка заготовок на мерные куски осуществляется гидравлическими ножницами.

- радиальная МНЛЗ для отливки заготовок сечением 300x340-450 мм, четырехручевая. Резка отливаемой заготовки на мерные куски производится газорезками.

- МНЛЗ криволинейного типа для литья слябов сечением 150-200x700-1550 мм, двухручевая;

- МНЛЗ криволинейного типа для литья слябов сечением 180-250x940-1850 мм, одноручьевая;

- МНЛЗ криволинейного типа для литья слябов сечением 200-315x1000-1900 мм двухручевая.

3. Краткое описание машины непрерывного литья заготовок.

Техническая характеристика

Производство осуществляется на 4-ручевой установке непрерывной разливки со следующими основными параметрами:

Годовое производство блюмов		365.000 т
Объем плавки		норм. 100 т
Тип машины		радиальная установка с прямым кристаллизатором по системе ф-мы Фест-Альпине
Сечение слитка		250 x 300 мм 300 x 400 мм
Количество ручьев		4
Расстояние между ручьями		1300 / 1500 / 1300 мм
Радиус разливочной дуги		10 м
Скорость разливки		0,5 - 1,5 м/мин в зависимости от марки и сечения
Металлургическая длина		макс. 28,9 м
Скорость машины		макс. 5 м/мин для транспортировки затравки
Длина блюмов		2500 - 5500 мм
Скорость ролганга		30 м/мин
Поперечный транспортер блюмов:		
Скорость передвижения		до 72 м/мин - ручной режим
		42 м/мин - автоматика
Рольганг горячего посада		30/60 м/мин

Марки стали

Разливаемые марки стали входят в группу марок высококачественной стали, а также металлокорда.

Общее

Установка непрерывной разливки стали со встроенным зданием снабжения средами расположена в сталеплавильном цехе. Вспомогательное оборудование, как, например, хозяйство промковшей и опорная мастерская с необходимыми складскими участками также находятся в сталеплавильном цехе.

Складские участки для промежуточного хранения блюмов в аварийных ситуациях расположены в зоне прокатного цеха.

Описание технологического процесса

Жидкий металл, доставляемый в сталеразливочном ковше от плавильного агрегата и/или от оборудования для обработки металла в ковше, устанавливается на поворотный стенд, установки для непрерывной разливки стали. После установки ковша поворотный стенд переворачивается в позицию разливки.

Из сталеразливочного ковша жидкий металл подается в промежуточный ковш, причем струя металла защищается от окисления специальным кожухом, продуваемым аргоном.

Через погружные стаканы (погружные трубы) металл подается в отдельные кристаллизаторы.

Кроме того, промковш служит буферной емкостью в случае разлива методом "плавка на плавку", а также для выделения неметаллических первичных примесей из металла. С целью защиты от теплоизлучений и от вторичного окисления зеркало жидкого металла покрывается изолирующими и покровными шлаковыми смесями.

При помощи тележек промковши перемещаются между позициями разлива и разогрева в направлении, перпендикулярном по отношению к направлению разлива. Каждая из тележек также оснащена гидравлическим подъемным устройством.

В позициях разогрева находятся стационарные разогревающие горелки, а также стационарные станции для разогрева погружных стаканов.

Во время подачи металла в кристаллизатор расход регулируется изменением позиции стопора. В данном случае скорость вытягивания слитка является постоянной. Для поддержания постоянства уровня металла в кристаллизаторе регулируется подача.

В кристаллизаторе жидкий металл охлаждается до такого уровня температуры, что образуется достаточно твердая корка слитка, выдерживающая ферростатическое давление в зоне нижних роликов. Сам кристаллизатор состоит из медной формы, встроенной в водообтекаемый корпус, охлаждаемый водой для охлаждения кристаллизатора (первичная система охлаждения). С целью отвода максимального количества тепла кристаллизатор с учетом усадки металла выполняется коническим. Зеркало металла в кристаллизаторе регулируется автоматическим устройством, работающим на основе стержневого излучателя.

Благодаря зажимным плитам на осциллирующей раме, а также применением шаблонов для настройки кристаллизаторов достигается небольшая длительность операций по смене кристаллизаторов.

Силы трения между кристаллизатором и коркой слитка уменьшаются смазочными средствами. При разливе при помощи погружного стакана вышеназванный эффект обеспечивается пленкой из теплоизолирующего шлака, причем решающее влияние на качество поверхности слитка оказывает выбор подходящей теплоизолирующей смеси.

При помощи подъемного устройства кристаллизатор приводится в приблизительно синусоидальное движение. Относительное движение осцилляции/вытягивания предотвращает прилипание корки слитка к стенке кристаллизатора. Осциллирующее движение кривошипно-шатунным механизмом и системой коромыслов и рычагов передается на раму механизма осцилляции, прифланцованную к кристаллизатору. Число оборотов на входе двигателя (= частота) может быть изменено во время работы; перестановка эксцентрика (регулировка хода) возможна только во время простоя оборудования.

Слиток, выходящий из кристаллизатора, при помощи тянущего трайбаппарата (узел вытягивания/правки) протягивается через роликовые секции ручья, отводясь в горизонтальное направление. Одновременно в данной зоне путем охлаждения слиток лишается настолько большого количества тепла, что - в зависимости от сечения слитка и от скорости вытягивания - полное затвердевание слитка происходит не позднее, чем за тянущим трайбаппаратом № 3.

Роликовые секции состоят из:
нижних роликов кристаллизатора
зоны изгиба
разливочной дуги

Интенсивность охлаждения слитка автоматически регулируется в соответствии с поведением разливаемых марок стали при затвердевании. Количество охлаждающей воды, подаваемой в отдельных зонах, предварительно устанавливается вручную.

Водяной пар, образующийся в холодильной камере в результате охлаждения слитка, отсасывается двумя вентиляторами.

Правка слитка и перевод его в горизонтальное положение осуществляются правильной зоной.

За тянущим трайбаппаратом № 3 следует устройство для отделения затравки, отделяющее затравку от горячего слитка (в зависимости от сечения разливаемого слитка). По окончании процесса отделения затравка вытягивается со скоростью рольганга и вынимается из технологической линии при помощи подъемного приспособления. Отделение затравки от слитка может быть выполнено также машиной для газовой резки.

Затравки исполнены в виде так называемых универсальных затравок, оснащаемых соответствующими головками и переходными звеньями.

Вытягиваемый со скоростью разлива слиток через рольганг для газовой резки передается к машине для газовой резки с приспособлением для измерения длины и разделяется на мерные части.

После резки блюмы через отводящие рольганги транспортируются в рабочую зону поперечного транспортера. Снятие блюмов и их транспортировка на рольганг для горячей посадки осуществляются поперечным транспортером. На участке поперечного транспортера блюм маркируется, взвешивается и передается в прокатный цех.

Студентка гр.104323 Завадина И.В.
 Научный руководитель – Ровин С.Л.
 Белорусский национальный технический университет
 г.Минск

Проблема переработки и вторичного использования (рециклинга) низкосортных металлоотходов (стружки, окалины, скрапа, пыли металлургических производств, шлама и т.д.) имеет два одинаково важных аспекта: с одной стороны – низкосортные металлоотходы – это постоянно накапливающиеся опасные отходы, захоронение которых создает реальную угрозу окружающей среде (по оценкам экспертов в Республике уже скопилось более 3млн.тонн отходов подобного рода и ежегодно образуется около 250 тысяч тонн); с другой стороны, основным компонентом в них являются металлы - ценное и дорогостоящее сырье, которое наша Республика целиком ввозит из зарубежа (в Беларусь ежегодно ввозится около 2млн.тонн различных металлов).

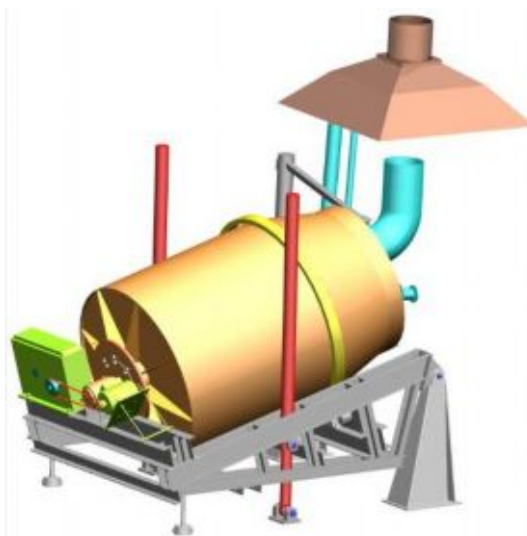


Рис.1 - Ротационная качающаяся плавильная печь

Таким образом, решение этой проблемы является важнейшей народнохозяйственной задачей для нашей страны. Ситуация со сбором и переработкой низкосортных металлоотходов в Беларуси усугубляется еще и тем, что в Республике нет собственного металлургического производства полного цикла (позволяющего получать металл непосредственно из руды), способного переработать большое количество любых металлоотходов, в том числе и сильноокисленных, с другой стороны – в стране большое количество крупных, средних и мелких машиностроительных предприятий, на каждом из которых образуются отходы металлов (стружка, окалина, металлическая пыль и т.д.), что осложняет централизованный сбор и сортировку отходов.

Учитывая важность и актуальность задачи переработки низкосортных металлоотходов и особенности этой проблемы в условиях Беларуси, было разработано оригинальное техническое решение, позволяющее эффективно перерабатывать металлоотходы непосредственно в местах их образования. В основе решения – применение для переработки отходов ротационных качающихся плавильных печей - «РКП» (рис.1). Компактные, относительно недорогие (50-100 тыс.евро) ротационные печи могут быть установлены практически на любом машиностроительном предприятии. Учитывая, что основным способом нагрева материала в этих печах является конвективный теплообмен в подвижном слое, идеальной шихтой для них являются мелкодисперсные материалы, т.е. стружка и окалина может и должна подаваться в РКП в исходном, небрикетированном виде. В соответствии с разработанной технологией в печи реализуется две стадии единого процесса:

I – восстановление металла из оксидов (а также сульфидов и других соединений) в безокислительной атмосфере в присутствии восстановителя (отсев кокса, электродный бой и т.д.);

II – расплавление восстановленного металла и доводка расплава до требуемого химсостава.

В зависимости от стадии процесса в печи с помощью регулировки соотношения «газ (или жидкое топливо) – воздух» создается восстановительная или окислительная атмосфера. Регулировка температуры осуществляется изменением подачи топлива и путем обогащения дутья кислородом (в случае переработки железоуглеродистых сплавов).

Преимущества ротационной печи по сравнению с традиционными тигельными, отражательными, котловыми и барабанными печами, используемыми для переработки отходов:

- снижение удельных энергозатрат на 20-25%;
- сокращение расхода флюсов на 10-15%;
- повышение производительности на 30-35% при одинаковой тепловой мощности;
- возможность переработать практически любую шихту без предварительной подготовки;
- возможность активного ведения всех металлургических процессов (восстановления, расплавления, перегрева, модифицирования, перемешивания и т.д.).

УДК 621.74

Современные методы и системы контроля и управления процессами приготовления формовочных смесей в литейном производстве

Студентка гр.104323 Комлик Т.А.

Научный руководитель – Ровин С.Л.

Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Одной из важнейших задач современного литейного производства является повышение качества получаемых отливок, улучшение их внешнего вида, максимальное приближение их размеров и геометрии к параметрам самой детали. Это, в свою очередь, повышает требования к свойствам формовочных смесей и стабильности их качества.

Стабильное получение формовочной смеси требуемого качества в условиях массового и крупносерийного производства, каковым в большинстве случаев является производство отливок, возможно только при наличии системы автоматического (непрерывного) контроля качества смеси в процессе ее приготовления. В то же время сегодня в большинстве литейных цехов Беларуси приготовление формовочной смеси осуществляется на устаревшем оборудовании, морально и физически изношенном (как правило, применяются катковые смесители, отслужившие по 20-25 лет и более). Дозирование компонентов осуществляется вручную или с помощью объемных дозаторов, что не может обеспечить выполнение современных требований к точности дозирования. Контроль качества смеси осуществляется лабораторными методами, что не позволяет предотвратить попадание некачественной смеси в литейную форму и соответственно исключить появление брака отливок, связанного с дефектами литейной формы и низким качеством смеси.

Для решения проблемы контроля и управления качеством формовочной смеси непосредственно в процессе смешивания была разработана система автоматического управления процессом приготовления единой песчано-глинистой смеси, основанная на непрерывном измерении влажности и температуры оборотной смеси, поступающей в смеситель. Опираясь на эти параметры оборотной формовочной смеси, которая, как правило, составляет от 93 % до 97 % единой песчано-глинистой смеси, система рассчитывает требуемую для получения готовой смеси с заданными свойствами дозу воды или глинистой суспензии. В предлагаемой системе предусмотрено автоматическое весовое дозирование всех исходных компонентов, поступающих в смеситель, контроль времени перемешивания, косвенный контроль прочностных характеристик формовочной смеси (по токовой нагрузке на привод смесителя), контроль за работой всех исполнительных механизмов как самого смесителя, так и периферийного дозирующего оборудования и питателей. Кроме того, система оснащена гибкой обратной связью, которая реализована с помощью прибора контроля влажности готовой формовочной смеси. Выбор влажности и температуры в качестве основных контролируемых параметров был обусловлен тем, что оба этих параметра оказывают существенное влияние практически на все технологические свойства формовочной смеси и, кроме того, оба этих параметра непрерывно изменяются в условиях реального производства в зависимости от металлоемкости формы, темпа работы формовочной линии, температуры и влажности в цехе, плановых и случайных остановок в техпроцессе и т.д. В качестве метода контроля влагосодержания смеси был использован метод СВЧ - влагометрии, основанный на измерении уровня поглощения формовочной смесью сверхвысокочастотного электромагнитного импульса.

В отличие от других электрофизических методов измерения влажности, традиционно используемых в аналогичных системах контроля, СВЧ-метод позволяет практически полностью исключить влияние на точность измерения влагосодержания таких факторов, как случайные органические примеси, содержащиеся в формовочной смеси, минералогический состав используемого песка и глины, кислотность смеси (РН – фактор) и т.д.

Машины и технология обработки металлов давлением

Разработка технологии электроимпульсного упрочнения спеченных вольфрамовых контактов звуковых сигналов

Студентка гр. 104423 Рабцевич Т.Н.
Научный руководитель – Белявин К.Е.
Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Целью настоящей работы является разработка технологии электроимпульсного упрочнения спеченных вольфрамовых контактов.

В современной автотракторной технике широко используется электрооборудование, снабженное электроконтактными прерывателями для периодической коммутации среднеточных электрических цепей.

Наиболее распространенной является конструкция электроконтактных прерывателей, в которую входят контактные узлы, представляющие собой подвижную и неподвижную стальные пластины-контактодержатели, к которым присоединены контактные элементы. Для того, чтобы электрический ток проходил только через контактные элементы, между контактодержателями устанавливается диэлектрическая пластина.

По традиционной технологии вольфрамовые прутки нарезаются на диски, композиционный элемент получают путем напайки вольфрамовых дисков на подложку грибовидной формы. Полученные контактные элементы завальцовываются в отверстия стальных пластин-контактодержателей.

Такая технология изготовления контактных узлов характеризуется высокой сложностью, трудоемкостью, себестоимостью и не обеспечивает надежности соединения деталей. После нарезки пруткового вольфрама на диски необходима дополнительная механическая обработка их рабочих поверхностей, а использование припоя для соединения вольфрамового диска и подложки ограничивает прочность контактного узла и увеличивает его электросопротивление, что приводит к уменьшению срока службы электроконтактного прерывателя в целом.

Альтернативой контактными элементами, изготовленным с использованием тянутых вольфрамовых прутков, могут являться порошковые вольфрамовые контактные элементы, полученные прессованием и спеканием порошка вольфрама.

Применение контактной сварки для получения контактных узлов позволяют упростить и технологию крепления контактного элемента к пластине-контактодержателю.

Для сварки порошковых вольфрамовых контактных элементов и стальных контактодержателей использовали машину точечной контактной сварки МТ-2201 с конструктивной доработкой сварочной цепи.

Материал порошкового вольфрамового контактного элемента упрочняется. Это можно объяснить тем, что в процессе пропускания сварочного тока происходит уменьшение количества пор и образование мелкозернистой структуры материала порошкового вольфрамового элемента.

Следует отметить, что результаты прочностных испытаний на срез отдельно обработанных сварочным током контактных элементов и контактных элементов, приваренных на тех же режимах к стальным контактодержателям, значительно отличаются. Среднее значение прочности на срез контактных элементов, полученных по старой технологии - 138 МПа, а среднее значение прочности таких же контактных элементов, полученных по предложенной технологии – 205 МПа. Проведенные эксплуатационные испытания показали, что электроконтактные прерыватели с контактными узлами, изготовленными с использованием контактной сварки, имеют ресурс работы не менее 50 000 циклов коммутации, обеспечивающий срок службы звукового сигнала при непрерывной работе до 69 часов, что соответствует требованиям ТУ РБ 100085/49.130-2001.

Технология водоабразивной резки и обработки материалов

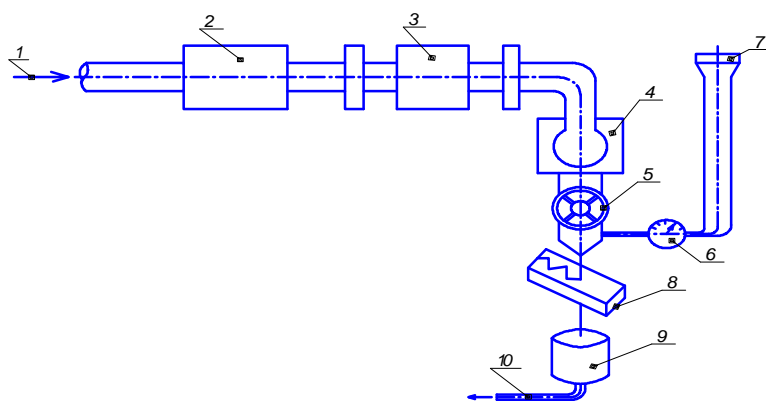
Студенты гр.104424 Жолудь А.С., Рудькова А.А., Заяш О.О.
Научный руководитель – Давидович Л.М.
Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Развитие инновационных технологий в металлообрабатывающей и машиностроительной промышленности требует создания прогрессивных высокоточных и производительных методов и устройств, для резки и обработки материалов. Один из таких методов основан на использовании энергии сверхскоростной водяной струи. Этот метод позволяет получать изделия с заданными формой и размерами, достаточно высоким качеством поверхности и исключает применение дорогостоящей технологической оснастки.

Высокоэффективные методы водоструйной обработки материалов позволили создать гибкие роботизированные технологические системы, а также универсальные автоматизированные водоструйные устройства, применяемые практически во всех областях машиностроения.

В последние годы зарубежные фирмы стали отдавать предпочтение водоструйной резке с добавлением в струю методом инъекции абразивного материала как более перспективному и высокопроизводительному способу резки особо твердых и высокопрочных материалов, в том числе и металлов, а также хрупких материалов. Добавление абразива позволяет увеличить кинетическую энергию струи воды и значительно расширить возможности обычной водоструйной резки. В установках для абразивной водоструйной резки используется сапфировое сопло, которое собирает подаваемую воду в высокоскоростную струю диаметром 0,117-0,167 мм. Минимальный диаметр струи, который удалось получить в настоящее время равен 37 мкм. В качестве абразива обычно используется мелкодисперсный кварц или гранит. Лучшие режущие свойства струя с абразивом имеет при выходе из насадки на расстоянии 75-100 мм, дальнейшее увеличение расстояния вызывает отклонение и распыление струи.

Процесс резания происходит под давлением воды $1,4 \times 10^8 - 2,12 \times 10^8$ Па, скорость резания зависит от толщины и марки материала. Водная струя позволяет резать низкоуглеродистую сталь толщиной 25 мм со скоростью 0,0375 м/мин. Точность абразивной гидрорезки деталей из разнообразных материалов достигает $\pm 0,126$ мм, тогда как традиционные методы резки позволяют достичь точности $\pm 0,83$ мм. На рисунке представлена схема водоабразивной резки материала.



1-входной поток воды; 2-фильтр; 3-мультипликатор; 4-шарнирное соединение магистрали, создающей поток воды большого давления, с магистралью разводки потока воды на ПР; 5-перепускной клапан; 6-расходомер абразива; 7-накопитель абразива; 8-обрабатываемая заготовка; 9-коллектор сбора абразива; 10-слив воды
Рисунок – Схема установки водоабразивной резки материала

УДК 631.7/9.016

Повышение износостойкости сегментов режущих аппаратов зерно- и кормоуборочной техники с использованием холодного пластического деформирования

Студенты гр. 104414 Бограенок А.Г., Макаренко А.В., Халецкий А.И.
Научный руководитель – Иваницкий Д.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью проведенных исследований являлась разработка технологии формообразования режущих зубьев на поверхности сегментов пластическим деформированием взамен фрезерования, с целью повышения их износостойкости и режущей способности.

Насечка на гранях сегментов предотвращает выкальзывание стеблей из раствора режущей пары как при их подводе сегментом к противорежущей пластине, так и при защемлении. В условиях промышленного производства на РУП Светлогорский завод сельскохозяйственного машиностроения «Светлогорскорммаш» впадины периодического характера на режущих гранях сегмента получают фрезерованием.

На основании результатов проведенных теоретических и экспериментальных исследований была усовершенствована конструкция сегмента. Угол наклона насечки к боковой грани с 73° у фрезерованных ножей уменьшен до 61° . Шаг между зубьями увеличен с 1,5 мм до 2,0 мм.

При теоретическом анализе формообразования рельефа в листовом материале рассматривали как процесс заполнения впадины деформирующего инструмента деформируемым металлом. Приближенная схема решения основана на усреднении напряжений в сечениях деформируемого листа и принятии

упрощенного уравнения пластичности, что соответствует реальному процессу для случаев незначительных значений коэффициента контактного трения на границе металла со стенками впадины и относительно небольших углах наклона граней впадины [2].

Выражение для определения усилия формообразования рельефа имеет вид [2]

$$P = \frac{L\beta\sigma_T}{\sin\varphi} \frac{h_1}{\delta} \left[\left(\frac{h_0}{h_1} \right)^\delta - 1 \right],$$

где φ - угол наклона профилированной части деформирующего инструмента к горизонтальной плоскости; β - параметр Лоде; σ_T - предел текучести стали; h_0 - толщина заготовки сегмента; h_1 - толщина перемычки между зубьями, образованными на сегменте; L - длина рельефной кромки заготовки; параметр $\delta = f/tg(\varphi/2)$, где f - коэффициент контактного трения.

В расчетах необходимо учитывать упрочнение металла, которое характеризуется напряжением текучести σ_s для любого момента деформации до начала образования шейки. Напряжение текучести определим по формуле С.И. Губкина [3].

При определении полного усилия деформирования также необходимо учитывать ту его часть, которая приходится на осадку перемычки [2]

$$P_{obl.} = \sigma_{s1} \frac{h_1}{f} \left(e^{\frac{fL}{2h_1}} - 1 \right) a.$$

Усилие прижима заготовки определим из выражения [5] $P_{пр.} = 0,1 \cdot P_{полн.}$

Усилие формообразования зубьев на сегменте будет равно $P_{полн.} = P + P_{obl.} + P_{пр.}$

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать новую промышленную технологию. Технология изготовления сегментов на предприятии СЗСМ «Светлогорсккормаш» включает в себя: отрезку полосы из листа; вырубку – пробивку заготовок; правку заготовок при необходимости; фрезерование уклона на грани; фрезерование насечки; термообработка (закалка, отпуск); технический контроль.

По новой технологии исключаются операции фрезерования уклона и насечки, и вводятся операции штамповки и шлифования (заточки). Это позволяет, во-первых, полностью ликвидировать механическую обработку (фрезерование режущих зубьев ножей) и затраты на возмещение износа фрез.

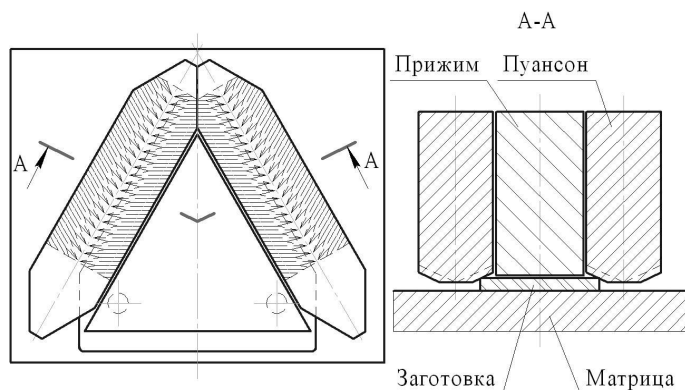


Рис.1. Схема штамповки насечки на сегменте

Во-вторых, наличие перемычки между зубьями исключает при термообработке интенсивное окисление и обезуглероживание режущих кромок зубьев, что увеличивает их износостойкость и долговечность.

Сегменты, полученные по новой технологии и с фрезерованной насечкой, были подвергнуты сравнительным полевым испытаниям. Натурные испытания проводили на испытательной станции РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике». Испытания проводились по следующей методике [1]:

1. Проверка всех сегментов на твердость.

2. Изучение характера и величины износа зуба насечки путем сравнения профиля зуба до и после испытаний. Износостойкость оценивается по следующим показателям: относительный износ зуба по высоте; относительное заострение вершин зубьев насечки; относительный износ впадин между зубьями насечки; относительное притупление лезвий зубьев насечки:

3. Контроль качества среза. На площадке $0,5 \times 0,5 = 0,25 \text{ м}^2$ подсчитывается количество стеблей прямо, косо срезанных и с рваным срезом. Качество среза оценивается чистотой среза, то есть отношением количества прямо, косо срезанных стеблей к общему количеству стеблей.

Результаты полевых сравнительных испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнительных испытаний сегментов

Наименование параметров	Значения параметров (среднее)		
	По КД	Серийные	Опытные
1. Твердость, HRC	40...62	50...57	50...57
2. Относительный износ зуба по высоте, U	-	0,004	0,002
3. Относительное заострение вершин зубьев насечки, a	-	0,03	0,01
4. Относительный износ впадин между зубьями насечки, b	-	0,03	0,02
5. Относительное притупление лезвий зубьев насечки, c	-	0,02	0,01
6. Качество среза	-	0,922	0,973

Формообразование режущих зубьев сегментных ножей пластическим деформированием повышает их стойкость в 1,5-2 аза за счет увеличения ширины режущей кромки и глубины режущих выступов, а наличие перемычки между зубьями исключает при термообработке интенсивное окисление и обезуглероживание режущих кромок зубьев.

Литература

1. Резник, И.Е. Повышение износостойкости и долговечности режущих элементов сельскохозяйственных машин. Материалы второй научно-технической конференции /Под ред. д-ра техн. наук, проф. И.Е. Резника. М., 1971.

2. Исаевич, Л.А. Способ получения зубьев сегментов режущих аппаратов зерно- и кормоуборочной техники пластическим деформированием /Л.А. Исаевич, Д.М. Иваницкий, В.А. Король //Литье и металлургия. 2005. № 4. С. 122 -128.

3. Сторожев, М.В. Теория обработки металлов давлением /М.В. Сторожев, Е.А. Попов. М.: Высшая школа, 1963. 390 с.

УДК 693.22004.18

Горячая штамповка точных поковок на КГШП в штампах с разъемными матрицами

Студенты гр. 104414 Липинский С.А., Галкин А.С., гр.104424 Лабкович В.Н.
 Научный руководитель – Карпицкий В.С.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Одним из важнейших направлений совершенствования кузнечно-штамповочного производства является разработка технологических процессов штамповки на универсальном оборудовании, обеспечивающих изготовление точных поковок с высокой производительностью.

В последние 10-15 лет проведены исследования и разработка технологических процессов и специальной оснастки для безоблойной штамповки поковок в штампах с разъемными матрицами. За этот период был накоплен определенный опыт в области проектирования, эксплуатации штампов, разработки и внедрения технологических процессов штамповки на ряде предприятий страны. Внедрение процессов безоблойной штамповки поковок в штампах с разъемными матрицами позволяет значительно уменьшить припуски и напуски, максимально приблизить форму и размеры поковок к форме и размерам готовых деталей, избежать отходов металла на облой и сократить расход металлопроката на поковках круглых в плане (типа шестерен) от 5 до 15%, на поковках с отростками (типа крестовин) - от 10 до 35% и на поковках сложной конфигурации (типа вилок) - от 15 до 45%, При этом используется кузнечно-штамповочное оборудование меньшей мощности, и тем самым снижается себестоимость на 10-15%.

Применение втулочных отрезных штампов и калиброванного проката дает возможность получать точные заготовки, которые обеспечивают стабильность размеров поковок, позволяют вести штамповку без перегрузки штампов и прессов.

Штамповка поковок типа угольников соединительной арматуры осуществляется в специальном ковочном пакете с вертикальным разъемом матриц на кривошипном прессе.

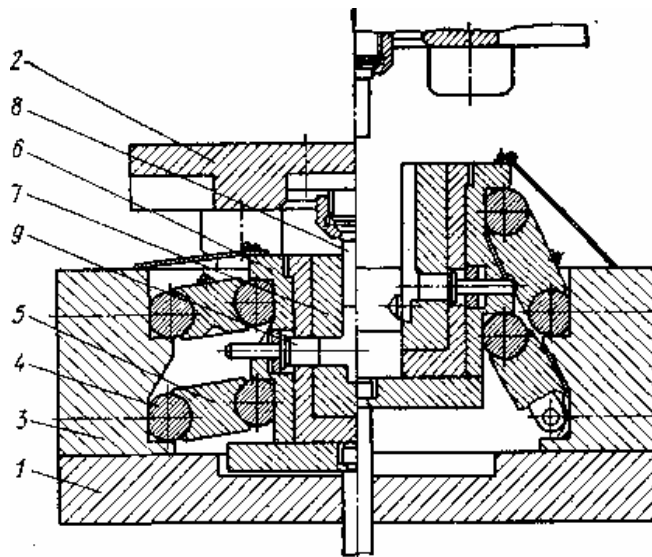


Рисунок 1 – Ковочный пакет с вертикальным разъемом матриц

Пакет (рисунок 1) состоит из нижней 1 и верхней 2 плит и замкнутой обоймы 3, смонтированной на нижней плите. На боковых сторонах обоймы крепятся по две цилиндрические опоры 4, на которые опираются рычаги 5. Вторые концы рычагов через такие же цилиндрические опоры соединены с подвижными матрицдержателями 6, в которые крепятся ковочные вставки 7. Пуансон 8 гайкой крепится к верхней плите пакета. Раскрытие и закрытие полуматриц осуществляется от пневмоцилиндра, размещенного под столом пресса. Пакет снабжен выталкивателем 9. Штамповка поковок осуществляется следующим образом.

В закрытом положении полуматрицы образуют штамповочный ручей, в который сверху устанавливается нагретая заготовка. Под действием пуансона заготовка деформируется, заполняя ручей штампа. При возвращении ползуна в верхнее положение включается пневмоцилиндр, который поднимает полуматрицы вверх и посредством рычажной системы разводит их в стороны. При раскрытии полуматриц звено действует на выталкиватель, и поковка удаляется из ручья штампа.

Недостаток некоторых схем безоблойной штамповки заключается в том, что в процессе заполнения металлом фигуры штампа происходит и частичное заполнение компенсационной полости, что вызывает повышенный расход металла. На других схемах очень сложна конструкция штампов, что влечет за собой усложнение изготовления штамповой оснастки, практически во всех конструкциях штампов имеются механизмы сжатия полуматриц, предусматривается использование буферных устройств пружинного, пневмо-гидравлического или гидравлического типа.

Всё это создает дополнительные трудности при изготовлении специальных штамповых пакетов, их внедрении и эксплуатации.

УДК 621.762

Особенности формообразования пластическим деформированием фланца в толстостенной трубной заготовке

Студенты гр. 104414 Слепченко С.Л., Казерский А.А., Леонович С.М.
 Научный руководитель – Исаевич Л.А.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Формообразование методами пластического деформирования относительно широких фланцев в трубных заготовках в большинстве случаев осуществляется посредством их отбортовки, являющейся завершающей стадией процесса раздачи концов этих заготовок жестким инструментом. В результате такой операции конец трубной заготовки подвергается раздачи под прямым или близким к нему углом. При этом деформирующий пуансон должен содержать плавный переход от цилиндрической части к плоскости в виде торообразной поверхности, которая неизбежно копируется в раздаваемом участке заготовки (рисунок 1а).

Однако в ряде случаев это не допускается чертежом той детали, например, при изготовлении корпуса водила бортовой передачи заднего моста автомобилей МАЗ.

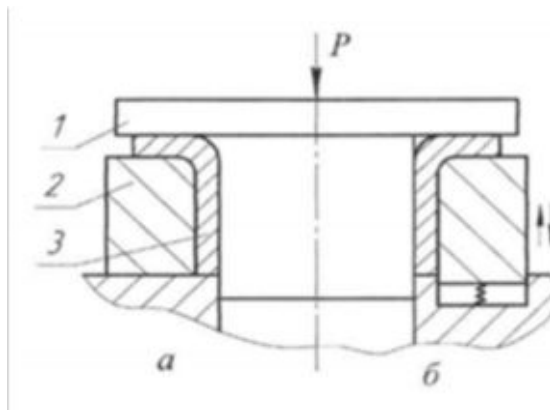


Рисунок 1 – Схема раздачи (а) и осадки (б) трубной заготовки: 1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – заготовка

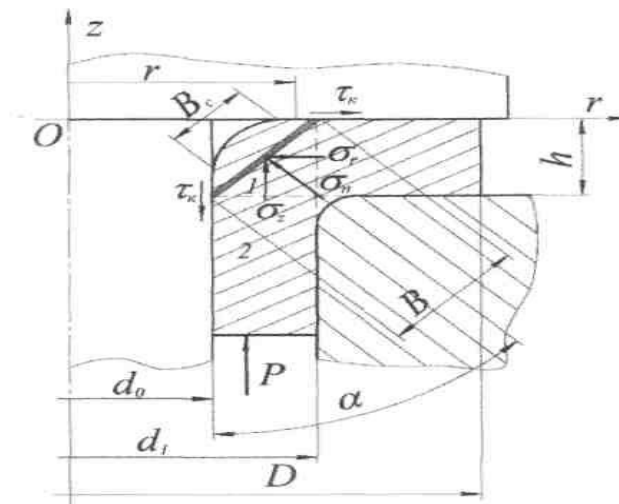


Рисунок 2 – Схема очага деформации при формоизменении торообразного участка

Учитывая данное ограничение, предложено после отбортовки по описанной выше схеме производить пластическое формоизменение торообразного участка заготовки за счет осадки ее цилиндрической части (рисунок 1б).

Искомой величиной в нашем случае является B_c – ширина площадки свободной поверхности.

$$B_c = B \left/ \left[1 + \frac{f(1 + 2,2 \ln \frac{D}{d_1} + \frac{d_1 - d_0}{2h})}{\sqrt{2(f+1)}} \right]^{1/f} \right.$$

По полученной формуле произведен расчет параметра B_c для разных коэффициентов контактного трения при формообразовании фланца внешним диаметром $D=375$ мм из трубы, имеющей наружный диаметр $d_1=294$ мм и внутренний $d_0=270$ мм. Результаты расчета отражены на графике (рисунок 3).

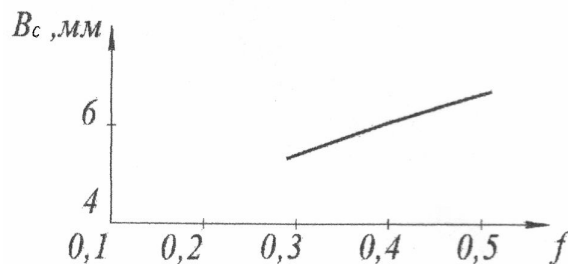


Рисунок 3 – Зависимость величины B_c коэффициента контактного трения

Для того чтобы направить течение металла в заполнение полости, образованной заготовкой, цилиндрической частью пуансона и его торцом и для достижения требуемой величины σ_z необходимо увеличить осевое напряжение более чем в 2 раза.

$$\sigma_z = \frac{1}{2} \sigma_T \left[3\sqrt{2} \left(\sqrt{\frac{h}{2}} - 1 \right) + 1 \right]$$

УДК 621.774

Способы гибки трубных заготовок по малому радиусу

Студенты гр. 104424 Исаченко И.В., Андрухович Д.Г.
 Научный руководитель – Кудин М.В.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

В настоящее время в Республики Беларусь гнущие детали из стальных тонкостенных сварных и бесшовных труб широко применяются в химической, машиностроительных отраслях, при строительстве нефте- и газопроводов, в коммунальных сетях и другие.

Производство машин, оснащенных трубопроводами для гидро- и пневмосистем, рост строительства магистральных и других трубопроводов выдвигают требование к максимальной механизации процесса изготовления большого числа криволинейных участков труб, изогнутых под разными углами.

Принципиальные схемы механизмов для холодной гибки трубных заготовок, показаны на рисунке 1. Выбор способа гибки трубных заготовок, определяется главным образом от диаметра трубы, толщины стенки, материала и требуемого радиуса изгиба. Трубогибочный механизм должен создавать усилия для изгиба и поддерживать трубу в рабочем положении.

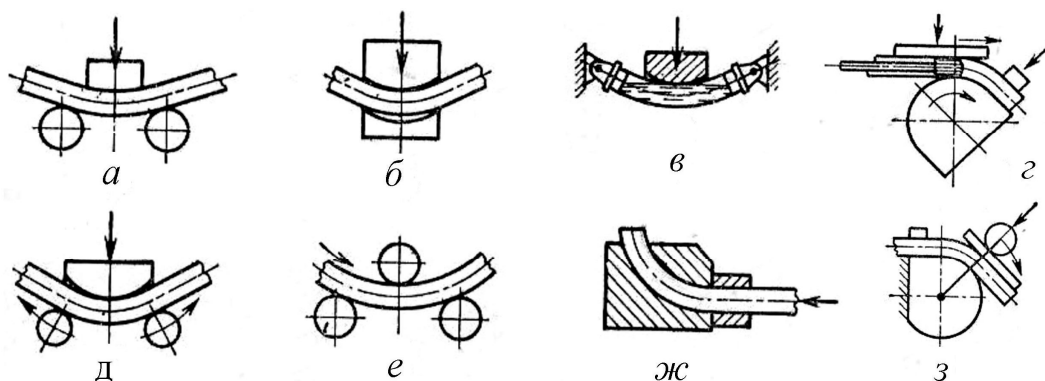


Рисунок 1 - Способы холодной гибки труб

а – изгиб на двух отдельных опорах; б - изгиб в штампе; в – изгиб с внутренним гидростатическим давлением; г – изгиб наматыванием; д – изгиб обкаткой роликами; е – изгиб вальцовкой тремя роликами; ж – изгиб через фильеру, имеющую криволинейную ось; з – изгиб обкаткой роликом и ползуном

Конструкцию механизма гибки трубных заготовок выбирают с учетом изменений, происходящих в металле трубы. В процессе гибки металл трубной заготовки в месте изгиба претерпевает упругие и упруго-пластические деформации, которые изменяют его физико-механические свойства. Усилия, необходимые для гибки определяют исходя из общей теории пластического изгиба; при этом необходимо учитывать особенности пустотелой формы трубной заготовки.

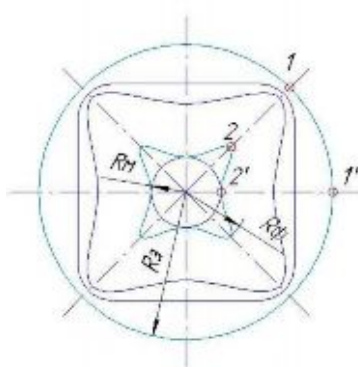
Изгиб трубной заготовки сопровождается следующими специфическими явлениями: удлинением волокон в продольном и укорочением в поперечном направлении на внешней части изгиба; укорочением волокон в продольном и удлинением в поперечном направлении на внутренней части изгиба (изменением общей длины трубы и изменением формы поперечного сечения из круглого в овальное); смещением нейтральной оси; переходом круглого поперечного сечения изгиба в овальное (сплющиванием поперечного сечения, которое происходит неравномерно по длине); нарушением плавности профиля в сжатой зоне и возможным образованием складок (гофр) и изломов на внутренней части изгиба; изменением толщины стенки в месте изгиба; неравномерным наклепом, вызванным различными видами деформации.

Учитывая необходимость экономии энергетических и материальных ресурсов, появилась необходимость разработки новых технологий гибки трубных заготовок по радиусу с сохранением кругового сечения канала.

Студенты гр. 104424 Курпик С.В., Малюкевич Д.Н.
 Научный руководитель – Логачёв М.В.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

При глубокой вытяжке полых деталей плоскостная анизотропия проявляется в образовании фестонов (неровных краёв), что вызывает необходимость обрезки краёв деталей и потери металла.

Образование фестонов и впадин можно объяснить различными скоростями течения металла при вытяжке в направлениях образования фестонов и впадин. Край заготовки в направлениях образования впадин перемещается с большей скоростью, чем в направлениях образования фестонов, что связано с анизотропией свойств материала в этих направлениях. В связи с этим, когда край заготовки в направлениях образования впадин приближается к отверстию матрицы, край заготовки в направлениях образования фестонов еще находится от отверстия на некотором расстоянии $\Delta h = R_\phi - R_m$, которое и определяет высоту фестона (рисунок 1), так как в последующие моменты вытяжки происходит отгибка фестонов на кромке отверстия матрицы.



1 и 2 – начальное и конечное положения края заготовки в направлении образования фестона;
 1' и 2' – то же, в направлении образования впадины
 Рисунок 1– Схема образования фестонов

Принимая синусоидальный закон профиля фестонов и полагая $\Delta h \ll R_m$, определим высоту фестона

$$\Delta h = (R_3^2 - R_x^2) / 2R_m \quad (1)$$

и степень фестонообразования

$$\varepsilon_\phi = \Delta h / h_\phi \quad (2)$$

где h_ϕ – высота вытянутого стакана по впадине.

Эта высота может быть вычислена из объёмных соотношений в предположении, что материал является трансверсально-изотропным с коэффициентом анизотропии

$$r = r_{min}: \quad h_\phi = [R_3^2 - R_2^2 - \pi(R_1 + s_0/2)R_2] / [2R_m - s_0 + 2\Delta s(R_m - s_0 - \Delta s/3) / s_0 + R_1 + s_0] \quad (3)$$

где R_1 – радиус перехода от дна к стенке стакана; R_2 – расстояние от оси стакана до центра дуги окружности, проведенной этим радиусом; Δs – утолщение края стакана по впадине.

В целях выявления возможности оценки фестонообразования с помощью соотношений (1) и (2) были проведены эксперименты. Заготовки из 0.8кп и АМцАМ вытягивали на испытательной машине, используя один и тот же комплект инструмента в штампе, что исключало влияние параметров инструмента на условия фестонообразования. Для вытяжки использовали матрицы с диаметром отверстия 65 мм, радиусом вытяжной кромки $R_{к.м} = 5$ мм и пуансон с радиусом скругления 4 мм. Различная степень вытяжки обеспечивалась изменением диаметра заготовки. Зазор между матрицей и пуансоном был принят равным $1.7 s_0$ и исключал протяжку стенок стаканов. Высоту фестонов и вытянутых колпаков измеряли с помощью микроскопа. Значения этих параметров брали средними по восьми замерам четырёх фестонов и четырёх впадин двух стаканов при каждом коэффициенте вытяжки (рисунок 2). Результаты расчёта могут быть

использованы для назначения припусков на обрезку фестонов при вытяжке цилиндрических изделий из материала с плоскостной анизотропией.

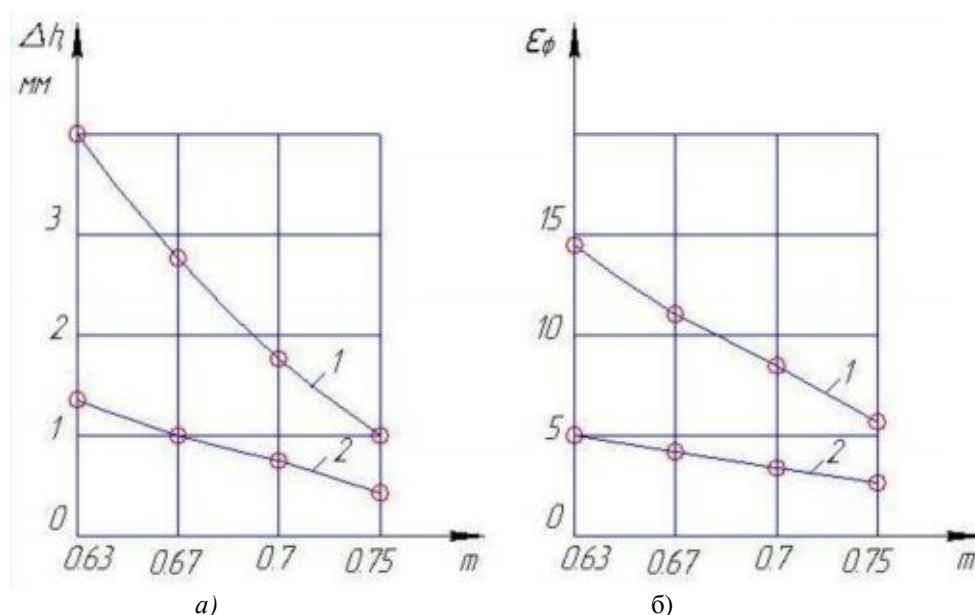


Рисунок 2 – Изменение высоты фестонов (а) и степени фестонообразования (б) в зависимости от коэффициента вытяжки заготовок из различных материалов: 1 – сплава АМцАМ; 2 – стали 0.8кп

УДК 693.22.004.18

Камерная печь безокислительного нагрева металла

Студенты группы 104424 Новик А.В., Сامةц А.М., Камейша Д.В.
 Научный руководитель – Логачев М.В.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

В последние годы разработаны конструкции камерных печей, где нагрев осуществляется в кипящем слое инертного теплоносителя. Такая печь предназначена для нагрева под ковку и штамповку концов заготовок практически любых сечений. Она представляет собой футерованную огнеупорным материалом камеру с двумя сводами. Горелочным устройством является под печи (металлическая газораспределительная решетка, на которой лежит слой огнеупорной крошки размером 0,4-1,0 мм (магнезит или другой материал)). Решетка состоит из двух-трех секций, разделенных герметичными перегородками. Каждая секция решетки образует тепловую зону печи. В основную зону II (технологическую), где металл нагревается до 1273-573 К, через решетку подается газоздушная смесь с недостатком воздуха, что создает условия для малоокислительного нагрева металла. Недостаток теплоты в технологической зоне восполняется из зоны I, где газ полностью сжигается ($\alpha \geq 1$). При этом теплота переносится теплоносителем, хаотически циркулирующим из зоны в зону вследствие псевдооживления, создаваемого потоком газоздушной смеси. Таким образом в печи интенсивно перемешивается промежуточный теплоноситель, а газовая среда практически не перемешивается, поэтому в зоне нагрева сохраняется автономная газовая атмосфера, содержащая CO и H₂, которая дожигается под сводом за счет избытка воздуха, поступающего из соседних зон.

Окно загрузки-выгрузки металла оборудовано специальным затвором, препятствующим выносу теплоносителя при перемещении заготовки. В затвор подается сжатый воздух, который сдувает теплоноситель, а затем поступает в подсводовое пространство для дожигания продуктов неполного горения (CO и H₂).

Печь оборудована системой теплового контроля и регулирования (температура регулируется изменением расхода газа в зоне нагрева теплоносителя) и обеспечивает безокислительный нагрев заготовок со скоростью, в 2-2,5 раза превышающей скорость нагрева в пламенных печах, за счет более интенсивного теплообмена. В отличие от пламенных печей из печи с кипящим слоем исключено излучение на нагревательщика.

В отличие от существующих методов безокислительного нагрева металла открытым пламенем в печах с кипящим слоем можно получить полностью безокислительный и необезуглероживающий нагрев без применения подогрева воздуха с одновременным увеличением скорости нагрева заготовки.

Против окна загрузки в период розжига устанавливается горелка, которая разогревает печное пространство и поверхностные частицы, образующие кипящий слой, до температуры воспламенения газозвдушной смеси.

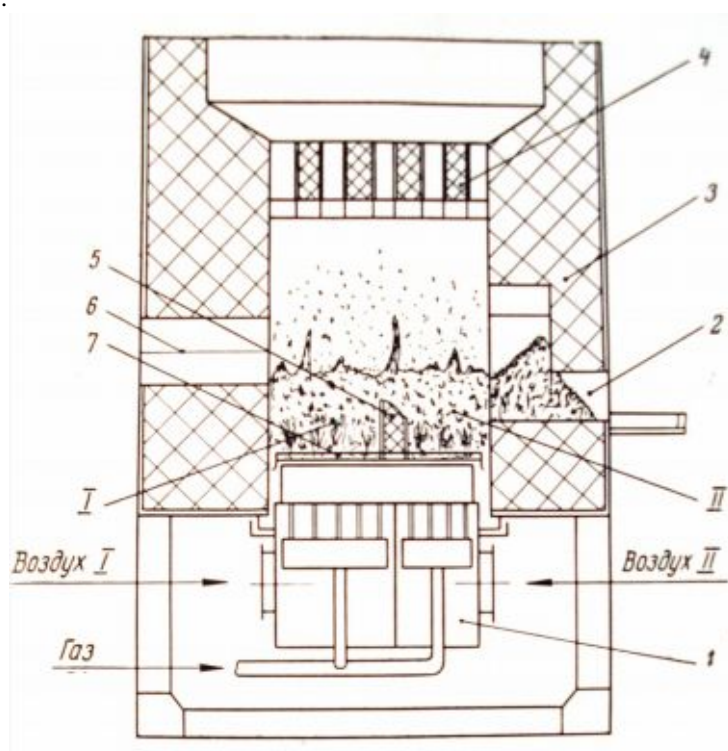


Рисунок – Схема щелевой камерной печи для безокислительного нагрева заготовок:
 1-газосмесительное устройство; 2-загрузочное окно; 3-футеровка; 4-экранирующий свод;
 5- разделительная плита; 6-горелочный туннель горелки розжига; 7-решетка.
 I-зона нагрева теплоносителя; II-зона нагрева металла

УДК 658.567.1

Технические возможности переработки отходов металлокорда

Студенты гр. 104414 Бугаев А.В., Карачун И.А., Сивогринов Е.В.
 Научный руководитель – Ложечников Е.Б.
 Белорусский национальный технический университет
 г.Минск

Используемый для производства покрышек металлокорд представляет собой полученную волочением проволоку из углеродистой стали (содержание углерода 0,7-0,9 %) толщиной 0,2-0,4 мм, покрытую тонким слоем латуни или бронзы (для улучшения сцепления с резиной).

Вследствие деформационного упрочнения металлокордная проволока приобретает высокие твердость и прочность (напряжение разрыва более 1000 МПа), что практически исключает брикетирование ее отходов по обычной технологии, а измельчение резанием возможно твердосплавными инструментами – длинномерными ножами, выдавливаемыми или прокатанными из порошка состава ВК15.

Отходы металлокорда весьма нетехнологичны, представляют собой свернутые в неорганизованно переплетенные бухты, что затрудняет их переработку.

Анализ известных работ по утилизации дисперсных и волокнистых отходов позволяет определить четыре возможных способа переработки отходов металлокорда, ежемесячное образование которого на ОАО «Белшина» составляет 5-6 т.

Резание на куски, пригодные для использования в качестве изотропной арматуры железобетонных конструкций. Осуществление его возможно при соответствующей подготовке бухт проволоки и наличии твердосплавной оснастки.

Дробление металлокорда в порошок апробировалось в лабораторных условиях по технологической схеме: кратковременный нагрев до 850-900°С, закалка в воде, прокатка в рифленых валках для грубого измельчения, измельчение в порошок в молотковой или ролико-кольцевой мельнице. После грубого измельчения необходимо удалить дисперсный порошок оксидов меди, отделившийся от проволоки при прокатке в валках.

Электроимпульсное брикетирование бухт проволоки в исходном состоянии. Прессование с воздействием на материал импульсов электрического тока большой плотностью вызывает локальный нагрев

со сваркой контактов дисперсного (волоконистого) материала, что обеспечивает сохранение формы и плотности спрессованного брикета, пригодного для переплавки.

Брикетирование предварительно отожженной проволоки. Быстрый нагрев до 900°C и медленное охлаждение приводит к уменьшению твердости и прочности металлокорда, обеспечивая его способность уплотняться под давлением 200-250 МПа до плотности брикетов 4,4-4,8 г/см³, пригодных для переплавки по обычной технологии переработки металлоотходов.

Возможно уплотнение бухт отожженной проволоки их прокаткой в гладких валках без и со шлакообразующими присадками, уменьшающими ее окисление при переплавке.

УДК 621.762

Формообразование фильтрующих элементов прокаткой порошка

Студентка гр. 104423 Ткачева М.А.

Научный руководитель – Ложечников Е.Б.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью настоящей работы является усиление внимания к проблеме повышения качества фильтрующих элементов, полученных способами порошковой металлургии.

Фильтрующие элементы формуются из порошков с примерно одинаковым размером частиц спеканием свободной насыпки, прессованием (обычно деталей типа втулок) и прокаткой лент и полос с последующим их спеканием, из которых при необходимости изготавливают втулки, диски и различные заготовки другой формы. Показателями качества полученных изделий являются равномерность размеров сечений сквозных пор, прочность и хорошая способность к регенерации. Первые два способа, как правило, не обеспечивают равномерность распределения пор по площади фильтрующего элемента из-за ограничения возможности получения малых толщин, что обуславливает повышенный расход металла и вытекающие из него сложности регенерации фильтров. В этом отношении наиболее рациональной технологией формообразования является прокатка порошков в тонкие ленты.

Толщина получаемой ленты определяется диаметром валков. Она составляет около одной сотой диаметра бочки валков с возможностью уменьшения угла захвата специальными приемами, а, следовательно, и толщин.

Как показали проведенные опыты, прокатывать высокопористые ленты можно не только из порошков с развитой формой поверхности частиц, но и со сферической, при предварительном введении в них пластификаторов (парафина и других связующих). Вследствие стабильности условий захвата валками порошка, в прокатанной ленте формируется равномерная пористость как по длине, так и по ширине. Ее уточнение и корректировка размеров пор достигается калибрующей прокаткой спеченной заготовки. Эксперименты показали эффективность формирования пор на образцах тонких полос из спеченного титана. При относительных обжатиях до 10% удлинения и уширения образцов не наблюдалось с уменьшением плотности на 5 % (исходная плотность 0,57). При относительных обжатиях до 30% наблюдалась вытяжка, достигающая 5% с плавным увеличением плотности до 20%.

Фильтры из прокатанных титановых порошков, распыленных порошков коррозионностойкой стали толщиной от 0,6 до 2-3мм обладают высокими эксплуатационными показателями.

УДК 621.983

Анализ возможностей силовой интенсификации технологических процессов листовой штамповки за счет совместного выполнения операций

Студенты гр. 104414 Аладко Д. В., Аладко С.В., Тарасевич Н.Ф.

Научный руководитель – Любимов В.И.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В работе обосновывается возможность совершенствования технологических процессов листовой штамповки за счет силовой интенсификации элементарных операций при их совместном выполнении.

Уменьшение трудоемкости изготовления продукции может быть достигнуто увеличением допустимой степени деформации за одну операцию. Разработан целый ряд способов силовой и термической интенсификации деформирующих операций листовой штамповки. Однако возможности совершенствования технологических процессов еще не исчерпаны. Как показал проведенный анализ дальнейшее совершенствование технологических процессов листовой штамповки возможно за счет силовой интенсификации операций при их совместном выполнении. Силовая интенсификация совместно выполняемых операций может оказаться весьма эффективной, так как при определенных условиях и при определенном сочетании

элементарных операций позволяет достичь большего формоизменения заготовки, чем при последовательном выполнении этих операций с максимальными степенями деформации. Убедительным подтверждением этого может служить достаточно хорошо исследованный способ комбинированной вытяжки, представляющий собой сочетание вытяжки без принудительного утонения и с принудительным утонением стенки вытягиваемого изделия. При определенных условиях совместное выполнение двух этих операций позволяет существенно интенсифицировать процесс формоизменения.

Взаимное влияние смежных очагов деформации при определенном сочетании нескольких совместно выполняемых элементарных формоизменяющих операций приводит к более благоприятным условиям их выполнения. Поясним это на примере совместного выполнения операций вытяжки, обжима и раздачи. В этой совмещенной операции имеются три очага деформации. Очаг деформации раздачи отделен от очагов деформации обжима и вытяжки трубчатой частью заготовки. Очаг деформации обжима непосредственно переходит в очаг деформации вытяжки через окружное сечение, в котором меридиональные напряжения равны нулю. В каждом очаге деформации возникают характерные для отдельной элементарной операции напряжения: в очаге деформации раздачи – растягивающие окружные и сжимающие меридиональные, в очаге деформации обжима – сжимающие окружные и сжимающие меридиональные, в очаге деформации вытяжки – сжимающие окружные и растягивающие меридиональные.

Максимально возможную степень формоизменения исходной заготовки можно определить на основе предельно допустимых коэффициентов (степеней) деформации для каждой операции: $K = K_p K_{об} K_v$, где K_p – коэффициент раздачи, $K_{об}$ – коэффициент обжима, K_v – коэффициент вытяжки.

Максимально возможная степень формоизменения заготовки при совместном выполнении трех операций будет больше, чем степень формоизменения, определяемая произведением максимальных пооперационных коэффициентов при раздельном выполнении каждой из операций. Это объясняется взаимным влиянием смежных очагов деформации, приводящих к более благоприятным условиям выполнения отдельных операций. В частности действие сжимающих меридиональных напряжений в очаге деформации обжима приводит к уменьшению растягивающих меридиональных напряжений в очаге деформации вытяжки, что позволяет увеличить предельно допустимый коэффициент вытяжки в совмещенном процессе. В общем очаге деформации обжима и вытяжки растягивающие меридиональные напряжения в зоне вытяжки переходят к сжимающим меридиональным напряжениям в зоне обжима. Переходная зона с нулевыми меридиональными напряжениями разграничивает очаги деформации вытяжки и обжима. При совмещенной операции заготовка на границе зон вытяжки и обжима не спрямляется. Следствием этого является уменьшенные суммарные меридиональные напряжения, и поэтому возникает дополнительная возможность увеличения степени деформации в очаге обжима.

УДК 621.73

Повышение производительности гидравлических прессов

Студенты гр.104424 Зелезинская С.В., Гончарик А.И., Рябцев И.В.
Научный руководитель – Овчинников П.С.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью настоящей работы является систематизация способов увеличения производительности гидравлических прессов.

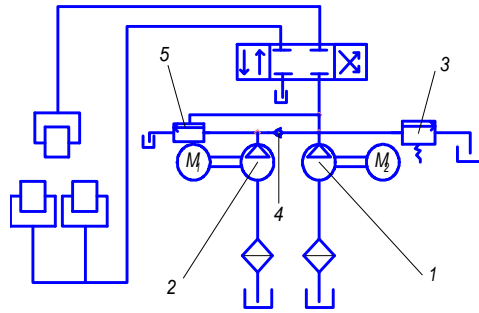
В связи с ограниченной скоростью перемещения жидкости по трубопроводам из-за возможного гидроудара используют увеличенную скорость хода приближения и обратного холостого хода исполнительного звена (ползуна или подвижной траверсы), что позволит уменьшить время цикла двойного хода, а тем самым увеличить производительность пресса.

Используют следующие способы для достижения этой цели:

1. Уменьшают длину трубопроводов, по которым течет жидкость от насоса к главному цилиндру. Давление гидроудара зависит от длины подвижного столба жидкости. Чем длиннее трубопровод, тем больше масса жидкости. Более короткие трубопроводы уменьшают длину столба жидкости, остановка которого приводит к гидроудару. Значит, уменьшается давление гидроудара. Для этого насосную станцию и распределители располагают близко от рабочего цилиндра. Для вертикальных прессов с верхним приводом насосную станцию и распределители устанавливают на головке пресса, при нижнем расположении – под основанием. Это делают у сравнительно небольших гидравлических прессов.

2. У больших прессов, где невозможно разместить насосную станцию в пределах пресса, используют аккумуляторы. Жидкость в них подается в рабочий цилиндр при холостом перемещении траверсы, когда нет давления в гидросистеме и гидроудар неопасен. В этом случае исполнительное звено во время хода приближения и обратного холостого хода перемещается быстро, так как главные цилиндры заполняются жидкостью из насосной станции и аккумулятора. Уменьшается время цикла, а следовательно производительность увеличивается.

3. Гидросхема пресса с двумя насосами:



Насос 1 имеет производительность и развивает давление, которые нужны при рабочем ходе, то есть этот насос высокого давления и низкой производительности. Скорость рабочего хода будет следующая:

$$v_{px} = \frac{Q_1}{F}$$

где Q_1 - производительность насоса 1;
 F - площадь плунжера рабочего цилиндра.

Насос 2 развивает низкое давление и высокую производительность. Скорость хода приближения будет равна:

$$v_{xnp} = \frac{Q_1 + Q_2}{F}$$

где Q_2 - производительность насоса 2.

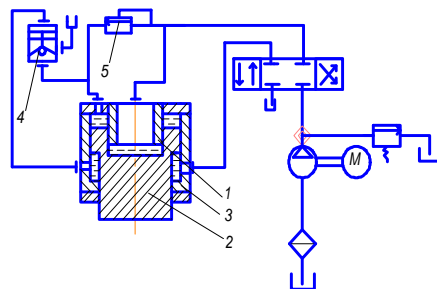
Таким образом, главный цилиндр заполняется обоими насосами. Как только боек или пуансоны коснутся заготовки, начинается рабочий ход, в гидросистеме увеличивается давление и когда оно станет больше, чем номинальное давление насоса 2, принудительно от линии высокого давления открывается предохранительный клапан 4 и закрывается обратный клапан 5. Насос 2 будет работать на слив вхолостую, так как сопротивление потока жидкости здесь будет незначительное и только вызвано силами трения в насосе и потоке жидкости. На удержание в открытом состоянии клапана 4 жидкость не расходуется. Здесь только давление жидкости сжимает пружину, которой клапан 4 удерживается в закрытом состоянии. Скорость обратного холостого хода будет равна:

$$v_{ox} = \frac{Q_1 + Q_2}{2f}$$

где f - площадь плунжера ретурного цилиндра.

При такой работе пресса уменьшается время холостых перемещений, а значит и время цикла.

4. Гидросхема пресса с ускорительным плунжером:

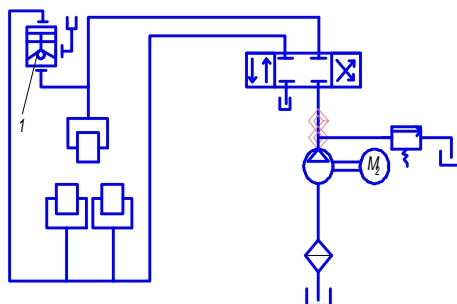


Во время хода приближения от насоса жидкость подается в ускорительный плунжер 1. основной плунжер 2 будет перемещаться быстро, так как площадь плунжера 1 малая. Объем над основным плунжером в гидросхеме 3 заполняется по линии через обратный управляющий клапан 4. При рабочем ходе открывается клапан 5, регулируемый на рабочее давление, и жидкость от насосов поступает в полости ускорительного и основного плунжеров. При обратном ходе жидкость от насоса подается в дифференциальную полость основного плунжера, кольцевая площадь которого тоже небольшая и этот плунжер поднимается быстро. Из полости ускорительного плунжера жидкость вытесняется на слив через распределитель, а из полости основного плунжера – в наполнительный бак через клапан 4, который

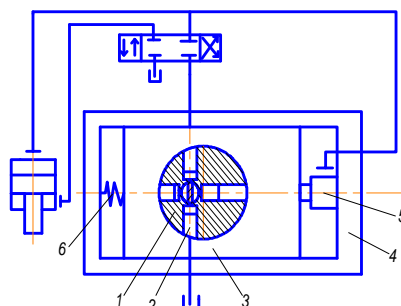
открывается при этом принудительно. Уменьшается время холостых перемещений, а, следовательно, и время цикла, то есть увеличивается производительность.

5. Гидросхема пресса с ускоренным ходом приближения за счет веса подвижных частей:

Во время хода приближения распределитель соединяет главный цилиндр с насосной линией, а цилиндры обратного хода – со сливом. Для того чтобы подвижные части перемещались ускоренно, главный цилиндр заполняется жидкостью из насоса и наполнительного бака через управляемый обратный клапан 1. При достижении штампом заготовки давление в гидросистеме увеличивается, клапан 1 закрывается и в главный цилиндр поступает жидкость только из насоса. Скорость рабочего хода будет обусловлена производительностью насоса. При обратном ходе от насоса жидкость подается в ретурные цилиндры и в полость управления клапана 1. Он принудительно открывается и жидкость из главного цилиндра вытесняется на слив через распределитель и клапан 1.



6. Увеличение производительности с использованием насосов переменной производительности:



Здесь представлена гидросхема пресса с радиально-плунжерным насосом, у которого производительность насоса регулируется обратной связью в зависимости от давления жидкости в гидросистеме. В роторе 1 насоса изготовлены гидроцилиндры с плунжерами 2, ротор вращается приводом, скорость вращения высокая. При вращении ротора плунжеры выбрасываются из цилиндров центробежными силами и их перемещение ограничено поверхностью обоймы 3. Обойма относительно ротора расположена эксцентрично, внутреннее отверстие ротора разделено неподвижной доской на 2 части, образуя полости всасывания и нагнетания. Доска крепится к неподвижной крышке коллектора. К ней присоединяется трубопровод от наполнительного бака и трубопровод насосной линии. В этом насосе обойма помещена в станину 4 и может в ней перемещаться. Слева обойма опирается на пружину 6, справа – на плунжер гидроцилиндра 5. Последний соединен с насосной линией. В этот гидроцилиндр передается давление гидросистемы. При ходе приближения гидроцилиндр 5 не развивает усилие, и обойма 3 пружиной перемещается вправо, образуя максимальный эксцентриситет. Производительность насоса определяется следующим выражением:

$$Q = 2 \cdot e \cdot f \cdot n \cdot m \cdot \eta ,$$

- где e - эксцентриситет;
- f - площадь плунжера;
- n - количество цилиндров в роторе;
- m - число оборотов ротора;
- η - объёмный КПД (0,96-0,98).

При рабочем ходе в гидросистеме высокое давление и плунжер гидроцилиндра 5 перемещает обойму влево, сжимает пружину, уменьшая эксцентриситет, то есть скорость перемещения ползуна будет меньшая, чем при ходе приближения. При обратном ходе снова будет большой эксцентриситет и высокая скорость подъема подвижных частей.

Способы накатывания криволинейных профилей

Студенты гр. 104424 Шубич В.В., Шершун О.Е., Кулыба А.В.
 Научный руководитель – Шиманович О.А.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Целью настоящей работы и является исследование и изучение особенностей новых способов накатывания криволинейных профилей.

Высокие темпы развития мирового машиностроения непрерывно связаны с внедрением в производство новых прогрессивных методов обработки металлов. Одним из путей развития прогрессивной технологии машиностроения является переход на обработку металлов давлением в холодном состоянии вместо обработки резанием. Применение этого метода обработки приводит к значительному повышению производительности труда, повышению точности, улучшению механических свойств и чистоты поверхности обрабатываемых деталей и создает предпосылки для комплексной автоматизации. Почти все современные машины и двигатели включают в себя ответственные резьбовые и шлицевые детали, условия работы которых требуют обеспечения высокой точности и повышения механических свойств резьбы и шлицев. В качестве примера можно назвать силовые шпильки и анкерные связи дизель-моторов, крупные шпильки паровых, газовых и гидравлических турбин, шлицевые валы автомобилей и так далее, которые изготавливаются в больших количествах из высоколегированных термически обработанных сталей. Образование резьбы на таких деталях резанием довольно сложно, трудоемко и не обеспечивает необходимых физико-механических свойств. Поэтому более эффективной является обработка резьбы и шлицев по методу холодной пластической деформации - накатыванием.

Точность профильных элементов, изготовленных накатыванием, превосходит точность, получаемую резанием. В силу своей экономичности процессы накатывания очень широко применяются в автомобильной промышленности, производстве труб, нормалей, гидроаппаратуры, насосов, станкостроения и др.

Существующие в практике методы накатывания резьб и профилей на наружных поверхностях цилиндрических деталей можно разделить на три основных:

- накатывание плоским инструментом с тангенциальной подачей заготовки - накатывание плоскими плашками;
- накатывание приводным круглым инструментом;
- накатывание приводным круглым инструментом с тангенциальной подачей, которая осуществляется вращающимися и неподвижными резьбовыми головками.

Французская фирма «Эскофье» применила наиболее эффективную и продуктивную технологию холодного формообразования посредством цилиндрического инструмента, а именно технологию СН: инструмент с постоянной геометрией кромок и технологию инкременталь: инструмент сложного профиля с переменной геометрией кромок.

Преимуществом данных технологий является то, что обе они являются технологиями холодного формообразования, что в свою очередь обеспечивает улучшение механических характеристик: повышение твердости, прочности и пр., экономию материала в связи с отсутствием отходов, а также позволяет сократить время обработки изделия.

Для реализации данных методов обработки спроектированы и изготовлены две специализированные линии.

Определения динамического предела текучести

Студенты гр. 104424 Янкович А.Г., Ольшевский С.А., Дмитриев М.В.
 Научный руководитель – Шарий В.Н.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Целью настоящей работы является исследование и изучение динамических показателей прочности при одноосном растяжении металлов инерционной нагрузкой.

Современное развитие промышленного производства требует применения высокопроизводительных, энерго- и ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих получение изделий с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. В этой связи большими потенциальными возможностями обладают технологические процессы, основанные на использовании высоких скоростей деформирования. К их числу относятся скоростное горячее выдавливание (СГВ), магнито-импульсная штамповка, высокоскоростная ковка на молотах, штамповка взрывом и др., позволяющие за один удар получать высокоточные, не требующие дальнейшей механической обработки стержневые изделия широкого промышленного назначения (пуансоны, выталкиватели, прошивники, фрезы, электроды-инструменты и т.д.), отвечающие требованиям эксплуатации в экстремальных условиях.

Использование материалов в условиях ударных нагрузок, а также разработка новых технологических процессов, основанных на применении импульсного нагружения, требуют знания динамических характеристик материала. Использование предела текучести, полученного при статических испытаниях ($\sigma_{т.ст.}$) приводит к существенным ошибкам в расчетах, так как в ряде случаев динамический предел текучести ($\sigma_{т.д.}$) в 2-3 раза превышает статический. К тому же, известно, что предел текучести не может быть использован в расчетах как некоторая константа, так как его значение зависит от скорости нагружения. Для целого ряда материалов величина $\sigma_{т.д.}$ вообще не определена, что весьма осложняет расчеты технологических процессов.

Полученные ранее другими исследователями теоретические и экспериментальные данные носят противоречивый характер. Известные методики дают некорректные результаты на поставленные вопросы. Предлагаемые способы осуществляются на дорогом, громоздком оборудовании, требующем квалифицированного персонала. Как правило, эти способы носят эмпирический характер, что применимо лишь при конкретных условиях, в которых проводился эксперимент. Поэтому перед нами стоит задача определения динамического предела текучести простым универсальным способом, приближенным к условиям реализации процесса.

В связи с этим на кафедре ОМД был разработан новый способ испытаний материалов, связанный с определением $\sigma_{т.д.}$ под действием инерционных нагрузок и предложено теоретическое обоснование способа по методу верхней оценки путем решения задачи динамического растяжения под действием сил инерционных нагрузок.

Реализуется такой способ по схеме прямого истечения материала в очко матрицы. Характер действия сил – экспоненциальный (с затуханием). Вследствие убывания энергии стержневая часть оказывается под действием сил инерции.

Анализ полученной картины испытаний материалов позволил разработать способ динамических испытаний. Таким образом, была предложена методика расчета напряжений под действием инерционных нагрузок. Для проведения расчета используем кинематически возможное разрывное поле скоростей (рис. 1а), состоящее из жестких однородных блоков 0,1,2,3. Вид разрушения при динамических испытаниях крупных образцов на разрыв при выдавливании их через очко матрицы, как показали наши исследования, с высокой степенью точности характеризует принятое для расчетов разрывное поле скоростей. Разрушение происходило с образованием характерного конуса, отвечающего тому, который образован линиями (рис. 1а).

Процесс растяжения можно представить как мгновенную задержку верхней части профиля силами сопротивления деформации, возникающими при выдавливании заготовки через очко матрицы. Тогда зона «1» после отрыва продолжает движение со скоростью v_{01} .

Поле скоростей и его годограф (рис. 1а,б) позволяют с помощью варьируемого параметра φ однозначно установить связь между кинематическими параметрами блоков пластической области зоны «1». Для этого определена мощность внутренних сил при растяжении образца. Она равна мощности, затраченной на осуществление сдвига на поверхностях разрыва, и мощности динамических воздействий на этих же поверхностях. Мощность внешних сил определяется как произведение усилия растяжения на скорость отрывающейся части образца.

Мощность внешних активных сил (силы инерции)

$$W_a = q_{дин} \cdot 2ab \cdot v_{01} \quad (1)$$

расходуется на преодоление внутренних реактивных сил, создающих сопротивление пластической деформации при динамическом растяжении. Здесь $q_{дин}$ – динамическое удельное усилие растяжения.

Уравнение мощности внутренних реактивных сил имеет вид:

$$W'_{вт.р.} = W'_{разр.} + W'_{дин.р.}, \quad (2)$$

где $W'_{разр.}$ – мощность сил собственного сопротивления скольжения на поверхностях разрыва;

$W'_{дин.р.}$ – мощность динамического воздействия на поверхность разрыва.

Величина удельных усилий, затраченных на динамическое растяжение образца, находится из равенства мощностей внешних и внутренних сил при учете, что v_{01} – скорость движения блока 1.

$$q_{дин} = \frac{k}{\sin \varphi \cos \varphi} + \frac{\rho v_{01}^2}{4 \sin^2 \varphi} \quad q_{стат.} + q_{кин.} \quad (3)$$

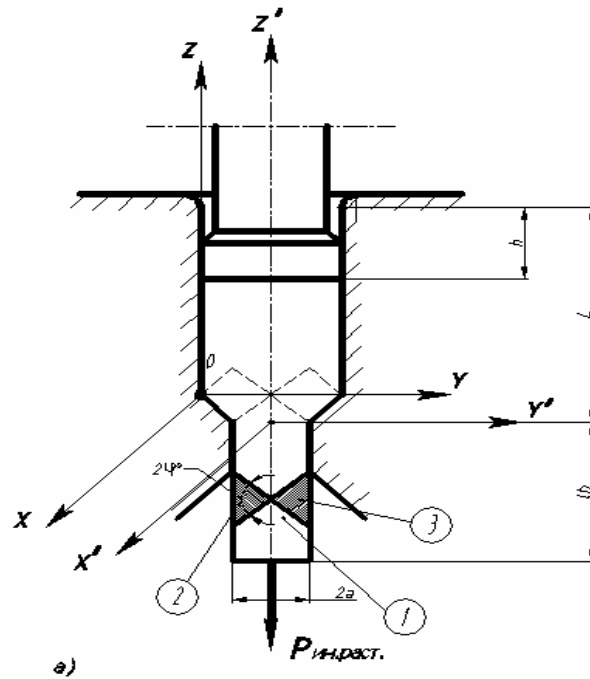
Уравнение (3) содержит статическую определяемую постоянной пластичности k и динамическую или кинематическую составляющую удельного усилия растяжения.

Оптимальное значение параметра, приводящее к минимуму динамическое удельное усилие растяжения, полагает течение псевдостационарным, полученным из условия:

$$\frac{dq_{стат.}}{d\varphi} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{dq_{дин.}}{d\varphi} = 0 \quad (5)$$

Кинематически возможное поле линий скольжения



Годограф скоростей

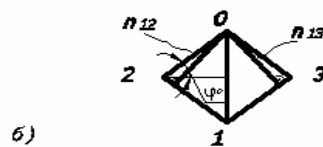


Рисунок 1 - Поле линий скольжения (а) и годограф скоростей (б) для скоростного выдавливания осесимметричных изделий

Находим оптимальное значение угла φ , обеспечивающее минимальное значение динамическому удельному усилию растяжения $q_{дин.}$

$$\sigma_{дин} = \frac{4}{3} \sqrt{3} \cdot K + \frac{1}{3} \rho \cdot V^2, \quad (6)$$

Здесь $q_{дин.}$ - удельное усилие растяжения при динамическом нестационарном течении.

Если учесть, что динамическое удельное усилие $q_{дин.}$ представляет собой динамическое напряжение $\sigma_{дин.}$ при скоростном растяжении, это уравнение (6) запишется

$$q_{дин} = \sigma_{дин} = \frac{4}{3} \sqrt{3} k + \frac{1}{3} \rho v^2 = \frac{4}{3} \sigma_{ст} + \frac{1}{3} \rho v^2, \quad (7)$$

где $\sigma_{ст.} = \sqrt{3} k$ - статический предел текучести, определяемый по критериальной зависимости Губера – Мизеса.

Выводы

1. Получено уравнение для аналитического определения динамических напряжений при растяжении выдавливаемого стержня силами инерции, установлен теоретический угол скольжения при нестационарном растяжении стержня.

2. Установлено удовлетворительное совпадение теоретических и экспериментальных данных при оценке поля линий скольжения, принятого для решения задачи.

Металлургические процессы

Перспективы использования высококалорийных углей на предприятиях машиностроительного и металлургического комплексов

Студент гр. 104135 Феклистов А.В.
 Научный руководитель – Тимошпольский В.И.
 Белорусский национальный технический университет
 г.Минск

Проблемы развития энергетики, обеспечения энергетической безопасности как базового элемента устойчивого и динамичного развития экономики любого государства постоянно находятся в центре внимания, как специалистов, так и мировой общественности. Несмотря на усилия ряда стран по наращиванию мощностей в атомной энергетике и использованию возобновляемых источников энергии, доминирующее положение в структуре потребления первичных энергоресурсов до 2030 г. сохранится за энергоносителями органического происхождения и составит 85%. При этом в их общем объеме первое место по-прежнему удерживает, и в перспективе будет удерживать уголь, второе — природный газ, третье — нефть. Особую актуальность проблема энергетической безопасности приобрела в настоящее время для Республики Беларусь. При разработке программ по развитию белорусской энергетики должны учитываться основные мировые тенденции обеспечения энергетической безопасности с учетом специфики отечественного энергокомплекса (строительство АЭС, диверсификация поставок и видов топливно-энергетических ресурсов, кардинальные меры по энергосбережению).

В непростых условиях взаимодействия с российскими поставщиками органического топлива (природного газа, нефти и нефтепродуктов) для обеспечения экономической безопасности необходимо решение двух глобальных взаимосвязанных задач: научное обоснование потенциала энергосбережения в отраслях народного хозяйства на базе разработки новых подходов и мероприятий, показателей энергосбережения, экономических механизмов стимулирования, создания наукоемких технологических процессов и т.д.; экономия материальных и топливно-энергетических ресурсов в стране во всех сферах производства, в первую очередь в энергетике, промышленности, жилищно-коммунальной сфере, сельском хозяйстве и нефтеперерабатывающем комплексе.

Структура потребления топливно-энергетических ресурсов Республики Беларусь представлена на рисунке 1.

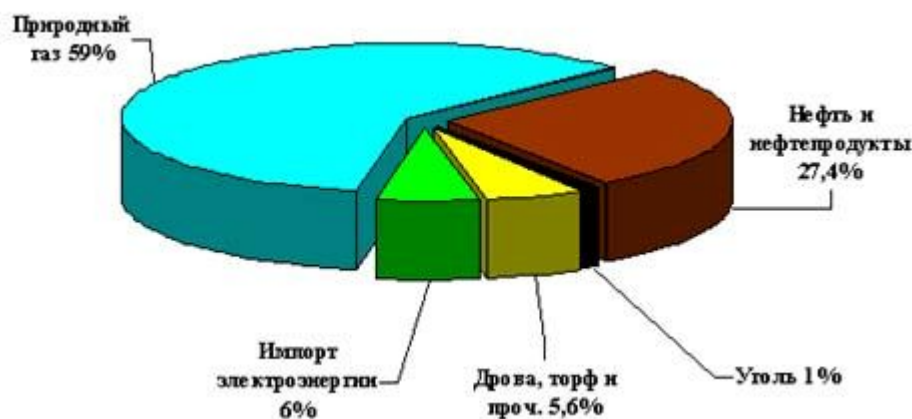


Рисунок 1. - Структура валового потребления топливно-энергетических ресурсов в Беларуси в 2005 г.

Из рисунка видно, что природный газ занимает первое место в объеме потребления ТЭР. Однако в настоящее время наметилась тенденция к росту стоимости этого вида топлива. Так, в 2006 году «Газпром» поставил в Беларусь около 21 млрд. куб. м газа. В соответствии с документом, в 2007 году ОАО «Газпром» поставил в республику 21,8 млрд. куб. м газа. Определенная контрактом цена российского газа при поставках в 2007 году – \$100 за 1 тыс. куб. м. Был подписан договор, позволяющий постепенно, в течение четырех лет перейти к рыночным ценам на газ для Беларуси. В I квартале 2008 года цена поставок газа в Беларусь составит \$119 за тысячу кубометров.

Как видно из рисунка 1, уголь занимает незначительное место в объеме потребления топлива. Сейчас всё большее внимание начали уделять проблеме частичной замены природного газа углём в связи с его меньшей стоимостью. При вовлечении в баланс каменных углей исходили прежде всего из возможности импорта этого вида энергоресурса из нескольких стран (Российской Федерации, Польши, Украины, Германии и др.), а также опыта преодоления последствий энергетического кризиса в 1975—1985 гг. промышленно развитых государств Западной Европы и Северной Америки. Использование высококалорийных углей предусматривается при вводе в эксплуатацию ТЭС мощностью 600—700 МВт и 200 МВт на действующих ТЭЦ (1,2—1,3 млн т у.т.), а также возможна стопроцентная загрузка углем при

производстве клинкера в цементной промышленности (на уровне до 2 млн. т у.т.). Кроме того, учеными-энергетиками НАН Беларуси и ведущими экономистами страны предложены принципиально новые направления развития угольной энергетики: коксохимическое производство для перспективного вовлечения в материальный и теплоэнергетический баланс собственного железорудного сырья (Околовское и Новоселковское месторождения); извлечение из органического топлива водорода и хранение его в качестве резерва топлива в случае перебоев в поставках природного газа. Причем эти направления в мире активно развиваются, и, безусловно, в сегодняшних условиях, когда имеются колоссальные запасы высококалорийных каменных углей, они имеют право на жизнь.

Белорусские ученые разработали концепцию использования углей в машиностроении и металлургии на базе современных технологий. К следующей пятилетке в Беларуси будет создана основа для реализации проекта по использованию углей. Использование углей позволит получать 200 тыс. тонн условного топлива (тут) в год. Эта цифра может показаться незначительной с учетом того, что потенциал Беларуси по использованию топливных ресурсов до 2010 года - 35-40 млн. тут, но данный проект для решения локальных вопросов будет играть существенную роль. Проект использования угольных технологий в цементной отрасли входит в Государственную программу инновационного развития Республики Беларусь на 2007-2010 годы. Планируется, что таким образом будет получено 1,2 млн. тут в год. Это даст возможность снизить энергоемкость цементной отрасли страны. Если сегодня Республика Беларусь может купить уголь по цене \$70-80 за тонну, то газ за такие деньги уже не продается. Причем цена на уголь более стабильна, чем на газ. Есть также альтернатива поставок угля. Беларусь может закупать его в России, Украине, Польше, Германии.

УДК 512.972

Оптимизация объема партии отливок и литых полуфабрикатов с использованием ЭВМ в машиностроительном и металлургическом производстве

Студент гр. 104134 Морозов Д.С.

Научный руководитель – Рафальский И.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Величина партии литых полуфабрикатов и отливок является основным календарно – плановым нормативом оперативного-производственного планирования производства. Данная величина предопределяет все остальные календарно-плановые нормативы. Оптимальная партия минимизирует себестоимость производства, обеспечивает наименьшие затраты как на переналадку оборудования, так и на хранение готовых отливок. Нормативная партия принимается с учетом ограничений по требуемой кратности производственной программы (поквартальная, помесечная и т.п.) и некоторых других.

Себестоимость отливок, при изготовлении их партий, не остается постоянной величиной и изменяется в зависимости от размера партии. Себестоимость продукции складывается из затрат на материалы, затрат на обслуживание и эксплуатацию оборудования, цеховых расходов. Так как затраты на материалы не зависят от величины партии, то их можно исключить из расчета.

Затраты на наладку можно выразить как заработная плата наладчиков

$$Z_n = t_{пз} \cdot Ч_{ср} \cdot K_n \cdot \alpha \quad (1)$$

где:

K_n - количество наладчиков;

$Ч_{ср}$ - среднюю часовую тарифную ставку;

$t_{пз}$ - время наладки;

α - коэффициент надбавок.

Также учитываются затраты связанные с хранением отливок. Важно выбрать объем партии, обеспечивающий минимальные производственные затраты, т.к. чем больше партия, тем больше объем незавершенного производства и больше «замораживается» материалов и трудовых ресурсов на более длительный срок. В таком случае требуется больше складских помещений, следовательно, возрастают затраты на амортизацию площадей склада, отнесенные к единице продукции. Народнохозяйственные потери от пролеживания материалов или готовой продукции могут быть измерены прибылью, которую они могли бы принести. Потери от пролеживания отливок определяются как

$$П = ((M+C) T_{ц}/2 + CR/2) N E_n / 365 \quad (2)$$

где:

M – стоимость материалов;

C – себестоимость отливок;

$T_{ц}$ – длительность производственного цикла;
 R – периодичность запуска;
 N – программа на год, шт;
 E_n – коэффициент эффективности капитальных вложений.

Затраты, связанные с использованием производственной площади и площади склада можно определить по формуле:

$$Z = N(pI_1 T_{ц} + \epsilon RI/2H)/365 \quad (3)$$

где:

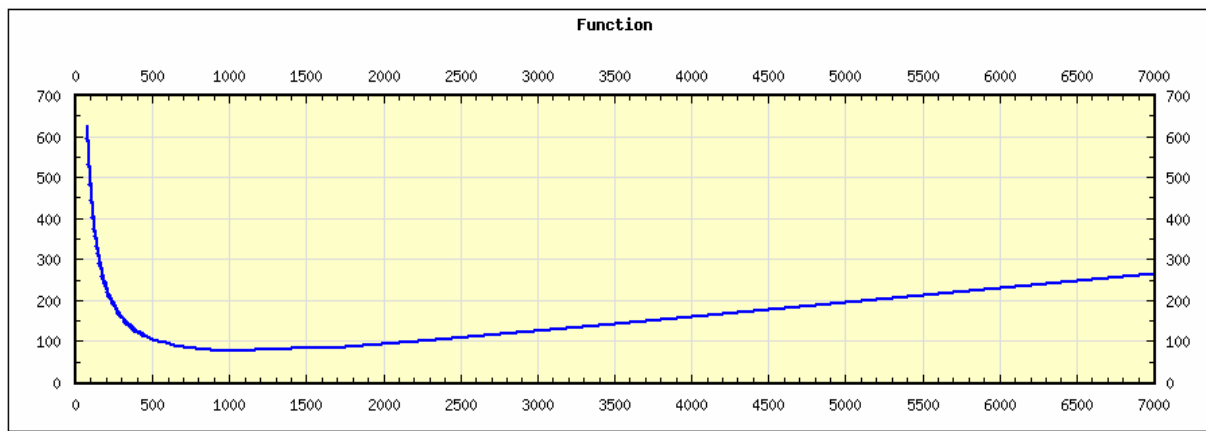
p – удельная площадь для хранения;
 I_1 – затраты в год на эксплуатацию 1 м^2 производственной площади;
 I – затраты в год на эксплуатацию 1 м^2 склада;
 ϵ – вес отливки;
 H – норма нагрузки на 1 м^2 склада.

Можно составить целевую функцию, выражающую затраты на годовую программу N

$$S = (N/n) t_{пз} \cdot \sum C_{ср} K_n \alpha + ((M+C) T_{ц}/2 + CR/2) N E_n/365 + N(pI_1 T_{ц} + \epsilon RI/2H)/365 \rightarrow \min$$

Проставив ограничения целевой функции, и составив программный код для вычисления минимального значения целевой функции, были получены численные и графические решения данной функции.

Программная часть для расчета на ЭВМ была разработана для WEB среды, что позволило избежать проблем с интеграцией данного программного обеспечения (ПО) в операционную систему пользователя. ПО работает на всех операционных системах. Все расчеты производятся на WEB сервере под управлением операционной системы FreeBSD, с использованием HTTP сервера Apache и языка программирования PHP. Так как данный расчет не производит большой нагрузки на аппаратное обеспечение расчеты проводились без использования интегрированных модулей C++. Пример работы ПО приведен ниже



Расчет партии

$V_{нj}$	Партия	N	R	$T_{ц}$	S
6	Оптимальная	1166.666666667	42.33333333333	5.4591049382780	9949308903
4	Нормативная	1750	63.5	8.1597222222289	9566492211

Рисунок 1 - Вывод результатов расчетов

Литература

1. Организация и планирование машиностроительного производства. Под редакцией И.М. Разумова. М., «Машиностроение», 1967, с. 525-527.

Студентка гр. 104134 Лапицкая Я.О.
 Научный руководитель – Румянцева Г.А.
 Белорусский национальный технический университет
 г.Минск

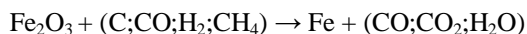
Как известно, в электросталеплавильном производстве обычными источниками железа являются лом, губчатое железо (окатыши), горячбрикетированное губчатое железо, жидкий и твёрдый чугун. Для производства чистой и высококачественной стали требуется такой же высококачественный и дорогостоящий лом.

Методы прямого восстановления железных руд и плавильно-восстановительные процессы активно обсуждаются с точки зрения их использования на металлургических мини - заводах. Можно получать полуфабрикат из которого вместе с ломом можно выплавлять в электропечах высококачественные стали.

Существует множество патентов и предложений описывающих способы прямого восстановления железа однако лишь немногие из них прошли промышленную и опытно-промышленную проверку. Достаточно полно различные способы можно представить с помощью классификации учитывающей применяемые агрегаты, используемое сырьё, вид топлива, получаемый продукт, масштабы применения.

В настоящее время в промышленном масштабе определились три направления получения первичного железа:

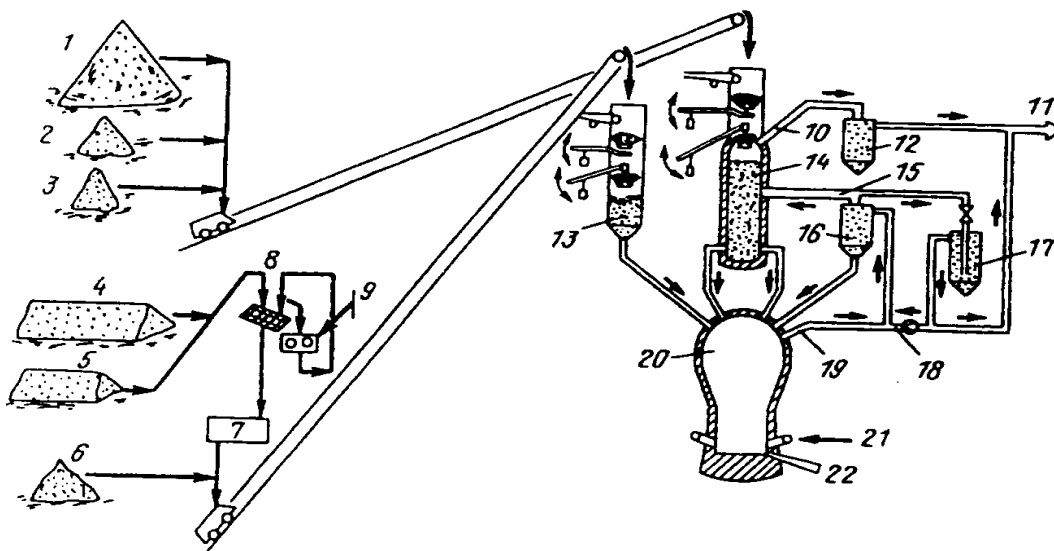
а) восстановление Fe из твердых железорудных материалов взаимодействием с твердыми или газообразными восстановителями (твердофазное восстановление) с получением губчатого железа в твердом виде



б) восстановление железа в кипящем железистом шлаке (жидкофазное восстановление) по реакции с получением углеродистого полупродукта в жидком виде



в) получение из чистых железных руд карбида железа



- 1-железная руда, окатыши; 2-известь; 3-доломит; 4-уголь; 5-кокс; 6-песок;
 7-осушительное устройство; 8-грохочение; 9-дробилка; 10-колошниковый газ;
 11-отходящие газы; 12-скруббер колошникового газа; 13-система подачи угля;
 14-восстановительная шахта; 15-восстановительный газ; 16-циклон горячей пыли;
 17-скруббер охлаждающего газа; 18-охлаждающий газ; 19-продукты газификации;
 20-плавильный агрегат-газификатор; 21-кислород; 22-выпуск металла и шлака

Рисунок 1 – Схема процесса Корекс

До промышленной стадии из двухстадийных процессов доведен только процесс Корекс (COREX), продвигаемый фирмой Voest Alpine

Данный процесс относят к классу комбинированных двухстадийных процессов, в котором более 90 % восстановления железа происходит твердофазным способом и менее 10 % в плавильно-восстановительном агрегате. Используются специальные операции и соответствующие устройства для снижения теплотребления в плавильном агрегате: нагрева шихты (900 – 1000 °С) и ее предварительной металлизации (более 90 %).

Экономичность технологии Корекс определяется обычно в сравнении с хорошо отработанными технологиями. При этом практические показатели, достигнутые на агрегатах Корекс, сопоставляют с теоретическими ожидаемыми показателями с лабораторных или пилотных установок. На рисунке 1 показаны различные статьи затрат и их доли в издержках производства чугуна. Основные затраты приходятся на стоимость сырья и топлива, за ними следуют инвестиции. Показано положительное влияние прибыли от продажи отходящих газов процесса. Таким образом можно сделать вывод, что процесс Корекс экономичен в тех местах, где есть возможность реализации или потребления горючего газа.

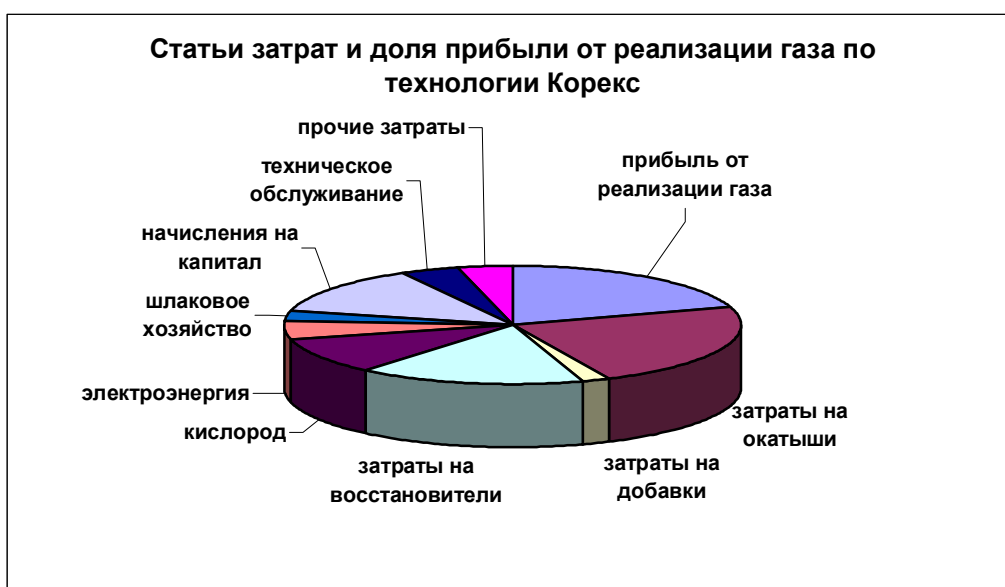


Рисунок 2 – Статьи затрат и доля прибыли от реализации газа при работе по технологии Корекс (базовые данные по Центральной Европе)

Еще одним преимуществом данного процесса является то, что тонкие или мелкие отходы и материалы после рециклинга с металлургических заводов (пыль, шламы, промасленная прокатная окалина, органические остатки) могут быть использованы в процессе Корекс.

УДК 669.18

Возможности применения отходов машиностроительного производства (стальной и чугунной стружки) при производстве металлопродукции

Студентка гр. 104134 Хурсина О.В.
Научный руководитель – Корнеев С.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Цель работы заключается в изучении возможностей переплава отходов машиностроительного и металлургического производства с целью экономии материальных ресурсов.

1 Ваграночные процессы. Суть метода состоит в брикетировании шихты с последующим спеканием брикета для придания ему необходимой прочности. Известен способ подготовки стружки путем заливки жидкого чугуна в контейнер со стружкой. В большинстве случаев при переплавке стружки в вагранках различной конструкции рекомендуют использовать окомкованную или брикетированную стружку.

Основными трудностями использования стружки в качестве шихтового материала в ваграночной плавке являются:

1. Наличие развитой поверхности стружки, что при плавлении в окислительной атмосфере вагранки создает условие для интенсивного угара металла и насыщения его серой за счет двуокиси серы, которая находится в ваграночных газах.

2. Уплотнение столба шихты в процессе плавления, что ухудшает проницаемость столба шихты восходящими газами и замедляет процесс плавления шихты.

Поэтому все существующие способы плавки стружке в вагранке ставят перед собой одну задачу – защитить шихту от окисления. Принятые в производстве методы использования стружки в вагранке можно разделить на две группы.

К первой группе относятся способы различной защиты поверхности металла от окисления и преодоление уплотнения столба шихтовых материалов по высоте вагранки. Они различаются способами защиты развитой поверхности стружки от воздействия окислительной атмосферы в пространстве печи:

- а) брикетирование стружки;
- б) спекание стружки;
- в) засыпка стружки по трубам;
- г) механическое введение стружки в вагранку с помощью шнека;
- д) брикетирование стружки на основе связующего материала;
- е) сплавление стружки жидким чугуном;
- ж) механическое брикетирование стружки;
- е) электробрикетирование стружки.

Ко второй группе относятся способы плавления чугунной и стальной стружки навалом (т.е. неподготовленной стружки). В этом случае применяются различные способы обеспечения восстановительной атмосферы в печном пространстве.

На основании вышеизложенного, следует сделать вывод, что переплавка стальной и чугунной стружки в вагранках насыпью малоэффективна, из-за значительного угара стружки до 30% и существенной потери производительности вагранки. Даже при подготовке стружки в виде брикета, эффект от использования стружки незначителен. Добавление этих брикетов в шихту в объеме до 10% повысит общий угар на 8-10% и приведет к повышению выбросов вредных веществ в атмосферу.

2 Электродуговые печи. Электродуговые печи в сравнении с вагранками являются агрегатом для возможного использования стружки в качестве шихтового материала.

В литературе приведено достаточно много данных по выплавке стали в печах малой мощности при использовании дробленой, вьюнообразной стружки и брикетов из неё. Установившееся мнение о том, что мелкая стружка при плавке в дуговых печах дает большой угар (в 4-5 раз большее, чем на кусковом стальном ломе), не является неоспоримым. Например, на Уралмашзаводе исследования проводили в ДСП-10 с основной футеровкой. В шихту добавляли до 50% брикетов горячего прессования из стальной стружки и отдельно до 30% мелкой насыпной стальной стружки. Средняя плотность брикетов $4,38 \text{ кг/дм}^3$ при массе от 22 до 32 кг. Исследования по определению угара металла при плавлении с добавкой стальных брикетов горячего прессования по 30, 40, 50% от массы завалки показали, что реальное содержание углерода по расплавлению оказывалось ниже заданного, что увеличивало общую продолжительность плавки.

Содержание оксида железа FeO по расплавлению шлаке несколько повышается, но на выпуске плавки практически одинаково. Степень загрязненности неметаллическими включениями не изменяется. Расход электроэнергии на 1 т жидкой стали увеличивается при использовании 50% брикетов из стружки в сравнении с работой на стальном ломе на 7,7%. При добавке 20% стальной стружки он снижается на 5,7% с 667 до 629 кВтч/т. Угар металла при плавлении 100% брикетов составил 9,6%, а при переплаве 100% стальной стружки 8-10%. Мелкая углеродистая дробленая стружка увеличивает плотность завалки, облегчает зажигание дуг и их более спокойное устойчивое горение. При этом более полно используется мощность трансформатора, так как плавление можно начинать с высшей ступени, тогда как при переплаве лома первые 8-10 минут рекомендуется работа на низшей ступени, чтобы избежать распространение излучение длинных дуг на футеровку. Хотя продолжительность плавки при работе на брикетах (50%) несколько увеличивается, ее себестоимость снижается на 11%. На Липецком тракторном заводе при выплавке стали в ДСП-5 добавляли до 20% мелкой стружки с содержанием влаги до 3% и 1,3% масла. Жидкую сталь разливали в литейные формы для получения деталей тракторов. Лучшие показатели по качеству и экономике получены при шихтовке стружки средних слоев печи. Химический состав стали не изменился.

Потери металла при использовании легковесной стружки в электродуговых печах составляют 9,8-14,5%. Отмечается, что выход годного при использовании 25% стружки примерно на 5% ниже, чем при работе с габаритным ломом.

Во всех работах большое внимание уделяется процессу очистки газов при использовании стружки. Стружка после механической обработки имеет высокое содержание масла и эмульсии на поверхности. При холодном брикетировании дробленой стружки масло отжимается в процессе прессования, остаточное содержание эмульсии по ГОСТ 2787-75 не должно превышать 1%. Фактически брикеты имеют содержание масла более 2%. При горячем брикетировании масло удаляется в процессе сушки и нагрева стружки перед прессованием в брикет. В случае переплава не брикетированной стружки масло выгорает в период завалки

впечь и первый период нагрева шихты. В этот момент над печью наблюдается горящий факел и сильная запыленность атмосферы цеха.

3 Индукционные печи. Индукционные печи для плавки чугуна и стали имеют ряд преимуществ в сравнении с плавлением шихты в вагранках и электродуговых печах. Они состоят в следующем: возможность использования любых отходов черных металлов; снижение угара и брака, более высокий уровень управления технологическим процессом выплавки. Для использования в качестве шихты чугунной и мелкой дробленой стружки хороши средне-частотные печи. Как показывает производственный опыт работы на печах OTTO JUNKER, чугунная и стальная дробленая стружка хорошо переплавляется с угаром не более 5%. Это высокий показатель для переплава стружки и достигается он, в первую очередь, за счет индукционного перемешивания стружки в первый период плавления. При частоте 75-125Гц, в течение 10-12 минут, в 6-ти тонной печи, стружка массой 2 тонны при загрузке в тигель расплавляется, при этом расплавление стружки идет с активным перемещением верхних слоев стружки на средний уровень тигля, где уже начинается переход стружки в жидкое состояние. После полного расплавления автоматически осуществляется переход на частоту 250 Гц, на которой и завершается процесс плавки и доводки стали до требуемого химического состава. Весь цикл плавки, от загрузки шихты до снятия шлака и разливки готовой стали в ковш, составляет 45-60 минут.

УДК 669

Преимущества среднечастотных индукционных печей при выплавке стали (чугуна) над другими плавильными агрегатами.

Студентка гр. 104134 Шибут Н.В.
Научный руководитель – Ратников П.Э.
Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Целью настоящей работы является сравнительный анализ эффективности процессов выплавки стали и чугуна в среднечастотных индукционных печах.

Для плавки чугуна и стали наибольшее распространение получили плавильные агрегаты, использующие огневые методы – мартеновские печи, вагранки и электронагрев – индукционные и дуговые печи. Индукционные печи средней частоты (ИПСЧ) обладают несомненными техническими и экономическими преимуществами, обусловленными эффектом внутреннего нагрева шихты вихревыми токами.

Индукционный метод обеспечивает выделение теплоты непосредственно в металле без теплопередачи излучением или конвекцией, сопровождаемой значительными потерями. Поэтому индукционные печи имеют значительно более высокий технологический КПД, чем агрегаты, работающие на топливе.

По сравнению с индукционными печами промышленной частоты (ИППЧ) плавка чугуна на средней частоте также имеет преимущества, состоящие в следующем:

- расход электроэнергии вдвое меньше, чем в ИППЧ, работающих в непрерывном цикле плавки с частичным сливом металла и периодической дозагрузкой шихты;
- садочный режим плавки, т.е. без использования переходящего от плавки к плавке остатка жидкого металла («болота»), позволяет:
- исключить предварительную сушку шихты и связанные с ней затраты, кроме этого, сократить расходы на футеровку, т.к. долговечность футеровки при садочном режиме плавки возрастает;
- исключить непроизводительные затраты труда, электроэнергии и материалов, связанные с невозможностью отключения ИППЧ на время перерывов в работе литейного производства;
- допустимая удельная мощность, подводимая к металлу, в 3 раза выше, чем в ИППЧ, что обеспечивает короткие циклы плавки (40-45 минут), повышает теплотехнический КПД и позволяет оптимизировать процесс образования центров кристаллизации благодаря одноразовому нагреву металла и меньшей средней температуре в течение плавки, чем у ИППЧ, работающей с «болотом»;
- возможность работы в режиме стабилизации активной мощности на всем цикле плавки, начиная с «холодного» состояния шихты и заканчивая расплавом металла.

По сравнению с дуговыми печами переменного тока (ДСП) и дуговыми печами постоянного тока (ДППТ) индукционная плавка на средней частоте имеет более высокие показатели технико-экономической эффективности. Потребление электроэнергии на тонну выплавляемого чугуна в ДСП несколько выше, чем в ИПСЧ и составляет 600-800 кВт·ч/т. В ДППТ этот показатель лучше – 475-550 кВт·ч/т. Однако широко известные недостатки электродуговой плавки значительно снижают эффективность этого метода. К ним относятся:

- интенсивные пыле- и газовыбросы, устранение которых требует дополнительных затрат на устройство газоочистки, особенно в густонаселенных регионах;
- значительный расход графитовых электродов;

- угар металла и легирующих элементов;

Себестоимость и расход энергии на 1 т жидкого чугуна для различных плавильных агрегатов относительно показателей плавки в газовой вагранке приведена в таблице 1

Индукционные печи средней частоты получили широкое распространение не только в технологических процессах плавки, но и выдержки, а также разливки металла. Стремительно расширяется применение среднечастотных индукционных печей в производстве жаропрочных и высоколегированных сталей, прецизионных сплавов, в производстве цветных и драгоценных металлов. Это объясняется технологическими особенностями, которые делают применение ИПСЧ особенно эффективным.

Таблица 1 – Относительная себестоимость и расход энергии на 1 т жидкого чугуна для различных плавильных агрегатов

Тип плавильного агрегата	Относительная стоимость 1 т чугуна	Расход электроэнергии, кВт·ч/т
Газовая вагранка	1,0	50-70
ДСП	2,0	600-800
ДППТ	1,8	475-550
ИПШЧ	2,0	1200-1300
ИПСЧ	1,4	500-600

Еще в большей степени технико-экономическая эффективность индукционной плавки на средней частоте проявляется при использовании ИПСЧ в «дуплекс-процессах». Особенность дуплексной плавки состоит в том, что ИПСЧ служит в качестве печи ожидания, в которой производится выдержка металла и доведение его до нужных параметров, а плавка металла может осуществляться в печах другого типа.

На рисунке 1 показана теплоэнергетическая эффективность печей разного типа на стадии плавки и выдержки чугуна в печах разного типа.

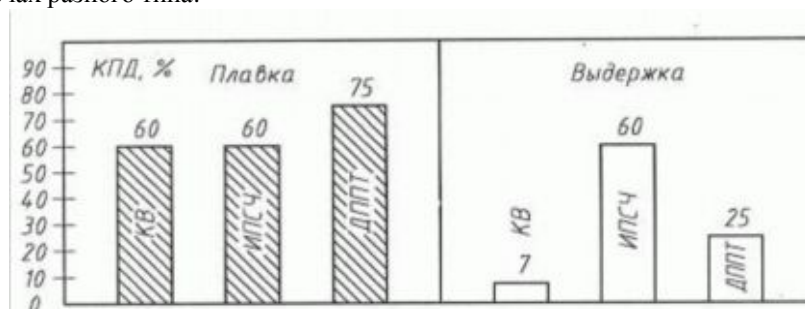


Рисунок 1 – Теплоэнергетическая эффективность печей

Как видно из приведенной гистограммы, на этапе плавки эффективность коксовой вагранки и индукционной печи (ИПСЧ) примерно одинакова и несколько ниже, чем в электродуговой печи постоянного тока (ДППТ). На этапе выдержки металла эффективность ИПСЧ намного выше, чем в вагранках и дуговых печах, поэтому в дуплексных процессах наиболее экономичным является использование в качестве второго плавильного агрегата индукционных печей.

Дуплекс-процесс плавки чугуна может быть организован комбинацией плавильных агрегатов различного типа.

На рисунке 2 приведена гистограмма энергетических расходов различных видов плавильных агрегатов относительно энергозатрат коксовой вагранки (КВ).

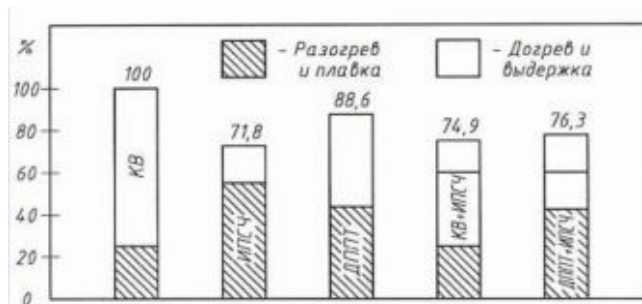


Рисунок 2 – Гистограмма энергетических расходов различных видов плавильных агрегатов относительно энергозатрат коксовой вагранки

Из всего вышеизложенного следует, что при организации дуговой плавки с различной комбинацией плавильных агрегатов самым экономичным является использование в качестве второго плавильного агрегата для догрева и теплосохранения металла индукционной печи средней частоты.

УДК 669.187

Эффективность использования жидкого полупродукта для выплавки стали в дсп

Студентка гр. 104134 Жукова Е.В.
Научный руководитель – Трусова И.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью работы является изучение эффективности применения жидкого полупродукта при выплавке стали в дуговых сталеплавильных печах (ДСП).

Существенной особенностью производства стали в условиях металлургических предприятий Республики Беларусь – является ориентация сырьевой базы сталеплавильных агрегатов на металлолом. На сегодняшний момент отечественные промышленные предприятия импортируют более 140 тыс. тонн переделного чугуна и около 1,2 млн. т металлолома. РУП «Белорусский металлургический завод», являющийся основным производителем металлопродукции (как для внутреннего рынка, так и экспортируемой) наряду с металлоломом, заготавливаемым ГО «Белвтормет», вынужден импортировать в больших объемах металлолом из России (пакеты ВАЗ, металлизированные окатыши), дорогостоящие ферросплавы. При этом цены на российский лом зачастую выше 250 долл. США за 1 т. Следует также отметить, что именно цена исходных материалов определяет себестоимость готовой металлопродукции, а, следовательно, и ее конкурентоспособность. В частности, стоимость металлолома составляет до 80 % в себестоимости стали. В связи с поиском материалов, способных его заменить, в 50 – 60 годы начали проводить опытные работы по применению в шихте электроплавки жидкого чугуна. В нынешних экономических условиях применение жидкого чугуна может быть эффективно, так как позволит сократить длительность расплавления шихты, будет способствовать уменьшению расхода электроэнергии и обеспечивать существенное снижение затрат в сталеплавильном производстве.

Жидкий переделный чугун по сравнению с другими шихтовочными материалами обладает существенными преимуществами:

- отсутствие в чугуне нежелательных примесных элементов, таких как медь, олово, хром и никель, гарантирует постоянное и высокое качество производимой металлопродукции;
- высокое теплосодержание шихты;
- наличие "химической теплоты" углерода и кремния;
- уменьшаются затраты на вспенивание шлака вследствие окисления углерода находящегося в металлической ванне.

При использовании жидкого чугуна выделяется не только теплота окисления кремния, марганца и углерода, но и вносится его теплосодержание. Доменный жидкий чугун заливают в печь при 1150 - 1450°C. При этой температуре его теплосодержание составляет 223-272 кВт·ч/т, что обеспечивает ввод в печь при 1 % замены лома чугуном 2,48 кВт · ч/т. Химические реакции окисления кремния и марганца при 1 % чугуна в шихте дают 1,40 кВт · ч/т.

Расчеты показали, что при использовании 30-50 % жидкого чугуна на плавку удельный расход электроэнергии снижается на 23-44 %, а производительность печи увеличивается на 12-42 % (рисунок 1)

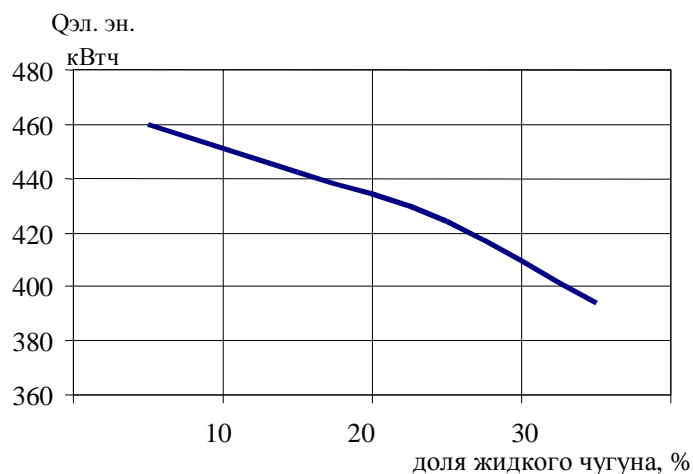


Рисунок 1 – Расход электроэнергии в зависимости от доли жидкого чугуна

Варьируя количеством жидкого чугуна и определяя время расплавления было установлено, что при современном уровне мощности трансформатора (80-95 МВ-А) и длительностях вспомогательного и технологического периодов по 10 мин продолжительность плавки в случае заливки 30 % чугуна уменьшится с 80 до 65 мин. Дальнейшее увеличения доли чугуна нецелесообразно. Так, при заливке 40 % и 50 % чугуна длительность плавки увеличится до 75 и 80 мин соответственно, что обусловлено усложнением технологического процесса.

Таким образом, использование чугуна в качестве шихтовочных материалов позволяет решить ряд проблем:

- частично решается проблема дефицита металлолома;
- снижается расход электроэнергии на плавку;
- снижается время работы печи под током на 10 - 15 минут;
- снижается общее время плавки за счет завалки в один прием;
- повышается срок службы огнеупорной футеровки за счет уменьшения времени горения дуг;
- снижается потребность в углеродсодержащих материалах для вспенивания шлака на 30 %;
- снижается расход электродов.

УДК 669

Расчет параметров процесса непрерывной разливки стали при непрерывном литье заготовок с использованием ЭВМ

Студент гр. 104134 Морозов Д.С.

Научный руководитель – Кабишов С.М., Рафальский И.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью настоящей работы является создание программного обеспечения, позволяющего получить расчетные данные для дальнейшего анализа параметров непрерывной разливки стали на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Расчет производится на основании математической модели совмещенного тепло-технологического процесса «затвердевание – охлаждение – нагрев». По полученным результатам расчета можно произвести многофакторный анализ влияния различных конструктивных и технологических параметров процесса непрерывной разливки на закономерности затвердевания заготовки, формирования и развития зон столбчатой (дендритной) и глобулярной (объемной) кристаллизации и сформулировать принципы, позволяющие управлять качеством непрерывно-литой заготовки. При работе программное обеспечение учитывает заданное множество начальных параметров и позволяет производить расчет для различных сечений кристаллизатора. Полученные данные являются точным решением задачи процесса охлаждения (путем изменения параметров α), которая позволяет минимизировать разность длины жидкой лунки и длины МНЛЗ до разгиба.

Решение: 33.2032696001

Расчет параметров процесса непрерывной разливки стали на МНЛЗ

Сечение кристаллизатора (м) Круг	Температура выхода С 1300	Скорость разливки 1.4
Диаметр кристаллизатора 0.2	Температура разливки С 1500	t_otn 0.5
	Температура поверхности С 1000	Теплоемкость металла 700
	Температура кристаллизации С 200	Плотность металла 7800
	Ликвидус 1460	Плотность жидкого металла 6900
	Солидус 1390	Сигма в н 3.5
	Температура среды 40	Лямбда п 60
	Температура на оси слитка 1500	C_pg 3.53
		Массовая плотность 1 7500
		Массовая плотность 2 7000
		Теплоемкость 1 710
		Теплоемкость 2 710
		Скрытая теплота кристаллизатора 272
		Био 1 0.9

Рис. 1 Вывод результата решения задачи процесса охлаждения

Литература

1. Разработка инженерных методов расчета режимов затвердевания и нагрева металла в условиях теплотехнического оборудования Белорусского металлургического завода / В.И. Тимошпольский, И.А. Трусова, Н.Л. Мандель, С.М. Кабишов // Совершенствование технологических процессов на БМЗ: Научно-технический сборник статей. Ч. 1. Сталеплавильное и прокатное производство. – Жлобин, 1994. – С. 56–65.
2. Способ расчета режимов затвердевания и охлаждения сортовых непрерывно-литых заготовок / В.И. Тимошпольский, М.Г. Пшоник, И.Н. Мелешко, И.А. Трусова, С.М. Кабишов. – М., 1998. – 1 с. – Деп. в ВИНТИ 03.02.1998, № 284-В98 // Инженерно-физический журнал. – 1998. – Т. 71, № 4. – С. 755.

**Порошковые и
композиционные
материалы, покрытия
и сварка**

Исследование микротвердости металлокерамических покрытий

Студентка гр. 104617 Руденская М.В.
Научный руководитель – Пантелеенко Ф.И.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Физико-механические и эксплуатационные свойства газотермических покрытий определяются их составом и структурой, зависящими, в свою очередь, от режимных параметров напыления и термообработки, от дисперсности и концентрации частиц упрочняющей фазы.

Цель работы состояла в изучении процессов взаимодействия частиц упрочняющей фазы с матричным сплавом в металлокерамических покрытиях с помощью микродюрOMETрического метода. Композиционные покрытия наносили плазменным методом на установке ВБ-15 с последующим оплавлением в печи. В качестве исходных материалов использовали механические смеси порошков диборида титана и самофлюсующегося сплава ПГ-10К-01 дисперсностью 40-100 мкм. Тугоплавкой составляющей металлокерамического покрытия был выбран TiB_2 , как наиболее индифферентный к самофлюсующемуся сплаву и полнее изученный в сравнении с CrB_2 и $(TiCr)B_2$.

Микроструктуру композиционных покрытий исследовали на микроскопе «Neophot-21»; микротвердость составляющих покрытие фаз оценивали на приборе ПМТ-3.

Металлографические исследования напыленных слоев свидетельствуют о высоком качестве покрытий, так как их пористость составляет 4-8 % в зависимости от состава, на границе раздела отсутствуют трещины и поры; наличие прослойки нетравящегося γ -твердого раствора никеля в железе является показателем хорошего сплавления материала покрытия с основным металлом.

МикродюрOMETрические исследования составляющих покрытие компонентов проводили следующим образом:

- изучали распределение микротвердости по поперечному сечению образцов от стальной подложки до свободной поверхности напыленного слоя;
- измеряли микротвердость отдельных фаз: матричного сплава – стеллита с переходом от зоны, расположенной вблизи тугоплавкой частицы, в объем покрытия; основной части стеллита и тугоплавких включений.

Сравнительный анализ распределения микротвердости различных составов покрытий свидетельствует о возрастании значений микротвердости в стали вблизи границы раздела с напыленным слоем, непосредственно границы раздела покрытие – сталь и во всем объеме напыленного слоя.

Из анализа зависимостей средних значений микротвердости от состава напыленного слоя следует, что микротвердость стеллита – матричного сплава возрастает при увеличении содержания диборида титана в напыленном слое, что можно объяснить диффузионными процессами в системе TiB_2 – стеллит. Аналогичная зависимость (до 50 % TiB_2) наблюдается при изменении микротвердости стеллита вблизи тугоплавких частиц диборида титана; после 50 % TiB_2 микротвердость этой зоны не изменяется. Полученные микродюрOMETрические данные с зон, прилегающих к зернам TiB_2 , свидетельствуют также о диффузионных процессах в рассматриваемой системе (возможно формирование эвтектики на базе диборида титана).

Необычное изменение (с экстремальной зависимостью) микротвердости частиц диборида титана в покрытиях получено также при увеличении их содержания. Экстремум соответствует составу покрытия, содержащего 40 % частиц упрочняющей фазы.

Таким образом, с помощью микродюрOMETрического метода выявлены и изучены особенности изменения микротвердости частиц упрочняющей фазы - TiB_2 с самофлюсующимся сплавом и покрытия с материалом подложки в процессе оплавления в зависимости от состава металлокерамической системы.

УДК 621.81.004.67

Модернизация оборудования для обработки дробью

Студент гр. 104614 Онащенко Ф.Е., Алешкевич Е.Л.
Научные руководители – Горанский Г.Г., Саранцев В.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Работа посвящена решению актуальной задачи модернизации оборудования для обработки деталей дробью, за счет присоединения разработанных комплексов: «Напорный узел» и «Дробеметная турбина». Данное решение направлено на повышение производительности и экономии энергоресурсов при обработке деталей дробью.

Введение. Обработка дробью — один из наиболее эффективных и распространенных технологических методов повышения выносливости и износостойкости деталей поверхностная пластическая деформация (ППД) [1]. Главной особенностью этого метода является его универсальность. ППД можно обрабатывать любые сложные поверхности, например такие, как зубья шестерен, витые пружины, рессоры, лопатки компрессора и т.п. После обработки дробью повышается срок службы детали и создается возможность повышения ресурса всего изделия, или при том же ресурсе можно в 1,5 и более раз повысить несущую способность (выносливость), обеспечить конструктору право или повысить мощность изготавливаемого оборудования, или снизить металлоемкость данной детали [2].

Постановка задач и способы их решения. В машиностроении наибольшее распространение получили абразивно-пневматический (дробеструйный) и абразивно-центробежный (дробеметный) способы обработки, использующие сухую дробь. При использовании дроби с СОЖ существуют гидродробеструйная, гидродробеметная, упрочнение микрошариками.

В дробеметных установках абразив приобретает требуемую скорость в аппаратах метательного (роторного) типа, а в дробеструйных установках — в аппаратах струйного типа, использующих энергию сжатого воздуха. Каждый из этих методов имеют свои достоинства и недостатки. Дробеметная обработка более производительна в 5,5 раз при одинаковых габаритах дробеметной и дробеструйной установок и экономичнее в 10 раз при расчете расходуемой энергии (кВт) на массу дроби (кг) по отношению к дробеструйной обработке [3]. В дробеметных установках под действием центробежной силы дробь вылетает из корпуса турбины в сторону обрабатываемой детали. Скорость вращения турбин достигает $3000 \div 5000$ об/мин, диаметр колеса турбины может достигать 500 мм. Скорость вылета дроби из турбины составляет 70-80 м/с, а масса дроби выбрасываемой дробеметным аппаратом может достигать $50 \div 900$ кг/мин.

Дробеметные аппараты не требуют участия оператора в процессе очистки, т.к. являются автоматами. К достоинствам дробеструйной очистки по сравнению с дробеметной можно отнести: относительную простоту и более высокую эксплуатационную гибкость оборудования. Эти достоинства во многих случаях оказываются решающими, в особенности для мелких и средних цехов с небольшим годовым объемом производства. Высокопроизводительные дробеметные установки в таких цехах либо экономически себя не оправдывают вследствие низкого коэффициента загрузки, либо вообще не могут быть использованы из-за недостатка производственных площадей [3].

При обработке струйно-абразивным (дробеструйным) способом деталей используются аппараты двух систем: инжекционной (всасывающей) и напорной (нагнетающей) [4], использующих энергию сжатого воздуха для придания кинетической энергии абразиву. При обработке с использованием инжекционных аппаратов производительность обработки в основном зависит от мощности используемого компрессора, т.к. абразив засасывается и разгоняется за счет скорости истечения воздуха из инжектора. Скорость истечения абразиво-воздушной смеси на выходе из сопла может достигать 40 м/с, а производительность до $2-3$ м²/час. Для повышения производительности обработки была разработана система с двойной инжекцией, заключающаяся в использовании двухстадийного ускорения абразива (на выходе из бункера и в пистолете). При такой системе абразив приобретает скорость до $50-60$ м/с, а производительность до $4-6$ м²/час.

При необходимости очистки деталей с большей производительностью, например, кузовные детали автомобилей, ж/д вагонов и др. корпусных деталей используют установки с напорной (нагнетающей) системой. В напорной системе абразив приобретает скорость до 120 м/с, а производительность достигает до $12-30$ м²/час.

Проведенный анализ состояния в Республике Беларусь позволил установить, что на большинстве небольших предприятий имеется дробеструйное оборудование изготовленное 20-40 лет назад и зачастую инжекционной системы. Для модернизации устарелого оборудования в целях экономии энергоресурсов и увеличения производительности обработки деталей дробью были спроектированы и изготовлены комплекты «Напорный узел» и «Дробеметная турбина». Присоединяя данные комплекты к устарелому оборудованию появилась возможность модернизации существующих кабин.

В комплект «Напорный узел» входит: емкость с дробью находящейся под давлением сжатого воздуха, а также система дистанционного управления подачи дроби. Подсоединять данный комплект можно как непосредственно к самой камере, так и устанавливая рядом с ней.

В комплект «Дробеметная турбина» входит турбина, система подъема и хранения дроби. Если в качестве системы подъема дроби использовать шнек или элеватор, то можно проводить обработку дробью только за счет использования электрической энергии. Такое решение позволяет исключить использование сжатого воздуха для получения которого используется дорогостоящее компрессорное оборудование.

Заключение. Подключение комплектов «Напорный узел» или «Дробеметная турбина» позволяет модернизировать устарелое дробеструйное оборудование и повысить тем самым производительность и качество обработки, а также снизить энергозатраты при работе данного оборудования.

Литература

1. Петросов, В.В. Повышение долговечности и надежности деталей гидродробеструйной обработкой / В.В. Петросов // Вестник машиностроения. – 1977. - № 4. – с. 60;

2. Петросов В.В. Гидродробеструйное упрочнение деталей и инструмента. Москва: Машиностроение. – 1977. – 165 с.

3. Девкин, М.М., Севастьянов Н.Д. Очистка поверхностей деталей металлическим песком / М.М. Девкин – Москва: «Машиностроение». – 1968. – 67 с.

4. Горанский, Г.Г., Толстяк, Э.Н., Саранцев, В.В. Разработка технологий и оборудования для подготовки поверхности в УП "Технопарк БНТУ "Метолит" / Г.Г. Горанский, Э.Н. Толстяк, В.В. Саранцев // Литье и металлургия – 2006. - №1. – С. 165-169.

УДК 621.791

Особенности проведения физико-механических испытаний сварных соединений в соответствии с требованиями европейских и международных норм

Студенты гр.104815 Жемойта А.В., Юревич С.В.
Научный руководитель - Писарев В.А.
Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Целью настоящей работы является анализ действующих национальных стандартов в виде СТБ ЕН и СТБ ИСО, касающихся физико-механических испытаний сварных соединений (испытание на статическое растяжение, испытание на статический изгиб, испытание на ударный изгиб, замер твердости) для их адаптации и внедрения в практику производственной деятельности испытательных лабораторий.

В настоящее время одной из основных задач решаемых государственными органами в рамках создания условий для вхождения Республики Беларусь в ВТО (Всемирная Торговая Организация) является разработка нормативной базы национальных стандартов, аутентичных европейским и международным нормам. Данные работы проводятся в различных направлениях и, в первую очередь, касаются стандартов, являющихся ссылочными к директивам Евросоюза. На базе данных директив, обеспечивающих безопасную эксплуатацию различных объектов, проводится унификация технических требований и разрабатывается широкий спектр законодательных актов в виде Технических регламентов Республики Беларусь. Основные Технические регламенты в области промышленной безопасности базируются на Директиве 87/404/ЕС «Сосуды, работающие под давлением» и Директиве 97/23/ЕС «Оборудование, работающее под давлением». В данных нормах значительное место уделено регламентации требований к контролю и испытаниям сварных конструкций, в частности физико-механическим испытаниям сварных соединений. В процессе исследовательской работы произведен анализ действующих в Республике Беларусь стандартов, затрагивающих вопросы таких испытаний, а именно: СТБ ЕН 895-2002 «Испытание металла сварного соединения на растяжение на образцах, вырезанных поперек шва»; СТБ ЕН 910-2002 «Испытание сварного соединения на статический изгиб»; СТБ ЕН 875-2002 «Испытание сварного соединения на ударный изгиб»; СТБ ИСО 9015-1-2003 «Испытание на твердость металла сварного соединения. Часть 1. Определение твердости различных участков сварного соединения, выполненного дуговой сваркой».

1. СТБ ЕН 895-2002

1.1 Область применения

Стандарт регламентирует требования к методике проведения испытаний на растяжение, выполненных на образцах, вырезанных поперек сварного шва (для стыковых соединений) с целью определения временного сопротивления разрыву и места разрушения образца (по сварному шву, по зоне термического влияния, по основному металлу).

1.2 Область распространения

Металлические материалы в любом состоянии поставки, соединение которых выполнено сваркой плавлением. Испытания не пригодны для определения предела текучести и относительного удлинения сварного соединения и металла шва. При отсутствии требований, необходимых для проведения испытаний, следует руководствоваться ЕН 10002-1 «Испытание на растяжение металлических материалов. Метод испытания при комнатной температуре».

2. СТБ ЕН 910-2002

2.1 Область применения

Стандарт регламентирует требования к проведению испытаний на статический изгиб на образцах вырезанных: поперек сварного шва (для стыковых соединений); продольно оси сварного шва; из наплавленного металла шва.

Образцы, вырезанные продольно оси сварного шва, могут быть применены вместо испытаний образцов, вырезанных поперек шва, для гетерогенных соединений при значительных отклонениях химических и механических свойств основных и/или сварочных материалов.

2.2 Область распространения

Свариваемые металлы - без ограничения.

Способ сварки – сварка плавлением, без ограничения.

Вид конструкции - без ограничения.

3. СТБ ЕН 875-2002

3.1 Область применения

Стандарт устанавливает требования к условному обозначению образцов, используемых для определения ударной вязкости, месту расположения и ориентации надрезов (концентраторов напряжений), и оформлению результатов испытаний.

3.2 Область распространения

Требования стандарта распространяются на стыковые сварные соединения, выполненные любым способом сварки из любых металлических материалов.

4. СТБ ИСО 9015-1-2003

4.1 Область применения

Стандарт устанавливает требования к испытанию на твердость различных участков металла сварного соединения, выполненного дуговой сваркой на образцах, вырезанных поперек сварного соединения.

4.2 Область распространения

Стандарт распространяется на измерение твердости по Виккерсу в соответствии с ISO 6507-1 для нагрузок 49.03 Н или 98.07 Н (HV 5 или HV10). Кроме того, требования стандарта могут быть применены к измерению твердости по Бринеллю (для соответствующих нагрузок) по ISO 6506-1 и измерению микротвердости в соответствии с ISO 6507-1 и ISO 9015-2.

5. Заключение

Анализ приведенных выше стандартов показывает, что информация, касающаяся общих требований к проведению основных физико-механических испытаний сварных соединений в соответствии с европейскими и международными нормами, может быть без значительных затруднений использована специалистами испытательных лабораторий. При этом следует отметить некоторые особенности:

- в СТБ ЕН 895-2002, СТБ ЕН 875-2002 и СТБ ИСО 9015-1-2003 имеются ссылки на европейские и международные стандарты, не введенные в Республике Беларусь в виде аутентичных переводов. Эти стандарты в основном затрагивают вопросы аналогичных испытаний основного металла. Для полной информации необходимо иметь и провести анализ, как минимум, оригинальных версий соответствующих документов. Стандарты ISO 6507-1 и ISO 6506-1 введены в Республике Беларусь в виде СТБ ИСО 6507-1-2007 и СТБ ИСО 6506-1-2007.

- в версии ISO 6506-1-2005 введено новое обозначение твердости по Бринеллю – HBW, в старых версиях указано обозначение – HB или HBS;

- данные нормы не регламентируют требования к проведению механических испытаний на сплющивание, что затруднит оценку пластичности сварных соединений труб малых диаметров.

Изложенная в данном сообщении информация, является первой частью вопросов по адаптации требований европейских и международных норм к условиям действующих испытательных лабораторий. В настоящее время проводится сравнительный анализ национальных и зарубежных стандартов в области физико-механических испытаний сварных соединений и планируется публикация данной информации в ближайшей перспективе

УДК 621.81

Исследование структуры и свойств порошковых инфильтрированных композиционных материалов на основе железа

Студентка гр.104613 Жданова А.А.

Научный руководитель – Дьячкова Л.Н., Керженцева Л.Ф.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью работы явилось исследование структуры и свойств композиционных инфильтрированных материалов на основе железа и технологии изготовления из них деталей аксиально-поршневых насосов «шаровая опора».

Для выполнения поставленной цели решались следующие задачи:

- исследовать влияние состава стальной основы и исходной пористости на структуру инфильтрированных материалов,

- исследовать механические свойства композиционных порошковых инфильтрированных материалов;

- разработать технологию изготовления деталей «шаровая опора» из композиционного инфильтрированного материала.

Научно-технический прогресс в различных отраслях народного хозяйства требует создания конструкционных материалов, способных улучшить параметры изделий, повысить их надежность и долговечность, а также снизить материалоемкость. Проблема чрезвычайно остро встает перед странами с ограниченными сырьевыми ресурсами, к которым относится Республика Беларусь. Неограниченными

перспективами в достижении необходимого комплекса свойств обладают композиционные порошковые инфильтрированные материалы на основе железа, сочетающие в себе прочную, вязкую основу и наполнитель с повышенными теплотехническими свойствами. Инфильтрированные материалы на основе порошковых сталей нашли применение для деталей узлов трения, в частности, шкворня передней подвески автомобиля МАЗ, деталей роторной группы аксиально-поршневых насосов и др., стеклоформирующего инструмента, конструкционных деталей.

Метод пропитки для получения материалов и изделий из порошков имеет ряд преимуществ перед другими методами порошковой металлургии: получение практически беспористых материалов, сочетание свойств, которые невозможно получить традиционной металлургией, пониженная мощность прессового оборудования, так как заготовки под пропитку имеют, как правило, плотность не выше 85 – 87 %.

В работе исследовали влияние дисперсности железного порошка, применяемого для получения каркаса, на свойства инфильтрированного материала. Железный порошок рассеивали по фракциям и использовали фракции со средним размером частиц 45, 80 и 160 мкм. Образцы из железа с добавкой меди 2,5 % прессовали до плотности 75 и 85 %. Медь в количестве 2,5 % в виде порошка ПМС-1 вводится для исключения эрозии границ зерен железа при пропитке. Кроме того, в качестве каркаса для инфильтрированных материалов использовали углеродистые порошковые стали плотностью 75 и 85 %, для получения которых использовали железный порошок со средним размером частиц 160 мкм. Графит в порошковую сталь вводили в количестве 0,5; 1 и 2 % в виде порошка карандашного графита марки ГК-2. Для повышения триботехнических свойств инфильтрированного материала вводили твердые смазки - дисульфид молибдена - 0,5 %, свинец марки ПС-1 – 6 %. Пропитку осуществляли сплавами на основе меди с добавкой 5 % олова.

Шихту порошковой стали получали смешиванием исходных компонентов: железа, меди, графита в необходимом количестве, цинка стеариновокислового в количестве 1%. Спекание проводили при температуре 1000-1100 °С, инфильтрацию – 1080 °С в защитно-восстановительной атмосфере эндогаза в проходной печи.

Исследование плотности порошкового материала – Fe +0,5-2 % Gr + 2,5 % Cu показало, что дисперсность оказывает существенное влияние. При спекании значимых объемных изменений не происходит, независимо от содержания вводимого графита. Повышение плотности прессовки с 75 до 85% приводит к незначительному росту образцов при спекании. Уменьшение среднего размера частиц железного порошка со 160 до 45 мкм вызывает рост образцов из материала Fe+0,5+2,5 % Cu и, соответственно, уменьшение плотности с 6,55 до 6,38 г/см³. Доуплотнение спеченных образцов из материалов с содержанием графита 0,5–2 % позволяет повысить их плотность с 5,7 - 6,3 до 6,4 - 7,2 г/см³, причем, материал с исходным размером частиц 160 мкм уплотняется в большей степени. Пропитка спеченного и неспеченного материала с различным содержанием графита позволяет существенно повысить его плотность – до 7,3-7,4 г/см³, при пропитке неспеченного материала плотность материала выше. Объясняется это большим содержанием меди, так как в процессе пропитки неспеченного материала, в котором не происходили процессы перекристаллизации и отсутствуют сформированные границы между частицами железа, происходит разьединение частиц железа.

Исследование влияния содержания графита в материале проводили на спеченных и инфильтрированных образцах. В спеченном состоянии оптимальным содержанием графита является 1%.

Структура инфильтрированного материала определяется составом основы и составом инфильтрата, а также дисперсностью железной основы, материал с дисперсностью железа 60 мкм имеет более мелкозернистую структуру.

При пропитке бронзой границы стальных участков приобретают округлую форму и более сглажены. Кроме того, поскольку пропитка бронзой осуществлялась при меньшей температуре, чем медьсодержащей шихтой, уменьшается размывание границ стального каркаса и, соответственно, уменьшается содержание непрерывной медной фазы.

Пропитка порошковых сталей смесью медь-свинец приводит к появлению в структуре инфильтрированного материала неоднородных по размеру частиц свинца неравномерно распределенных по объему материала.

Распределение серы в структуре инфильтрированного материала достаточно однородное, сера, взаимодействуя как с железной основой, так и медной фазой, образует сульфиды железа и меди, металлографически они хорошо идентифицируются, так как при травлении приобретают различную окраску.

Для улучшения триботехнических свойств инфильтрированных материалов на основе среднеуглеродистой стали в стальной каркас вводили добавки твердых смазок – дисульфид молибдена, свинец, фосфор, нитрид бора.

Исследование триботехнических свойств инфильтрированных материалов показало, что они обладают достаточно высокой износостойкостью в тяжелых условиях износа.

В отличие от компактных материалов, в которых имеет место прямая зависимость твердости и износостойкости, в инфильтрованных материалах такая зависимость не прослеживается.

В инфильтрированных материалах с добавкой твердой смазки в виде дисульфида молибдена процесс износа замедляется, так как частицы дисульфида молибдена, будучи твердыми включениями, препятствуют изнашиванию основы материала.

УДК 621.762.

Композиционные плакированные порошки

Студент гр. 104613 Пискунович И.С., Анищенко И.В.
Научные руководители – Григорьев С.В., Микуцкий В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Современная технология и оборудование для газотермического напыления зачастую не дают возможности получать высококачественные покрытия напылением смесей порошков, имеющих различные температуру плавления, плотность и т.д. Поэтому в последнее время стало развиваться новое направление – газотермическое напыление композиционных порошков, представляющих собой не механические смеси, а интегрированные комплексы исходных компонентов в каждой порошковой частице.

Композиционный порошковый материал - это порошок сложного состава, у которого каждая гранулометрически самостоятельная частица состоит из макрообъемов нескольких компонентов, отличающихся по химическому составу, и идентична по качественному составу всем остальным частицам.

Конструкции частиц композиционного порошка обусловлены способом их получения и разделяются на две группы (класса): плакированные и конгломерированные частицы. Кроме того, можно рассматривать частицу, полученную с применением двух указанных способов.

Композиционные порошки при напылении обеспечивают достижение следующих основных преимуществ по сравнению с напылением механических смесей: защиту основного материала ядра частицы от взаимодействия с газовой струей (WC-Ni, алмаз-Ni, Ti-Ni); получение гетерогенных мелкодисперсных структур с равномерным распределением компонентов в покрытии $Al_2O_3 - Ni$, $Al-ZrO_2$, WC-BN-Ni; экзотермическое взаимодействие, способствующее нагреву порошка и улучшению условий формирования покрытий (Ni-Al, Ti-Si₃N₄, Al-NiO); образование принципиально новых фазовых и структурных составляющих из диссоциируемых материалов (NiMo-Fe₃O₄, W-CuO); образование покрытий из материалов, самостоятельно не формируемых покрытий (графит-Ni, алмаз-Ni, Cu-SiC); повышение прочности капсулированных порошков (WC-BN-Ni, Al-WO₃-Ni); повышение плотности (MgO-Ni), теплопроводности (Al-Al₂O₃, ZrO₂-Cu), текучести порошков; повышение коэффициента использования порошка; расширение номенклатуры порошков.

Карбонильный метод плакирования вызывает интерес благодаря ряду значительных преимуществ по сравнению с другими процессами получения металлических осадков. К числу этих преимуществ следует отнести: низкую температуру процесса и, следовательно, возможность карбонильной металлизации материалов с низкой температурой разложения, вплоть до отдельных типов пластмасс; высокую скорость процесса металлизации (5-10 мкм/мин, что в 5-10 раз выше скорости металлизации при электролизе); возможность полной автоматизации процесса осаждения металла из карбонильной газовой фазы; высокое качество металлических слоев со значительно меньшей пористостью по сравнению с другими способами металлизации; отсутствие в процессе агрессивных газов, корродирующих аппаратуру; отсутствие жидкой фазы, что исключает необходимость таких вспомогательных операций, как фильтрация и сушка готового продукта, регенерация растворов и т. д.; возможность осуществления экологически замкнутого процесса и полностью безотходного производства.

Так же существуют и другие методы плакирования порошков: электролитический метод, контактное никелирование, металлизация порошкообразных материалов при восстановлении галогенидов водородом, а так же метод химического восстановления. Химическое восстановление металлов является автокаталитической реакцией, то есть металлическая пленка, образовавшаяся в начальный период, катализирует дальнейшую реакцию восстановления этого же металла. Но для начала процесса восстановления необходимо, чтобы покрываемая поверхность проявляла каталитические свойства по отношению к этой реакции. Не все металлы обладают способностью инициировать реакцию восстановления другого металла. Для придания поверхности каталитической активности ее подвергают специальной обработке – активации.

В настоящее время для процессов активации поверхности под химическое восстановление наиболее универсальным и доступным является химический способ активации поверхности, заключающийся в том, что на обрабатываемую поверхность частиц порошка химическим путем наносят чрезвычайно малые количества металла-катализатора. Такими катализаторами являются коллоидные частицы или малорастворимые соединения палладия, платины, золота, серебра.

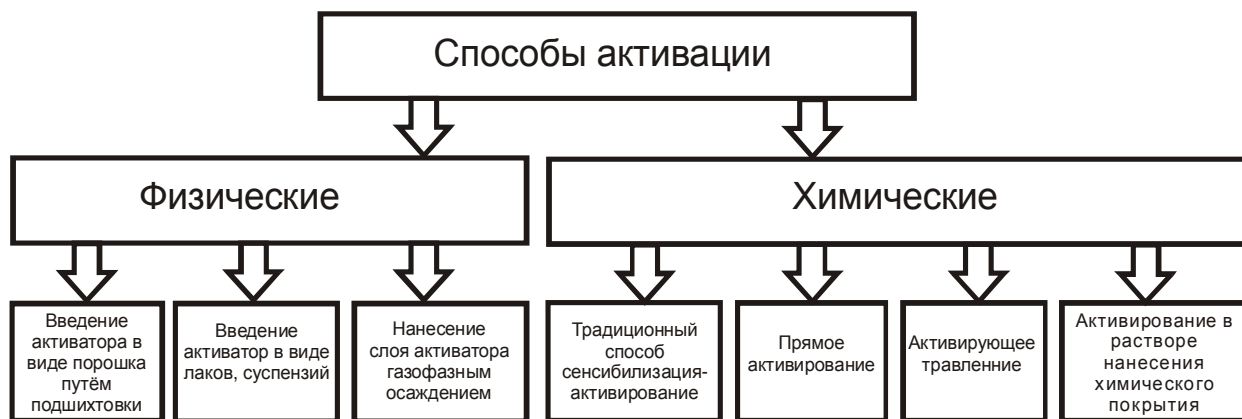


Рисунок 1-Способы активации порошков для процессов их металлизации методом химического восстановления

Образование каталитически активного металлического слоя, находящегося в коллоидном состоянии осуществляется в две стадии:

- 1) Сенсibilизирование – нанесение на обрабатываемую поверхность соединений, способных восстанавливать каталитически активный металл (палладий) из раствора его соли;
- 2) Активирование – погружение в раствор соли металла-катализатора предварительно сенсibilизированной поверхности с целью его восстановления на данной поверхности до металлического состояния.

В настоящее время процесс химического никелирования широко известен в гальванотехнике, находит применения в машиностроении и приборостроении. Химическое никелирование применяется для покрытия изделий сложного профиля (с глубокими каналами и глухими отверстиями), для повышения износостойкости трущихся поверхностей, для повышения коррозионной стойкости в агрессивных средах, для покрытия диэлектриков (стекла, пластмасс, керамики), а также для получения лакирующего слоя на порошковых материалах. Химическое никелирование является одним из способов получения композиционных порошков, которые находят применение в процессах порошковой металлургии и напыления покрытий.

УДК 621.762: 621.793

Лазерные наплавленные покрытия из борированных отходов чугуна

Магистрант Пантелеенко А.Ф.
 Научный руководитель – Девойно О.Г.
 Белорусский национальный технический университет
 г.Минск.

В настоящее время приоритетным направлением исследования в науке становятся ресурсо- и энергосберегающие технологии. Перспективным является применение чугунных и стальных самофлюсующихся порошков, изготовленных из отходов отечественного производства. Существуют различные способы нанесения покрытий из порошков. В данной работе была применена технология лазерной наплавки. Прогнозируется, что в будущем лазерные технологии получат более широкое распространение, так как они способны решать специфические проблемы и задачи в различных сферах. Лазерная наплавка может быть успешно использована при ремонтно-восстановительных работах локально изношенных участков деталей благодаря высоким механическим свойствам покрытий и отсутствию деформаций. В отличие от других способов поверхностного упрочнения, при лазерной наплавке термическому воздействию подвергается лишь небольшая часть основного материала, что ведет к небольшому расходу тепловой энергии (по сравнению с термической обработкой всего изделия).

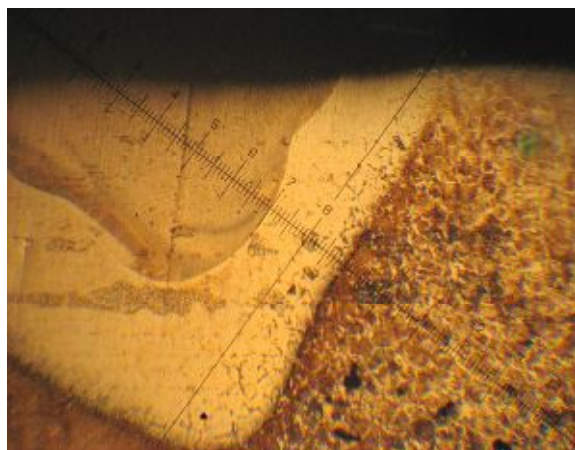
Целью данной работы является получение лазерных покрытий из борированных отходов чугунных порошков, исследование закономерностей их образования, изучение микроструктуры и физико-механических свойств образцов.

Борирование исходного чугунного порошка дисперсностью 100 – 160 мкм производилось в среде карбида бора в соотношении 1:4, с добавлением активатора AlF_3 (1%) в металлическом контейнере из жаростойкой стали 12Х18Н10Т, применялся плавкий затвор. Химико-термическая обработка порошка производилась при температуре 900°C в течение 1,2,3 часов

Покрытия формировали на прямоугольных пластинах из стали 45. Наплавка производилась на лазерной установке Комета -2. Параметры лазерной наплавки: мощность – 1,2 кВт; диаметр лазерного луча – 1...3 мм, скорость подачи стола – 50... 250 мм/мин. Наплавка проводилась при сфокусированном и не-

сфокусированном лазерном луче. Микроструктуру изучали на металлографическом микроскопе Альтами при увеличениях 100 – 400 раз. Микротвердость наплавленного покрытия измеряли на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 100г.

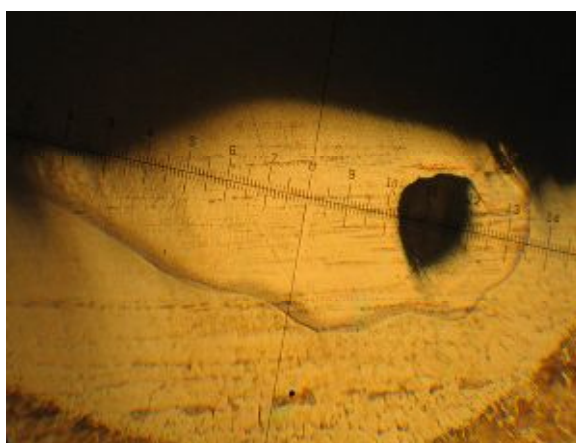
На рис.1 а), б) представлены структуры, характерные для лазерной наплавки. При больших скоростях лазерной наплавки в покрытии образовывались несплошности: рис.1 в). Наплавленные валики имеют ярко выраженное дендритное строение с включениями боридов, затем следует переходная зона (ЗТВ), и основной металл. Микротвердость зон наплавленного покрытия следующая: наплавленный материал (7070...10640 МПа); ЗТВ (2850...7920 МПа); основной металл (1510...2330 МПа). Следует отметить, что микротвердость наплавленного покрытия уменьшается по мере уменьшения содержания В в исходном порошке.



а)



б)



в)

Рис.1. Структура наплавленных валиков.

Изученные образцы обладают хорошими физико-механическими свойствами, что позволяет сделать вывод о целесообразности применения борированных отходов порошка для получения покрытий методом лазерной наплавки.

Литература

1. Григорьянц А. Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1989.–304 с.: ил.
2. Пантелеенко Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно–легированные порошки на железной основе и защитные покрытия из них. — Мн.:УП “Технопринт”, 2001.– 299с.:–ISBN

**Получение огнеупорных материалов в режиме самораспространяющегося
высокотемпературного синтеза**

Студент гр. 104615 Букато Н.Ю.
Научные руководители – Волочко А.Т., Саранцев В.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Цель работы. Выбор состава и способа получения огнеупорного материала из минерального сырья для изготовления и ремонта тепловых агрегатов металлургического производства.

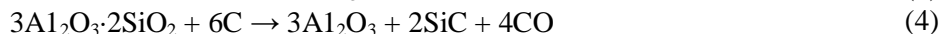
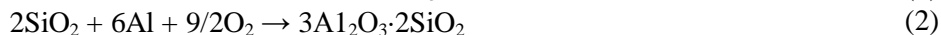
Введение. В качестве огнеупоров обычно принято считать строительный материал на оксидной основе с температурой плавления выше 1500 °С. Огнеупоры являются необходимой составной частью металлургических печей и широко используются в стройиндустрии, химической технологии и других областях [1-4].

Состав огнеупорных материалов обычно включает в себя порошкообразный огнеупор с различным размером зерна (0,5-3 мм) и водный раствор связующего, а также пластификаторы. В зависимости от цели применения огнеупором может являться диоксид кремния (содержание SiO₂ – до 93%, температура применения до 1550 °С), шамот и муллиты (соединения системы Al₂O₃ – SiO₂) до 1750 °С, корунд (Al₂O₃) до 1950 °С, а также цирконовый концентрат ZrO₂ – до 2000 °С, и некоторые другие огнеупорные материалы либо их комбинации [5]. В роли связующего могут выступать растворы жидкого стекла, фосфорнокислого натрия, фосфорной кислоты и солей некоторых металлов. Для придания пластичности и удержания в смеси воды при кладке в мертельный раствор добавляют пластификатор – раствор сульфитно-спиртовой барды и соды или метилцеллюлозы.

В современных условиях при производстве изделий следует стремиться к всемерной экономии на всех стадиях изготовления и использования продукции, широкому внедрению энерго- и ресурсосберегающих технологий.

Из большого количества используемых на данный момент огнеупорных материалов наиболее распространенным являются муллиты общего состава xSiO₂-yAl₂O₃, с массовым содержанием муллитовых форм на уровне 61-72 % [6]. На данный момент существует возможность получения таких составов в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), или синтеза сжиганием [7]. Это явление, открытое в 1967 г., получило распространение за счет возможности экономии энергии при синтезе ценных продуктов в режиме «твердопламенного горения» [8-9]. В волне СВС выделяют зону прогрева, где температура шихты повышается от исходной до точки начала взаимодействия, зону быстрой термической реакции и зону догорания.

Постановка задачи и способ ее решения. С практической точки зрения с целью получения разнообразных продуктов строительного назначения особое предпочтение получают смесевые СВС системы, содержащие в своем составе диоксид кремния (SiO₂), поскольку это вещество составляет основу большинства природных материалов и отходов стройиндустрии. В зависимости от назначения и условий работы огнеупорных материалов, а также возможности проведения синтеза в режиме СВС необходимо обоснованно выбирать состав исходных компонентов. Осуществить синтез горением в смеси, содержащей диоксид кремния, алюминий и сажу, можно в зависимости от массового соотношения исходных реагентов, размеров частиц, а также условий проведения горения, по схемам:



Конечными продуктами горения согласно формулам 1-4 могут быть: муллитовые формы, оксид алюминия – корунд (твердость по шкале Роквелла – около 90 HRC) и твердые зерна карбида кремния, образовавшиеся во время горения при взаимодействии соответствующих компонентов. Карбид кремния повышает эрозионную и коррозионную стойкость композита в условиях его работы при высоких температурах и воздействии коррозионных сред. Также, зерна карбида кремния обладают высокой твердостью – около 30000 ГПа. Карбидокремниевые огнеупоры имеют сравнительно высокую электро- и теплопроводность, термостойкость и стойкость к абразивному воздействию. Они не смачиваются цветными металлами, обладают высокой механической прочностью в холодном и нагретом состоянии, стойки в кислых шлаках. Эти свойства, а так же то, что они не взаимодействуют при нагревании с огнеупорами алюмосиликатной группы, делает карбидокремниевые огнеупоры перспективными для получения различных композиционных материалов для металлургии, в том числе и с использованием метода СВС.

Мольное соотношение $\text{SiO}_2/\text{Al}/\text{C}$ было выбрано для 3-х компонентной системы и показано в таблице.

Таблица – Составы смесей

Номер состава	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Компонент	Содержание, %											
SiO_2	30	40	50	60	30	40	50	30	40	50	70	50
Al	60	50	40	30	50	40	30	40	30	20	30	50
C	10	10	10	10	20	20	20	30	30	30	0	0

Результаты и их обсуждение. При выполнении данной исследовательской работы было установлено, что различная стехиометрия исходного порошкового состава влияет на свойства конечного изделия. Так, введение сажи в количестве более 20 % резко снижает механическую прочность образцов и степень кристаллизации фаз, что подтверждается данными рентгенофазового анализа. Применение в качестве источника SiO_2 дешевого молотого кварцевого песка возможно при синтезе материала для последующего его использования в производстве как огнеупорных изделий (например, тиглей) так и фильтрующих элементов (например, фильтров для очистки воды). Также следует отметить, что введение замедлителей реакции синтеза (для предотвращения растрескивания изделий) и варьирование других технологических параметров проведения СВС-процесса в системе, включающей кварцевый песок, позволяет получать вышеназванные изделия при прямом СВС.

Для применения в качестве кладочных растворов и обмазок при изготовлении или проведении ремонта тепловых агрегатов металлургического и коксохимического производства, наиболее подходящей является смесь компонентов в весовом соотношении $\text{SiO}_2/\text{Al}/\text{C}=5/3/1$. Уникальным свойством этого состава обмазок является прочное сваривание кирпичных кладок в монолитную конструкцию за счет химических реакций в материале, протекающих с большим тепловыделением. Образующиеся швы по химическому составу, физико-механическим и теплотехническим свойствам близки к характеристикам материала кирпичей, используемых для футеровки печей.

Огнеупорную защитную обмазку полости печи целесообразно выполнять с использованием состава, в котором увеличено содержание сажи например, при весовом соотношении $\text{SiO}_2/\text{Al}/\text{C}=5/3/2$.

Для производства композиционного керамического материала и изделий наиболее целесообразно применение материала с содержанием алюминия 50 %, кремнезема 40 % и сажи 10 %. Данный состав после завершения СВС-процесса дает материал, обладающий следующими характеристиками: плотность 2341 кг/м^3 , общая пористость 61,3 %, прочность при сжатии 35 – 40 МПа; фазовый состав представлен корундом, карбидом кремния и муллитом.

Заключение. Результаты проведенных исследований показали высокую эффективность применения СВС для получения керамических материалов на основе карбида кремния и оксида алюминия. В работе был выбран начальный состав СВС-реагентов в зависимости от назначения (шов при кладке, огнеупорная защитная обмазка, тигли, фильтрующие элементы).

Литература

1. Гурова М.П., Деревяченко Л.Ф., Карклит А.К. и др. Огнеупорные изделия, материалы и сырье. Справочник. М.: Металлургия, 1977.
2. Огнеупоры. Технология строительства и ремонта печей. Пер. с японск. М.: Металлургия, 1980.
3. Стрелов К.К. Структура и свойства огнеупоров. М.: Металлургия, 1982.
4. Балкевич В.Л. Техническая керамика. Учебн. пособие для ВТУЗов. М.: Стройиздат, 1984. - 256 с.
5. Огнеупорные изделия, материалы, и сырье. Справочник / Под ред. А.К. Карклита. М.: Металлургия, 1991.
6. Пористый огнеупорный материал: пат. 10358 Респ. Беларусь, МПК С 04В 35/66: 35/65: 38/02 / Е.М. Дятлова, Е.С. Какошко, В.В. Саранцев и др. заявитель БГТУ. – №20060979; заявл. 05.10.06; опубл. 22.11.07 // Афіцый-ны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007.
7. Разработка новых энерго- и ресурсосберегающих технологий и оборудования для получения керамических материалов и изделий на их основе / О.П. Реут, Л.С. Богинский, В.В. Саранцев, А.Ю. Повстяной // Огнеупоры и техническая керамика. – 2006. – № 4. – С. 26 – 34.
8. Богинский, Л.С. Применение самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для получения огнеупорных материалов на основе SiC и Al_2O_3 . Ч. 1. Разработка методик исследования / Л.С. Богинский, Е.М. Дятлова, В.В. Саранцев // Огнеупоры и техническая керамика. – 2006. – № 7. – С. 4 – 8.
9. Применение самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для получения огнеупорных материалов и изделий на основе SiC и Al_2O_3 . Ч. 2. Результаты исследований и их обсуждение; Ч. 3. Рекомендации по применению огнеупорных материалов на основе SiC и Al_2O_3 / Б.Б. Хина, Е.М. Дятлова, В.В. Саранцев и др. // Огнеупоры и техническая керамика. – 2006. – № 10. – С. 2 – 13.

УДК 621.762:669.001.18

Исследование структурного и фазового состава материала системы $0,9(\text{Ni-Ti})+0,1(\text{Ti+C})$ полученного методом СВС с последующим электронно-лучевым переплавом

Аспирант Гринкин А.В., студентка гр. 104513 Мурашова И.В.
Научные руководители – Поболь И.Л., Протасевич Г.Ф.
Физико-технический институт НАН Беларуси
г. Минск.

Методы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) обладают широкими возможностями для получения материалов различных типов. СВС позволяет синтезировать тугоплавкие соединения, гетерогенные неорганические материалы, органические соединения. Существенным недостатком СВС является то, что материал, как правило, имеет пористость, соизмеримую с начальной, и невысокие механические характеристики. Для получения плотного и химически однородного материала требуется последующая горячая обработка давлением или проведение оплавления изделия. Это обстоятельство ограничивает сферу использования таких материалов в машиностроении. Комбинирование метода СВС, инициируемого электронно-лучевым (ЭЛ) нагревом с возможным последующим ЭЛ оплавлением позволяет улучшить механические характеристики материалов, варьировать в широких пределах фазовым и структурным составами системы.

Задачей исследований является получение материалов с высокими характеристиками износо- и коррозионной стойкости, высокими значениями механических характеристик. Использование в качестве реагентов тонкодисперсных порошков никеля, титана, графита, а также их синтез методом ЭЛ - СВС снижает стоимость материала и затраты на технологический процесс.

Исследуемая система $0,9(\text{Ni-Ti})+0,1(\text{Ti+C})$ представлена тремя элементами (Ti, Ni, C), один из которых не является карбидообразующим элементом (Ni), а два других образуют карбиды. Это обеспечивает в оплавленном гомогенизованном материале зернограничное упрочнение за счет образования карбидов TiC. Материалы, включающие такие структурные элементы, обладают высокими значениями износостойкости, хорошими триботехническими свойствами и долговечностью.

Использовали порошки Ti, Ni с размерами частиц до 100 мкм и сажу. Порошки предварительно сушили в вакуумном термостатированном шкафу при температуре 100°C не менее 10 ч. Смешивание порошков осуществляли в керамической ступке с последующим перемешиванием в смесителе "Turbula" в течение 4 ч. Из смеси Ti-Ni-C с помощью ручного пресса прессовали пластины толщиной 3-5 мм диаметром 10 мм. Эти пластины подвергались ЭЛ нагреву на установке ЭЛА-15. В качестве основания для спрессованного материала использовалась медная пластина.

Структура полученного материала после СВС достаточно пористая. Проведение последующего одно-, двух- и трехкратного оплавления способствует снижению пористости, положительно влияет на сфероидизацию зерен сплава. Формируется монолитный материал с зернами вытянутой или округлой формы. Дисперсность карбидов очень высокая, поэтому охрупчивание границ зерен не происходит.

Рентгеноструктурный анализ системы $0,9(\text{Ni-Ti})+0,1(\text{Ti+C})$ после синтеза проводился на дифрактометре ДРОН-3. Исследования показали наличие в структуре фаз NiTi, Ti₂Ni, TiC. Проведение МРСА на рентгеновском микроанализаторе LEO 1455VP / «Cambridge Instruments» с энергодисперсионным детектором «Röntec» показало, что сплав состоит из серой матрицы – фаза Ti₂Ni, светлых включений NiTi и темных мелкодисперсных зерен TiC, расположенных по границам светлых включений.

УДК 621.81.004.67

Механическое легирование порошковых композиций титан-алюминий

Студент гр. 104614 Волчкович Д.В.
Научные руководители – Беляев А.В., Хренов О.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск.

Целью настоящей работы является получение порошковой композиции Ti-Al методом механического легирования. Метод механического легирования имеет расширенные возможности по введению в сплавы легирующих элементов и фаз в количествах, недостижимых методами литейной металлургии, обеспечивает чрезвычайно высокую гомогенность их распределения, позволяет проводить операции компактирования и деформации в условиях сверхпластичности.

Исходными компонентами шихты для механического легирования служили порошки титана ПТК-5-2 дисперсностью - 180 мкм и алюминия АСД-1 дисперсностью - 20 мкм. Состав шихты соответствовал стехиометрическому соотношению элементов, мас. %: 65,8 % Ti + 34,2 % Al.

Для смешивания и усреднения шихты использовали 4-х баночный механический смеситель. Смешивание осуществляли в течение 4 ч в среде этилового спирта - расход спирта 0,8 л на 1 кг шихты.

Смешанную массу выгружали в поддон и сушили в вакуумном сушильном шкафу СПВС-4,5.3.4/3-И1 при температуре 80 °С в течение 2 ч.

Механическое легирование осуществляли в атриторе А-1 в атмосфере аргона, при следующем режим обработки: емкость атритора 10 дм³, мощность двигателя 4,5 кВт, скорость вращения импеллера 280 мин⁻¹, соотношение массы шаров и порошка 20:1. Перед проведением механического легирования проводили операцию "обкатки" или "холостой" режим, чтобы свести к минимуму потери порошкового материала, налипающего на рабочие органы атритора, и предотвратить загрязнение шихты посторонними примесями, главным образом, железом.

Было установлено, что при обработке в атриторе последовательно происходит уплотнение частиц титана и алюминия, их взаимодействие между собой и поверхностью рабочих органов атритора. После 1 ч обработки в шихте образуется значительное количество крупных конгломератов размером от 200 до 630 мкм. Крупные фракции доминируют при продолжительности механического легирования до 8 ч. После этого происходит интенсивное разрушение конгломератов. После 32 ч обработки в порошке доминируют мелкие фракции дисперсностью - 50 мкм. На начальных стадиях обработки большая масса металла плакирует шары и стенки атритора, с увеличением продолжительности легирования с 1 до 32 ч выход порошкового композиционного материала увеличивается с 30 до 70-80 мас. %.

По полученным результатам термического анализа - дифференциальной сканирующей калориметрии при нагреве в вакууме смеси порошков титана и алюминия и композиционного материала титан-алюминий после 32 ч обработки в атриторе при одинаковом соотношении компонентов. В смеси исходных порошков взаимодействие начинается приблизительно при 600⁰С и наиболее интенсивно протекает при появлении жидкой фазы - расплавленного алюминия. Выше 800⁰С в результате реакционной диффузии происходит выравнивание фазового состава материала. Выше 1000⁰С процессы СВС затухают, в материале доминирует моно-алюминид титана. В механически легированном композиционном материале зафиксированы экзотермические превращения в температурном интервале от 100 до 600⁰С, максимум тепловыделений соответствует приблизительно 550⁰С. Удельное изменение энтальпии при этом составляет 990 Дж/г. Отсутствие эндотермических всплесков на кривой ДСК в интервале 600-700⁰С свидетельствует об отсутствии значительного количества жидкого алюминия в материале. При дальнейшем нагреве в результате реакционной диффузии происходит выравнивание химического и фазового состава композиции.

В результате рентгеноструктурных исследований было установлено, что фазовый состав порошковых композиций после механического легирования соответствует металлургическим фазам - титану и алюминию. С увеличением времени обработки в атриторе происходит уширение рентгеновских линий, что свидетельствует о появлении в структуре материала микрокристаллических составляющих. Полученные материалы применяют для изготовления деталей двигателей внутреннего сгорания и ГТД (детали камеры сгорания, корпуса компрессора, уплотнения сопла форсажной камеры) и авиакосмической промышленности.

Вывод: методом механического легирования порошковых композиций титан-алюминий мы получили композиционный материал с нанодисперсной упрочняющей фазой (размер частиц 20-100нм).

УДК 621.791.052+519.22/.25

Исследование влияния состава присадочного материала на склонность к образованию горячих трещин, прочности и вязкости сварных соединений стали 38ХСЗН4К2МФА

Студент группы 104816 – Менчицкая А.С.

Научный руководитель – Голубцова Е.С.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящей работе исследовано влияние основных легирующих элементов содержащихся в электродном металле 32ХГ2СНВМ, на свойства сварного шва, полученного аргонодуговой сваркой стали 38ХСЗН4К2МФА. В качестве параметров оптимизации (характеристик свойств) были выбраны: $y_1 = V_{кр}$, мм/мин – стойкость против образования горячих трещин; $y_2 = \sigma_v$, МПа – прочность сварного шва; $y_3 = KCV$ – ударная вязкость с U-образным вырезом, Дж/м²; $y_4 = KCV$ – ударная вязкость с V-образным вырезом, Дж/м².

В качестве факторов были выбраны: x_1 – компонент присадочного материала ($x_1 = -1, Si; x_1 = 0, Ni; x_1 = +1, Co$) и x_2 - их содержание (0,5; 1,0 и 1,5%).

Целью исследования является повышение указанных характеристик сварного шва посредством выбора оптимального состава присадочного материала.

Металл шва представляет собой сплав основного и электродного металла (присадочной проволоки). Возможность получения качественного сварного соединения с надлежащими свойствами зависит не только от состава свариваемой стали, но и от состава присадочного материала, технологии и условий сварки, толщины свариваемого металла, конструкции свариваемого объекта и др.. Одним из главных факторов,

определяющих технологическую прочность и эксплуатационные свойства сварных конструкций является оптимальный химический состав шва, который достигается в среднелегированных высокопрочных сталях многокомпонентным легированием за счет состава присадочного материала, компенсирующего выгорание специальных элементов основного металла, или легирование элементами, не содержащимися в основном металле, при проведении процесса сварки.

Основными легирующими элементами в присадочных материалах для сварки низко- и среднелегированных высокопрочных сталей являются кремний, марганец, никель.

Углерод и все основные легирующие элементы отрицательно влияют на свариваемость. Однако активное ухудшение свариваемости сталей связано с предельным определенным и различным по количеству содержанием в них того или иного легирующего элемента.

Углерод одна из наиболее важных примесей, определяющая прочность, вязкость, и особенно свариваемость стали. Он увеличивает склонность стали к образованию горячих и холодных трещин, повышает ее склонность к образованию неравновесных закалочных структур в зоне термического влияния (ЗТВ).

Влияние марганца связано с содержанием углерода в стали – чем выше его содержание в стали, тем отрицательнее влияние марганца на свариваемость.

Кремний, улучшая свойства основного металла, оказывает некоторое отрицательное влияние на свариваемость. Он упрочняет феррит и способствует неоднородности в распределении углерода. Кроме того, кремний образует устойчивые окисные пленки, что также отрицательно влияет на свариваемость.

Отрицательное влияние никеля на свариваемость связано с повышением устойчивости аустенита и увеличением в продуктах его распада неравновесных структур – мартенсита и бейнита в ЗТВ после сварки, а также склонностью стали к образованию холодных трещин при сварке.

Для проведения эксперимента с целью получения математических моделей процесса был выбран двухфакторный план 3×3 , где 3-три уровня первого фактора (Si, Ni, Co) и три уровня их содержания (0,5; 1,0 и 1,5%). Ошибку воспроизводимости опытов определяли как 5% от среднего значения параметра оптимизации. Во избежание влияния систематических ошибок и источников неоднородностей опытов проводили в случайном порядке.

В результате расчетов были получены следующие зависимости:

$$y_1 = V_{кр} = 3,64 + 0,52x_1 + 0,73 x_1x_2;$$

$$y_2 = \sigma_v = 1798;$$

$$y_3 = KCU = 732 + 48x_1 - 97x_2 + 85 x_1x_2 - 203x_1^2;$$

$$y_4 = KCV = 398 - 28x_2 - 96x_1^2 - 87 x_2^2.$$

Например, анализ первого уравнения показывает, что наибольшее влияние на $V_{кр}$ оказывают компоненты присадочного материала (x_1), влияние их содержания (x_2) проявляется только во взаимодействии x_1x_2 . Максимальная величина $V_{кр} = 5,0$ мм/мин будет при $x_1 = +1$ и $x_2 = +1$, т.е. при использовании в качестве присадочного материала кобальта, содержание которого должно быть равно 1,5%.

УДК 621.762+666.3/7

Исследование корреляционной связи между характеристиками зернового состава и площадью удельной поверхности порошкового керамического материала на основе карбида кремния

Студенты группы 104615 – Мазуркевич Е.В., Шибeko О.О.

Научный руководитель – Голубцова Е.С.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью настоящей работы является применение методов математической статистики (корреляционного анализа) для установления корреляционной связи между величиной размера частиц и их удельной поверхностью, а также представлении этой связи в виде корреляционного уравнения.

Изготовление керамических изделий состоит из нескольких стадий, на которых материал претерпевает различные физико-химические превращения. При этом последовательно изменяется дисперсная система, твердой фазой которой является исходный материал.

Технология получения керамических изделий включает ряд основных операций: подготовку исходных материалов, измельчение, смешивание, формование (прессование), удаление временной связки (сушку), спекание, дополнительную обработку. Для конкретных изделий эти операции могут меняться местами, совмещаться или отсутствовать.

Исходные и измельченные керамические материалы состоят из большого числа частиц. Частица – наиболее общее понятие, не накладывающее ограничений на её микроструктуру и кристаллическое строение.

Частицы характеризуются по форме и размерам. За размер частиц с формой, близкой к сферической, принимают обычно их диаметр, реже радиус. Для характеристик частиц с формой значительно

отличающейся от сферической (призматических, пластинчатых, игольчатых и т.д.) используют понятие среднего гидравлического размера.

Между удельной поверхностью порошка и средним диаметром его частиц при их сферической форме имеется соотношение:

$$D_{\text{ср}} = 60000 / (\rho_{\text{ист}} \cdot S_{\text{уд}}),$$

где $S_{\text{уд}}$ – удельная поверхность порошка, $\text{см}^2/\text{г}$; $D_{\text{ср}}$ – средний диаметр частиц, $\rho_{\text{ист}}$ – истинная плотность материала, $\text{г}/\text{см}^3$.

Однако следует иметь ввиду, что на практике форма частиц может заметно отличаться от сферической. Это приводит к расхождению значений размера частиц рассчитываемых по удельной поверхности или определенной экспериментально.

Измельчение исходных порошков карбида кремния (SiC) (гранулометрический состав порошка: 3-5 мкм -10%; 2-5 мкм – 35%; 1-2 мкм – 50%; 1 мкм -5%) производили в атриторе с горизонтальным барабаном с объёмом рабочей части 20 л., диаметром размольных тел 8,5 мм. (скорость вращения импеллера – 214 об/мин, барабана - 156 об/мин). В используемой установке рабочая камера, импеллер – были футерованы полиуретаном, что существенно снижает степень загрязнения керамики при размоле. Рабочая камера постоянно охлаждается проточной водой, что позволяет осуществить измельчение керамики в течение длительного времени.

Оценка гранулометрического состава порошков до и после измельчения осуществлялась с помощью программного обеспечения по результатам определения наименьшей хорды частиц с помощью сканирующего электронного микроскопа, а также фотоседиментационным методом на приборе, удельную поверхность измеряли методом БЭТ.

Коэффициент парной корреляции между диаметром частиц SiC и удельной поверхностью определяли по формуле:

$$r_{1,2} = \frac{\sum (y_1 - \bar{y}_1)(y_2 - \bar{y}_2)}{\sqrt{\sum_1^{10} (y_1 - \bar{y}_1)^2 - \sum_1^{10} (y_2 - \bar{y}_2)^2}}$$

где y_1 и \bar{y}_1 текущее и среднее значение размера диаметра частиц,
 y_2 и \bar{y}_2 текущее и среднее значение удельной поверхности частиц.

В результате получили $r_{1,2} = -0,97$, что больше табличного значения $r_{\text{кр}} = 0,576$ (для $\alpha = 0,05$ и $f = 10$).

Такое высокое значение $r_{1,2}$ подтверждает высокую степень корреляции между этими параметрами. Зная $r_{1,2} = -0,97$ можно рассчитать коэффициенты корреляционного уравнения, устанавливающего связь между y_2 и y_1 . Получаем:

$$y_2 = 11,9 - 5,3y_1.$$

Таким образом, в результате проведенных исследований установлена тесная корреляционная связь между диаметром частиц SiC и их удельной поверхностью.

Теплообменное оборудование на основе тепловых труб

Студенты гр.104614 Шаматурская Н.В., Скаева Е.М.
 Научные руководители – Агеенко А.В., Керженцева Л.Ф.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Целью представленной работы является разработка эффективного теплообменного оборудования на основе тепловых труб для использования вторичных энергетических ресурсов.

В настоящее время в различного рода теплообменниках широко применяются автономные испарительно-конденсационные устройства без движущихся частей – тепловые трубы (ТТ), обладающие свойством сверхпроводимости тепла. ТТ в общем случае состоит из трех секций, или зон: зона испарения (1), адиабатическая зона (2) и зона транспорта (3) (рис. 1). Тепло (q) подводится к зоне испарения (1), вследствие чего рабочая жидкость, находящаяся в равновесии с паром, испаряется (а). Под действием перепада давления между «горячей» зоной испарения и «холодной» зоной конденсации пар перетекает (б) в зону конденсации (3) и здесь конденсируется (с). При фазовом переходе жидкость поглощает или,

соответственно, выделяет скрытую теплоту испарения (q). По капиллярной структуре жидкость возвращается (d) из зоны испарения в зону конденсации под действием капиллярных сил.

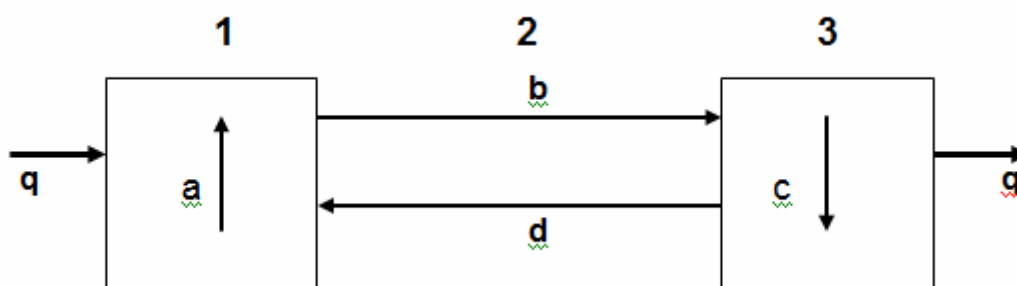


Рис.1. Блок-схема тепловой трубы

Достоинствами ТТ являются компактность и незначительная масса, высокая надежность и долговечность, достаточно простая технология изготовления и относительно невысокая стоимость. Теплообменники на ТТ – современные теплообменные аппараты, обладающие рядом уникальных свойств. Их применение в технике открывает возможность утилизации энергии там, где традиционные теплообменники использовать экономически невыгодно или невозможно.

Новые возможности в разработке эффективного теплообменного оборудования открываются с появлением нового поколения ТТ – контурных тепловых труб (КТТ), обеспечивающих значительное повышение теплопередающей способности и расстояний теплопередачи за счет более совершенной конструкции капиллярного насоса-испарителя, в котором испарение теплоносителя происходит в систему параллельных капиллярной структуре паротводных каналов.

Общепринятый способ изготовления контурных тепловых труб путем предварительного спекания капиллярной структуры в виде втулки нужных размеров, нарезания на ней канавок и запрессовывания в корпус испарителя ограничивает контурные тепловые трубы по мощности, поскольку затруднительно запрессовать пористую втулку значительных размеров в корпус, не разрушив ее. К тому же нарезание механическим способом канавок на наружной поверхности капиллярной структуры (иногда канавки выполняются в корпусе испарителя) приводит к тому, что часть нагреваемой поверхности корпуса не покрыта капиллярной структурой, концентрация основной части теплового потока в месте контакта капиллярной структуры с корпусом испарителя приводит к пересыханию части порового пространства капиллярной структуры, которое связано с появлением дополнительных потерь давления по пару и ростом температурного уровня КТТ. По указанным причинам в настоящее время не созданы испарители для контурных труб мощностью более 1,5 кВт. В связи с этим важно иметь в испарителе КТТ такую систему паротводных каналов, которая обеспечила бы формирование стабильной, хорошо развитой поверхности испарения вблизи нагреваемой стенки. Возможный вариант уменьшения неоднородности теплового потока на испаряющей поверхности заключается в создании системы паротводных каналов, расположенных внутри капиллярной структуры на некотором удалении от стенки испарителя.

В ГНУ «Институт порошковой металлургии» разработана технология изготовления капиллярного насоса-испарителя, позволяющая посредством спекания мелкодисперсного порошка непосредственно в корпусе получать высокоэффективную капиллярную структуру с размером пор порядка 1 мкм при совершенном контакте капиллярной структуры с корпусом. При этом паротводные каналы расположены внутри капиллярной структуры на некотором удалении от корпуса, что, как показано выше, позволяет значительно равномернее распределить тепловой поток по испаряющей поверхности, снизить максимальную плотность теплового потока в несколько раз. Тем самым возможно значительно интенсифицировать процесс теплообмена и повысить критический средний тепловой поток, а также снизить температуру корпуса испарителя. КТТ. Разработанная технология позволяет получать капиллярные насосы-испарители значительных размеров и, соответственно, мощности. Так, насос-испаритель, рассчитанный на мощность испарения порядка 10 кВт, имеет габариты: диаметр 70 мм, длина 300 мм. Теплообменное оборудование на основе подобных порошковых капиллярных насосов-испарителей может эффективно применяться для обогрева домов, производственных цехов, помещений для хранения сельскохозяйственной продукции, животноводческих комплексов, парниково-тепличных комбинатов, где возможно использование вторичных энергоресурсов.

Подобные капиллярные насосы-испарители могут также использоваться для изготовления автономных передвижных парогенераторов для получения пара в технологических целях, аналогичных выпускаемым фирмой «Hogess Maschinenbau GmbH» (ФРГ). Использование таких парогенераторов весом порядка 10 - 100 кг и производительностью по пару 10 – 100 кг/час позволит отказаться от необходимости использования материалоемкого котлового оборудования, прокладки и обслуживания разветвленной системы паропроводов, улучшить теплотехнические параметры пара.

Исследование структурных и гидродинамических свойств пористых волокнистых материалов из медных волокон

Магистрант Маршина Е.А., студент гр. 31 мо ФТС Вольский В.А.
 Научный руководитель – Капцевич В.М.
 Белорусский государственный аграрный технический университет
 г.Минск

Фильтрующие материалы играют важную роль в решении задач, остро стоящих перед промышленными предприятиями Республики Беларусь и связанными с охраной окружающей среды, ведением безотходного производства, сбережением энергии и материалов, повышением качества и чистоты выпускаемой продукции, надежности, долговечности и срока работы машин и механизмов. Эти вопросы в ряде случаев решаются применением пористых порошковых материалов (ППМ) и пористых волокнистых материалов (ПВМ). Отметим, что ПВМ обладают рядом преимуществ перед ППМ [1, 2]: большей пористостью, проницаемостью, прочностью, фильтрующей способностью и др. Однако существуют факторы, сдерживающие их практическое внедрение, а именно — дефицитность и дороговизна исходного сырья (волокон). В то же время, в связи с интенсивным развитием электротехнического производства в Республике Беларусь имеется большое количество отходов медного кабеля в виде медной сечки, которая является хорошей сырьевой основой для получения ПВМ. Однако если технология изготовления ППМ достаточно хорошо изучена и внедрена на практике, то технологии изготовления ПВМ из медных волокон и его структурные и гидродинамические свойства подлежат изучению.

Цель работы: исследование структурных и гидродинамических свойств ПВМ из медных отходов.

Технология изготовления ПВМ, как и ППМ, состоит из засыпки предварительно нарезанных волокон в пресс-форму, прессовании и последующем спекании [2]. Методом одноосного статического прессования изготовлены экспериментальные образцы ПВМ из медных волокон в форме дисков диаметром 30 мм различной толщины с целью исследования их структурных и гидродинамических свойств. На рисунке 1 приведена топография поверхности экспериментальных образцов ПВМ, изготовленных из волокон различного фракционного состава.

Пористая структура (порораспределение) фильтрующего материала характеризуется его структурными свойствами: пористостью, размерами пор и др. Гидродинамические свойства связаны с проницаемостью фильтрующего материала, т.е. его способностью пропускать через себя жидкость или газ под действием приложенного градиента давления, и характеризуются коэффициентом проницаемости и т.п.

Свойства ПВМ определяли: пористость Π методом гидростатического взвешивания согласно ГОСТ 18898-89; коэффициент проницаемости K , м², согласно ГОСТ 25283-82, максимальные $D_{п\ max}$, мкм и средние размеры пор $D_{п\ ср}$, мкм, экспериментальных образцов — согласно ГОСТ 26849-93; расходные характеристики (производительность фильтрующих элементов) — путем снятия зависимостей расхода воздуха от перепада давления. В таблице приведены структурные и гидродинамические свойства экспериментальных образцов ПВМ в зависимости от давления прессования.

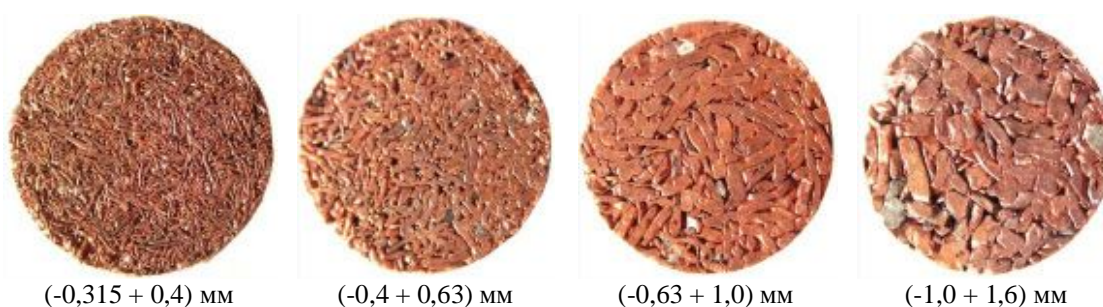


Рисунок 1 – Структура образцов ПВМ из волокон разных фракций

Таблица – Структурные и гидравлические свойства экспериментальных образцов ПВМ, изготовленных из волокон фракции (-0,63+0,4) мм

P , МПа	Π , %	$D_{п\ max}$, мкм	$D_{п\ ср}$, мкм	K , мкм ²	P , МПа	Π , %	$D_{п\ max}$, мкм	$D_{п\ ср}$, мкм	K , мкм ²
216	20	110	52	213	80	38	144	123	3563
169	25	115	76	639	43	48	227	197	9984
134	29	132	99	1448	18	59	586	329	16370

На основании полученных экспериментальных данных построены графические зависимости максимального и среднего диаметров пор (рисунок 2) и коэффициента проницаемости (рисунок 3) от давления прессования, а также зависимость параметра $\sqrt{K/\Pi}$, мкм, от среднего диаметра пор (рисунок 4).

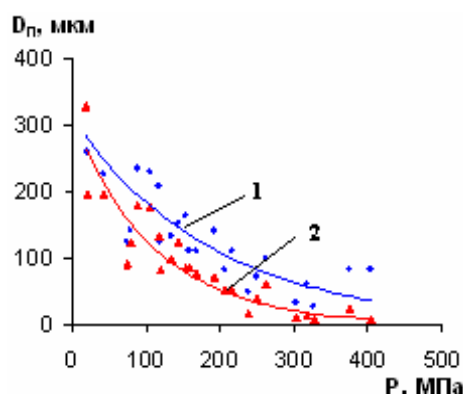


Рисунок 2 – Зависимости максимальных $D_{п\max}$ (1) и средних $D_{п\text{ср}}$ (2) диаметров пор от давления прессования P

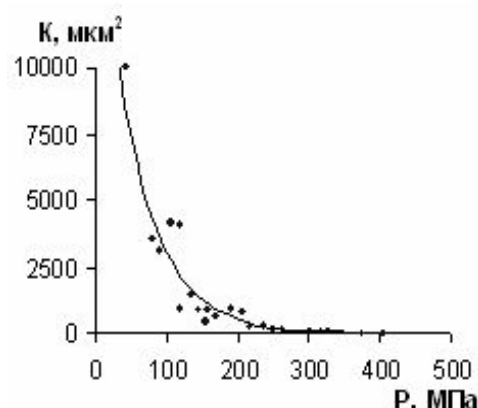


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента проницаемости K от давления прессования P

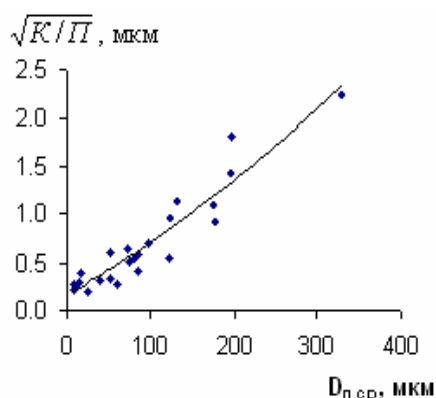


Рисунок 4 – Зависимость величины $\sqrt{K/\Pi}$ от среднего диаметра пор $D_{п\text{ср}}$

Приведенные зависимости (рисунки 2–4) отражают связь структурных и гидродинамических свойств, позволяют прогнозировать закономерности их изменения на стадии процесса формования и получать ПВМ с требуемыми свойствами и заданным порораспределением.

Выводы. Из медных волокон, полученных из отходов, изготовлены экспериментальные образцы, изучены их структурные и гидродинамические свойства: измерены пористость, коэффициент проницаемости, максимальные и средние размеры пор, расходные характеристики. Проведенные исследования показывают на принципиальную возможность изготовления фильтрующих материалов различных размеров и форм из металлических волокон на основе меди.

Литература

1. Витязь, П.А. Фильтрующие материалы: свойства, области применения, технология изготовления / П.А. Витязь, В.М. Капцевич, Р.А. Кусин. – Мн.: НИИ ПМ с ОП, 1999. – 304 с.
2. Косторнов, А.Г. Материаловедение дисперсных и пористых металлов и сплавов. Т.1. Киев: Наукова думка, 2002. – 576 с.

УДК 627.357

Особенности формирования композиционных электрохимических покрытий на основе железа

Магистрант Боровик Д.И.
 Научный руководитель - Пантелеенко Ф.И.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск.

Создание современной техники с высоким уровнем надежности и требуемым ресурсом – сложная и актуальная задача. Ее решение осложнено необходимостью снижения массы и стоимости машиностроительных изделий. Известно, что нанесение электрохимических покрытий – эффективный

прием восстановления поверхностей изношенных деталей машин. Кроме того, это позволяет при необходимости улучшить эксплуатационные свойства и долговечность трущихся поверхностей, повысить их коррозионную стойкость.

Электрохимическим способом можно получать различные виды покрытий на основе Ni, Cr, Cu и т.д. Но при этом, покрытия на основе железа выгодно отличаются от остальных по ряду параметров: скорости осаждения, максимально возможной толщине получаемых покрытий, себестоимости используемых материалов. Также часто необходима их более высокая твердость, износостойкость, необходимо уменьшить остаточные напряжения. Применение различных дисперсных наполнителей на стадии нанесения покрытия позволяет решать описанные выше задачи.

Целью данной работы является получение электрохимических покрытий, которые содержат в качестве наполнителей дисперсные наночастицы, исследование закономерностей формирования, а также микроструктуры и эксплуатационных свойств получаемых покрытий.

Методика исследований

Покрытия получали из хлористого электролита железнения следующего состава (г/л): FeCl₂ – 380..400; NaCl – 70 ; HCl 1..1.2. Температура электролита поддерживалась на уровне 55-58^оС, pH~1. В качестве дисперсной добавки использовали порошок оксида алюминия дисперсностью 150 нм. Концентрация порошка в электролите – 5÷15г/л. Дисперсный наполнитель перед добавлением в электролит тщательно перемешивали в небольшом количестве рабочего электролита, а затем подвергали воздействию ультразвуковых колебаний на ультразвуковом диспергаторе УЗДН-2Т для предотвращения слипания частиц порошка. В процессе нанесения покрытий дисперсный наполнитель поддерживали во взвешенном состоянии путем постоянного перемешивания электролита. Покрытия получали на стальных пластинах (Сталь 20) прямоугольного сечения.

Катодная плотность тока варьировалась в пределах от 7,5 до 45 А/дм², время нанесения 60 минут. Часть полученных образцов покрытий выдерживали в течение двух часов при температуре 200^оС, после чего охлаждали на воздухе.

Для изучения топологии поверхности покрытий и порошка шунгита использовали сканирующий электронный микроскоп Vega 2 LMU

Результаты и обсуждение.

В результате исследований было установлено, что процесс нанесения электрохимических покрытий на основе железа с порошком Al₂O₃ в качестве нанодисперсного наполнителя характеризуется высокой скоростью роста композиционного слоя – до 0.35 ... 0.4 мм в час. Нанодисперсная добавка приводит к значительному уменьшению зерна покрытия, а также к значительному уменьшению сетки трещин, которые появляются вследствие внутренних напряжений. Установлено также, что введение в железное электрохимическое покрытие до 1% наночастиц Al₂O₃ вызывает некоторое снижение (на 300..500 МПа) его микротвердости.

Установлено, что оксид алюминия оказывает влияние на микроструктуру осажденного слоя, что подтверждается исследованием поперечных шлифов композиционных покрытий под электронным микроскопом при больших увеличениях.

Выводы.

Проведены исследования закономерностей формирования композиционных электрохимических покрытий с дисперсными наполнителями. Полученные результаты коррелируют с данными из литературных источников, а относительно оксида алюминия дают основание считать оправданным его применение в качестве наполнителя для композиционных электрохимических износостойких покрытий на основе железа.

Литература

1. Мелков М.П., Швецов А.Н. Мелкова И.М. Восстановление автомобильных деталей твердым железом. М.: Транспорт, 1982.
2. Сайфуллин Р.С. Комбинированные электрохимические покрытия и материалы. М.: Химия, 1972.

УДК 693.22.004.18

Получение теплоизоляционных керамических материалов на основе системы Al–CaMg(CO₃)₂–SiO₂

Студентка гр. 9, ХТИТ Никитина Л.А.

Научный руководитель – Дятлова Е.В.

Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

Целью работы является получение пористых керамических материалов методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в системе Al–CaMg(CO₃)₂–SiO₂ и

определение физико-химических характеристик полученных материалов.

В отличие от традиционных способов получения тугоплавких керамических материалов, образующихся в результате длительного и энергоемкого процесса обжига, были проведены исследования с целью получить из доступного и дешевого сырья (молотый кварцевый песок, доломит, алюминиевая пудра) методом СВС продукт, который обладает такими ценными свойствами, как высокая огнеупорность, достаточно высокая прочность и повышенная пористость.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) – это разновидность горения, в процессе которого происходит перемещения волны химической реакции по смеси реагентов, с образованием ценных твердых веществ. При СВС-процессе тепловыделение локализовано в слое и передается от слоя к слою путем теплопередачи [1].

Прохождение волны горения является основной стадией СВС. Вторичные физико-химические превращения, определяющие состав и структуру конечных продуктов, составляют вторую стадию. Таким образом, процесс протекания СВС можно упрощенно представить в виде формулы [2]:

СВС = горение + структурообразование.

Применительно к получению пористых изделий важным является то, что процесс синтеза материала проходит, как правило, без приложения давления, или при невысоком избыточном давлении газов. Поэтому необходимо реализовать процесс СВС с локализацией реакции в узкой зоне, которая распространяется по исходной смеси в виде волны горения и оставляет за собой горячий продукт. Размеры и форма пор изделия, полученного по СВС-технологии, определяются размерами и формой частиц исходной шихты, плотностью сформованной заготовки, тепловыми характеристиками процесса СВС.

При правильно подобранных условиях синтеза и составах исходных компонентов, СВС-метод отличается высокой скоростью процесса синтеза, полнотой превращением исходных компонентов в конечные продукты, представляющие практический интерес и обладающие заданными свойствами.

Для получения пористого керамического материала в системе $Al-CaMg(CO_3)_2-SiO_2$ были приготовлены составы с различным содержанием алюминия, доломита и кварцевого песка.

Опытные образцы изготавливались методом набивки массы в формы различного размера. Масса для набивки готовилась путем смешивания порошкообразных компонентов с последующим тщательным перемешиванием с 10 % раствором ПВА до получения однородной смеси. Полученные образцы высушивались в сушильном шкафу при температуре 100 °С до полного удаления влаги.

Для инициирования СВС-процесса горения образцы подвергались воздействию теплового импульса от раскаленной спирали, после инициирования СВС-процесса наблюдалось прохождение фронта синтеза, при этом образец раскалялся до ярко белого цвета.

Адиабатическая температура горения, рассчитанная в программе АСТРА-4, в зависимости от состава варьируется в пределах 3800–4300 °С.

При СВС-горении в результате протекания ряда высокоэкзотермических реакций происходит плавление образующихся соединений, что в сочетании с газовыделением способствует формированию развитой высокопористой структуры. Однако в результате того, что поверхностные слои остывают быстрее, чем внутренние, затрудняется выход газов в атмосферу и повышается внутреннее давление в порах материала и может происходить вздутие образца. Варьируя соотношения компонентов, возможно создать условия, при которых не происходит вздутия образца, однако сохраняется развитая высокопористая структура.

При прохождении СВС в смесях оптимального состава, образующиеся материалы обладают следующими физико-химическими характеристиками, приведенными в таблице 1.

Таблица 1- Физико-химические свойства образцов

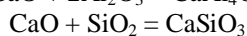
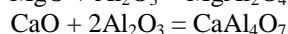
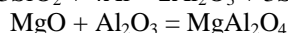
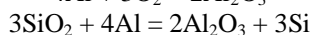
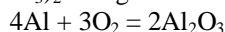
Свойства	Значение
Кажущаяся плотность, кг/м ³	1100–1300
Истинная плотность, кг/м ³	2300–2600
Водопоглощение, %	35–40
Пористость открытая, %	48–55
Пористость истинная, %	50–60
Пористость закрытая, %	2–5
Предел прочности при сжатии, МПа	15–20
Теплопроводность, Вт/м·К	0,3–0,4
Огнеупорность, °С, не менее	1400

СВС-процесс в системе $Al-CaMg(CO_3)_2-SiO_2$ упрощенно можно представить в виде реакции:



однако приведенный процесс не описывает всех взаимодействий в системе, так возможно

параллельное протекание следующих реакций:



В процессе СВС-горения разложение доломита происходит в интервале температур 700-900°C согласно реакции. Далее оксид магния при температурах порядка 1600 °С переходит в связанное состояние – шпинель (MgAl_2O_4). В свою очередь оксид кальция реагирует с образованием силикатов (CaSiO_3) и алюминатов (CaAl_4O_7) кальция, что при дальнейшей эксплуатации исключает опасность взаимодействию его с влагой. Наличие углерода в продуктах реакций объясняется тем, что углекислый газ, образующийся в момент разложения доломита, разлагается на углерод и кислород. По данным рентгенофазового анализа также в малом количестве присутствуют фазы свободного кремния и непрореагировавшего кварца.

Конечные продукты приведенных реакций согласуются с данными рентгенофазового анализа.

В результате проведенных исследований установлено, что полученные керамические материалы обладают высокими значениями пористости и низкой теплопроводностью, что открывает перспективу для применения их в качестве высокотемпературных теплоизоляционных материалов. При этом достаточно высокая огнеупорность и прочность, открывает перспективу их применения при ремонте теплоизоляционной футеровки, работающей при температурах до 1300 °С, в печных агрегатах различного типа.

Литература

1. <http://ism.ac.ru> - А.Г. Межанов, А.Е. Сычев «О самораспространяющимся высокотемпературном синтезе».
2. Химия синтеза сжиганием / А. Макино [и др.]; под. Ред. М. Коидзуми; пер. с яп. А. В. Хачояна. – М.: Мир, 1998.

УДК 621.357.74:620.199

Повышение коррозионной стойкости углеродистой и легированных сталей

Студентки гр.11, 4 к. Яговдик И.Н., гр.12, 5 к. Богдан М. А.

Научный руководитель – Иванова Н.П.

Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

Повышение коррозионной стойкости металлических материалов является важной задачей в связи с тем, что в последние годы темпы роста коррозионных потерь значительно превышают темпы роста производства металлов в связи с усложнением работы условий современных металлических конструкций. Наиболее распространенным видом коррозии является электрохимическая коррозия, так как большинство конструкций и аппаратов эксплуатируются в электропроводящих средах [1].

Целью настоящей работы является исследование коррозионной стойкости углеродистой стали 35 и склонности к питтинговой коррозии легированных сталей 02Х25Н22АМ2 и Х18Н10Т. Легированные стали на момент поставки прошли термообработку, заключающуюся в закалке и последующем отпуске.

С целью повышения коррозионной стойкости углеродистой стали 35 ее подвергали хромированию в серноокислом растворе (260 г/л CrO_3 ; 50 мл/л H_2O_2 ; 1,75 мл/л H_2SO_4) и катодной плотности тока 60 А/дм² при температуре 55 °С. Толщина получаемого хромового покрытия

40 мкм. Легированную сталь 02Х25Н22АМ2 электрохимически обезжировали при анодной плотности тока 2 А/м² с последующим электрополированием при анодной плотности тока

7,6 А/дм² в растворе концентрированных кислот H_3PO_4 : H_2SO_4 (3:1).

Для получения сравнительных оценок питтингостойкости и коррозионной стойкости использовали метод ускоренных испытаний по ГОСТ 9.912-89 [2], по которому образцы выдерживали в 10% растворе $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ при температуре 20 °С с последующим определением потери массы образцов по формуле:

$$K_m = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau},$$

где Δm – суммарная потеря массы параллельных образцов, г;

S – суммарная площадь поверхности параллельных образцов, см²;

τ – продолжительность испытания, ч.

Продолжительность испытания различных образцов составила 5 и 24 ч, объем раствора – 10 см³ на 1 см² площади поверхности образцов. Взвешивание образцов проводили на аналитических весах ВЛР 200 г (2 класс) с точностью $\pm 0,15$ мг. Среднее число питтингов на единицу площади поверхности образцов (K_N) определяли при увеличении 8^{\times} с помощью микроскопа марки МБС - 10. Фотографии поверхности исследуемых образцов выполнены при увеличении 18 - 20^{\times} .

Полученные результаты коррозионных испытаний различных сталей представлены в таблице 1.

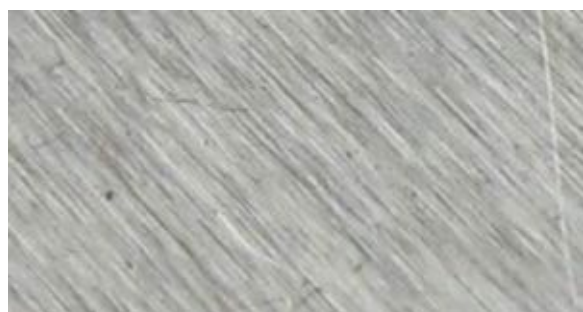
Таблица 1

Сталь	Время испытаний, ч	K_m , г/м ² ·ч	K_N , см ⁻²
Сталь 35	5	110,401	–
Сталь 35хр.	5	35,403	–
02Х25Н22АМ2	24	0,696	0,0823
02Х25Н22АМ2(полиров.)	24	-	0
X18Н10Т	5	10,714	11,95

Снимки поверхности исследуемых образцов показаны на рисунке 1.

Результаты исследований показали, что хромирование углеродистой стали 35 повышает ее коррозионную стойкость в 3,1 раза, причем питтинговая коррозия на хромированном образце не наблюдается. Электрополирование легированной стали 02Х25Н22АМ2 повышает стойкость к питтинговой коррозии, очаговый показатель равен нулю.

Сталь X18Н10Т не устойчива к питтинговой коррозии и требует дальнейшей разработки способов ее защиты.



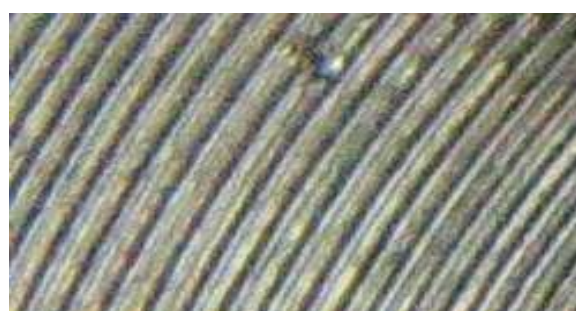
а)



б)



в)



г)



д)



е)

Рис. 1 - Снимки поверхности металлических образцов

а) – исходная поверхность стали 35; б) – сталь 35 после испытаний; в) – сталь 35 с хромовым покрытием толщиной 40 мкм после испытаний; г) – 02Х25Н22АМ2 после испытаний; д) – 02Х25Н22АМ2 с полированием после испытаний; е) – Х18Н10Т после испытаний.

Литература

1. Семенова, И. Коррозия и защита от коррозии / И.В. Семенова, Х.В. Хорошилов, Г.М. Флорианович под ред. И.В. Семенов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 376 с.

2. Стали и сплавы коррозионностойкие. Методы ускоренных испытаний на стойкость к питтинговой коррозии. ГОСТ 9.912 – 89. - М.: Издательство стандартов, 1992. – 17 с.

УДК 621.793.184

Оптические свойства титановых покрытий, осажденных с применением систем сепарации плазмы вакуумной дуги

Студентка гр. 3 факультета ХТиТ Краснякова Ю.В.

Научный руководитель – Вершина А.К.

Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

Целью настоящей работы явилось изучение оптических свойств титановых покрытий, осаждаемых вакуумно-плазменным электродуговым методом с применением электростатического и криволинейного плазмооптического сепараторов плазмы.

Исследование морфологии поверхности титановых покрытий, полученных путем конденсации плазменных потоков, прошедших "очистку" с помощью криволинейной плазмооптической системы сепарации, показали отсутствие в покрытиях дефектов, обусловленных бомбардировкой поверхности подложки макрочастицами. В тоже время, при использовании электростатического сепаратора на поверхности осажденных покрытий отчетливо видны фрагменты отдельных макрочастиц, что свидетельствует о недостаточной эффективности данного устройства для очистки плазменного потока от капельной фазы, обладающей широким диапазоном скоростей разлета частиц. Кроме того, полученные зависимости коэффициентов зеркального отражения и диффузного рассеяния, а также блеска титановых покрытий от времени осаждения подтверждают преимущества криволинейного плазменного сепаратора по сравнению с электростатическим (рисунок). Отметим также, что при осаждении покрытий из сепарированных потоков низкотемпературной плазмы значительно снижается температура подложки, что обеспечивает возможность ионно-плазменной обработки изделий из легкоплавких материалов (силумин, ЦАМ, пластмассы), в том числе покрытых грунтовочным лаком под вакуумную металлизацию. При реактивном нанесении покрытий наличие сильного магнитного поля криволинейного сепаратора способствует увеличению степени ионизации реакционного газа, что увеличивает его плазмохимическую активность и интенсифицирует процесс синтеза покрытий.

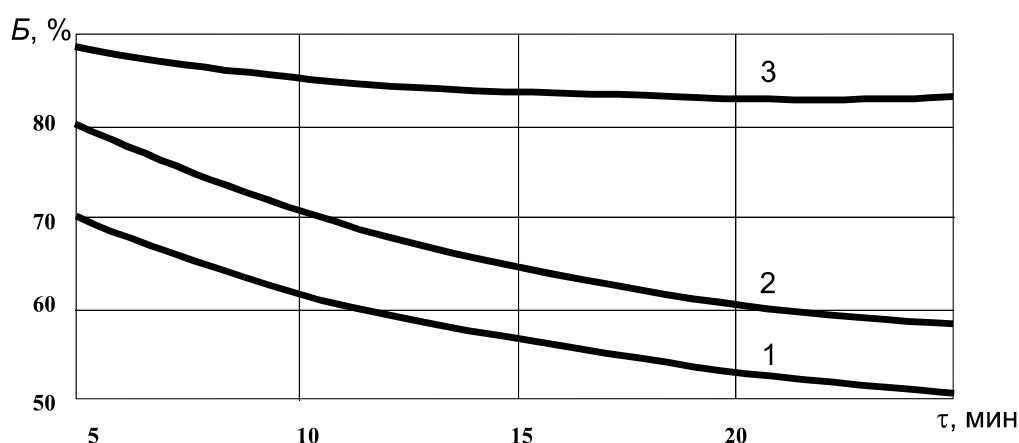


Рисунок – Влияние времени осаждения τ на блеск B титановых покрытий, осажденных из потока несепарированной (1) и сепарированной плазмы (2 – электростатическая сепарация, 3 – плазмооптическая сепарация)

Таким образом, использование криволинейного плазмооптического сепаратора плазмы в процессах электродугового осаждения покрытий позволяет расширить технологические возможности метода как в области улучшения функциональных свойств покрытий, так и в области расширения класса материалов, подвергаемых воздействию низкотемпературной плазмы.

Системы сепарации плазмы, генерируемой в вакууме электродуговым испарителем

Студентка гр. 3 факультета химической техники и технологии Дуденкова Е.Г.

Научный руководитель – Вершина А.К.

Белорусский государственный технологический университет

г. Минск

Целью данной работы является сравнение эффективности очистки плазменных потоков, генерируемых в вакууме электродуговым испарителем, с помощью сепарирующих систем различных конструкций.

Известно, что продукты эрозии катода электродугового испарителя наряду с заряженной компонентой содержат также и нейтральную фазу: капли, твердые осколки материала катода, кластеры и т. д. Нейтральная составляющая плазменного потока, конденсируясь на подложке, вызывает в формируемых покрытиях значительную пористость, что отрицательно сказывается на защитных свойствах последних. Для исключения попадания указанных макрочастиц на поверхность конденсации применяют различные системы сепарации плазмы, генерируемой вакуумной дугой.

Для проведения исследований по разделению заряженной и нейтральной компонент плазменного потока нами разработаны два вида сепарирующих устройств – электростатический сепаратор и криволинейный плазмооптический сепаратор, которые монтировались на аноде электродугового испарителя вакуумной установки. Электростатический сепаратор состоит из стационарного электродугового испарителя и дополнительного электрода. В состав испарителя входят катод, анод, стабилизирующая электромагнитная и фокусирующая катушки. Испаритель крепится к стенке камеры, а дополнительный электрод устанавливается внутри полого анода на расстоянии, перекрывающем от попадания продуктов эрозии телесный угол, во внутренней области которого перемещаются обрабатываемые детали. Испытывали два вида дополнительного электрода: монолитный и разрезной. Однако полного отделения капельной фазы с помощью выше описанных устройств получить не удалось вследствие широкого диапазона скоростей разлета капель, хотя более высокими характеристиками в этом плане обладает система сепарации с дополнительным монолитным электродом. Кроме того, из-за осаждения материала эрозии катода на поверхности дополнительного электрода эти системы не отличаются высокой производительностью процесса. Отметим также, что при эксплуатации электростатических сепарирующих устройств возникают трудности, связанные с разогревом дополнительного электрода потоком эрозионной плазмы, приводящим к распылению с его поверхности как материала покрытия, так и материала электрода. Это требует дополнительного охлаждения последнего, что значительно усложняет конструкцию всей системы сепарации плазмы.

Наиболее надежным способом разделения капельной и заряженной компонент плазменного потока, генерируемого электродуговым испарителем, является сепарация составляющих потока в магнитном поле. Способ основан на том явлении, что плазма распространяется вдоль силовых линий магнитного поля. Последнее оказывает незначительное воздействие на макрочастицы вследствие малого отношения заряда к массе. В состав криволинейного плазмооптического сепаратора входят катод, полый анод, стабилизирующая и фокусирующая катушки, плазмодод и катушка магнитной системы. Плазмодод с испарителем крепятся к стенке камеры. В нашем случае криволинейный участок плазмодода, выполненного из немагнитной стали *X18H10T*, представлял собой участок тора с большим радиусом 220 мм и малым – 60 мм, напряженность магнитного поля вдоль оси тороидального участка $H_z \sim 3700$ А/м. На корпус плазмодода подавался положительный потенциал 15-20 В, при этом коэффициент пропускания сепаратора

$\eta = \frac{I_{i_{\text{вых}}}}{I_{i_{\text{вх}}}}$ составлял ~35% ($I_{i_{\text{вых}}}$ и $I_{i_{\text{вх}}}$ – суммарные ионные токи насыщения на выходном и входном сечениях плазмодода соответственно).

Изучение зависимости величины относительного удлинения от температуры образцов твердых растворов ферритов $\text{Sr}_{(0,5-x/2)}\text{Ca}_{(0,5-x/2)}\text{La}_x\text{Fe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ ($x = 0$ и $x = 0.5$)

Студент 15 гр. 4 курса фак. ХТиТ –Бойко В.В.

Научный руководитель – Шичкова Т.А.

Белорусский государственный технологический университет,

г. Минск

Современные устройства многоканальной приемной и передающей радиосвязи, радиолокации, телевидения, приборостроения, автоматики немислимы без магнитных элементов. В настоящее время среди магнитных материалов широко используются ферриты. Среди магнитотвердых ферритовых материалов широкое практическое применение нашли ферриты бария и стронция со структурой магнетоплюмбита, для

которых достаточно хорошо изучена кристаллическая магнитная структура, влияние различных добавок на основные свойства, и разработаны оптимальные технологические параметры получения.

До настоящего времени улучшение магнитных и других характеристик постоянных магнитов из ферритов бария и стронция в основном достигалось за счет модернизации технологии их изготовления, но сейчас дальнейший прогресс в улучшении их качества можно ожидать за счет целенаправленного, научнообоснованного изменения состава твердого раствора.

Целью настоящей работы являлось изучение влияния температуры на величину относительного удлинения образцов твердых растворов ферритов системы $\text{Sr}_{(0,5-x/2)}\text{Ca}_{(0,5-x/2)}\text{La}_x\text{Fe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ с крайними составами, т.е. $x=0$ и $x=0,5$. Это позволило бы спрогнозировать общую тенденцию изменения величины коэффициента линейного термического расширения (КЛТР) при изменении состава твердого раствора.

Синтез образцов твердых растворов на основе феррита стронция-кальция $\text{Sr}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$, в котором проведено частичное замещение ионов стронция и кальция ионами лантана, а эквивалентное количество ионов железа – ионами цинка, осуществляли керамическим методом [1]. При таком гетеровалентном замещении ионов состав феррита выражается формулой $\text{Sr}_{(0,5-x/2)}\text{Ca}_{(0,5-x/2)}\text{La}_x\text{Fe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$, где величина x варьировалась нами в следующих пределах $x=0 \div 0,5$.

Результаты дилатометрических исследований образцов крайних составов $\text{Sr}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ и $\text{Sr}_{0,25}\text{Ca}_{0,25}\text{La}_{0,5}\text{Fe}_{11,5}\text{Zn}_{0,5}\text{O}_{19}$ представлены на рисунке.

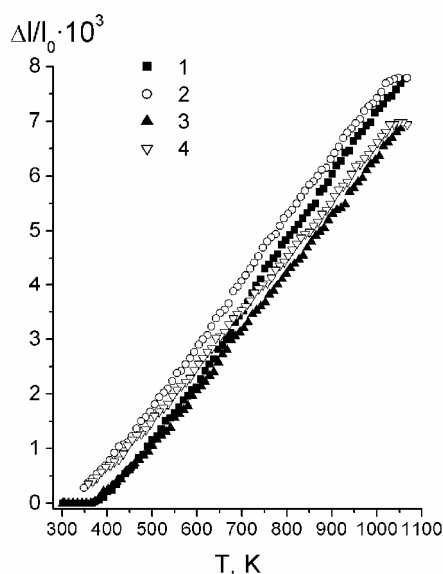


Рисунок – Температурная зависимость относительного удлинения $\Delta L / L_0$ образцов ферритов $\text{Sr}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Fe}_{12}\text{O}_3$ (1,2) и $\text{Sr}_{0,25}\text{Ca}_{0,25}\text{La}_{0,5}\text{Fe}_{11,5}\text{Zn}_{0,5}\text{O}_{19}$ (3, 4): 1, 3 – нагрев; 2, 4 – охлаждение

Зависимость относительного удлинения от температуры для образцов указанного состава практически линейна, что говорит об отсутствии фазовых переходов у данных образцов в исследуемом интервале температур.

Для обоих образцов на кривых «нагрев-охлаждение» в интервале температур 300–1100 К наблюдается незначительный гистерезис, что свидетельствует о низкой скорости установления термического равновесия в условиях динамического нагрева или охлаждения. Заметных аномалий на кривых не наблюдается.

Рассчитаны значения коэффициентов линейного термического расширения по линиям нагревания, которые составили $1,28 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ и $1,08 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ для $\text{Sr}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ и $\text{Sr}_{0,25}\text{Ca}_{0,25}\text{La}_{0,5}\text{Fe}_{11,5}\text{Zn}_{0,5}\text{O}_{19}$ соответственно. Показано, что замещение в кристаллической решетке твердого раствора ионов стронция и кальция на ионы лантана (в количестве 50 %) и ионов железа на ионы цинка (в количестве 50 %) приводит к уменьшению величины КЛТР на ~15 %.

Литература

1. Синтез и некоторые физико-химические свойства твердых растворов ферритов $\text{Sr}_{(0,5-x/2)}\text{Ca}_{(0,5-x/2)}\text{La}_x\text{Fe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ ($x = 0-0,5$) / Л. А. Башкиров [и др.] // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганических веществ. – 2007. – Вып. XV. – С. 39-42.

Использование электронно-лучевых технологий при изготовлении ротора турбокомпрессора

Студент гр. 304815 Поболь А.И., аспирант Юшкевич Д.В.
Научный руководитель – Поболь И.Л.
Белорусский национальный технический университет,
Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси
г. Минск

РУП «Борисовский завод агрегатов» выпускает широкую гамму турбокомпрессоров типа ТКР как для отечественных заводов (ОАО «Лидагпроммаш», РУП «Гомсельмаш», МАЗ, МТЗ и др.), так и зарубежных предприятий. Турбокомпрессор представляет собой сложное устройство. Колесо турбины изготавливают из жаропрочных никелевых сплавов (INCO 713 С и др.) и присоединяют к валу ротора из стали 40 X. Необходима очень точная подгонка всех деталей внутри турбокомпрессора, так как на турбина подвержена воздействию значительного механического нагружения, скорость вращения турбины в современных моделях агрегатов, соответствующих требованиям Евро-2, -3, достигает 120000 об/мин, а в легковых автомобилях - 300000 об/мин. Следует ожидать, что для достижения отечественными производителями автотракторной техники более высокого уровня (Евро-4 и т.д.) потребуются выполнение еще более жестких требований к турбокомпрессорам. С октября 2008 стандарт Евро-5 обязателен для всех новых грузовых автомобилей, продаваемых в Евросоюзе.

Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) давно зарекомендовала себя как надежный способ получения прочных соединений одно- и разнородных материалов с широким диапазоном получаемых толщин (от десятых долей миллиметра до 400 мм) и соотношением глубины к ширине, достигающим 50:1. Проведенные исследования показали значительное превосходство характеристик сварного соединения колеса и вала турбокомпрессора, полученного методом ЭЛС, над традиционно применяемым для изготовления этого узла методом сварки трением. Благодаря использованию ЭЛС получено надежное соединение вала с колесом из разработанного в ФТИ экспериментального сплава Ni-Cr-Al-Ti-Nb (который обладает меньшими плотностью и стоимостью по сравнению с используемым сплавом Inco 713С), чего не удавалось с использованием традиционного метода сварки. Испытания на разрывной машине РД-20 БЗА показали, что разрушение изделий, изготовленных с использованием ЭЛС, наступает при нагрузках не ниже 10-13,6 т.с. При этом значения прочности, обычно достигаемые на деталях после сварки трением, не превышают 8 т.с.

Возможно применение других электронно-лучевых технологий при изготовлении ответственного узла турбокомпрессора. Непосредственно после сварки могут быть проведены электронно-лучевые отпуск сварного соединения и закалка посадочного места подшипника на валу из стали 40X. Отпуск позволяет снять напряжения в зоне сварки, тем самым повышая эксплуатационные характеристики, а закалка – повысить износостойкость и срок службы всего узла. Технология закалки предусматривает вращение ротора с требуемой скоростью, что позволяет исключить возможность эффекта местного отпуска ранее упрочненной зоны. Возможность выполнения всех операций на одном оборудовании за один цикл значительно удешевляет производство и существенно повышает производительность.

Возможности практического применения 3D моделирования при разработке технологического процесса сварки

Студент гр.104813 Калюжный А.С.
Научный руководитель – Снарский А.С.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Под моделированием технологического процесса понимается создание и проработка виртуальной 3-х мерной модели линии в целом с учетом согласованных движений всех кинематических компонентов линии в цикле работы оборудования. Так, например, при моделировании технологического процесса для линий сборки-сварки, в соответствии с планировкой: расставляются роботы и сварочные станции, навешиваются сварочные клещи, в станции вставляются модели автомобильных деталей, строятся сварочные точки.

При моделировании технологического процесса проверяется, могут ли роботы дотянуться без столкновения с окружающими объектами до сварочных точек, которые им надо варить, а также могут ли отдельные детали быть загружены в станцию, а сваренная деталь – вынута оттуда. Таким образом, полностью моделируется кинематика станции и движение робота с захватом и деталью.

По результатам этих проверок осуществляется необходимая корректировка и оптимизация всех узлов линии: точное положение роботов, станций и других устройств, минимизируется перемещения

рабочего между операциями, анализируется возможность прохода наладчика между станциями, а также возможность замены всех комплектующих, в частности роботов (см. рис.).

Для оптимизации распределения сварочных точек между роботами и проверки выполнения требуемого производственного плана моделируются траектории движения роботов и автоматически производится расчет времени цикла каждого робота.

При создании модели линии учитывается вся окружающая обстановка: ограждения, кабели, цеховые колонны, соседние линии и т.п. (см. рис.).

Если бы не было моделирования, можно только догадываться, сколько потребовалось бы перемещать по цеху оборудование, с целью поиска оптимального места чтобы все эти роботы дотягивались до необходимых устройств.

Благодаря 3D моделированию, появляется возможность:

- исправить все ошибки конструкторов на стадии проектирования, что существенно снижает как временные, так и материальные затраты на наладку линии (отпадает необходимость переделки уже изготовленного оборудования);

- точно рассчитать время, необходимое на каждую операцию, что позволяет добиться максимальной эффективности работы каждой единицы оборудования, то есть оптимизировать капиталовложения и снизить себестоимость продукции;

- для роботизированных комплексов по результатам моделирования автоматически генерируются программы для роботов методом “Offline” программирования, что в десятки, раз снижает время работы в цеху наладчика-программиста и существенно сокращает время запуска линии;

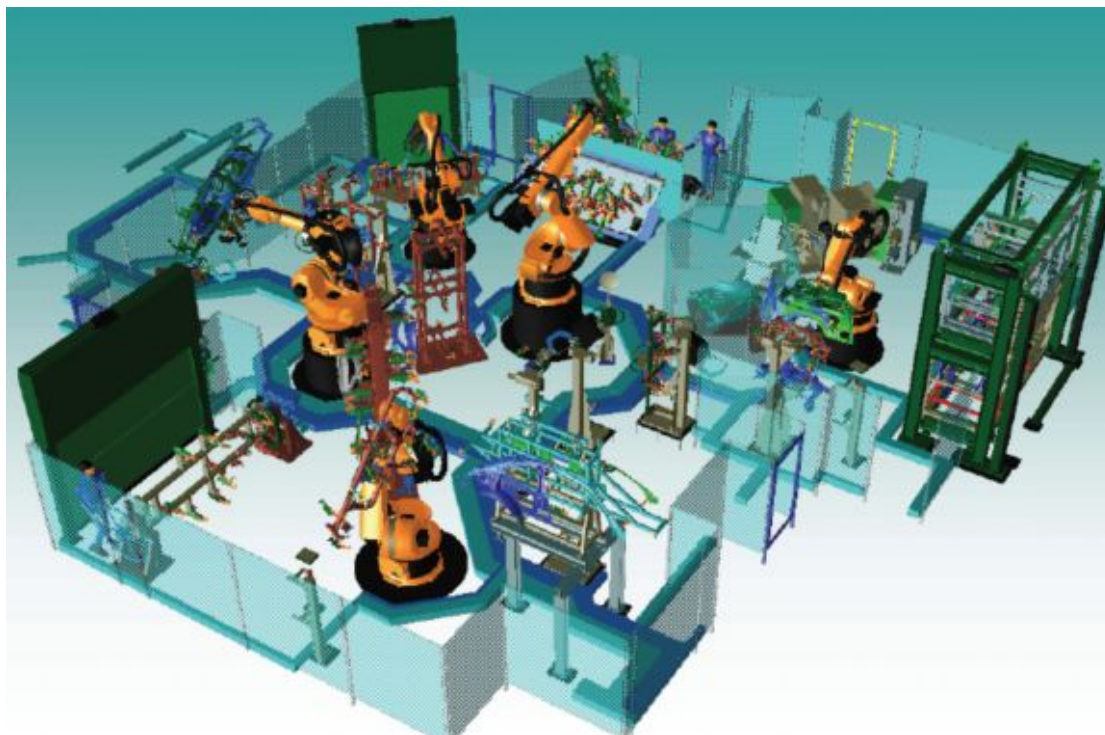


Рис. - Пример 3D моделирования участка сварки (по материалам www.ebgroup.ru)

Offline программирование роботов требует привлечения высоко-квалифицированных ресурсов. Созданная программа учитывает все реальные условия эксплуатации робота в линии (грузоподъемность, скорости и ускорения движения робота, блокировки при входе в зоны возможного столкновения с другими роботами, окружающим оборудованием и т.д.). При наладке линии персоналу необходимо интегрировать созданную на компьютере программу в контроллер робота.

Степень автоматизации производственных процессов постоянно растет, но ни один процесс пока не обходится без участия человека на 100%. Такие операции как: закладка деталей, ручная газо-электрическая сварка, механический крепёж узлов и механизмов, упаковка и транспортировка деталей, контрольно-измерительные операции, в большинстве случаев требуют участия человека.

Моделирование ручных производственных процессов позволяет проверить всё оборудование на предмет работы с ним человека: доступность всех органов управления, высоту загрузки и выгрузки деталей, достаточность рабочих проходов и эргономичность рабочих поз.

Таким образом, достижение наилучших эргономических показателей технологического процесса и изделия на этапе конструирования (высокая производительность труда рабочего и хорошие и безопасные условия труда на практике) возможна за счет использования 3D моделирования.

Использование обобщенного (комплексного) показателя D для оптимизации свойств сварного шва, при сварке стали 32Х2Г2СНВМ

Студент гр. 104816 Галаев К.О.
 Научный руководитель – Голубцова Е.С.
 Белорусский национальный технический университет
 г.Минск

Целью настоящей работы является исследование влияния присадок Si, Ni, Co на свойства сварных швов. С помощью двухфакторного плана второго порядка 3×3 , где 3 – три вида присадки (Si, Ni, Co) и три уровня содержания этих присадок (0,5; 1,0 и 1,5%), а так же обобщенного (комплексного) параметра оптимизации D .

В результате этих исследований были получены показатели четырёх свойств ($V_{кр}$, мм/мин – стойкость против образования горячих трещин; σ_b , МПа – предел прочности шва; KCU, Дж/м² – ударная вязкость с U-образным вырезом и KCV, Дж/м² – ударная вязкость V-образным вырезом).

В таблице 1 приведены условия проведения опытов, и результаты испытаний.

Таблица 1 – Матрица плана 3×3 и результаты эксперимента

N	X_1	X_2	$X_1 \cdot X_2$	X_1^2	X_2^2	$Y_1 = V_{кр}$	$Y_2 = \sigma_b$	$Y_3 = KCU$	$Y_4 = KCV$	D
1	–	–	+	+	+	3,68	1873	680	320	0,686
2	–	0	0	+	0	3,00	1880	480	315	0,496
3	–	+	–	+	+	2,5	1870	280	240	0,220
4	0	–	0	0	+	3,92	1710	800	400	0,594
5	0	0	0	0	0	3,70	1800	720	400	0,714
6	0	+	0	0	+	3,46	1872	674	340	0,529
7	+	–	–	+	+	3,27	1886	600	286	0,531
8	+	0	0	+	0	4,00	1880	590	286	0,643
9	+	+	+	+	+	5,00	1875	540	257	0,614

В этой таблице X_1 и X_2 – кодированные уровни факторов (виды присадок и уровни содержания этих присадок соответственно); D – обобщенный показатель, который был определён позже, после получения данных о $V_{кр}$, σ_b , KCU, KCV; N – число опытов.

Ввиду некоторой противоречивости полученных данных (например, в опыте № 9 при $X_1 = +1$ (Co) и $X_2 = +1$ (1,5%) высокое значение $V_{кр} = 5$, $\sigma_b = 1875$, но сравнительно низкие значения KCU и KCV, по сравнению с другими присадками, или в опыте № 3 при $X_1 = -1$ (Si) и $X_2 = +1$ (1,5%) получили числовое несоответствие), было принято решение рассчитать обобщенный (комплексный) параметр оптимизации D , используя формулу:

$$D = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_n} \quad (1)$$

где d_1, d_2, \dots, d_n – частные функции желательности для i -го показателя ($i=1, 2, \dots, n$), определяемых, в свою очередь, по формуле:

$$d_i = e^{-e} \cdot \exp[-\exp(-y_i)] \quad (2)$$

где y_i – кодированное значение i -го показателя, e – основание натурального логарифма.

Результаты этих расчетов приведены в таблице 2.

Из таблиц 1 и 2 видно, что наибольшее значение $D = 0,714$ получено в опыте № 5, т.е. при $X_1 = 0$ (Ni) $X_2 = 0$ (1,0%). Действительно, в этом случае $Y_1 = V_{кр} = 3,7$ мм/мин, $Y_2 = \sigma_b = 1800$ МПа, $Y_3 = KCU = 720$ Дж/м², $Y_4 = KCV = 400$ Дж/м² (хороший результат).

В опыте № 1 $D = 0,686$ (также хороший результат) $X_1 = -1$ (Si) $X_2 = -1$ (0,5%). $Y_1 = V_{кр} = 3,68$ мм/мин, $Y_2 = \sigma_b = 1873$ МПа, $Y_3 = KCU = 680$ Дж/м², $Y_4 = KCV = 320$ Дж/м².

В опыте № 8 $D = 0,643$ $X_1 = +1$ (Co) $X_2 = 0$ (1,0%). $Y_1 = V_{кр} = 4$ мм/мин, $Y_2 = \sigma_b = 1880$ МПа, $Y_3 = KCU = 590$ Дж/м², $Y_4 = KCV = 280$ Дж/м².

Пользуясь табл.1. можно найти уравнение регрессии для D:

$$\hat{Y}_D = D = 0,672 + 0,064 X_1 - 0,075 X_2 + 0,137 X_1 X_2 - 0,081 X_1^2 - 0,089 X_2^2 \quad (3)$$

Таблица 2 – Значения Y_i, \hat{y}_i, d_i, D_n

N	Y_1	\hat{y}_1	d_1	Y_2	\hat{y}_2	d_2	Y_3	\hat{y}_3	d_3	Y_4	\hat{y}_4	d_4	D
1	3,68	0,306	0,479	1873	2,19	0,894	680	1,615	0,820	320	0,850	0,630	0,686
2	3,00	-0,50	0,200	1880	2,40	0,913	480	0,458	0,531	315	0,744	0,622	0,496
3	2,50	-1,00	0,066	1870	2,10	0,885	280	-0,50	0,200	240	-0,50	0,200	0,220
4	3,92	0,714	0,613	1710	-0,4	0,225	800	3,00	0,951	400	3,00	0,951	0,594
5	3,70	0,34	0,491	1800	0,85	0,630	720	2,077	0,882	400	3,00	0,951	0,714
6	3,46	-0,04	0,353	1872	2,16	0,891	674	1,546	0,808	340	1,175	0,309	0,529
7	3,27	-0,23	0,284	1886	2,58	0,927	600	1,15	0,729	286	0,128	0,415	0,531
8	4,00	0,85	0,630	1880	2,40	0,913	590	1,10	0,717	286	0,128	0,415	0,643
9	5,00	3,00	0,951	1875	2,25	0,900	540	0,85	0,630	257	-0,288	0,264	0,614

Максимальное расчётное значение $\hat{Y}_D = 0,672$ будет при $X_1=0$ и $X_2=0$, т.е. по условиям опыта № 5. Подставляя в уравнение (3) кодированные уровни X_1 , получим уравнения для каждой присадки:

при $X_1 = -1(\text{Si})$ $Y_D = 0,527 - 0,06212 X_2 - 0,089 X_2^2$, (4)
 где $Y_D=0,653$.

при $X_1 = 0(\text{Ni})$ $Y_D = 0,6672 - 0,06075 X_2 - 0,06089 X_2^2$, (5)
 где $Y_D=0,688$.

при $X_1 = +1(\text{Co})$ $Y_D = 0,655 + 0,062 X_2 - 0,06089 X_2^2$, (6)
 где $Y_D = 0,666$.

Таким образом, присадки Ni (0,79%) обеспечивают более высокий уровень комплексных свойств шва по сравнению с Si и Co.

УДК 621.9.025.7

Пайка ПКА припоем на основе меди

Аспирант Юшкевич Д.В., студент гр. 304815 Поболь А.И.
 Научный руководитель – Поболь И.Л.
 Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси,
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Инструмент с режущими элементами из поликристаллического алмаза (ПКА) все шире применяют при лезвийной обработке высокопрочных и абразивных материалов, в том числе керамических и композиционных материалов, цветных сплавов. Скорость резания при точении алюминиевых сплавов достигает 1000 м/мин, при обработке керамик – 20...60 м/мин. Сплавы Al-Si обладают высокой абразивной способностью и при их резании происходит интенсивный износ инструмента. При таких режимах инструмент подвержен высоким механическим и тепловым нагрузкам, температура материалов в зоне резания достигает 400°C.

Наиболее надежным способом соединения элемента ПКА с корпусом резца является пайка. Мы используем для вакуумной пайки припой на основе медь-олово и медь-серебро. Припой изготовлен из порошков металлов и относится к группе контактно-реактивных. Для пайки СТМ в припой необходимо добавить компонент с высокой активностью – титан. Содержание титана варьировалось в пределах 5-10% (массовые доли). Введение титана позволило снизить температуру плавления припоя и угол смачиваемости составил 18 град.

Режущие элементы требуемого размера вырезаются из пластин марки АТІ производства ИСМ НАН Украины диаметром 12,5 мм и из пластин «Comрах» (GE Superabrasives) и «Syndite» (Е6) диаметром 58 мм. Эти пластины двухслойные (на основу из твердого сплава нанесен слой поликристаллического алмаза). Корпус резцовой вставки изготовлен из стали марки 45. Плоскости элементов ПКА и подложек шлифовали алмазным диском до шероховатости $Rz = 0,12$ мкм. В корпусе вырезан паз под режущий элемент необходимой формы.

Пайка резцов проводилась на электронно-лучевой установке ЭЛА-15 с мощностью луча до 15 кВт. Преимуществом электронно-лучевого нагрева является локальность и точное регулирование подводимой мощности. При пайке резцовых вставок подводимая тепловая мощность составляет 500 Вт. Так как припой содержит в своем составе титан, способный образовывать интерметаллические соединения с железом, то пайка с высокими скоростями нагрева и малым временем выдержки припоя в жидком состоянии позволяет минимизировать толщину слоя образующихся химических соединений и, соответственно, хрупкость паяного соединения. Пайка резцовых вставок проводилась в специальном приспособлении, создающем постоянное давление на режущий элемент независимо от ширины зазора.

Металлографический анализ припоев и паяных соединений проводился на шлифах, плоскость реза, выполнявшегося электроэрозионным методом, проходила перпендикулярно зоне соединения. Структуру материалов изучали на оптических и растровом электронном микроскопе LEO 1455VP. Микрорентгеноспектральный анализ (МРСА) образцов проводился на рентгеновском микроанализаторе «Cambridge Instruments» с энергодисперсионным детектором «Röntec». Полученная микроструктура припоя представлена на рисунке 1.

В процессе охлаждения припоя из жидкого металла выпали крупные зерна с повышенным содержанием титана (45 %). При последующем охлаждении вокруг зерен образуется твердый раствор олова в меди. Исследования показали, что припой на основе Cu-Sn-Ti и Cu-Ag-Ti обладают хорошей смачиваемостью и пригодны для пайки ПКА. При пайке интенсивно проходит процесс диффузии титана в стальную основу с образованием новых структурных компонентов.

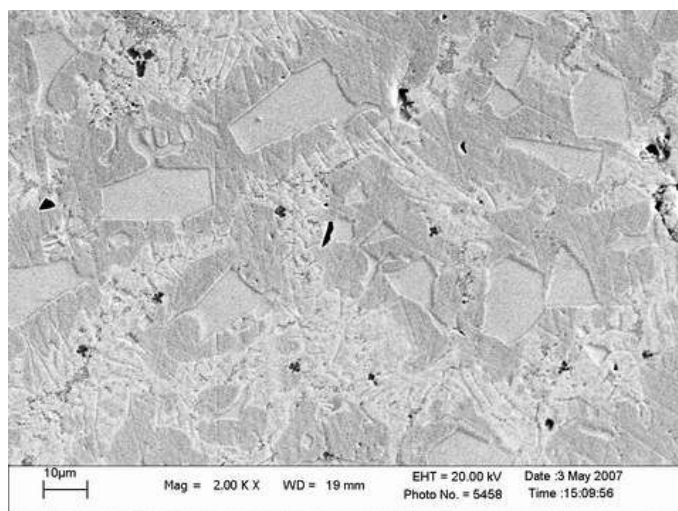


Рисунок 1 – Количественный анализ элементов припоя.

Для Минского моторного завода изготовлены партии инструментов (расточных и канавочных резцов) с элементами из ПКА. На участке поршня при окончательной обработке пальцевого отверстия в поршне 260-1004021-В (материал – АК12М2МгН (АЛ25)) проведены испытания резцов 2146-5128 с режущей частью из ПКА «Компакс». Обработка проводилась по режимам заменяемых резцов 2146-5119 с напайными пластинами из ВК6 при S=260 мм/мин; n=2600 об/мин; V=310 м/мин. По результатам испытания размерная стойкость резцов 2146-5128 до переточки в среднем составила 58000 деталей, что в 20 раз выше, чем стойкость резцов с пластинами из ВК6. Средняя шероховатость обработанной поверхности пальцевого отверстия – Ra0,44 мкм (по чертежу - Ra0,63 мкм).

Стойкость инструмента, оснащенного СТМ, на 1-2 порядка выше, а возможная скорость резания в 1,5-2,5 раза больше по сравнению с твердосплавным инструментом. Изделия после лезвийной обработки точением или фрезерованием имеют шероховатость поверхности 0,44 - 0,63 мкм и менее, сравнимую с шероховатостью после шлифовки.

УДК 666-797.2

Новый метод получения композита алмаз-SiC

Студент гр. 104613 Красавин В. Ю.

Научные руководители - Ковалевский В. Н., Жук А. Е., Фомихина И.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Сверхтвердые материалы на основе композита алмаз-SiC получают, используя высокие давления (около 6,5 МПа) и температуры (свыше 1500°C) на установках высокого давления, либо методом пропитки

пористых заготовок из кристаллов алмаза при низких давлениях и температуре порядка 1500°C. Использование низких давлений позволяет создавать изделия различной формы и размеров без окончательной механической обработки, что дает преимущество по сравнению с получением изделий при высоких давлениях. Метод пропитки имеет существенные недостатки, связанные с графитизацией алмаза при температуре выше 1000°C. Высокие физико-механические характеристики композита алмаз-SiC сочетаются с низким показателем вязкости разрушения (6,5-7,2 МПа/м^{1/2}).

Задачей работы являлось повышение вязкости разрушения композита и снижение потерь алмазной фазы, что достигается созданием на поверхности кристаллов алмаза нанопокрытия из смеси атомов Si и C магнетронным распылением.

Магнетронное распыление осуществляется с использованием композиционного катода (Si + графит) в режимах: I = 2,5 А; U = 550 В; τ = 300 с; p(Ar) = 0,4 Па.

Низкотемпературная плазма позволяет формировать на поверхности смесь атомов Si и C с аморфной структурой. Последующая обработка тонкого покрытия до 20 нм плазмой тлеющего разряда позволяет получить на поверхности частицы алмаза слой аморфного SiC, что устраняет потери алмаза на графитизацию. Дальнейшее нанесение покрытия толщиной 160-200 нм создает технологический слой, состоящий из смеси частиц Si и C. Переходный слой на границе алмаза и карбидокремниевой матрицы обеспечивает повышение вязкости разрушения материала до 10-14 МПа/м^{1/2}. Полученные покрытые порошки алмаза пропитываются жидким кремнием при температуре 1550°C.

Физико-механические свойства полученного материала следующие: твердость по Кнуппу - 55 ГПа, прочность – 600 МПа, модуль упругости – 550 ГПа.

УДК 621.762

Исследование свойств фрикционного материала на основе меди

Студент группы 104615 – Василевский С.В.
Научный руководитель – Голубцова Е.С., Дмитриевич А.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Фрикционные материалы применяют в различных тормозных транспортных устройствах и механизмах авиации, автомобилей, тракторов, а также в муфтах сцепления станков, прессов и т.д., передающих крутящий момент; они работают в тяжелых условиях изнашивания – в трущихся парах и предназначены либо гасить (тормозить) движение, превращая кинетическую энергию в тепловую, либо передавать движение за счет трения. Для выполнения своих функций фрикционные материалы должны иметь высокий и стабильный в широком интервале температур коэффициент трения, минимальный износ, высокие теплопроводность и теплостойкость, хорошую прирабатываемость и достаточную прочность. Этим требованиям удовлетворяют многокомпонентные неметаллические и металлические спеченные материалы. Их производят в виде пластин или накладок, которые прикрепляют к стальным деталям, например, дискам трения. Материал выбирают по предельной поверхностной температуре нагрева и максимальному давлению, которое они выдерживают. Металлические фрикционные материалы, как правило, производят на основе железа или меди. Кроме основы и металлических компонентов (олово, свинец, никель и др.), обеспечивающих прочность, достаточную теплопроводность и износостойкость, эти материалы содержат неметаллические добавки – асбест, графит, оксид кремния.

Материалы на основе железа благодаря высокой теплостойкости используются в узлах трения без смазочного материала, а материалы на основе меди – при смазывании маслом.

Целью настоящей работы является исследование фрикционных свойств порошковых фрикционных материалов на основе меди, в зависимости от пористости и твердости.

Рассматривали две технологии изготовления фрикционных дисков из данных материалов: спекание под давлением и припекание свободно насыпанного порошка.

Суть технологии спекания под давлением состоит в последовательном изготовлении фрикционного диска, т. е. прессование самого порошкового брикета из фрикционного материала, а затем припекание его к металлической основе под давлением. Получаемая пористость фрикционного покрытия составляет ≤10%, а твердость ≥ 20НВ. Причем канавки на фрикционном диске делаются нарезные.

Фрикционные диски, изготовленные по «насыпной» технологии имеют пористость в местах без канавок 20-25% и твердость 10-15 НВ. Последние свойства вызывают некоторую неуверенность в длительности эффективности работы тормозного диска, хотя изготовление фрикционных дисков по «насыпной» технологии имеет ряд преимуществ. Это, в первую очередь, то, что припекание фрикционного материала к основе облегчено: мелкие частицы порошка лучше заполняют все шероховатости поверхности железной основы.

Во-вторых, при спекании свободно насыпанного порошка, образуются открытые и взаимосвязанные поры. При торможении, в процессе эксплуатации диска, масло, находящееся в зоне торможения, может

всасываться в имеющиеся поры, а при истирании диска оно может поступать по каналам взаимосвязанных пор в зону трения.

В-третьих потери порошка незначительны и связаны с нанесением порошка на основу. Канавки на фрикционных дисках, изготовленных по «насыпной» технологии, «выдавливаются». Значительные потери порошка ($\approx 10\text{...}20\%$) при прессовании под давлением, происходят при последующей механической обработке при нарезании канавок.

Испытания фрикционных дисков, полученных по «насыпной» технологии, показали, что они имеют меньшее время торможения и более высокий момент торможения по сравнению с дисками, полученными спеканием под давлением.

Охрана труда и промышленная безопасность

Оценка источников литейных цехов и масштабов загрязнения окружающей среды выбросами вредных веществ

Студенты гр. 104123 Мартыненко О.А., гр. 104113 Лущик Т.Н.
Научный руководитель – Лазаренков А.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Острой проблемой в литейном производстве остается неудовлетворительное состояние воздушной среды. Химизация литейного производства, способствуя созданию прогрессивной технологии, одновременно ставит новые задачи в оздоровлении воздушной среды.

Таким образом, ставилась задача проведения исследования выбросов от источников литейных цехов с разным характером производства, определения долевого участия различных участков литейных цехов в выбросах, проведения расчетов рассеивания вредных веществ в атмосфере, оценки загрязнения воздуха близкорасположенных жилых массивов и территории предприятий, оценить влияние выбросов на людей, проживающих в загрязненных зонах.

Эти исследования проводились по всем выбрасываемым вредным веществам с учетом применяемых технологических процессов, используемого оборудования и характера производства. Изучение результатов исследований показало, что основными источниками пыли в литейных цехах являются плавильно-заливочные (в среднем 49,5 %), обрубочно-очистные (19 %), смесеприготовительные (8,1 %) и выбивные (9 %) участки. При этом значительные количества выбрасываемой пыли отмечаются в плавильно-заливочных отделениях литейных цехов мелкосерийного производства (около 65 %), где в качестве плавильных агрегатов применяются вагранки открытого типа. И совершенно иная картина имеет место в цехах массового производства (около 35 %), где плавильные агрегаты (вагранки, электродуговые печи) снабжены эффективными системами очистки.

Основным источником пыли в цехах массового производства являются обрубочно-очистные отделения, которые выбрасывают в атмосферу четверть всей пыли. Аналогичное положение отмечается и в смесеприготовительных отделениях этих цехов (около 11 %), где осуществляется подготовка формовочных материалов и приготовление смесей. Причем, значительная запыленность воздуха рабочих мест вышеуказанных участков приводит к неорганизованному удалению пыли через светоаэрационные фонари (около 12 % пыли участков).

Основным источником выброса оксида углерода в литейных цехах являются вагранки, на которые приходится более 90 % выбросов плавильно-заливочных отделений. Причем, на долю этих отделений приходится около 73 % выбросов оксида углерода от всех источников литейных цехов. При этом характер производства литейного цеха практически не оказывает влияния, а только тип используемых плавильных агрегатов. Так применение электроплавильных печей в сталелитейном цехе массового производства снизило долю выбрасываемого отделением оксида углерода до 20 %. А основная масса выброса оксида углерода приходится на заливочные конвейеры и охладительные кожуха (около 50 %), а также на выбросы через светоаэрационные фонари (около 30 %). В цехах массового производства от газовых печей отжига термообрубочного отделения выбрасывается около 30 % оксида углерода.

Источниками выброса диоксидов азота и серы в литейных цехах являются плавильные агрегаты, заливочные конвейеры и охладительные кожуха. На долю плавильно-заливочных отделений приходится в среднем около 76 % выбрасываемых в атмосферу диоксида азота и более 95 % диоксида серы.

Выбросы фенола, формальдегида, фурфурола, фурилового и метилового спирта и других веществ приходятся в основном на стержневой участок (около 90 %). Основными источниками являются стержневые автоматы по нагреваемой оснастке. Небольшие количества этих веществ отмечаются в выбросах заливочных, выбивных и смесеприготовительных участков.

Оценка долевого участия литейных цехов в загрязнении атмосферы показала, что они составляют по пыли около 85 %, оксиду углерода – около 65 %, диоксиду азота – около 75 %, диоксиду серы – около 90 %, фенолу, формальдегиду, фурфуролу и др. – около 95 %.

Для литейных цехов, выбранных в качестве объектов для исследований, были выполнены (по данным инвентаризации вентиляционных выбросов) расчеты рассеивания вредных веществ вблизи расположенных жилых районов, а также на территории предприятия по оценке чистоты воздуха, забираемого в системы приточной вентиляции. Анализ полученных результатов показал, что источники литейных цехов загрязняют санитарно-защитную зону вредными веществами в концентрациях, превышающих максимально разовые ПДК. Так на границе санитарно-защитной зоны и территории предприятия (вблизи от цеха) наблюдаются превышения ПДК по пыли до 5,5 раз, по группе суммации до 2 раз, по оксиду углерода – до 1,5 раз. Однако на границе санитарно-защитной и селитебной (жилой) зон отмечено превышение только от пыли до 2 раз.

При рассеивании выбросов вредных веществ литейных цехов массового производства, в которых в качестве плавильных агрегатов используются вагранки, создается несколько иная картина. Например, на границе санитарно-защитной зоны с территорией завода отмечены превышения по пыли до 2 раз, по группе

суммации – до 3,5 раз, по оксиду углерода – до 1,2 раза, по фенолу – до 2,5 раз. А на границе с селитебной зоной имеют место превышения ПДК только по группе суммации – до 1,8 раза, по фенолу – до 1,3 раза. Меньшие концентрации пыли и оксида углерода объясняются рассеиванием этих веществ в атмосфере за счет более высоких источников выброса (вагранки). А возрастание по группе суммации и фенолу происходит за счет источников мощного стержневого отделения цеха, где используются смеси на основе фенолформальдегидных смол.

Результаты расчета рассеивания вредных веществ в приземном слое санитарно-защитной зоны от источников литейных цехов серийного производства свидетельствуют, что имеют место превышения максимально разовых ПДК только по группе суммации в 1,1–1,3 раза и по пыли – в 1,2–1,4 раза. А в селитебной зоне наблюдаются превышения ПДК только по группе суммации в 1,2 раза. При этом следует отметить, что такое положение определяется применяемыми плавильными агрегатами (вагранки открытого типа в цехе мелкого литья) и стержневыми смесями на основе фенольных связующих (цех мелкого литья).

Однако на крупных предприятиях имеется, как правило, несколько литейных цехов. Поэтому интерес представляло рассмотреть суммарное влияние этих цехов на загрязнение окружающей среды. Анализ показывает, что в санитарно-защитной зоне наблюдаются превышения максимально разовых ПДК по всем выбрасываемым веществам, а в селитебной зоне – только по пыли – до 2 раз, по группе суммации до 1,5 раз, по фенолу до 1,2 раза.

Результаты проведенных расчетов для литейных цехов с массовым характером производства таковы: концентрации выбрасываемых вредных веществ у корпусов литейных цехов превышают 0,3 ПДК. Например, по пыли отмечаются превышения от 2 до 8 раз, по группе суммации – от 1,5 до 3,5 раз, по оксиду углерода – до 2 раз, по фенолу – до 1,5 раз.

Оценка долевого участия литейных цехов в загрязнении окружающей среды машиностроительными предприятиями показала, что они составляют по пыли около 85 %, оксиду углерода – около 65 %, диоксиду азота – около 75 %, диоксиду серы – около 90 %, фенолу, формальдегиду и др. – около 95 %.

Результаты расчетов по рассеиванию выбросов вредных веществ в атмосфере от источников литейных цехов показали, что отмечаются превышения допустимых концентраций в санитарно-защитной зоне по пыли от 2 до 5 раз, по веществам группы суммации до 2,5 раз, по оксиду углерода до 1,5 раз, по фенолу до 1,3 раза, а также на территории предприятий – по пыли до 8 раз, по группе суммации – до 3,5 раз, по оксиду углерода и фенолу до 2 раз, в результате чего в приточном воздухе, забираемом непосредственно у корпусов литейных цехов и подаваемом на рабочие места, содержание всех вредных веществ значительно превышает нормативные значения.

Таким образом, результаты расчетов рассеивания выбросов вредных веществ в атмосфере подтвердили вывод о влиянии выбрасываемых вредных веществ на здоровье людей, проживающих в близрасположенных районах. Причем, по данным санитарно-эпидемиологических служб заболеваемость жителей промышленных районов выше на 20–30 %.

УДК 613.6

Оптимизация режима труда и отдыха

Студент гр. 108415 Яганов Е.О.

Научный руководитель – Филянович Л.П.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В широких масштабах ведутся разработки научно-обоснованных режимов труда и отдыха. Известно, что процесс этот весьма трудоемкий и требует привлечения значительного числа подготовленных специалистов – физиологов и организаторов труда. Кроме того, необходимо учесть обстоятельства что в народном хозяйстве насчитывается около 10 000 профессий. Если учесть, что работники одних и тех же профессий могут трудиться в различных условиях, то становится ясным что число видов работ для которых потребовалось бы разработать частные режимы труда и отдыха будет исчисляться десятками тысяч. Это обуславливает необходимость создание типовых режимов труда и отдыха которые могут применяться при выполнении большинства видов работ на предприятиях ведущих отраслей промышленности.

Большинство исследователей считает, что рациональные режимы труда и отдыха должны создаваться на основе изучения динамики работоспособности. Поэтому для того чтобы подойти к разработке типовых режимов необходимо выделить основные типы ее изменения. При этом учитывается, что многие виды работ выполняемых в различных условиях можно объединить по количественным и качественным признакам для небольших групп. Для этого необходимо изучить динамику работоспособности у представителей многих профессий работающих в различных условиях.

Анализ динамики функционального состояния у представителей различных профессий показал, что такие зависимости практически одинаковы. У обследованных работников через 1,5 – 2 часа после начала смены появляются первые признаки утомления. Далее, было установлено, что обеденный перерыв полностью не снимает утомление. Это положение имеет большое значение для разработки типовых

режимов труда и отдыха, то есть во второй половине смены необходимо давать времени на отдых, больше чем в первой. Наряду с изучением динамики работоспособности проводятся обследования условий труда. Исследователи предлагают также устанавливать одинаковые режимы труда и отдыха для представителей различных по условиям труда профессий.

Результаты многих исследований показали, что у представителей различных профессий, работающих в различных условиях, наблюдается сходное изменение работоспособности. Это позволяет рекомендовать при различных видах труда сходные режимы, т.е. подойти к разработке типовых режимов труда и отдыха. Основной предпосылкой типизации режимов труда и отдыха является общность динамики работоспособности в течение смены. Для того чтобы сопоставлять ее у представителей различных профессий необходимо применять единые методы исследования и обработки. Как известно, рациональный внутрисменный режим труда и отдыха включает в себя: перерыв на обед, регламентированные перерывы на отдых, активизацию отдыха и другие мероприятия.

В отношении обеденного перерыва требования едины для всех профессий: он должен устанавливаться в середине смены или с отклонением от нее в пределах одного часа. Нормальная длительность обеденного перерыва составляет 40 – 60 минут.

Для разработки типового режима труда и отдыха необходимо также определить общее время на регламентированные перерывы, длительность одного перерыва, время установления и форму отдыха (активный, пассивный, смешанный).

Весь накопленный фактический материал указывает, что несмотря на предоставляемые перерывы на отдых, утомление и усталость в течение смены нарастают. Обеденный перерыв продолжительностью 45 – 60 минут у большинства рабочих полностью не снимает утомления.

Таким образом, для значительного большинства видов работ типичным является нарастание утомления в течение рабочей смены. Это утомление до известного предела является нормальной физиологической реакцией на рабочую нагрузку, способствующей развитию у работающего профессиональной выносливости; но после этого предела нормальное физиологическое утомление может перейти в предпатологическое и даже патологическое состояние. Чтобы этого не произошло, в течение рабочей смены дают регламентированные перерывы в зависимости от глубины утомления.

Таким образом, регламентированные перерывы на отдых должны предоставляться для уменьшения утомления – в течение кратковременного отдыха утомление полностью не снимается, однако наиболее острые симптомы сглаживаются (усталость ног и рук, симптомы гиподинамии и др.); создания психологической установки на близкий отдых; из практики известно, если человек знает, что его вскоре ожидает отдых, он повышает свою производительность труда, компенсирует развивающееся утомление дополнительным волевым усилием (период «устойчивой компенсации»).

УДК 620.9:658.345

Исследование условий труда персонала энергетических объектов

Студент гр. 108415 Яганов Е.О.

Научный руководитель – Филянович Л.П.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Производственный электротравматизм электротехнического персонала находится в прямой зависимости от уровня организации эксплуатации электроустановок и безопасности производства работ в них. Неудовлетворительное состояние и эксплуатация электроустановок порождают электротравмы не только электротехнического персонала, но и работников других профессий и специальностей.

Производственный электротравматизм с неэлектротехническим персоналом по причинам от соприкосновения с проводами воздушных линий электропередачи (ВЛ) возникает, в основном, в результате незнания ими элементарных правил работы в охранной зоне линий или пренебрежения ими. В некоторых организациях обслуживание электроустановок производится персоналом, не имеющим представления об опасности электрического тока, без обучения, проверки знаний и инструктажа по охране труда. Электроустановки таких организаций представляют угрозу жизни и здоровья не только персоналу этих организаций, но и окружающим.

Большинство несчастных случаев происходит по следующим причинам:

- техническая неисправность электроустановок;
- не оформление производства работ нарядом-допуском, которым предусматриваются условия безопасного проведения работ и лица, ответственные за их выполнение;
- не выполнение организационных и технических мероприятий, обеспечивающих безопасность работ;
- не обеспечение работников средствами индивидуальной защиты;
- допуск лиц, не относящихся к электротехническому персоналу, к выполнению ремонтных работ в электроустановках;

- не выполнение руководителями и специалистами обязанностей по охране труда.
- Основными требованиями мероприятий, обеспечивающих безопасность работы в электроустановках, являются:
 - оформление работы нарядом-допуском, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
 - производство необходимых отключений и принятие мер, препятствующих подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационной аппаратуры;
 - проверка отсутствия напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током;
 - установка заземлений;
 - допуск к работе.

Практика показывает, что эффективность организационно-технических мероприятий гарантируется только при точном соблюдении порядка их применения, регламентированного правилами. Смысл этого требования заключается не только в четком разграничении обязанностей при выполнении работ, но и ответственности лиц за соблюдение необходимых мер безопасности каждого из участвующих в их организации и проведении: выдающего наряд, отдающего распоряжение, допускающего, ответственного руководителя, производителя работ, наблюдающего и членов бригады. Халатное отношение к своим правам и обязанностям, определенным правилами, также приводит к электротравматизму.

При производстве работ по оперативному обслуживанию, монтажу, ремонту и эксплуатации ВЛ-0,38-10 кВ персонал предприятия электрических сетей находится в специфических условиях. В основном все виды работ производятся на открытом воздухе, в любую погоду и время года.

При этом воздушные линии и оборудование, обслуживаемое персоналом, является источником следующих опасных и вредных производственных факторов: открытые токоведущие части оборудования, шум, вибрация, повышенная или пониженная температура воздуха и т.д. Некоторые виды работ на ВЛ-0,38-10 кВ производятся под напряжением с подъемом на опоры, в зоне влияния электрических полей промышленной частоты.

Трудовая деятельность оперативного, ремонтного, оперативно-ремонтного и дежурного персонала предприятия электрических сетей протекает в неблагоприятных условиях труда. Последние, как часть окружающей внешней среды, складываются из санитарно-гигиенических факторов, связанных с трудовой деятельностью (психофизиологических факторов: неудобная рабочая поза, нервно-эмоциональное напряжение и т.д.), которые принято называть вредными и опасными производственными факторами.

Анализ трудовой деятельности персонала, обслуживающего ВЛ-0,38-10 кВ, показывает, что его работа требует достаточно высокого нервно-эмоционального напряжения, нагрузки на опорно-двигательный аппарат и др. Выполняя работу в условиях постоянного риска для жизни, она осуществляется в неблагоприятных погодных условиях, на высоте, в стесненных условиях.

Каждый из перечисленных факторов в процессе длительного воздействия на человека вызывает в его организме различные патологические изменения, которые в сочетании с указанными выше психофизиологическими перегрузками при некоторых обстоятельствах могут привести к ошибкам при выполнении работ и, как следствие, к несчастным случаям. А, учитывая специфику энергетической отрасли, последствия таких ошибок могут быть самыми непредсказуемыми. Постоянное влияние такого комплекса факторов может приводить к нарушениям центральной нервной системы, системы кровообращения и др.

Для оценки условий труда проводится исследование санитарно-гигиенических и психофизиологических факторов производственной среды.

Оценка санитарно-гигиенических факторов проводится путем сопоставления фактических значений факторов, полученных посредством инструментальных замеров и лабораторных исследований с нормативными (регламентированными). Определяются величины превышения параметров факторов относительно нормативов.

Оценка психофизиологических факторов проводится путем сопоставления фактических значений их величин с допустимыми.

На основе полученных замеров и исследований составляется «Карта условий труда на рабочем месте» на каждое рабочее место или группу аналогичных мест.

Исследование производственного травматизма энергетического персонала

Студент гр. 101724 Науменко А.А.
Научный руководитель – Филянович Л.П.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Оборудование обслуживаемое персоналом, является источником опасных и вредных производственных факторов. Наиболее характерными из них являются следующие: электрическое напряжение, производственный шум, вибрация; дискомфортный микроклимат из-за повышенной или пониженной температуры; запыленность и загазованность воздушной среды, возможность образования взрывопожарных смесей, напряженность электрического поля, сосуды работающие под давлением и т.п.

Энергетический персонал подвергается также высокому нервно-эмоциональному напряжению, связанному с большой ответственностью за ведение режима работы оборудования (начальники смен цехов, станций, дежурные инженеры станции, машинисты и старшие машинисты энергоблоков, котлов, турбин и др. На энергетических предприятиях с непрерывным технологическим процессом персонал работает по сменному графику (операторы, машинисты энергоблоков, диспетчеры и др.).

Действия этой категории работников имеют высокую ответственность за безопасность проведения работ и их надежность.

Длительная работа, связанная с систематическим воздействием опасных и вредных производственных факторов, может привести к отклонениям в состоянии здоровья персонала энергетических объектов, профессиональным заболеваниям, а также к ошибочным действиям, приводящим к травматизму.

В 2007 году в результате проведения мероприятий, направленных на улучшение условий труда, снижен общий уровень производственного травматизма в Минэнерго на 5,45% по сравнению с 2006 годом (с 55 до 52 несчастных случаев). («Энергетическая стратегия» № 1, 2008 г.).

В 2007 год по Минэнерго несчастных случаев со смертельным исходом на один больше, чем в 2006 г. Имеет место увеличение количества несчастных случаев со смертельным исходом в 2007 г. в ГПО «Белэнерго» (7 против – 3 в 2006 году).

Основными причинами смертельного травматизма явились грубые нарушения правил и норм охраны труда. при выполнении работ повышенной опасности (работы на высоте); неудовлетворительная организация производства работ, низкая трудовая и производственная дисциплина и др.

Под постоянным контролем Минэнерго находится выполнение мероприятий Целевой программы по улучшению условий труда, профилактике и предупреждению производственного травматизма. Одной из главных задач при этом является предотвращение воздействия на работающих опасных и вредных производственных факторов путем:

1. организации безопасных условий труда
2. внедрения рациональных безопасных технологических процессов и операций
3. проведения профессионального отбора (тестирования) персонала с учетом физического и психофизиологического состояния
4. обучения, подготовки персонала
5. применения средств защиты и т.д.

Аттестация рабочих мест литейщиков по условиям труда

Студент гр. 108125 Чепикова Э.А.
Научный руководитель – Лазаренков А.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Во исполнение постановления Совета Министров Республики Беларусь от 22.02.2008 г. № 253 «Об аттестации рабочих мест по условиям труда» и постановления Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 22.02.2008 г. № 35 утверждена «Инструкция по оценке условий труда при аттестации рабочих мест по условиям труда и предоставлению компенсаций по ее результатам».

Основная цель аттестации рабочих мест по условиям труда (далее – аттестация) заключается в улучшении условий труда, определении права работника на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда, определении права работника на дополнительный отпуск за работу с вредными и опасными условиями труда, определении права работника на оплату труда в повышенном размере путем установления доплат за работу с вредными и опасными условиями труда.

Аттестация проводится аттестационной комиссией предприятия, состав и полномочия которой определяются приказом руководителя предприятия. Периодичность проведения аттестации – один раз в пять лет. Ответственность за своевременное и качественное проведение аттестации возлагается на руководителя предприятия (нанимателя).

Внеочередная аттестация проводится в случае: изменения условий и характера труда при реконструкции предприятия, внедрения новой техники и технологии, изменения технологических процессов; по инициативе нанимателя, работника предприятия или Государственной экспертизы условий труда.

Аттестация рабочих мест предусматривает: выявление на рабочем месте вредных и опасных производственных факторов, формирующих неблагоприятные условия труда, установление причин их возникновения; исследование санитарно-гигиенических факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса; общей оценки условий труда на рабочем месте; разработку и реализацию по улучшению условий труда; определении права работника на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда, определении права работника на дополнительный отпуск за работу с вредными и опасными условиями труда, определении права работника на оплату труда в повышенном размере путем установления доплат за работу с вредными и опасными условиями труда.

Сведения о результатах аттестации заносятся в Карту аттестации рабочего места по условиям труда. Обязательными приложениями к Карте являются протоколы исследований факторов производственной среды, данные хронометражных наблюдений, оценка тяжести и напряженности трудового процесса.

Результаты аттестации являются основанием для разработки мероприятий по улучшению условий труда и оздоровлению работников, подтверждения права на пенсию по возрасту в связи с особыми условиями труда по Списку № 1 и Списку № 2, установления за счет собственных средств предприятия доплат, льгот и компенсаций за работу в неблагоприятных условиях труда, обоснования размера дифференцированных тарифов (взносов) на государственное социальное страхование.

Контроль за качеством проведения аттестации, правильностью применения Списка № 1 и Списка № 2 возлагается на Государственную экспертизу условий труда Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь.

Основные профессии работающих в литейном производстве относятся к Списку № 1 и № 2.

Анализ результатов, полученных при исследовании условий труда литейщиков на ряде предприятий Республики Беларусь при проведении аттестации рабочих мест по условиям труда позволил определить ряд особенностей. Во-первых, в литейном производстве используется значительное количество технологических процессов подготовки исходных материалов, приготовления стержневых и формовочных смесей, изготовления стержней и форм, выплавки металла (черные и цветные), заливки металла в формы, выбивки отливок из форм (кокилей и т.д.), обработки отливок.

Так на смесеприготовительных участках необходимо учитывать такие факторы условий труда работающих как содержание вредных веществ, повышенные температуры воздуха на рабочем месте сушильщика исходных материалов.

На рабочих местах стерженщиков следует обращать внимание на содержание вредных веществ (кварцсодержащая пыль, фенол и формальдегид при изготовлении стержней по нагреваемой оснастке, т.е. необходимо внимательно подходить к оценке образующихся вредных веществ от применяемых связующих материалов), повышенные температуры воздуха, интенсивность инфракрасного (теплого) излучения, шум и вибрацию. Также следует учитывать расположение стержневых участков в литейных цехах, особенно когда они находятся не в изолированных помещениях, а рядом с формовочными участками.

Работники формовочных участков подвергаются воздействию повышенных концентраций кварцсодержащей пыли, уровней шума и вибрации. Причем эти факторы производственной среды оказывают влияние на формовщиков (особенно машинной формовки) практически в течение всего рабочего времени.

На рабочих местах плавильщиков и заливщиков отмечаются повышенные содержания вредных веществ при плавке и заливке форм жидким металлом, уровни шума (необходимо учитывать особенности работы применяемого плавильного оборудования), значительные интенсивности инфракрасных (тепловых) излучений и повышенную температуру воздуха (как на участке, так и при работе у плавильных печей, разливке металлов в ковши и заливке его в формы). При аттестации этих профессий следует особенно тщательно проводить фотохронометражные наблюдения рабочего времени на отдельных технологических операциях, т.к. абсолютные значения вышеуказанных производственных факторов будут иметь разные величины.

Условия труда выбивальщиков характеризуются наличием повышенного содержания пыли, вредных веществ, шума и вибрации (с учетом применяемых технологических процессов и используемого оборудования).

На рабочих местах обрубщиков, чистильщиков литья и наждачников наблюдаются повышенные содержания пыли, значительные уровни шума и вибрации (чаще локальной). Причем такое положение имеет место в течение всего рабочего времени. Также следует иметь в виду, что воздействие этих факторов сочетается с физическими нагрузками и часто с вынужденными позами при выполнении работ.

При аттестации рабочих мест слесарей-ремонтников, электромонтеров, наладчиков литейного оборудования, транспортировщиков, уборщиков в литейных цехах, машинистов крана, мастеров необходимо также проводить тщательные фотохронометражные наблюдения рабочего времени, т.к. работники вышеуказанных профессий пребывают в течение рабочего дня на различных участках литейных цехов, где имеют место производственные факторы с разными абсолютными значениями.

Таким образом, аттестация рабочих мест литейных профессий может быть проведена объективно только при учете всех этапов применяемых технологических процессов, типов используемого литейного оборудования, времени нахождения в различных условиях и воздействия всего комплекса производственных факторов.

УДК 621.31:614.84

Причины пожаров в электроустановках

Студент гр. 101724 Наumenко А.А.

Научный руководитель – Филянович Л.П.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В процессе эксплуатации электроустановок в результате аварий, ошибочных действий и халатности обслуживающего персонала возможно появление источников зажигания, природа которых основана на тепловом проявлении электрического тока. Так, из статистики пожаров следует, что пожары, связанные с эксплуатацией электроустановок, происходят главным образом от коротких замыканий (КЗ); от нарушения правил эксплуатации электронагревательных приборов; от перегрузки электродвигателей и электрических сетей; от образования больших местных переходных сопротивлений; от электрических искр и т.д. Короткие замыкания представляют наибольшую пожарную опасность.

При КЗ в местах соединения проводов сопротивление практически равно нулю, в результате чего ток, проходящий по проводникам и токоведущим частям аппаратов и машин, достигает больших значений. Токи КЗ на несколько порядков превышают номинальные токи проводов и токоведущих частей и достигают сотен и тысяч ампер. Такие токи могут не только перегреть, но и воспламенить изоляцию, расплавить токоведущие части и провода. Плавление металлических деталей машин и аппаратов сопровождается обильным разлетом искр, которые в свою очередь способны воспламенить близко расположенные горючие вещества и материалы, послужить причиной взрыва.

Короткие замыкания в электроустановках возникают по разным причинам. Чаще всего они бывают из-за отказа электрической изоляции вследствие ее старения и отсутствия контроля за ее состоянием. Подтверждением этого служит тот факт, что чаще всего пожары от КЗ происходят в электропроводках жилых домов, прием это характерно для таких помещений, как жилые комнаты, чердаки, коридоры и подвалы.

Пожары из-за неправильной эксплуатации электроустановок характерны для жилых и административных зданий, а также для передвижных домиков и вагончиков, причем среди электроустановок, нарушение режима работы которых приводит к пожарам, чаще всего фигурируют электрические светильники, электрические нагреватели и электрические утюги.

Особенно следует отметить, что пожары из-за неправильной эксплуатации электроприборов нередко сопровождаются гибелью людей, поскольку нарушение режима эксплуатации порой усугубляется потерей людьми контроля за их работой в результате сна или нетрезвого состояния.

Пожарная опасность электроустановок обусловлена наличием в применяемом электрооборудовании горючих изоляционных материалов.

Пожарная опасность электрических проводок и кабелей обуславливается возможным образованием в условиях эксплуатации источников зажигания: электрических искр, дуг, нагретых контактных соединений и токоведущих жил, частиц расплавленного металла и открытого огня воспламенившейся изоляции.

Электроизоляционные материалы, применяемые в электрических машинах, трансформаторах и аппаратах, по их нагревостойкости разделяют на семь классов (по ГОСТ 8865-93). Для каждого класса установлена предельно допустимая рабочая температура. В случае значительных перегрузок проводников и особенно при прохождении токов короткого замыкания температура изоляции возрастает настолько, что материал разлагается с выделением горючих газов, что и бывает обычно причиной возгорания.

Пожарная опасность кабелей характеризуется их горючестью и способностью распространять горение. Горючесть кабелей – это способность поддерживать горение при воздействии на них источника зажигания. Она зависит от конструктивного исполнения кабеля, его расположения в пространстве, пожароопасных характеристик изоляции кабеля и других факторов.

Маслонаполненные аппараты. Наибольшую пожарную опасность представляют маслонаполненные аппараты – трансформаторы, баковые выключатели высокого напряжения, а также кабели с бумажной изоляцией, пропитанной маслоканифолевым составом.

В результате перегрузки электрических машин, из-за засорения вентиляционных каналов системы охлаждения, а также при покрытии теплоизолирующим слоем волокон, пуха и пыли внутренней полости машин возникает их перегрев.

Как показывает статистика, более 20 % всех пожаров, связанных с эксплуатацией электроустановок, приходится на электрические аппараты управления, регулирования и защиты.

Пожарная опасность лампы накаливания (ЛН) складывается из двух составляющих: опасности зажигания горючих материалов при несоблюдении пожаробезопасного расстояния до их колб и опасности появления при аварийных режимах в ЛН источников зажигания с высокой зажигательной способностью.

В настоящее время для освещения помещений широко применяют светильники с люминесцентными лампами. Пожароопасными элементами в них являются стартер, конденсаторы с бумажным диэлектриком, светорассеиватели из органического стекла и др.

Возникновение токов утечки в электроустановках, находящихся под напряжением, связано с ухудшением изоляции, которое может быть вызвано высокой влажностью изоляции, агрессивностью окружающей среды и механическими повреждениями. Первоначально токи утечки незначительны. С течением времени они растут, что в конечном итоге приводит к КЗ.

В электрических сетях, электротехнических устройствах и аппаратах их неотъемлемой частью являются электрические контакты, от правильной работы которых зависит не только их нормальное функционирование, но и состояние пожарной безопасности. Нагрев электрических контактов, который может быть причиной пожара, обуславливается существованием переходного сопротивления между контактирующими элементами. Интенсивное выделение теплоты в контактном соединении ведет к нагреву изоляции и деталей из пластмассы, а при достижении ими температуры самовоспламенения – к их воспламенению.

Электродуговая сварка представляет большую опасность возникновения пожара, поскольку в зоне горения электрической дуги развивается очень высокая температура и, кроме того, вокруг сварочного рабочего места выбрасываются крупные частицы расплавленного металла.

Различные электронагревательные приборы (как бытовые, так и производственные) при неосторожном обращении и неправильной их эксплуатации могут вызывать загорание различных материалов и веществ, с которыми они соприкасаются. Особенно опасны электроутюги и электроплитки. Учитывая пожарную опасность электроустановок, ПУЭ устанавливают ряд специальных требований к электрооборудованию при проектировании и монтаже.

УДК 621.31:613.84

Пожарная опасность электроустановок

Студент гр. 104215 Анушко Т.Ю.

Научный руководитель – Филянович Л.П.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Согласно статистике пожары на электрооборудовании в целом по объектам народного хозяйства в республике занимают второе место после причин связанных с неосторожным обращением с огнем. В основном эти пожары происходят в электрохозяйстве бытового сектора, а также в сельском хозяйстве из-за длительной эксплуатации. В большей части эти пожары происходят от возникновения теплового эффекта от действия электрического тока в электрических аппаратах, при этом наиболее часты среди них пожары от КЗ. С одной стороны, это связано с ростом энергонасыщенности всех отраслей народного хозяйства республики, повышения мощности электробытовых приборов, вследствие чего растет частота возникновения самих случаев непредусмотренного термического действия электрического тока, а с другой, увеличивается вероятность возникновения пожара при тепловом проявлении электрического тока, поскольку автоматизация и механизация производственных процессов в определенной мере снижают контролируемость человеком производственных помещений.

Основная часть пожаров, происходящих на энергооборудовании ликвидируется не пеной, а водой. Это традиционное огнетушащее вещество, на которое рассчитана значительная часть пожарной техники. Кроме того, вода доступнее и, по сути дела, самое дешевое средство тушения пожаров. Но в нем есть и недостаток. От пролитой воды, особенно от излишне пролитой, портится и уничтожается значительное количество материальных ценностей. Для эффективности тушения применяются специальные добавки, при использовании которых образуется своеобразный вязкий гель, содержащий большое количество воды, затрудняющей ее стекание и увеличивающий время ее испарения.

Энергетическое оборудование является особо опасным оборудованием, как вследствие сложности технологических процессов производства, передачи, распределения и сбыта электрической энергии и тепла, образующихся в этих процессах веществ, так и возможной опасности возникновения технологических аварий вследствие нарушения электро- и теплоснабжения потребителей массового жизнеобеспечения населения и т.п.

Пожарная опасность электроустановок обусловлена также наличием в применяемом электрооборудовании горючих изоляционных материалов.

Горючей является изоляция обмоток электрических машин, трансформаторов, различных электромагнитов (контакторов, реле, контрольно-измерительных приборов), проводов и кабелей.

В связи с этим перед электроэнергетикой стоит важнейшая задача – усиление эффективности и повышения качества профилактической работы в электроустановках с целью предотвращения возникновения пожаров. Вопросы пожарной и взрывобезопасности являются одними из приоритетных направлений в вопросах эксплуатации энергетического оборудования.

Несвоевременное тушение электроустановок приводит не только к перебоям в электроснабжении, но и к большому материальному ущербу. Пожарная опасность электроустановок обусловлена наличием в них большого количества горючих материалов (масла различных марок, изоляция электрических кабелей, использование в качестве топлива природного газа, мазута) и источников зажигания, которые возникают в результате перегрузок, коротких замыканий (КЗ), образования больших местных переходных сопротивлений, электрических искр и дуг.

Растекание горящих масел на большой площади создает опасность перехода огня на другие электроустановки.

Сложность пожарной обстановки и наличие большого количества электрооборудования высокого напряжения существенно затрудняют действия пожарных подразделений и добровольных пожарных дружин при локализации и ликвидации пожаров на энергообъектах. Поэтому требуется применение таких способов подачи огнетушащих веществ и средств для их реализации, которые обеспечат безопасную и одновременно эффективную ликвидацию пожаров электроустановок под напряжением.

При возникновении в них пожара выделяющиеся продукты горения могут быть причиной тяжелого травматизма как для обслуживающего персонала, так и для лиц, участвующих в его тушении. Выделяющийся дым содержит в себе самые разнообразные газы, отличающиеся друг от друга степенью вредного воздействия на организм человека.

Среди множества газообразных вредных продуктов выделяющихся при горении следует отметить такие, как углекислый газ, угарный газ, хлористый водород, бензол, цианистый водород, сероводород, аммиак и др. По физиологическому воздействию они могут быть разбиты на три группы:

- удушающего действия;
- удушающего действия с разрушающим воздействием на легкие;
- действующие на кровь, нервную систему, клетки.

Защитные мероприятия по предотвращению вредного воздействия дыма на организм человека должны осуществляться с учетом содержащихся в нем газов.

Защита здоровья человека от токсичных газов при тушении пожаров в электроустановках может быть активной и пассивной. Активная защита предусматривает применение вытяжной или приточной вентиляции. Этот способ защиты эффективен, если возникающий при этом приток воздуха не способствует усилению горения.

Пассивная, или оборонительная, защита дыхания применяется, когда активная невозможна. Она предполагает использование регенеративных приборов (изолирующих противогазов).

При тушении пожаров в электроустановках возникает опасность поражения электрическим током. С целью исключения этой опасности предусматривается выполнение организационно-технических мероприятий.

УДК 658.345

Управление рисками как элемент системы управления охраной труда

Студент гр. 108175 Пахальчук А.В.
Научный руководитель – Киселева Т.Н.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Длительное время в охране труда использовалась концепция «абсолютной безопасности», которая предусматривала такую организацию работ, при которой полностью исключалась возможность развития аварийной ситуации. Однако практика показала, что безопасность может быть относительной, и говорить о ситуации, когда работник полностью изолирован от вредных и опасных факторов нельзя. Поэтому в качестве мерила подобной ситуации было принято понятие риска и «концепция» приемлемого или допустимого» риска. Под допустимым риском подразумевается риск, сниженный до уровня, который может быть преодолен организацией с учетом ее правовых обязательств и политики в области охраны труда.

Основной задачей системой управления охраной труда (СУОТ) является предотвращение производственного травматизма и профессиональной заболеваемости, улучшение условий труда работающих. Одним из элементов в СУОТ является выявление рисков повреждения здоровья при выполнении работ, их оценки, группирования по определенным признакам, возможность их устранения или

доведения до приемлемого уровня. При этом под риском следует понимать сочетание вероятности опасного события и его последствий.

Система управления охраной труда – часть общей системы управления, позволяет управлять рисками в охране труда.

Процедура управления рисками являются ключевыми инструментами в СОУП.

Природа рисков весьма разнообразна и определяется следующими факторами: орудиями и предметами производства, используемыми материалами, особенностями технологического процесса, «человеческим факторам» (уровнем исполнительности работника, соблюдения им требований безопасности), рациональной организацией рабочих мест, наличием средств индивидуальной защиты, качества обучения безопасности труда.

Процесс идентификации опасностей, оценки рисков и управления рисками включает в себя следующие этапы:

1. Определение источников опасности
2. Идентификация опасностей
3. Определение допустимости рисков
4. Разработка мероприятий по управлению рисками
5. Анализ эффективности разработанных мероприятий по управлению рисками.

На этапе идентификации опасностей следует рассматривать все выявляемые опасности без учета их значимости для целей описания и фиксирования. Результатом такой работы являются:

- описание источников опасности, факторов риска, условий возникновения и развития нежелательных ситуаций;
- предварительный анализ опасности.

На этапе оценки рисков выявленные опасности анализируются с присвоением им количественного параметра по существующим методикам, что дает возможность определить какие риски можно игнорировать (незначительные риски), а какие контролировать. Контроль рисков может сводиться к устранению их или переделке.

На основании полученных данных по уровню рисков для каждой профессии принимается решение о методах по их снижению.

После завершения работы по определению допустимости рисков необходимо рассматривать меры по управлению рисками, т.е. мерами, способными влиять на уровень рисков.

Различают три вида таких мер:

- технические средства безопасности производственного оборудования,
- использование документированных процедур,
- повышение уровня знаний персонала в области охраны труда.

Окончательным этапом является анализ разработанных мероприятий по снижению уровня рисков. При этом оцениваются затраты средств и времени, которые требуются для проведения этих мероприятий, а также достоверность исходных данных для оценки риска.

Однако данный подход к оценке и управлению рисками не обеспечивает полное устранение опасных и вредных производственных факторов.

УДК 543.27

Контроль содержания вредных веществ в рабочей зоне производственных помещений

Студент гр. 104215 Анушко Т.Ю.

Научный руководитель – Филянович Л.П.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Среди происходящих техногенных катастроф значительную часть составляют аварии, связанные с выбросами горючих и токсичных газов. Так, по данным в 1999 г. на территории РФ зарегистрировано в целом 856 чрезвычайных ситуаций (ЧС), в которых пострадало 3 551 и погибло 1 149 человек. Согласно «Техника без опасности» 2005 № 5 как по общему количеству, так, в особенности, и по числу пострадавших и погибших, ЧС, произошедших из-за выбросов горючих и токсичных газов, значительно превосходят все другие техногенные ЧС вместе взятые. По этому понятно, что проблема предотвращения катастроф такого типа стоит чрезвычайно остро. Необходимо подчеркнуть, что не менее важен вопрос о влиянии даже низких концентраций опасных химических веществ на здоровье как технического персонала производственных предприятий, производящих и использующих высокотоксичные химические продукты, так и гражданского населения, проживающего в непосредственной близости от этих промышленных объектов.

Сложность решения данной проблемы состоит, во-первых, в необходимости контроля за содержанием в воздушной атмосфере сотен самых разнообразных химических продуктов, а во-вторых, в их чрезвычайно низких допустимых концентрациях.

ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» устанавливает предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ более чем для 1 300 газов, паров и твердых продуктов. ГОСТ дает следующее определение ПДК - это «концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов или при другой продолжительности, но не более 41 часов в неделю, в течение всего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений». Стандартом установлен также порядок контроля за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Содержание вредного вещества должно определяться на наиболее характерных рабочих местах, при этом в течение смены должно быть отобрано и проанализировано не менее трех проб воздуха. При возможном поступлении в воздух рабочей зоны вредных веществ с остронаправленным механизмом действия должен быть обеспечен непрерывный контроль с сигнализацией о превышении ПДК. Значительно более жесткие нормы установлены для ПДК загрязняющих веществ в воздухе населенных мест. Эпизодический контроль наличия вредных химических веществ возможен с предварительным отбором пробы воздуха и последующим химическим или физико-химическим анализом в лабораторных условиях. В условиях реального времени такой анализ проводится либо с использованием индикаторных трубок, либо с помощью портативных и переносных газоанализаторов, обладающих необходимой чувствительностью, точностью и надежностью. Непрерывный мониторинг состояния атмосферы осуществляется, как правило, с помощью стационарных газоанализаторов.

Принцип действия индикаторных трубок (ИТ) основан на протекании специфических реакций определенных вредных веществ с реагентами, нанесенными на твердые носители. В результате образуются, как правило, окрашенные продукты. По длине окрашенного слоя возможно качественное или количественное определение концентраций

ИТ применяются для:

- 1) санитарно-химического контроля воздуха рабочей зоны;
- 2) контроля промышленных выбросов в атмосферу;
- 3) контроля производственных и технологических процессов;
- 4) геологической разведки, химического контроля на пожаро- и взрывоопасных объектах.

По своему функциональному назначению ИТ подразделяются на трубки для кратковременных и долговременных измерений. С помощью первых возможно изменение мгновенных концентраций в определенные моменты времени, измерение персональной экспозиции в зоне дыхания, определение мест утечек в трубопроводах и газовом оборудовании, а также определение состава атмосферы в закрытых помещениях, емкостях, канализационных каналах и колодцах.

Трубки для долговременных измерений предназначены для определения средних концентраций вредных веществ за период от нескольких часов до рабочей смены. Индикаторные трубки используются в комплекте с насосами (аспираторами), которые позволяют прокачивать через ИТ фиксированный объем анализируемого воздуха. Количество качков насоса устанавливается для каждого вещества. Индикаторные трубки калибруются предприятиями-изготовителями.

Возрастающее количество опасных веществ, используемых в производстве, а также ужесточение требований к их ПДК требует как разработки новых методов анализа, так и увеличения их надежности, точности и чувствительности.

УДК 69:658.345

Средства коллективной защиты на строительной площадке

Студент гр. 112315 Казак С.А.

Научный руководитель – Кузьмич Т.П.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Средства коллективной защиты в зависимости от назначения подразделяются на классы:

- средства нормализации воздушной среды производственных помещений и рабочих мест (от повышенного или пониженного барометрического давления и его резкого изменения, повышенной или пониженной влажности воздуха, повышенной или пониженной ионизации воздуха, повышенной или пониженной концентрации кислорода в воздухе, повышенной концентрации вредных аэрозолей в воздухе): вентилирующие и очистки воздуха, кондиционирования воздуха, отопления;

- средства нормализации освещения производственных помещений и рабочих мест (пониженной яркости, отсутствия или недостатка естественного света, пониженной видимости, дискомфорта или слепящей блескости, повышенной пульсации светового потока, пониженного индекса цветопередачи): светозащитные устройства, светофильтры;

- средства защиты от повышенного уровня инфракрасных излучений: оградительные, герметизирующие, теплоизолирующие, дистанционного управления, знаки безопасности;

- средства защиты от повышенного или пониженного уровня ультрафиолетовых излучений: оградительные для вентиляции воздуха, автоматического контроля и сигнализации, дистанционного управления, знаки безопасности;
- средства защиты от повышенного уровня электромагнитных излучений: оградительные устройства, защитные покрытия, герметизирующие устройства, устройства автоматического контроля и сигнализации, устройства дистанционного управления, знаки безопасности;
- средства защиты от повышенной напряженности магнитных и электрических полей: оградительные устройства, защитные заземления, изолирующие устройства и покрытия, знаки безопасности;
- средства защиты от повышенного уровня шума: оградительные, звукоизолирующие, звукопоглощающие, глушители шума, автоматического контроля и сигнализации, дистанционного управления;
- средства защиты от повышенного уровня вибрации (общей и локальной): оградительные, виброизолирующие, виброгасящие и вибропоглощающие, автоматического контроля и сигнализации, дистанционного управления;
- средства защиты от повышенного уровня ультразвука: оградительные, звукоизолирующие, звукопоглощающие, автоматического контроля и сигнализации, дистанционного управления;
- средства защиты от поражения электрическим током: оградительные устройства, устройства автоматического контроля и сигнализации, изолирующие устройства и покрытия, устройства защитного заземления и зануления, устройства автоматического отключения, устройства выравнивания потенциалов и понижения напряжения, устройства дистанционного управления, предохранительные устройства, молниеотводы и разрядники, знаки безопасности;
- средства защиты от повышенных или пониженных температур поверхностей оборудования, материалов, заготовок: оградительные, автоматического контроля и сигнализации, термоизолирующие, дистанционного управления;
- средства защиты от повышенных или пониженных температур воздуха и температурных перепадов: оградительные, автоматического контроля и сигнализации, термоизолирующие, дистанционного управления, для радиационного обогрева и охлаждения;
- средства защиты от воздействия механических факторов (движущихся машин и механизмов; подвижных частей производственного оборудования и инструментов; перемещающихся изделий, заготовок, материалов; нарушения целостности конструкций; обрушивающихся горных пород; сыпучих материалов; падающих с высоты предметов; острых кромок и шероховатостей поверхностей заготовок, инструментов и оборудования; острых углов): оградительные, автоматического контроля и сигнализации, предохранительные, дистанционного управления, тормозные, знаки безопасности;
- средства защиты от падения с высоты: ограждения, защитные сетки, знаки безопасности.

Средства коллективной защиты работающих конструктивно должны быть соединены с производственным оборудованием или его элементами управления таким образом, чтобы в случае необходимости, возникло принудительное действие средства защиты.

Допускается использовать средства коллективной защиты в качестве элементов управления для включения и выключения производственного оборудования.

Средства коллективной защиты работающих должны быть расположены на производственном оборудовании или на рабочем месте таким образом, чтобы постоянно обеспечивалась возможность контроля его работы, а также безопасного ухода и ремонта.

УДК 628.517.2

Воздействие ультразвука на организм человека при медицинских исследованиях

Студент гр. 113514 Заяц Т.В.

Научный руководитель – Науменко А.М.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Ультразвуковое исследование использует звуковые волны высокой частоты, которые проходя через жидкую среду, отражаются от плотного объекта. Отражение волны преобразуют датчиком и изображение появляется на экране монитора. Могут ли эти волны так воздействовать на клетки тканей и органов, что вызовут повреждения? Или они отражаются от тканей, не принося никакого вреда? Ученые не однозначны в ответах на эти вопросы. Некоторые исследования, проводимые на образцах тканей, показали, что на клеточном уровне происходят микроскопические изменения. Некоторые исследователи даже полагают, что происходит генетическая мутация. Опыты, проведенные на животных, показали, что ультразвук задерживает рост зародыша и уменьшает воспроизводимость. Главным результатом наблюдений является выявление следующего: когда звуковые волны большой частоты бомбардируют ткани, происходят колебания и разогрев молекул. Это приводит к появлению крошечных пузырьков газа в клетке. Такие

явления называется кавитацией. Но неизвестно повреждаются ли клетки в результате разогрева или образования пузырьков. Защитники ультразвука считают, что еще не было проведено достаточное количество исследований, опровергающих безвредность ультразвуковой диагностики. Противники ультразвука заявляют, что, т.к. результаты исследований противоречивы, применение ультразвука для исследований, особенно в акушерстве, следует применять с осторожностью.

При электромониторинге плода ультразвуковые волны направляются на одно и то же место в течение длительного периода времени. Хотя еще никто не знает ответа на вопрос о безопасности ультразвука, многих может успокоить тот факт, что при ультразвуковом обследовании в тело проникает только 1% волн. Остальные 99% отражаются от внутренних органов.

В Европе ультразвук стал частью стандартной процедуры наблюдения беременных, однако в США практически все родовспомогающие организации вступают против использования ультразвука без имеющихся к тому показаний. Специалисты считают, что назначать ультразвук надо только при наличии признаков осложнения. Особенно следует избегать делать цветные внутриутробные снимки. При такой съемке ребенок подвергается воздействию гораздо большего количества звуковых волн. В данном случае риск действительно гораздо больше, чем польза.

Накопленные официальной наукой данные пока не содержат информации о каких-либо вредных побочных эффектах УЗ, но далеко не все считают его безопасным. Возможно существование нераспознанного риска. Хотя утверждается, что человек не воспринимает звук используемой частоты, но до сих пор не объяснен тот факт, что дети, находящиеся в утробе матери, бурно реагируют на это обследование, отвечая на него интенсивным движением. Эта особенность даже используется как тест во время беременности, когда мама вдруг пугается, что ее ребенок долго не шевелится. УЗИ стимулирует движение плода и вызывает ускорение его сердцебиения, что также не объяснимо.

Для проведения УЗИ должны быть четкие медицинские показания, а количество процедур и их длительность должны быть минимальными.

Для чего проводить УЗИ всем беременным? Врожденные пороки встречаются очень редко. Они могут возникнуть при генетических аномалиях, наследственной предрасположенности, при перенесенных тяжелых вирусных инфекциях во время беременности, облучении. В этих случаях УЗИ может снять страх рождения ребенка с аномалиями развития.

Конечно, если по какой-то причине должен быть сделан рентгеновский снимок плода, то пусть лучше это будет ультразвук, чем рентген. Рентген категорически недопустим.

УЗИ может быть также необходимо при подозрении на патологию плаценты, многоводие, неразвивающуюся беременность, задержку развития плода. В остальных случаях информация может и должна быть получена другими способами, не подвергая малыша лишнему стрессу.

Исследования отдела теоретических проблем Российской академии наук показали, что ультразвук может быть чрезвычайно вреден для живых систем. Ультразвук вызывает не только механические, но и половые искажения ДНК. Это значит, что в наследственной программе может происходить сбой: искажение поля будет формировать поврежденные ткани – из них не сможет развиваться здоровый организм.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что при нормально развивающейся беременности УЗИ можно не делать до момента родов. Однако перед родами все-таки УЗИ можно сделать. На формирование тканей это уже никак не повлияет, а вот на ход родов – может. А именно, данное исследование позволит определить как расположена плацента относительно выхода из матки, в случае трудностей с определением положения плода – определить это. В остальном – нет необходимости делать УЗИ.

Литература

1. Дмитрук М. Ультразвук и наши собственные мысли. Журнал «Парадоксы цивилизации», № 6 (44)

УДК 331.45

Характеристика излучений оптического диапазона при сварке плавлением

Студент гр. 104813 Лопатко М.О.

Научный руководитель – Данилко Б.М.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Процессы сварки плавлением, сопровождающиеся расплавлением металла, являются источниками, излучающими в инфракрасной, видимой и ультрафиолетовой области спектра электромагнитной энергии. Наиболее показательным и явно выраженным является излучение в инфракрасной и ультрафиолетовой области излучения, интенсивность которых зависит от источника тепла при сварке и режимов сварки.

Процесс ручной электросварки покрытыми электродами сопровождается инфракрасным (тепловым) излучением $195 - 280 \text{ Вт/м}^2$ в зависимости от силы сварочного тока. При полуавтоматической сварке в углекислом газе интенсивность инфракрасных излучений $210 - 300 \text{ Вт/м}^2$, при газовой резке – $235 - 350 \text{ Вт/м}^2$, при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом – $190 - 235 \text{ Вт/м}^2$, т.е. практически при всех

способах сварки плавлением интенсивность инфракрасных излучений превышает предельно-допустимый уровень, который равен 140 Вт/м^2 .

Опасным также является влияние на работающих ультрафиолетовых излучений, которые даже при кратковременном воздействии могут вызвать электроофтальмию.

Мощное ультрафиолетовое излучение наблюдается при сварке в защитных газах. Так при аргонодуговой сварке неплавящимся (вольфрамовым) электродом ультрафиолетовые излучения в два раза, а при аргонодуговой сварке плавящимся электродом в пять раз больше, чем при ручной дуговой сварке покрытыми электродами. При ручной сварке интенсивность ультрафиолетового излучения составляет в области УФС (200 – 280 нм) $0,18 - 0,36 \text{ Вт/м}^2$, в области УФВ (280 – 315 нм) – $2,3 - 4,9 \text{ Вт/м}^2$ при предельно-допустимом уровне УФВ + С – $1,0 \text{ Вт/м}^2$, в области УФА (315 – 400 нм) – $11,7 - 13,2 \text{ Вт/м}^2$ при ПДУ – 10 Вт/м^2 .

В связи с вышеприведенным требуется надежная защита открытых частей работающих от воздействия инфракрасных и тепловых излучений.

УДК 537.531

Электромагнитные излучения на селитебных территориях и в жилых помещениях

Студент гр. 113534 Мазурик И.С.

Научный руководитель – Науменко А.М.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Селитебная территория – территория, включающая жилую застройку всех видов, территории занятые общественными, культурно-бытовыми и спортивными учреждениями, сады, парки, бульвары, скверы и другие места отдыха населения, а также улицы и площади, обслуживающие эту зону.

Источниками электромагнитных излучений (ЭМИ) в таких зонах являются:

- линии электропередач. Напряженность электрического поля тока промышленной частоты достигают у зданий $1,2 - 182 \text{ В/м}$ в зависимости от расстояния, что значительно меньше допустимого уровня (на территории жилой застройки – $E_{\text{доп}} = 1 \text{ кВ/м}$; в жилых помещениях $E_{\text{доп}} = 0,5 \text{ кВ/м}$. Магнитная индукция же достигает у зданий $250-560 \text{ нТл}$, превышения рекомендуемый безопасный уровень – 200 нТл . Зоны неблагоприятного влияния ЛЭП на население могут составлять от 20 до 200 м по обе стороны от крайних проводов (в основном из-за магнитной составляющей)

- силовые кабели, кабельные линии распределительные пункты электропитания в жилых зданиях – воздействию высоких уровней ЭМИ подвергаются лица, проживающие в комнатах смежных с данными источниками. Максимальные значения напряженности электрического поля $180-280 \text{ В/м}$ (ПДУ 500 В/м) и магнитной индукции $800-2600 \text{ нТл}$ (ПДУ 200 нТл) регистрируются непосредственно у стены, за которой расположен источник.

- электробытовая техника – в зависимости от продолжительности эксплуатации в течение суток, данные источники делятся на 3 группы:

1) изделия, предназначенные для круглосуточной эксплуатации – холодильники, морозильники, вентиляторы, кондиционеры и др.;

2) изделия, предназначенные для длительной эксплуатации (от 1 до 6 часов в сутки) - стиральные и швейные машины, воздухоочистители для кухонь, ПЭВМ, видео-аудиоаппаратура, телевизоры и др.

3) изделия, предназначенные для кратковременной эксплуатации (менее 1 часа в сутки) - пылесосы, СВЧ-печи, мясорубки, миксеры, кофемолки, утюги, фены и др.

Напряженность электрического поля у поверхности данных изделий составляют от 160 В/м до 420 В/м , не превышающие ПДУ 500 В/м . Уровни магнитной индукции у этих же изделий достигают $0,12-11,6 \text{ мкТл}$, что указывает на превышение безопасного уровня ($0,2 \text{ мкТл}$). Рекомендуемый безопасный для человека уровень $0,2 \text{ мкТл}$ достигается на расстояниях от $0,8$ до $1,0 \text{ м}$ от изделия.

По уровням магнитного поля самые неблагоприятные: печь СВЧ, электрическая плита, электрообогреватель, морозильник, пылесос, холодильник.

Результатом длительного воздействия ЭМИ на организм человека являются:

- раздражительность, нетерпеливость, суетливость, нарушения внимания и памяти, малая интенсивность сна, повышенная утомляемость;

- нарушение иммунной системы;

- изменение биологической активности головного мозга;

- ухудшение психофизиологического состояния человека;

- сосудистые изменения сетчатки глаза;

- возможность развития лейкемии.

Основой профилактики неблагоприятного воздействия электромагнитных излучений на здоровье населения является обеспечение соблюдения гигиенических регламентов данного фактора на селитебной территории и в жилых помещениях. При проектировании и прокладке электрических силовых кабелей,

кабельных линий и размещении распределительных пунктов электропитания на стадии строительства жилых зданий необходимо:

- обеспечение прохождения кабелей по стенам не смежным с жилыми комнатами;
- располагать пункты электропитания в помещениях, граничащих со вспомогательными помещениями смежных квартир;
- силовые кабели, кабельные линии размещать на расстоянии не менее 3,5 м от внешних стен жилых помещений.

В существующих жилых зданиях при расположении силовых кабелей, кабельных линий на внешней стене жилой комнаты необходимо максимально удалять от данной стены в жилой комнате места частного пребывания людей и особенно длительного отдыха жителей (кровати, креста, стулья и т.д.).

Необходимо уменьшить время работы с электробытовой техникой, контактирующей с человеком (электробритва, дрель, миксер, кухонный комбайн, фен, кофемолка и т.д.) в течение суток.

При использовании электробытовой техники, не контактирующей с человеком в процессе эксплуатации (холодильник, морозильник, электрическая плита, печь СВЧ, обогреватель, стиральная машинка, кофеварка, чайник и т.д.) для снижения неблагоприятного влияния ЭМИ минимальное расстояние нахождения людей должно быть не менее 1,5-2,0 м.

Лицам, не работающим с данной техникой (в особенности дети, больные, беременные женщины и пожилые люди), целесообразно находится в других жилых помещениях квартиры.

Телевизионные приемники и другая аудио- и видеоаппаратура при завершении эксплуатации должны выключаться из электросети (не оставлять включенными в сеть в режиме «ожидания»).

Рабочие места в квартирах необходимо располагать на расстоянии не ближе 20-35 см от розеток, скрытой электропроводки и проводов, питающих различные электрические приборы.

Литература

1. Инструкция по оптимизации условий проживания населения при воздействии на него ЭМИ низкочастотного и среднечастотного диапазонов. Регистрационный № 130 – 1102

УДК 331.101.1

Роль человеческого фактора в современном производстве

Студент гр. 113613 Суворов Д.А.

Научный руководитель – Журавков Н.М.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

С позиций эргономики любая трудовая деятельность рассматривается как процесс преобразования информации и энергии, происходящий в системе «человек – орудие труда – предмет труда – окружающая среда».

В этой связи эргономические исследования основываются на выяснении закономерностей психофизиологических процессов, лежащих в основе определенных видов трудовой деятельности с предметами труда и окружающей физико-химической и психологической средой.

Деятельность является реализацией личностных свойств человека-оператора, при этом окружающая среда и сама деятельность приводят к изменению состояния оператора.

Имея трудовую цель, т.е. субъективную модель состояния предмета труда, оператору необходимо перевести этот предмет из исходного состояния в конечный продукт посредством трудовых, информационных и энергетических воздействий.

Человек воспринимает информацию через сигналы от предмета труда, промежуточное устройство и среды. Конечная цель труда у оператора формируется на основе мотивов, потребностей, установок (своих или получаемых извне).

Установлено, что существенное влияние на характер протекания процессов восприятия, мышления, воспроизведения сведений (энграмм) в памяти оказывают активационные воздействия, обусловленные уровнем бодрствования, эмоциональным и волевым напряжением, функцией внимания.

Предметом труда не всегда является объектом внешнего мира (экстериозированная деятельность), т.е. человек способен осуществлять преобразования информации, имеющие смысл трудового воздействия, целиком в сфере субъективного отражения, создавая «духовный продукт» (интериозированная деятельность).

Рассмотрены типы и классы локальных систем «Человек – инструмент», в зависимости от реализуемых человеческих функций орудиями труда (с эффективными и афферентными орудиями, орудиями памяти и преобразования, с простым, репродуктивно-преобразующими и продуктивно-преобразующими машинами).

При изучении информационной модели реальных объектов выделены основные этапы деятельности оператора при решении определенных технологических задач, рассмотрены факторы,

вызывающие утомление, а также характеристики эмоциональных состояний оператора (состояние адекватной мобилизации, динамического рассогласования и т.д.), сопутствующие утомлению и последующему развитию стрессовых состояний.

Установлены закономерности получения восприятия и распределения информации между воспринимающими каналами человека-оператора. Определены поведенческие модели действия оператора в чрезвычайных ситуациях.

Внедрение результатов эргономических исследований в практику дает ощутимый социально-экономический эффект, а грамотный учет человеческого фактора представляет собой постоянный резерв увеличения эффективности общественного производства.

УДК 621.181.002:658.345

Оценка условий труда машиниста котельного оборудования

Студенты гр. 106524 Качар И.Л., Романченко Р.И., Шаранина Н.М.
 Научный руководитель – Винерский С.Н.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Нами произведена оценка условий труда старшего машиниста котельного оборудования на Оршанской ТЭЦ.

Старший машинист котельного оборудования осуществляет организационное обслуживание (допуск по наряду), контроль за работающим оборудованием по показаниям КИП и приборов автоматики, опробование предохранительных клапанов и осмотр работающего оборудования во время регулярных обходов, при этом время нахождения его на центральном щите управления составляет 40% времени смены, на мазутном, газовом и питательном узлах (отметка 6,6 м) – 30 %, на отметке обслуживания барабана котла (отметка 18 м) – 15% и на нулевой отметке – 10 % времени смены.

Загазованность воздушной среды в зонах обслуживания приведена в таблице 1.

Таблица 1

Место замера	NO ₂ (ПДК=2 мг/м ³)	СО (ПДК=20 мг/м ³)	SO ₂ (ПДК=10 мг/м ³)	C _n H _m (ПДК=300 мг/м ³)
Центральный щит управления	1,02	10	0,9	36
Мазутный, газовый и питательный узлы котла	1,6	15,8	1,4	70
Отметка обслуживания барабана котла	4,2	21,2	1,8	65
Нулевая отметка	0,8	8,6	0,7	30

Анализ состояния воздуха рабочей зоны показывает, что работа старшего машиниста котельного оборудования происходит во вредных условиях при постоянном присутствии в рабочей зоне оксидов азота и углерода, сернистого ангидрида и углеводородов, причем на отметке обслуживания барабана котла отмечено превышение ПДК для СО в 1,6 раза, а для NO₂ в 2,1 раза.

Уровни шума составили на центральном щите управления 66 дБА (ПДУ = 65 дБА), при обслуживании мазутного, газового и питательного узлов котла – 88 дБА (ПДУ = 80 дБА), на отметке обслуживания барабана котла – 85 дБА (ПДУ= 80 дБА), на нулевой отметке – 81 дБА (ПДУ = 80 дБА).

Интенсивность инфракрасного (теплого) излучения составила при обслуживании мазутного, газового и питательного узлов котла – 70 Вт/м², на отметке обслуживания барабана котла от 210 до 350 Вт/м² при нормативном значении 100 Вт/м².

Учитывая то, что воздействие вредных веществ на организм человека в условиях интенсивного шума и высоких температур (температура воздуха составила на нулевой отметке 21⁰ С, на отметке обслуживания мазутного, газового и питательного узлов котла 23⁰С, на центральном щите управления – 29,8⁰С, на отметке обслуживания барабана котла – 50⁰С) усиливается, такая работа приводит к серьезным нарушениям в работе отдельных органов и организма человека в целом.

Таким образом, работа старшего машиниста котельного оборудования выполняется в потенциально жизне- и травмоопасных условиях (с сосудами, работающими под давлением, опасными химическими веществами) в неблагоприятных санитарно-гигиенических условиях труда (при высокой температуре, повышенном уровне шума, при наличии инфракрасного излучения) при регулярно чередующейся 3-х сменной работе с ночной сменой.

Оценка условий труда работающих с копировальными аппаратами

Студент гр. 106213 Хвисючик С.Н.
Научный руководитель – Мордик Е.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В связи с широким использованием копировальных аппаратов ниже приведены исследования по гигиенической оценке условий труда работающих на них. Процесс копирования происходит с помощью системы электростатической передачи и сопряжен с образованием коронных разрядов.

Установлено, что содержание диоксида азота в воздухе рабочей зоны помещений не превышало допустимый уровень (2 мг/м^3). Концентрации озона более чем на половине обследованных объектов нарастали пропорционально времени работы аппарата и достигли $0,26-0,29 \text{ мг/м}^3$, превышения ПДК ($0,1 \text{ мг/м}^3$). В конце смены операторы предъявляли жалобы на сухость слизистых оболочек глаз, органов дыхания, затруднение дыхания при работе настольных (портативных) копировальных аппаратов типа Canon PC-230; 210. Выделение озона в воздух незначительно.

Высокие концентрации озона создаются при использовании аппаратов типа Canon – 1215; 1010, что связано с особенностями их конструкции. Заряд со струны коротрона передается на селеновый валик через воздушный зазор, что сопряжено с массивным образованием озона.

Одной из причин создания высоких концентраций в воздухе рабочей зоны является несвоевременная замена каталитических фильтров, преобразующих озон в кислород и рассчитанных на определенное число копий.

Измерение напряженности электростатического поля показало, что уровень ее на расстоянии 10 см от отдельных копировальных аппаратов достигал 30 кВ/м (при отсутствии у них заземления), а на расстоянии 30 см – от 0 до 10 кВ/м .

Таким образом, работающие на копировальных аппаратах подвергаются воздействию высокоопасного вещества – озона и электростатического поля.

Для улучшения условий труда и профилактики заболеваний операторов предложены следующие рекомендации: установление копировальных аппаратов в отдельных помещениях, оборудованных приточно-вытяжной механической вентиляцией; расположение рабочего места оператора на расстоянии не менее 30 см от передней панели работающего аппарата; оборудование аппарата трехпроводным заземляющим типом вилки с подключением в розетку с заземляющими контактами (типа «Евростандарт»); прохождение операторами предварительных и периодических медицинских осмотров. Указанные мероприятия внедряются в практику.

Опасность ионизирующих излучений, виды поражения человека, используемые меры профилактики

Студент гр. 110434 Дивин А.Е.
Научный руководитель – Вершения Е.Г.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

На ряде предприятий (атомные электростанции, контроль технологических процессов) и в научно-исследовательских учреждениях все чаще применяются различные источники ионизирующих излучений, т.к. под воздействием излучений некоторые материалы приобретают ценные свойства.

Ионизирующие излучения проявляются в виде: альфа- и бетачастиц, гамма-лучей, испускаемых радиоактивными изотопами при самопроизвольном их распаде;

- потоков электронов, протонов, дейтронов и др. заряженных частиц ускоренных до больших энергий в ускорителях;

- потоков рентгеновских и гамма-лучей, протонов, нейтронов и др. вторичных излучений, возникающих при взаимодействии искусственно заряженных частиц с веществом.

Все эти излучения не воспринимаются органами чувств человека, но оказывают опасное воздействие на организм.

Ионизирующие излучения, особенно нейтронное и гамма-излучение способны проникать через вещества.

В результате воздействия ионизирующих излучений возникают лучевая болезнь, которая может быть острой и хронической, в виде общих и местных поражений. Общее действие вызывает лейкемию (белокровие), местные – ведут к заболеваниям кожи и злокачественным опухолям, возникают и наследственные заболевания, проявляющиеся в следующих поколениях.

Острые поражения наступают при облучении большими дозами в течение короткого промежутка времени. Острая лучевая болезнь характерна цикличностью ее протекания и имеет четыре периода:

1. первичная реакция;
2. видимое благополучие (скрытый период);
3. разгар болезни;
4. выздоровление (либо смерть).

Первичные реакции: через несколько часов после облучения тошнота и рвота, головокружение, вялость, учащение пульса, иногда повышение температуры, увеличение числа белых кровяных телец (лейкоцитов).

Скрытый период – 1 – 2 недели, чем короче этот период – тем тяжелее исход заболевания.

Разгар болезни: тошнота, рвота, подъем температуры до 41 градуса, кровотечение из десен, носа, внутренних органов, резкое снижение числа лейкоцитов. Смерть наступает через 12 – 18 дней после облучения.

Выздоровление наступает через 25 – 39 дней, но чаще раннее старение, обострение прежних болезней.

Хронические поражения бывают общими и местными, чаще скрытыми.

Признаки хронической лучевой болезни: головокружение, вялость, слабость, нарушение сна, аппетита, нарушение обмена веществ, кровоточивость и пр.

Защита от ионизирующих излучений состоит из комплекса организационных (инструктаж, инструкции, ограничение времени пребывания персонала и др.) и технических (экранирование) мер.

Защита от внешнего облучения достигается:

1. защита временем – уменьшением времени облучения;
2. защита расстоянием – увеличением расстояния до источника излучения;
3. защита экранированием – применением защитных экранов.

Полная доза облучения находится в пропорциональной зависимости от продолжительности облучения, а мощность дозы облучения обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника излучения, т.е. во сколько раз меньше продолжительность облучения, во столько же раз уменьшается и полная доза облучения, а увеличение расстояния от источника излучения в 2 раза приведет к уменьшению мощности дозы в 4 раза.

Применение защитных экранов основано на свойстве материалов и веществ в зависимости от толщины слоя поглощать излучения. Толщина защитных экранов рассчитывается в зависимости от длины пробега частиц и плотности вещества экрана.

Для защиты от альфа-излучения достаточны экраны на стеклах, фольги и плексиглаза толщиной в доли миллиметра. Для защиты от рентгеновский лучей и гамма-излучений изготавливаются экраны их веществ в большом атомном весе (свинец, вольфрам, чугун, нержавеющая сталь). Эти экраны часто оборудуются различными манипуляторами для дистанционного выполнения различных действий с предметами за экраном.

Все лица, допускаемые к работе, связанной с применением источников ионизирующих излучений, подлежат медицинскому осмотру. Кроме того обязателен инструктаж по безопасным методам работы на рабочем месте, а после стажировки производится проверка знаний по технике безопасности. Повторная проверка знаний по безопасности выполнения работ и периодические медицинские осмотры проводятся не реже, чем через каждые шесть месяцев.

В настоящее время на производстве осуществляется контроль приборами, работающими на основе ионизационного, сцинтилляционного и фотографического методов регистрации.

Ионизационный метод основан на способности газов под воздействием радиоактивных излучений становится электропроводными (ионизационные камеры и газовые счетчики).

Сцинтилляционный метод основан на способности некоторых кристаллов, газов и растворов испускать вспышки видимого света при поглощении энергии ионизирующих излучений.

Фотографический метод основан на воздействии ионизирующих излучений на фотоэмульсию.

Дозиметрические приборы делятся на два типа:

1. приборы для количественных измерений дозы и мощности дозы излучения;
2. индикаторные приборы для быстрого обнаружения источников излучения.

Студент гр. 111143 Безенсон С.В.
Научный руководитель – Углик Н.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В нашей республике ежегодно увеличивается парк индивидуальных легковых автомобилей. Одновременно возводятся индивидуальные гаражи и отдельные открытые стоянки. Гаражи являются объектами повышенной пожарной опасности.

Основными причинами возникновения пожаров в гаражах являются нарушения правил пожарной безопасности при строительстве и эксплуатации гаражей, технической эксплуатации автомобилей вследствие недостаточных знаний пожарной опасности отдельных узлов, агрегатов, применяемых горючесмазочных материалов, невыполнения и несоблюдения правил пожарной безопасности при эксплуатации автомобилей, несвоевременного и не в полном объеме проведенного технического обслуживания; короткого замыкания в результате нарушения целостности изоляции в электропроводке и из-за неисправности электрооборудования.

Как правило, в строительных конструкциях гаражей, в отделке внутренних стен применяют древесину различных пород, фанеру, древесно-стружечные плиты, рубероид, толь и другие строительные материалы. В гараже хранят домашнее имущество (диваны, столы, стулья и т.д.), топливносмазочные материалы, краски. Пожар может возникнуть и из-за нарушения правил пожарной безопасности при проведении огневых работ, промывке деталей и узлов автомобиля с использованием легковоспламеняющихся жидкостей (бензин, ацетон, керосин и др.). Эти жидкости опасны в пожарном отношении. Так, температура вспышки бензина равна 34°C , нижний и верхний концентрационные пределы воспламенения соответственно составляют 6,70 и 5,16 % объемных. Поэтому использование бензина в качестве растворителя даже в небольших количествах создает опасные для воспламенения концентрации паров практически в любых условиях его использования. Опасность применения легковоспламеняющихся жидкостей заключается и в том, что обладая высоким электрическим сопротивлением ($10^{12} - 10^{16}$ Ом) при переливании, транспортировании или обезжиривании деталей, образуют заряды статического электричества, потенциалы которых колеблются в пределах, обеспечивающих возникновение вспышки, взрыва, пожара. Кроме того, использование растворителей не позволяет обеспечить безопасное выполнение работ, так как спецодежда может пропитаться ими и при наличии незначительных источников воспламенения может загореться. Поэтому следует использовать пожаробезопасные технические моющие средства (лабомид 101, 102, МС-6, МС-12 и др.).

Пожар также может возникнуть при выполнении различных ремонтных работ, во время производства малярных работ и при пользовании электрифицированным инструментом. Автомобиль также является средством повышенной пожарной опасности, так как в нем имеется разветвленная сеть электроснабжения, бензобак с сетью топливопроводов, а в его внутренней отделке используются сгораемые материалы – древесно-волоконистые плиты, пенополиуретан, искусственная кожа и т.д. Пожар может возникнуть из-за неисправной электропроводки, выполненной в гараже; несвоевременного удаления из гаража отработанных масел, обтирочных материалов, из-за заправки автомобиля горючим в гараже, хранения спецодежды, пропитанной топливно-смазочными материалами.

При строительстве и эксплуатации индивидуальных гаражей необходимо выполнять следующие требования пожарной безопасности.

Для строительства индивидуальных и кооперативных гаражей необходимо в первую очередь использовать негорючие материалы и конструкции с повышенным пределом огнестойкости (железобетонные панельные стены и перекрытия, кирпич, листовая сталь, шлакоблоки и др.).

Допускается строительство индивидуальных гаражей и из деревянных сгораемых материалов. Чтобы повысить пожарную безопасность гаражей, целесообразно с наружной стороны обшить их листовой сталью, а с внутренней – пропитать огнезащитными составами. В качестве составов можно применять водные растворы огнезащитных солей $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, $(\text{NH}_4)\text{HPO}_4$, $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$ и др. с расходом сухой соли не менее 100 г на 1 м^2 площади обрабатываемой поверхности, а также поверхностную обработку огнезащитными красками, жидким стеклом, глиняным раствором и другими обмазками. Рекомендуется использовать следующие обмазки: известково-солевую (62 % гашеной извести, 6 % поваренной соли и 32 % воды) или суперфосфатную (65 % суперфосфата и 35 % воды). Обмазку наносят кистью в два слоя, - общая толщина при этом должна составлять 2,5 мм.

При строительстве гаражей необходимо предусматривать противопожарные разрывы между ними и жилыми, а также общественными зданиями. Прилегающая к гаражу территория должна иметь твердое покрытие и быть постоянно свободной для беспрепятственного проезда пожарных и других автомобилей специальных служб.

Помещение гаража должно постоянно содержаться в чистоте и не загромождаться посторонними вещами, материалами и оборудованием. Пролитые легковоспламеняющиеся жидкости и масла необходимо убирать с помощью песка.

Вокруг машины, стоящей в гараже, должны быть свободные проходы шириной не менее 0,6 м.

Заправку автомобиля горючим производят только на автозаправочных станциях. В исключительных случаях заправка может быть осуществлена вне помещения гаража, на площадке текущего ремонта и технического обслуживания.

Индивидуальный гараж должен быть оснащен первичными средствами пожаротушения. Нельзя ставить автомобиль в гараж, если у него подтекает топливо из бака, топливопровода, а также неисправна система электрооборудования. Не допускается хранение в гараже предметов домашнего обихода, а также бензина (более 20 кг) и 5 кг смазочных материалов. Хранить перечисленные горючие и смазочные материалы можно только в металлической герметичной таре.

Категорически запрещается производить в гараже окраску автомобиля, ремонтные работы с применением открытых источников огня (электросварку), пользоваться факелом для подогрева двигателя, а также промывать детали керосином, бензином или другими растворителями. Нельзя выливать отработанные нефтепродукты в канализацию или на территорию гаража.

Электропроводки и электроустановки в гаражах должны монтироваться в соответствии с требованиями Правил установки электрооборудования (ПУЭ). В гаражах запрещается установка и применение электронагревательных приборов любой конструкции и исполнения.

Опасным является место проведения подзарядки аккумуляторной батареи, так как во время этого процесса происходит выделение свободного водорода. Водород смешивается с кислородом воздуха и образует легковзрывающуюся концентрацию, которая от воздействия даже незначительного источника огня может вызвать взрыв или пожар. Поэтому, на том месте, где проводится подзарядка аккумулятора категорически запрещается пользоваться открытыми источниками огня – спичками, свечами, керосиновыми и паяльными лампами. При подготовке аккумуляторной батареи к подзарядке необходимо надежно закрепить зажимы проводов к клеммам, чтобы исключить переходное сопротивление и не допустить искрообразования, а следовательно, предотвратить возможный взрыв или пожар.

УДК 331.45:621(035)

К вопросу токсиметрических показателей стержневых смесей

Студентка гр. 104327 Бэйнер М.В.

Научный руководитель – Ушакова И.Н.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В работе представлены токсиметрические показатели составляющих стержневых смесей на основе фенолоформальдегидных смол. Данные показатели получены в результате анализа технических нормативных правовых актов (ТНПА) и литературных данных.

ТНПА регламентируют безопасность вредных производственных факторов, имеющих место при изготовлении и использовании стержневых смесей.

В литейном производстве активно внедряются новые технологические процессы, приводящие к интенсификации производства, однако при этом сами являются источником неблагоприятных и вредных производственных факторов. Так, при изготовлении и использовании стержневых смесей могут выделяться вредные вещества 1 класса опасности (чрезвычайно опасные), 2 класса опасности (высокоопасные), которые оказывают токсическое действие на организм человека.

Одним из наиболее прогрессивных способов получения стержней является Gold-Vox-amin-процесс. Связующее состоит из основных компонентов: фенолоформальдегидная смола, полимерный изоцианат (от метилена до фенилизотиоцианата), катализатор amin (триэтиламин и др.). Согласно литературным источникам в процессе изготовления и применения данной стержневой смеси в воздух рабочей зоны выделяются также продукты разложения составляющих связующего - фенол, метанол, формальдегид и др.

Изучение токсиметрических показателей составляющих стержневых смесей Gold-Vox-amin-процесса показало, что данные вещества являются представителями 1, 2 класса опасности, обладают как общей ядовитостью, так и действуют на основные органы человека. Согласно СанПиНу №1-6-2002 РБ в этих смесях имеются вещества, которые представляют опасность острого отравления и вызывают различные заболевания. К примеру, формальдегид является аллергеном и оказывает раздражающее действие, требуется специальная защита кожи и глаз.

При внедрении Gold-Vox-amin-процесса на предприятиях должны соблюдаться требования ТНПА по содержанию вредных веществ в воздухе рабочей зоны и использоваться всевозможные методы снижения токсичности смесей.

В Правилах технической безопасности и охраны труда в литейном производстве, утв. пост. МЧС РБ и Министерством промышленности Республики Беларусь 03.01.2005 №1/1, лишь частично указаны

основные требования по охране труда при использовании стержневых смесей с применением фенолформальдегидных смол. Исходные материалы для приготовления стержневых смесей должны иметь сертификаты соответствия с указанием токсичной характеристики. Информация о мерах безопасности при приготовлении и использовании Gold-Vox-amin-процесса в данном нормативном акте отсутствует, так как данный процесс был разработан за рубежом. Имеются лишь незначительные сведения по снижению токсичности фенолформальдегида. Данный ТНПА рекомендует вводить для обезвреживания фенолформальдегида 5-7% раствор хлорного железа, обеспечивать герметичность оборудования и надежность вентиляционных систем.

На предприятиях при использовании таких процессов разрабатывают локальное ТНПА, которые предусматривают общие требования безопасности при использовании связующих определенного класса, требования безопасности перед началом работы, во время работы и в аварийных ситуациях.

На основе анализа литературных источников и на примере изучения технологического процесса изготовления стержней на Барановичском станкостроительном заводе ЗАО "АТЛАНТ" рассмотрены основные методы снижения токсичности стержневых смесей с применением фенолформальдегидных связующих. Ими являются герметизация оснастки, нейтрализация газов, уменьшение содержания связующего, применение кондиционных песков, нейтрализация и обезвреживание газовыделений, применение эффективной вентиляции и средств индивидуальной защиты работающих.

Соблюдение ТНПА и использование методов снижения токсичности позволяют активно применять фенолформальдегидные связующие в производстве стержней.

УДК 502.175:[504.5:69]

Радиационно-экологические свойства сырья для производства строительных материалов

Студент 2 к. ХТиТ Жук Н.Н.

Научный руководитель – Терешко В.В.

Белорусский государственный технологический университет.

г. Минск

В современных условиях одним из основных принципов государственной политики утверждается принцип поддержания здоровья и безопасности граждан Республики Беларусь. В начале марта 2008 года правительство РБ приняло «Концепцию строительства (реконструкции) доступного и комфортного жилья», что создаст в Беларуси все условия для того, чтобы квартиры строили больше и быстрее. По словам начальника управления жилищного строительства Министерства архитектуры А. Гавраля к 2010 году производство цемента, стекла, железобетона, щебня увеличится примерно в два раза. В свою очередь, увеличение объемов строительства может негативно сказаться и на качестве используемых строительных материалов, в том числе и по содержанию в них радионуклидов. Предметы быта окружающие нас, в том числе и стены домов, в которых мы проживаем, не должны содержать и выделять в окружающую среду вредные для здоровья человека вещества. В связи с этим ужесточаются радиоэкологические требования, в том числе в строительной отрасли, возрастают ее потребности в радиационно-чистых стройматериалах и сырье для них.

Привлечение для изготовления строительных материалов отходов различных промышленных производств привело в ряде случаев к увеличению радиационного фона в зданиях. Традиционные строительные материалы – дерево, кирпич, бетон обладают сравнительно низкой активностью. Принято считать, что вклад в годовую эффективную дозу за счет строительных материалов в среднем для населения Земли составляет от 0,5 до 1,5 мЗв на человека. Наименьшие дозы получает население, проживающее в деревянных домах, – 0,5 мЗв/год, в кирпичных домах – 1,0 мЗв/год и в бетонных – 1,7 мЗв/год.

К нормированию природных радионуклидов применяется принцип снижения доз облучения до разумного низкого уровня с учётом экономических и социальных факторов, разработанный Международной комиссией по радиационной защите (МКРЗ).

В помещениях (при отсутствии искусственных источников) человек подвергается воздействию технологически изменённого естественного радиационного фона, обусловленного: космическим излучением и естественными (земного происхождения) радионуклидами, содержащимися в грунте, на котором возведено здание, в строительных материалах, из которых изготовлены ограждающие конструкции, а также поступающими в помещения вместе с воздухом, водой и в результате сгорания топлива.

Эффективная удельная активность ($A_{эфф}$) природных радионуклидов в строительных материалах (щебень, гравий, песок, камень, цементное и кирпичное сырье и п.р.), рассчитывается по формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + A_{Th} + 0,85 A_K$$

где A_{Ra} и A_{Th} – удельные активности радия-226 и тория-232, Бк/кг; A_K – удельная активность калия-40, Бк/кг.

Загрязнение строительных материалов является следствием использования минерального сырья, содержащего естественные радионуклиды. Каждая тонна гранита содержит в среднем 10 г тория, 5 г урана и 1,3 г радия. Наиболее высокая удельная активность характерна для гранита, туфа, пемзы, меньше активность мрамора, известняка.

Глинистые породы обладают свойством активно сорбировать и цепко удерживать радионуклиды. При термической обработке глинистых пород в процессе изготовления из них материалов, особенно технической керамики (огнеупоры, керамзит, красный кирпич и др.), повышается концентрация радионуклидов за счет выгорания различных органических примесей. Отсюда необходим радиационный контроль строительных материалов на соответствие допустимым уровням. Это будет способствовать улучшению условий жизнедеятельности человека и среды его обитания.

По оценкам специалистов, природные радионуклиды, прежде всего, долгоживущие радионуклиды – калий-40, радий-226 (его продукты распада – радон-222 и торон-220), торий-232, наиболее опасны для людей, поскольку с течением времени они создают значительную дозу облучения, что негативно влияет на здоровье человека и экологическое благополучие.

Многие виды минерального сырья, как импортируемого, так и местного, используемого в промышленности строительных материалов, по содержанию природных радионуклидов превышают среднемировые значения. Запасы же радиационно чистого минерального сырья ограничены и постепенно истощаются. При дальнейшем развитии промышленности радиоэкология и безопасность в системе «минеральное сырье – материалы и продукция – население» имеет тенденцию дальнейшего ухудшения.

В ходе работы были проведены анализы различных сортов глин и песка, а также определена удельная активность добавок и готовой продукции. Полученные анализы радиационного качества карьерных материалов и готовой продукции свидетельствует о том, что исследованные материалы являются низкорadioактивными объектами и согласно НРБ-2000 относятся к I и II классу опасности могут использоваться в строительстве.

Анализ A_{ϕ} показывает, что основной вклад в суммарную гамма-активность глинистых материалов вносят все исследованные радионуклиды: K-40, Ra-226 и Th-232.

УДК 614.876

Накопления радионуклидов в основных видах пищевой продукции леса

Студентка гр.1, курса 3, ф-та ТОВ Мандрикова Н.В.
Научные руководители – Перетрухин В.В., Чернушевич Г.А.
Белорусский государственный технологический университет
г.Минск

В результате катастрофы на Чернобыльской АЭС радиоактивному загрязнению подверглось около 1,7 млн. гектаров лесов Республики Беларусь или около 23% лесных угодий, в различной степени загрязнено 53 лесхоза отрасли, что заставило в корне пересмотреть взгляды на проблемы радиационной безопасности населения.

Выполняя защитную функцию окружающих ландшафтов от вторичного радиоактивного загрязнения, лесной фонд сам является источником радиационной опасности. Продукты леса – это наиболее опасная категория продуктов питания. Такая ситуация обусловлена рядом факторов: местонахождением радионуклидов преимущественно в прикорневом слое почв, биофизическими и физико-химическими процессами в системе почва – радионуклиды – растения, определяющих высокую усвояемость радионуклидов растениями. Употребление в пищу грибов и лесных ягод приводит к увеличению дозы внутреннего облучения на 0,3 мЗв/год при плотности загрязнения 185 кБк/м². Пищевые продукты леса, составляющие всего несколько процентов от массы ежедневного рациона жителей Белорусского Полесья, определяют поступление в их организм до 50% общей активности цезия-137, содержащейся в рационе питания.

Радиоэкологические исследования накопления радионуклидов растениями нижних ярусов леса преследуют две цели. С одной стороны, представляет несомненный научный интерес изучение основных закономерностей и динамики накопления в них радионуклидов, а также оценки роли этих компонентов леса во влечении радионуклидов, в биологический круговорот. С другой – прогноз уровней загрязнения пищевых продуктов леса (в частности, грибов и ягод) позволит оценить дозу внутреннего облучения при их систематическом употреблении на ближайшую и отдаленную перспективы. Важно также оценить направленность процесса накопления радионуклидов в пищевых продуктах леса, используемых человеком. Необходимо выявить, происходит ли увеличение, стабилизация или уменьшение содержания радионуклидов в том или ином виде продукции за годы исследований, что необходимо для составления прогнозов внутреннего облучения и разработки нормативов на содержание радионуклидов.

В соответствии с «Нормами радиационной безопасности НРБ-2000», индивидуальная предельно допустимая доза от техногенных источников, которую человек может получить за весь период жизни составляет 70 мЗв или 1 мЗв/год.

В качестве наиболее важного фактора, определяющего интенсивность накопления радионуклидов в пищевой продукции леса, является поверхностная активность радионуклида в почве (плотность загрязнения радионуклидом почвы). Вместе с тем, поступление радионуклидов в лесохозяйственную продукцию зависит от формы нахождения выпавших радионуклидов, характера миграции и распределения радионуклидов по профилю почвы, агрохимических характеристик и водного режима лесных почв, биологических особенностей видов растений, климатических особенностей года.

Существенный отпечаток на поведение радионуклидов в лесных почвах накладывает наличие особого органо-минерального слоя – лесной подстилки, состав и свойства которой в пределах насаждений различного возраста и состава варьируют очень широко. Свойства этого слоя определяют разложение органики, и высвобождение минеральных элементов в подстилочную часть почвы. Существенную роль при этом играют микроорганизмы, грибы и растения, способные в широких пределах изменять скорости минерализации опада и выхода из него минеральных элементов. Поэтому закономерности поведения радионуклидов в лесных почвах имеют ряд специфических черт, требующих постоянного уточнения и дополнения.

Мощность эквивалентной дозы в критическом органе человека определяют по соотношению:

$$H = A f E_{\text{эф}} 1,6 \cdot 10^{-13} / m ,$$

где A – равновесная активность нуклида во всем теле, Бк; f – доля нуклида в критическом органе относительно общего содержания во всем теле; $E_{\text{эф}}$ – эффективная энергия излучения, МэВ/распад; $1,6 \cdot 10^{-13}$ – энергетический эквивалент 1 МэВ, Дж/МэВ; m – масса органа, кг.

Основой стратегии радиационной реабилитации территорий, подвергшихся радиационному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС, является снижение доз облучения до величин, обеспечивающих достижение приемлемого обществом уровня радиационного риска. В качестве дозовых критериев используется величина годовой дозы и прогнозируемая доза за жизнь. В контексте данной концепции для целей реабилитации производится оценка доз, формируемых только за счет Чернобыльских выпадений.

Исходя из этого, основными задачами радиационной защиты населения на современном этапе развития поставарийной ситуации является осуществление комплекса оптимизированных мер, направленных на снижение индивидуальных и коллективных доз облучения.

Расчет ожидаемой эффективной эквивалентной дозы внешнего облучения для населения осуществляется на основе ожидаемой динамики мощности эквивалентной дозы, создаваемой цезием-137 с учетом его физического распада и скорости заглупления, характерной для загрязненных территорий Беларуси.

Дозы внешнего облучения могут быть рассчитаны на основе систематических измерений мощности эквивалентной дозы в данном населенном пункте или на основе постоянного контроля с помощью индивидуальных дозиметров.

При хроническом потреблении загрязненных цезием-137 продуктов питания расчет индивидуальной дозы внутреннего облучения осуществляется по формуле:

$$H_{\text{внутр}} = k \sum_i m_i \cdot A_{mi} ,$$

где k – пересчетный коэффициент, равный $1,3 \cdot 10^{-8}$ Зв/Бк; m_i – годовое потребление i продукта питания, кг; A_{mi} – удельная активность i продукта, Бк/кг.

В отличие от внешнего облучения опасность радионуклидов, попавших внутрь организма, обусловлена тем, что их действие продолжается в течение всего промежутка времени, пока радионуклиды не будут выведены из организма в результате физиологических обменных процессов и радиоактивного распада. Внутренне облучение зависит от распределения радионуклидов в критических органах и тканях, при этом преимущественно поражаются те органы и ткани, в которых избирательно накапливается радионуклид. Доза внутреннего облучения создаваемая радионуклидом, зависит и от характера излучения (альфа-, бета- или гамма-излучение), энергии излучения и эффективного периода полувыведения из организма. На основе информации о годовом потреблении основных продуктов питания и удельной активности по содержанию цезия-137 можно рассчитать годовую дозу внутреннего облучения. Более точная информация о дозе внутреннего облучения населения может быть получена с помощью спектрометров излучения человека (СИЧ). При проведении измерений на спектрометрах регистрируется излучение, исходящее от человека, вследствие нахождения в теле радионуклидов. Согласно методике, предложенной Минздравом РБ, пределу в 1 мЗв/год соответствует удельная активность цезия-137 от 361 до 433 Бк/кг в зависимости от возрастной группы.

В профилактике заболеваний и укреплении здоровья населения, проживающего на радиоактивно загрязненной территории, наряду с защитными мерами, применяемыми при ведении сельскохозяйственного

производства, санитарно-гигиеническими мероприятиями и оздоровительными мероприятиями существенное значение имеет правильная организация питания.

Для уменьшения внутреннего облучения и разрушающего действия радиации рекомендуется использовать продукты питания, обладающие радиопротекторным действием и 3-4 раза в год принимать пищевые пектиновые добавки.

Введение обязательного обследования на СИЧ всех жителей загрязненных регионов Беларуси позволит выявить критические группы населения с наибольшими уровнями накопления цезия-137 в их организме и открывает путь к избирательной радиационной защите.

УДК 661.849

Ртуть и вопросы демеркуризации

Студентка 2 к. факультета ИЭ Куль А.В.

Научный руководитель – Радченко Ю.С.

Белорусский государственный технологический университет

г. Минск

В Республике Беларусь довольно часто происходят чрезвычайные ситуации, вызванные случайным разливом ртути. При испарении ртути утяжеление воздуха оказывается крайне незначительным, что способствует распространению паров по всему объёму помещений. Ртуть и её пары хорошо сорбируются на всех без исключения конструктивных материалах. Серьезную опасность для здоровья людей также представляет «залежная» ртуть, которая зачастую скапливается в подполе, во всевозможных щелях, что является источником вторичного заражения пространства.

Ртуть также может существовать и в различных химических соединениях. Это ее свойство создает значительные проблемы для специалистов, занимающихся оценкой возможных рисков для здоровья человека.

Для нашего организма пары ртути – одно из самых опасных токсических веществ, так как они вызывают изменение белков в крови, нарушение кальциевого обмена в организме, поражение центральной нервной системы и органов внутренней секреции.

Основным путём поступления паров ртути в организм является ингаляционный, но следует знать, что соли ртути могут проникать и через кожный покров. Пары этого металла даже в концентрациях порядка 100 предельно-допустимых концентраций (ПДК) не обладают ни цветом, ни запахом, ни вкусом, не оказывают немедленного раздражающего действия на органы дыхания, зрения, кожу.

Пары ртути и соединения чрезвычайно ядовиты, легко сорбируются легочной тканью, накапливаются в организме. Попадая в кровь, они подвергаются ферментативному окислению до ионов, которые образуют соединения с молекулами белка крови, многочисленными ферментами, нарушают обмен веществ и могут вызвать тяжелые последствия. Острые отравления людей возможны при концентрации паров ртути в воздухе 0,13 мг/м³ и выше. Они сопровождаются головокружением, легкой утомляемостью, покраснением и кровоточивостью десен, повышенным выделением слюны, бледностью слизистых и кожных покровов. Иногда нарушается работа внутренних органов – почек и печени. При более тяжелых формах отравления случаются воспаления слизистой оболочки рта. Поражение нервной системы может выражаться дрожанием кистей рук, век, губ, языка. У некоторых пострадавших наблюдаются ослабление мышечной силы, параличи, боли в суставах конечностей, развивается повышенная раздражительность, ощущается металлический привкус во рту. В отдельных случаях при воздействии ртути на кожу появляются мелкие гнойнички или сыпь.

Непосредственно выбросы ртутных паров в атмосферу не создают повышенных концентраций на открытом воздухе. Таким образом, промышленная ртутная опасность характерна в основном для работников соответствующих производств, если не происходит вынос ртути или ее соединений за пределы предприятий. Наибольшую опасность для населения представляют бытовые источники заражения.

Ртуть обладает высоким поверхностным натяжением и большой подвижностью, что в значительной степени затрудняет ее сбор механическим способом. При сметании образуются все более мелкие шарики, что способствует значительному увеличению поверхности испарения. Вместе с тем капли чистой ртути при соприкосновении между собой быстро соединяются, стремясь занять объем с минимальной поверхностью.

На практике различают механические и физико-химические способы проведения демеркуризации. При механической сбор ртути необходимо проводить от периферии загрязненного участка к его центру, если определены границы начальной площади загрязнения. Скрытые источники загрязнения рекомендуется искать только после тщательного сбора видимой ртути. А если помещение расположено на первом этаже, то при наличии подвала необходимо осмотреть и его.

Для сбора небольших количеств ртути рекомендуется пипетки различной конструкции. Большие количества жидкого металла можно засасывать в толстостенную склянку с помощью водоструйного насоса, компрессора, бытового пылесоса и т.п. Целесообразно использовать тонкие полупрозрачные трубки, например, из силиконового каучука или поливинилхлорида. Допускается также сметать капли ртути мокрой

волосяной кистью или щеткой в эмалированный совок, извлекать растекшуюся ртуть из углублений и щелей при помощи полосок алюминиевой фольги, очищенной пластинки оцинкованной жести, медной или латунной проволоки. Чтобы ртуть хорошо прилипла к ней, перед применением необходимо промыть ее обезжиривающими растворами, а после контакта обработать в разбавленной азотной кислоте.

Очень мелкие капельки ртути рекомендуют собирать при помощи влажной фильтровальной или газетной бумаги, которая предварительно размягчается в воде, отжимается и в таком виде используется для промывки загрязненных поверхностей. Шарики прилипают к бумаге и вместе с ней переносятся в герметичную емкость. При работе с водоструйными насосами или грушами можно исключить возможность попадания элемента в аспирационные устройства и канализационную сеть путем включения в систему по ходу движения ртути склянки Дрекселя или других подобных сосудов, выполняющих роль ловушек жидкого металла. Собранную ртуть, ее соединения, препараты, а также твердые и жидкие отходы, сопутствующие демеркуризации, следует убрать с территории зараженного объекта в специальные места их утилизации.

Однако самая тщательная механическая уборка в большинстве случаев не обеспечивает полного удаления ртути, так как она может задерживаться в неровностях, попадать в трещины и щели строительных конструкций, а также сорбироваться поверхностью предметов, находящихся в помещении. Поэтому вторым этапом проводимых работ является химическая демеркуризация – воздействие на ртуть различными химическими соединениями, которые в значительной степени снижают скорость испарения ртути путем перевода ее в оксиды и соли с меньшей упругостью паров. Химической обработке обязательно должны предшествовать: сбор видимой металлической ртути; удаление продуктов коррозии, ржавчины; снятие старых, некондиционных антикоррозийных покрытий.

Выбор технологии демеркуризации и химически активных растворов определяется с учетом особенности веществ и материалов, из которых изготовлены строительные конструкции и оборудование аварийного помещения. Перечисленные демеркуризаторы применяются обычно из расчета 0,2-1,0 литра на 1 м² площади поверхности.

При демеркуризации работ необходимо обязательное проведение замеров концентрации ртути в течение одной-двух недель, чтобы избежать эксплуатации объектов, на которых зараженность практически не устранена, а только временно уменьшена.

УДК 658.382

Проблема совершенствования методики мониторинга условий и охраны труда

Студент гр. 1 Лазарева В.Г.

Научный руководитель - Основина Л.Г.

Белорусский государственный аграрный технический университет
г. Минск

Основной задачей мониторинга условий и охраны труда является оценка эффективности воздействия управленческих решений на улучшение состояния условий и охраны труда с целью регулярного анализа ситуации в сфере условий и охраны труда, прогнозирования развития ситуации в этой сфере под влиянием раз личных факторов, разработки рекомендаций по решению выявленных проблем в сфере условий и охраны труда. Предполагается, что мониторинговые исследования в сфере условий и охраны труда позволят: улучшить информационное и научно-методическое обеспечение законотворческой деятельности; оценить фактическую результативность управленческих решений; повысить эффективность управленческих мер в реализации государственной социально-экономической политики; осуществлять коррективную концептуальных основ и технологий управления охраной труда в Российской Федерации.

Мониторинг условий и охраны труда имеет свои особенности, связанные со спецификой этой сферы. Изменение основных показателей условий и охраны труда (коэффициент частоты производственного травматизма, коэффициент тяжести производственного травматизма, численность работающих в неблагоприятных условиях труда и др.) проявляется в годовом наблюдении. Квартальное проведение мониторинга показателей по условиям и охране труда выявляет случайные колебания показателей [1, 2].

Среди основных факторов, определяющих состояние условий и охраны труда можно выделить следующие факторы:

- социально-экономическое состояние стороны (приоритеты государственной политики, состояние экономики, структура отраслей промышленности и занятости);
- состояние материально-технической базы производства, темпы обновления основных производственных фондов;
- состояние законодательной и нормативной правовой базы;
- состояние организационных структур, обеспечивающих выполнение требований законодательных и нормативных правовых актов, контроль за их исполнением, разработку научно-технических проблем;
- механизм экономического воздействия на улучшение условий и охраны труда на предприятии;

- обеспечение кадрами специалистов, обучение и переподготовка специалистов, профессиональный отбор, создание мотивационных механизмов.

Можно поставить задачу оценки воздействия любого из перечисленных факторов или их комбинации на улучшение условий и охраны труда.

Для получения достоверных данных о состоянии условий и охраны труда необходимо выбрать вид статистического наблюдения адекватный целям исследования. По охвату единиц совокупности виды статистического наблюдения можно разбить на группы по следующим признакам: сплошное наблюдение (получение информации о всех единицах исследуемой совокупности); не сплошное наблюдение (выборочное наблюдение, метод моментных наблюдений, метод основного массива, монографическое наблюдение).

Сплошной вид наблюдения является идеальным, так как он обеспечивает наибольшую точность статистического наблюдения. До конца 80-х гг. в СССР применялся в основном метод сплошного статистического наблюдения, в том числе и по показателям условий и охраны труда. В настоящее время применяется выборочный метод статистического наблюдения.

Возможность мониторинговых исследований условий и охраны труда с различной степенью охвата статистической отчетностью объектов наблюдения, представляет существенную проблему как в части финансирования, так и в части практического выполнения на предприятиях сплошного наблюдения.

Реально проведение мониторинга с выборочным охватом объектов наблюдения, в связи с чем возникает необходимость разработки методики выборки.

Для проверки взаимосвязки управленческих решений и состояния условия и охраны труда важное значение имеет обоснование критерия выбора отраслей экономики, количества занятых и предприятий.

В качестве основного показателя для цели отбора отраслей и предприятий, участвующих в мониторинге, предлагается выбрать показатель, характеризующий состояние охраны труда - коэффициент частоты производственного травматизма (число пострадавших от несчастных случаев на производстве с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более в расчете на 1000 работников с учетом фактически отработанного времени).

Следует провести оценку охвата занятых для получения данных о достаточности показателей по количеству травмированных, пользуясь методами математической статистики.

На отраслевом уровне целесообразно выбирать предприятия, у которых эти показатели в среднем будут соответствовать сложившимся в отрасли.

В конечном счете выбор варианта для апробации предлагаемой методики мониторинга зависит в значительной мере от объемов финансирования данной работы.

Литература

1. Антосенков Е.Г. Всероссийский мониторинг социально-трудовой сферы. Система показателей. // Человек и труд. - 1994. - № 3. - с. 4-5.
2. Антосенков Е., Петров О. Мониторинг социально-трудовой сферы. // Экономист. - 1998. - № 4. - с. 34-45.

Химические технологии

Студент гр. 104216 Удот А.Ю.
 Научный руководитель – Яглов В.Н.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Одной из основных задач современного дорожного строительства является повышение качества строящихся дорог с асфальтобетонными покрытиями при одновременном снижении материалоемкости, трудоемкости и энергоемкости работ.

Асфальтовый бетон является одним из наиболее сложных строительных материалов, который получил чрезвычайно широкое применение при устройстве покрытий автомобильных дорог.

Главное внимание в настоящее время уделяется совершенствованию известных и разработке новых технологий, обеспечивающих повышение качества. Это направление исследований реализуется технологией приготовления асфальтобетонных смесей с использованием полимербитумных вяжущих.

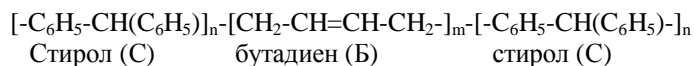
При этом необходимо обеспечить:

- быстрое совмещение полимера с битумом (желательно растворение в нем) за короткое время;
- близость параметров растворимости полимера и мальтеновой фракции битума;
- хорошую перерабатываемость;
- способность длительное время сохранять необходимые свойства;
- высокую стабильность структуры битумно-полимерной композиции во времени и устойчивость к разрушающим воздействиям при эксплуатации;
- отсутствие выделения в окружающую среду вредных веществ;
- не дефицитность и невысокую стоимость полимера.

Из всего разнообразия полимерных модификаторов с точки зрения повышения качества битумов в дорожных покрытиях наибольший интерес представляют: бутадиен-стирольные термоэластопласты, атактический полипропилен и бутилкаучук.

В качестве модификатора в работе использовали следующие полимеры:

Бутадиен-стирольные термоэластопласты (СБС) – блокстополимеры с двумя концевыми жесткими поливинилароматическими блоками и центральным эластичным полидиеновым блоком:



В работе исследовали влияние следующих бутадиен-стирольных термоэластопластов:

- бутадиен-стирольный термоэластопласт «Кратон – 1184», радиального строения с 30% стирола, производства фирмы «KRATON Polymers International Ltd»;
- бутадиен-стирольный термоэластопласт «Кратон – 1101», линейного строения с 30% стирола, производства фирмы «KRATON Polymers International Ltd»;

Установлено, что добавка в расплав битума БНД 90/130 3% термоэластопластов значительно улучшает свойства полимербитумного вяжущего.

На основе гудрона – 82%, модификатора – 8% и пластификатора полиалкилбензола получен также герметизирующий материал с температурой хрупкости (-45°C), температурой размягчения (+94°C) и относительным удлинением при (-20°C) более 200%. Причем высоких характеристик можно добиться, применяя СБС линейного и радиального строения.

Студент гр. 104216 Хмелевский П.С.
 Научный руководитель – Яглов В.Н.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Дорожное строительство требует большого количества (по массе или объему) дорожно-строительных материалов (щебня, гравия, песка и вяжущих материалов), доставляемых к объектам строительства железнодорожным и автомобильным транспортом. Большая экономия в транспортных перевозках, а следовательно, экономия в квалифицированной рабочей силе и топливных материалах достигается в том случае, если взамен привозных, дорогостоящих каменных материалов применяют для устройства дорожных одежд местные материалы, укрепленные вяжущими веществами.

Укрепление грунтов или других местных материалов представляет собой надежное средство удешевления и ускорения темпов дорожного строительства. При этом применение укрепленных грунтов во всех случаях обязательно должно обеспечивать требуемую прочность и долговечность дорожной одежды.

Кроме того укрепление грунтов — принципиально иной подход к конструированию дорожных одежд. При устройстве слоев основания и морозозащитного слоя из укрепленных грунтов поступление влаги сверху в дорожную одежду практически исключается. В результате этого влажность верхней части земляного полотна всегда бывает меньше, чем при устройстве традиционных щебеночных оснований на дренирующем песчаном слое. Вследствие хорошей распределяющей способности слоев из укрепленных грунтов ровность покрытий на таких основаниях обычно лучше, чем на щебеночном или гравийном основании.

Физико-механические свойства цементогрунтов изменяются в широких пределах в зависимости от свойств укрепляемых грунтов, их генезиса и состава. Требования к цементогрунтам, используемым в дорожной одежде, зависят от состава подвижной нагрузки, ее интенсивности и от климатических режимов регионального характера: увлажнения и высушивания, замораживания и оттаивания дорожной одежды.

Наиболее активной частью цементогрунтовой смеси, обеспечивающей создание новой структуры укрепленного грунта, является цемент. В результате взаимодействия цемента с водой, с содержащимися в грунте солями и частично с мелкодисперсной частью грунта в укрепляемом грунте возникает новая водостойчивая кристаллизационная структура. Прочность этой структуры определяется, главным образом, содержанием и качеством цемента. В данной работе в цементогрунтах, используемых для устройства дорожных одежд, применяли портландцементы марки 400—500 в количестве 6—14% от массы грунта.

Значительного улучшения качества цементогрунтов можно достичь введением в цементы различного рода поверхностно-активных добавок. В наибольшей степени исследована известь, которая позволяет снижать расход цемента и укреплять грунты с избыточной влажностью.

Изучены свойства различных видов грунтов местных дорог Минской области. Установлен их химический и гранулометрический состав, а также характеристики пластичных свойств.

Среда водной вытяжки супесей и суглинков слабокислая, а среда - глины - нейтральная или слабощелочная.

Установлено, что наиболее пригодны для укрепления цементом супеси, для которых прочностные свойства увеличиваются с ростом содержания цемента в смеси. Оптимальное количество цемента для получения грунтоцемента марки 50-75 составляет:

- для супесей с числом пластичности 4 и менее – 6-8% от массы смеси или 100-160 кг/м³ смеси.
- для супесей с числом пластичности 4-7 и легких суглинков – 8-10% от массы смеси или 160-200 кг/м³ смеси.
- для тяжелых суглинков с числом пластичности 12-17 – 11-14% от массы смеси или 220-260 кг/м³ смеси.
- для глин песчаных и пылеватых с числом пластичности 18-37 – 14-16 от массы смеси или 260-280 кг/м³ смеси.

Оптимальная влажность определяется при получении максимальной плотности и составляет для супеси 10-12%, для суглинков 11-14%, для глин 16-20%.

Формирование структуры цементогрунтов происходит в условиях динамического технологического процесса. Режимы технологических операций — измельчение, смешение, увлажнение, уплотнение — каждый в отдельности и в совокупности, применяемое оборудование и машины, климатические условия существенно влияют на процессы структурообразования цементогрунта и на конечные свойства создаваемого материала.

Положительным свойством цементогрунтов, способствующим эффективному применению их в конструкциях дорожных одежд, является образование прочной монолитной плиты, обладающей достаточной несущей способностью и жесткостью для того, чтобы воспринимать без разрушения воздействия подвижной нагрузки и распределять их на значительную площадь нижележащих слоев. В ряде случаев цементогрунтовые слои дорожных одежд могут успешно конкурировать со слоями из щебня, гравия или песка.

УДК 66 6. 9

Получение грунтобетона на основе местных недефицитных материалов для строительства автомобильных дорог низких категорий

Студент гр. 104817 Сковородко О.
Научный руководитель – Бурак Г.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Укрепление грунтов представляет собой надежное средство удешевления и ускорения темпов дорожного строительства. При этом применение укрепленных грунтов во всех случаях обязательно должно обеспечивать требуемую прочность и долговечность дорожной одежды.

Грунты являются наибольшей по объему и весу составной частью цементогрунта.

Для приготовления цементогрунта применялся портландцемент ПЦ500-ДО.

Исследуемый грунт содержал (% ,масс.): 82,36 - SiO₂ , 5,09 -Al₂O₃, 1,94 -CaO и незначительное количество MgO, K₂O ,Na₂O и FeO. ,п.п.п. -3,77.

Минералогический состав грунта: песок, глинистые и алевритовые частицы.

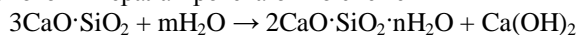
Содержание частиц в грунте составило (% ,масс.): < 0,1 -13,64 ; 0,25-0,1 - 69,06; 0,5-0,25 - 6,72; 1-0,5 - 0,23.

Для приготовления смесей применялся суперпластификатор С-3 (0,06-0,28 % масс.),

сохраняющий эффект пластификации в пределах 1,5-2 часов и не тормозящий твердение цементогрунта. Кроме того, С-3 обладает воздухововлекающей способностью.

Для определения оптимальной дозировки цемента приготавливали смеси с различным процентным содержанием цемента (6-8%). Оптимальная влажность смеси составляла 6,8- 9,3 %. После выдерживания во влажных условиях образцы подвергали испытаниям для определения физико-механических показателей. Предел прочности при сжатии оптимальных составов после 7 суток твердения 4,8-5,2МПа, после 28 суток твердения -8,1-8,5 МПа; предел прочности при изгибе 0,6-0,9 МПа; 2-2,4 МПа. Коэффициент морозостойкости равен 0,77-0,82.

Цементогрунт обладает прочной кристаллизационной структурой. В цементогрунте основным материалом, обеспечивающим возникновение кристаллизационной структуры в процессе твердения, является портландцемент, Определяющим фактором в процессе твердения портландцемента служит гидратация силикатов, алюминатов и алюмоферритов кальция. Гидратация и гидролиз наиболее важного клинкерного минерала протекают по схеме



Вследствие малой растворимости Ca(OH)₂ быстро перенасыщает раствор, и последующие процессы кристаллизационного структурообразования проходят в резко выраженной щелочной среде (рН 12,5-13,2). Энергичному протеканию обменных реакций способствует большая удельная поверхность цемента и грунта, а также наличие резко выраженной щелочной среды. Тонкодисперсный грунт поглощает катионы кальция из выделяющегося в раствор гидроксида кальция и тем самым ускоряет процесс твердения цемента.

Цементогрунты – перспективный дорожно-строительный материал. Изменяя составы цементогрунтовых смесей, можно целенаправленно регулировать процессы их структурообразования и получать материал с заранее заданными свойствами, которые могут эффективно работать в качестве конструктивных слоев оснований или покрытий дорог.

УДК 546.65

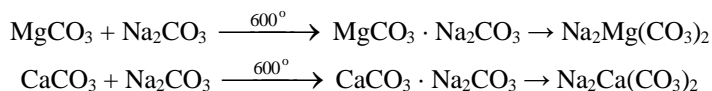
Химизм производства стекла и пеностекла

Студент гр. 110316 Петухова Г.Н.
Научные руководители – Лукьянова Р.С., Шнып И.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

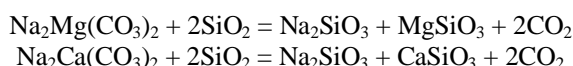
Стекло и стекломатериалы на его основе широко применяются среди строительных материалов: при отделке, декорировании, облицовке и т.д. Пеностекло используется в качестве тепло-, звукоизоляционного, влагопоглощающего, фильтрующего, декоративно-акустического материалов. Технология производства стекла включает приготовление шихты (песок SiO₂, CaCO₃, MgCO₃, Na₂CO₃, K₂CO₃, Na₂SO₄, уголь, стеклобой).

При стекловарении протекают физические процессы (нагревание, испарение, плавление компонентов шихты, растворение их в расплаве, полиморфные превращения), химические процессы (диссоциация солей, дегидратация химически связанной воды, взаимодействие компонентов, образование силикатов. Физические и химические процессы протекают одновременно, сопровождаясь поверхностными явлениями (адсорбция, смачивание).

При температуре до 600°C происходит взаимодействие твердых фаз карбонатов с образованием двойных солей:



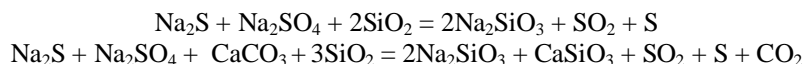
В интервалах температур 600 – 830°C происходит взаимодействие твердых фаз двойных солей с SiO₂ и термическое разложение MgCO₃



Эти реакции протекают медленно, но они значительно активизируются с появлением жидкой фазы, которая появляется в шихте в интервале температур 780 – 880°C в результате плавления двойных карбонатов.

Na₂Mg(CO₃)₂, Na₂Ca(CO₃)₂, Na₂Mg(CO₃)₂ - Na₂CO₃, Na₂Ca(CO₃)₂ - Na₂CO₃ и при этом ускоряются реакции образования силикатов, особенно энергично протекает реакция непосредственно взаимодействия Na₂CO₃ с SiO₂ с образованием сложных силикатов.

При 913°C происходит разложение CaCO₃ = CaO + CO₂. В интервале температур 980 – 1200°C образуются силикаты кальция и магния, которые взаимодействуют между собой и растворяются в расплаве, если в шихте содержится Na₂SO₄, то только при температуре 1200°C протекает реакция Na₂SO₄ + SiO₂ = Na₂SiO₃ + SO₂ + 1/2O₂, для ускорения этой реакции вводят восстановитель – углерод. Na₂SO₄ + C = Na₂S + CO₂, а затем протекают реакции:



Эти реакции активно протекают в интервале температур 740 – 1100°C.

При получении пеностекла, сырьем которого служит стекло и газообразователь (кокс, антрацит).

Основным процессом при производстве пеностекла является вспенивание, которое начинается при достижении температур, соответствующих разложению газообразователей. Схема реакции такова: Стекло + SO₃ + C → стекло + CO + CO₂ + S²⁻

В схеме реакции приведен процесс восстановления S⁺⁶ + 8e → S²⁻, но возможно и восстановление: C + 4H₂O = CO₂ + 4H₂ + O₂; S²⁻ + H₂O + SO₃ = H₂S + SO₂ + O₂

В протекании этих реакций участвуют и другие компоненты: 2Fe₂O₃ + C = 4FeO + CO₂

Благодаря этим реакциям образуется необходимое количество газов, причем в тот момент, когда стекло спеклось и в состоянии образовывать стекольную пену.

И последний этап в получении пеностекла, это процесс стабилизации, заключающийся в резком снижении и выравнивании температуры, в результате которого выделение газов снижается, и блок сформировавшегося пеностекла практически уже находится в состоянии выровненного давления.

УДК 625.7

Исследование возможности использования полипропилена для приготовления полимер-битумного вяжущего

Студент гр. 104216 Серяков А.В.

Научный руководитель – Меженцев А.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Для климата Беларуси характерны высокие положительные температуры в летний период и относительно низкие отрицательные – в зимний. Поэтому климатические условия в сочетании с нагрузками от транспорта оказывают большое влияние на долговечность асфальтобетонных покрытий. Уже на ранней стадии эксплуатации покрытий наблюдаются трещинообразование и пластические деформации.

Основными причинами преждевременного разрушения покрытий является качество и физико-механические свойства применяемых битумов. Выпускаемые нефтеперерабаты-вающими заводами

дорожные битумы не удовлетворяют требованиям по некоторым свойствам, в частности по эксплуатационным температурам, в условиях которых работает покрытие. Вследствие этого, возникает необходимость в разработке вяжущих, применение которых позволит повысить сдвигоустойчивость, морозостойкость, трещиностойкость и прочность асфальтобетонных покрытий, используя для этого различные методы и технологии.

Однако, варьируя технологическими приемами и сырьем, при необходимости одновременного улучшения характеристик битумов не удастся сохранить неизменной устойчивостью к старению. Это может быть достигнуто при использовании комплексных органических вяжущих (КОВ).

КОВ – дисперсные системы, исходными материалами для дисперсионной среды которых могут служить маловязкие и жидкие основные и побочные продукты переработки нефти и угля, для дисперсионной фазы – тонкодисперсные наполнители органического и неорганического происхождения.

Основной предпосылкой получения КОВ является представление об оптимальном объеме дисперсионной фазы в них, при котором образуется пространственный коагуляционный каркас, обеспечивающий прочность и теплостойкость КОВ, и о дисперсионной среде, обеспечивающей необходимую трещиностойкость и пластичность системы.

При выборе оптимального содержания полимера в КОВ наряду с динамическим пределом текучести, характеризующим сдвигоустойчивость, были определены характеристики материала, позволяющие оценить его технологические свойства, в первую очередь вязкость, существенно влияющую на уплотняемость смесей, плотность и поровую структуру уплотненных органоминеральных смесей, а следовательно, и его долговечность.

Известно, что использование окисленного атактического полипропилена приводит (ОАПП) к резкому снижению скорости старения битумов. При добавлении ОАПП в битум в количествах 2 – 2,5% последний теряет свои парамагнитные свойства, что приводит к улучшению характеристик модифицированного битума в условиях термостарения.

Добавки ОАПП в битумы приводит к увеличению адгезионной способности вяжущего, его пластичности, а также расширяет температурный интервал эксплуатации.

Поскольку производство окисленного атактического полипропилена в республике отсутствует, была предпринята попытка исследовать влияние полипропилена, содержащего 10 – 15% его атактической модификации («Полимир» Нижнекамского и Словенского хим. заводов) на свойства полимер-битумного вяжущего.

В ходе проведенных исследований изучено влияние полипропилена на свойства полимер-битумного вяжущего, полученного на основе битума марки БНД 90/130 с добавками полипропилена в количестве 1 – 3,5% от массы битума. Все полученные составы по своим характеристикам соответствуют требованиям СТБ 1220 – 2000.

УДК 621,74; 699.131.7

Исследование кинетики легирования чугуна никелем через шлаковую фазу

Студенты гр. 104115 Иванченко В.А., Федоров А.Н.
Научный руководитель – Проворова И.Б.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

На предприятиях нефтеперерабатывающей и химической промышленности РБ ежегодно скапливается свыше 1000 тонн отходов катализаторов, содержащих от 5 до 50% ценных металлов (Ni, Mo, Cu, Cr, Zn и др.). Использование при производстве сплавов отработанных катализаторов позволит экономить валютные средства за счет рециклинга металлов в промышленный оборот, а также уменьшает вредное воздействие отходов на окружающую среду. В химической промышленности широко используются следующие никельсодержащие катализаторы: ГИАП – 8 (6% NiO, 94% Al₂O₃); ГИАП – 16 (25% NiO, 57% Al₂O₃, 8% MgO, 9% CaO, 1% BaO); НКМ – 4А (35% NiO, 55% Al₂O₃).

Целью исследования является изучение кинетики перехода никеля из шлаковой фазы в чугун. Для этого проведена серия экспериментов, в которых плавку осуществляли в лабораторной силитовой печи. В качестве шлаковых материалов использовали отработанный никель-хромовый катализатор (40%Ni), ваграночный шлак и плавиковый шпат. В кварцевые тигли помещали образцы чугуна, содержащего (% по массе) 3,45 С, 0,18 Ni, 0,29 Cr. Шлаковые материалы, смешанные в расчетных пропорциях, (2,5% отработанного катализатора, 5,4% ваграночного шлака, 0,7% плавикового шпата от массы образца чугуна) загружали сверху, после чего тигли устанавливали в разогретую до температуры 1450°С печь и выдерживали в течение 5, 10, 15 или 20 мин после окончания плавления чугуна в тигле. После выдержки в печи тигли извлекали, охлаждали, а затем проводили химический анализ сплава и шлака на содержание никеля в различных по высоте участках.

В процессе проведения лабораторных плавок изучали влияние времени выдержки расплава в печи и технологию введения в шихту восстановителей на переход никеля из шлака в металл.

Анализ полученных результатов показывает, что увеличение времени выдержки до 15 минут дает рост концентрации никеля в образце. Дальнейшая выдержка расплава под шлаком приводит к обратному процессу в ходе которого, никель окисляется на поверхности шлака кислородом атмосферы и происходит его переход из металла в шлак.

Для восстановления никеля из оксида необходима диффузия оксида к границе шлак – металл и встречная диффузия восстановителя. Известно, что диффузионные процессы протекают медленно. С целью изучения возможности ускорения восстановления никеля проведена серия опытов по технологии введения восстановителей. Оксид никеля смешивался с компонентами шлакообразующей смеси и восстановителями: (% от массы отработанного катализатора) 10,7 электродного боя, 10,5 FeSi и 80 чугуной стружки с 10,5 электродного боя. Время выдержки расплава в печи во всех случаях было одинаковым (5 мин).

Анализ полученных результатов показывает, что введение восстановителей в состав шлаковой смеси приводит к ускорению перехода никеля из шлака в металл. Использование чугуной стружки позволяет наиболее эффективно восстановить никель и осуществить его переход из шлаковой фазы в металл. Это связано с уменьшением расстояния диффузии. Вместо диффузии к границе шлак – металл происходит диффузия к границе шлак – капли расплавленного в шлаке чугуна и дальнейшая седиментация капель с растворенным никелем в расплав.

Таким образом, установлено, что время выдержки расплава под слоем шлака существенно влияет на степень извлечения никеля из никельсодержащих отходов. Превышение оптимально необходимой выдержки, зависящей от температуры и состава шлака, приводит к обратному переходу никеля из металла в шлак. Показано, что проведение процесса восстановления в шлаке и, особенно, в присутствии капель чугуна обеспечивает ускорение восстановления никеля из оксида и его переход из шлака в расплав чугуна.

УДК 546.65

Влияние температуры на эффективность экстракции соединений РЗЭ из азотнокислых растворов

Студент гр. 104616 Резвицкий Н.С.
Научный руководитель – Слепнева Л.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Практически все существующие производства редкоземельных элементов, как известно, независимо от типа сырья и характера растворов после его разложения используют жидкостную экстракцию для получения концентратов и индивидуальных соединений РЗЭ. В качестве экстрагентов применяли нейтральные фосфорорганические экстрагенты: трибутилфосфат (ТБФ), диизооктилметилфосфонат (ДиОМФ), изоамилдибутилфосфиноксид (ФОР), обладающие значительной емкостью и селективностью при извлечении РЗЭ из растворов сложного солевого состава.

В настоящей работе исследовано влияние температуры на эффективность экстракции соединений РЗЭ из азотнокислых растворов. Характер температурной зависимости коэффициентов распределения РЗЭ может быть обусловлен различными факторами – температурным изменением значений констант равновесия реакции экстрагирования и других процессов, протекающих в каждой из фаз, а также влиянием температуры на значения коэффициентов активности ионов в растворах. Поэтому для выяснения действительных причин, вызывающих изменение коэффициента распределения РЗЭ, была исследована температурная зависимость экстракционного процесса, что дало возможность проследить изменение эффективности изученных экстракционных процессов в зависимости от условий экстракции и от состава и строения нейтральных фосфорорганических экстрагентов и имело большое значение для их правильного выбора. Установлено, что ход изотерм распределения нитратов РЗЭ без высаливателя при экстракции ТБФ, ФОР, ДиОМФ одинаков при различных температурах и характерен для экстракции ионов металлов по сольватному механизму. Повышение температуры приводит к некоторому снижению равновесной концентрации РЗЭ в органической фазе и соответственно коэффициента распределения. При повышении концентрации РЗЭ в водной фазе различия в величинах концентраций РЗЭ в экстракте при разных температурах уменьшаются, а в области насыщения концентрация РЗЭ в органической фазе (емкость экстрагента) не зависит от температуры - все кривые сливаются в одну. Температурная зависимость распределения РЗЭ при экстракции ФОР, ДиОМФ и ТБФ подобна. Коэффициенты распределения РЗЭ при использовании ДиОМФ и ФОР существенно выше, чем для ТБФ во всем исследованном температурном интервале.

При экстракции лантаноидов повышение концентрации азотной кислоты приводит к значительному снижению коэффициента распределения РЗЭ за счет конкурирующей экстракции азотной кислоты и снижения свободной концентрации экстрагента. Повышение концентрации азотной кислоты в растворе приводит к уменьшению температурной зависимости коэффициента распределения РЗЭ и влияние температуры тем меньше, чем больше степень насыщения экстрагента. При любой температуре

коэффициент распределения является функцией концентрации кислоты в водной фазе и проходит через максимум, но этот максимум тем меньше, чем выше температура.

УДК 691.168

Полимербетоны на основе отходов производства полиуретана

Студент гр. 104127 Русин О.А., гр. 104137 Лигатко Л.А.
Научный руководитель - Беляцкий В.Н.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Ранее проведенными исследованиями показана возможность получения быстротвердеющих композитов на основе наполнителей (песок, отсеvy гранита и т.д.) и вяжущего, в качестве которого использовали полиуретановую смолу с отвердителем в соотношении 5:1. Однако достаточно высокая стоимость смолы и отвердителя ограничивает области применения быстротвердеющих композиций, несмотря на ряд их преимуществ. В связи с этим возникла необходимость разработки составов путем замены полиуретановой смолы на вяжущее более низкой стоимости.

Нами изучены полимерные композиты на основе песка с добавлением отхода производства полиуретановой смолы (полиуретанового аддукта), представляющего собой затвердевшую массу коричневого цвета, которая при нагревании до 50-60°C приобретает вязкотекучие свойства.

Первоначально отвердитель вводили в предварительно разогретую смолу, при соотношениях смола/отвердитель от 5/1 до 6/1. Однако из-за резкого уменьшения времени схватывания по сравнению с исходной композицией получались нетехнологичные образцы, практически мгновенно затвердевавшие. В дальнейшем было установлено, что количество отвердителя полиуретанового аддукта по сравнению с полиуретановой смолой может быть снижено до 1:10 ÷ 1:20. Однако и в этом случае были получены нетехнологичные композиты в результате незначительного времени отверждения вяжущего.

Получаемые при этом образцы сополимера были достаточно механически прочными. Испытание в воде в течение 1 месяца показали их высокую влагостойкость.

С целью увеличения "живучести" получаемых композиций проводили предварительное растворение полиуретанового аддукта в ацетоне. Выбор растворителя обуславливался тем, что при отверждении смолы должно происходить достаточно быстрое его удаление из формируемой массы. Растворимость в ацетоне была высокой, что позволяло получать растворы при соотношении растворитель: аддукт 1:2. Время отверждения при этом было увеличено до технологически приемлемого (1,0 ÷ 1,5 часа), позволяющего получать сетчатый полимер на стадии приготовления композитов.

Нами установлено, что сократить время растворения аддукта можно путем введения ацетона в предварительно разогретый до 50°C полиуретановый аддукт, растворение при этом происходит практически на стадии смешения компонентов. Отверждение сетчатого сополимера после прибавления отвердителя соответствовало также технологически приемлемым величинам (1,0 ÷ 1,5 часа).

Приготовление композиций осуществляли путем смешения нагретого до 80°C песка с вяжущим (полиуретановый аддукт и отвердитель) в количестве 5-7% по вышеупомянутому способу с последующим заполнением форм размером 4,0см×4,0см×16,0см и выдержкой в течение 3 часов. В результате было установлено, что композиты обладали короткими сроками набора прочности, удовлетворительными механическими свойствами и высокой влагостойкостью.

УДК 691.168

Полимербитумные вяжущие в дорожном строительстве

Студент гр. 104517 Капуста Д.О.
Научный руководитель – Медведев Д.И.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Изучена возможность получения быстротвердеющих составов для использования в дорожном строительстве на основе песка и модифицированного отходом производства полиуретана (полиуретановый аддукт) битума. Разработка подобных составов актуальна и перспективна не только с точки зрения снижения стоимости композиций, но и улучшения физико-химических свойств композиций. Например, повышения температурного диапазона эксплуатации дорожных покрытий на основе битума.

Проведенные исследования показали необходимость предварительного растворения разогретого до ~50°C аддукта в ацетоне с последующим введением отвердителя (в качестве которого используются изоцианаты). Однако, принимая во внимание близость температур кипения ацетона 56,1°C и разогретого аддукта. Последнее требует особых мер предосторожности при приготовлении композиций, в качестве

растворителя был выбран этилацетат, температура кипения которого составляет 78°C. При проведении исследований было установлено, что растворение аддукта в этилацетате при комнатной температуре протекало с образованием суспензий и пленок, что затрудняло его дальнейшее использование. Однако, при предварительном разогреве аддукта до 50°C и введении этилацетата растворение протекало полностью. При этом получали сметанообразную массу, сохраняющую свою подвижность значительное время.

С целью увеличения “живучести предполимера” при формовании композиций использовались растворы полиуретанового аддукта в этилацетате в соотношении аддукт/этилацетат=3/1÷1/1, а соотношение аддукт/отвердитель варьировалось от 5/1 до 10/1. В этом случае время затвердевания составляло технологически приемлемую величину равную 1-2 часа.

Показано, что добавление в разогретый до 80-90°C битум полиуретанового аддукта и отвердителя (при $t > 100^\circ\text{C}$ происходит разложение изоцианатов, составляющих основу отвердителя) приводит к получению композитов, которые легко подвергаются деформированию под нагрузкой. Очевидно, что в этом случае реакция сополимеризации не протекает, а вводимые компоненты выполняют роль пластификатора битума, значительно ухудшая его эксплуатационные свойства.

Поэтому при проведении дальнейших экспериментов в разогретый битум вводили смесь аддукта в этилацетате с отвердителем. Это позволяло получать составы на стадии образования сетчатого сополимера.

При этом были получены композиты, обладающие удовлетворительными свойствами, необходимыми для использования в дорожном строительстве.

Были изучены способы получения быстротвердеющих вяжущих при различных условиях. При оптимальном порядке смешения компонентов вяжущего и песка и соотношениях отвердитель/аддукт от 1/5 до 1/10, полимер/битум от 1/5 до 1/10, вяжущее/наполнитель 5%÷7% были получены композиты с коротким сроком набора прочности и достаточно высокими механическими свойствами. Разработанные композиты характеризовались высокой гидролитической устойчивостью.

Асфальтобетон на вспененном битуме

Студент гр. 104427 Шкор Д.А.
Научный руководитель – Евсева Е.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Асфальтовый бетон – один из наиболее распространенных строительных материалов, используемых при устройстве покрытий автомобильных дорог и аэродромов. Это определяется его основными достоинствами: возможностью механизации работ при изготовлении и использовании, а также создании максимальных удобств для движения различных транспортных средств. Однако производство асфальтобетонных смесей является одним из самых энергоемких процессов дорожного строительства. На асфальтобетонных заводах более 30% тепловой энергии расходуется на приготовление битума, а остальное – на подготовку, нагрев и сушку минеральных материалов. Энергозатраты составляют более 25% от стоимости материалов. Стоимость работ по приготовлению асфальтобетонных смесей составляет 40-55% от их себестоимости или 30-40% стоимости асфальтобетона в слое покрытия дорожной одежды, причем на битум приходится 40-45% стоимости асфальтобетонной смеси. Поэтому за счет снижения температуры нагрева асфальтобетона только на 10°C экономия топлива достигает 0,36 кг на 1 т смеси. В связи с этим вопросы сбережения энергетических источников, разработки новых ресурсосберегающих технологий и процессов, снижающих содержание битума в вяжущем, приобретают в настоящее время важное значение. Все эти направления в различной степени реализуются технологией приготовления асфальтобетонных смесей с использованием вспененных битумов.

Вспененный битум - это ячеисто-пленочная полидисперсная система, в которой дисперсной фазой является газ (воздух, пар), а дисперсионной средой – битум. В такой системе общий объем дисперсной фазы (газовой составляющей) превышает 50%, а объем битума при его насыщении газом увеличивается в два и более раз по сравнению с первоначальным. Вспененные битумы характеризуются малой вязкостью, большой поверхностной энергией, высокой активностью к взаимодействию с поверхностью минеральных материалов, благодаря чему существенно облегчается процесс перемешивания смеси, причем происходит более равномерное и полное распределение вяжущего в объеме смеси. За счет протекания этих процессов, а также в результате перераспределения групповых соединений в объеме битума при его вспенивании, возможно снижение расхода вяжущего, существенное повышение производительности смесительного оборудования, снижение максимальной температуры нагрева исходных компонентов, что дает основание рассматривать данную технологию как энерго- и материалосберегающую при производстве асфальтобетонных смесей.

Для приготовления вспененного битума в качестве газообразователя нами был использован фосфопис, который является отходом Гомельского химического завода. Процесс вспенивания при этом заключался в удалении воды из дигидрата сульфата кальция и переходе битума из объемного изотропного состояния в тонкопленочное с образованием двухфазной гетерогенной дисперсной системы “битум–газ”.

После предварительного помола до удельной поверхности 2000-2500 см²/г фосфогипс дозировали в нагретый битум непосредственно перед его поступлением в смеситель. Это значительно сократило время пенообразования и позволило не нарушать существующий технологический режим на асфальтобетонных заводах. При этом температура битума могла быть снижена на 20-25°С при выпуске асфальтобетона из смесителя, а также при укладке и уплотнении смеси.

С целью определения оптимальных технологических параметров приготовления асфальтобетонных смесей были выполнены работы по определению физико-механических свойств асфальтобетона, приготовленного с применением фосфогипса, содержание которого в смеси варьировалось от 5 до 8 % при температуре нагрева от 125 до 135°С.

Результаты исследований показали, что оптимальное количество фосфогипса является 6% от массы битума.

УДК 546.65

Распределение соединений РЗЭ при образовании фосфогипса

Студент гр. 104517 Гапуржонов Д.Г.

Научные руководители – Зык Н.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Апатитовые руды Кольского полуострова, как известно, представлены главным образом кальцийфторапатитом $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{CaF}_2$. Установлено, что для апатитов характерно изоморфное замещение ионов кальция, образующих решетку кристаллов $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$, ионами РЗЭ, которые имеют близкие кристаллохимические радиусы. Сложность химического состава апатитового концентрата и высокая кислотность в экстракторах при разложении фосфатов создают благоприятные условия для замещения ионов друг другом в процессе образования кристаллических осадков при преимущественном образовании сульфата кальция. В процессе сернокислотного разложения апатита образуется экстракционная фосфорная кислота концентрации 34-50 % мас., что создает благоприятные условия для образования фосфатов лантаноидов. Исходный апатитовый концентрат содержит соединения фтора, следовательно, в растворах, получаемых при его разложении в процессе обработки серной кислотой, присутствуют фториды и весьма вероятно образование фторидов лантаноидов.

С целью установления механизма включения РЗЭ в состав фосфогипса ПРУП "Гомельский химический завод" методом рентгенофазового анализа проведено исследование систем состава $\text{LaPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{LaF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} - \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Установление возможности сокристаллизации $\text{LaPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{LaF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ с $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ проводилось следующим образом. Образцы получали в результате совместного осаждения соответствующих количеств сульфатов, фосфатов и фторидов лантана из 1,0 н. нитратных растворов состава $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ ("ХЧ") при добавлении расчетных количеств серной, фосфорной и фтористоводородной кислот. Параллельно проводили осаждение из фосфорнокислых буферных растворов, содержащих 25-35 % мас. P_2O_5 (в пересчете), т.е. в присутствии значительного избытка P_2O_5 , в которые вводили стехиометрические количества нитратов лантана и кальция. Перемешивание растворов и осаждение проводили в термостатированном сосуде с обратным холодильником, снабженным мешалкой в течение 2-4 ч при температуре 70 °С. Осадки промывали горячей водой и спиртом до полного удаления следов фосфорной кислоты и воды. Фазовый состав и параметры элементарных ячеек полученных осадков контролировали рентгенографически. Исследование систем $\text{LaPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{LaF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} - \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ было выполнено в широком концентрационном интервале с шагом 10 % мас. по содержанию соединений РЗЭ. В результате исследования указанных систем не установлено наличия химического взаимодействия или образования твердых растворов при кристаллизации осадков из сульфатно-фосфатных растворов. Линии рентгенограмм исследуемых образцов не претерпевают никаких смещений, что свидетельствует об отсутствии любых замещений ионов Ca^{2+} на La^{3+} в структуре дигидрата сульфата кальция. Таким образом, в процессе производства экстракционной фосфорной кислоты в дигидратном режиме редкоземельные элементы не входят непосредственно в структуру дигидрата сульфата кальция в виде изоморфной примеси.

Вязущие контактно-конденсационного твердения

Студент гр. 104817 Левицкий А.
Научный руководитель: Дубинчик И.В., Шагойко Ю.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Контактно-конденсационные технологии являются очень перспективными ,т.к позволяют использовать известь в сочетании с кремнезёмистыми компонентами, отходами производства, находящимися в активном состоянии , например , кремнегель – отход производства Гомельского химического завода. Наличие высокой удельной поверхности, предопределяет наличие в соединениях свободных ненасыщенных валентных связей, что обуславливает их высокую активность.

Причём особую важность приобретает знание самого механизма контактной конденсацией и принципов его моделирования, что позволит более эффективно подойти к мероприятиям по подготовке нестабильного вязущего, дальнейшему прессованию, в результате чего происходит упорядочение макроструктур и получение материалов, не требующих подвода дополнительной энергии.

Показано, что прочностные свойства материалов контактного твердения определяются силой взаимодействия реакционных частиц нестабильной структуры.

В качестве объектов исследования использовали негашёную известь, кремнегель - отход производства фторида алюминия Гомельского химического завода и песок.

Синтез образцов вязущих контактного твердения проводили путём тщательного смешения предварительно просеянных через сито №014 извести и кремнегеля при мольных соотношениях $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ от 1:1 до 1:1,5.

Полученную смесь затворяли водой до сметанообразного состояния и оставляли на сутки без доступа воздуха. Последующее гашение извести осуществлялось при температуре 100C^0 в течение 6 и 12 часов при непрерывном наполнении смеси водой, испаряющейся при термообработке. Полученное вязущее высушивали и просеивали через сито №008, смешивали с кварцевым песком в соотношении вязущее:песок от 0,5 до 2,5, добавляли воду в количестве 5% от массы и прессовали в виде таблеток диаметром 50 мм при давлении 40МПа. Одну часть полученных таблеток помещали в воду, другую часть оставляли на воздухе с целью изучения влияния среды твердения на свойства образцов. Механическую прочность изучали на прессе путём определения предела прочности образцов на сжатие.

Анализ зависимости прочностных характеристик образцов от соотношения $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ показывает, что наилучшие результаты достигнуты при соотношении $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ равным 1:1,05 – 1,1.

Наиболее высокие прочностные показатели получены при автоклавной обработке вязущего, что связано, видимо, с более глубокой проработкой исходных составляющих вязущей композиции, определяющим в составе композиции является не наполнитель, а способ получения вязущего: гидротермальным или автоклавным способом. Тем не менее полученные составы вязущих композиций набирают прочность в естественных условиях и могут быть рекомендованы для обустройства дорог местного значения. Таким образом, использование принципов контактного твердения позволяет предложить низко-энергоёмкую технологию получения широкой номенклатуры строительных материалов.

Изучены прочностные свойства вязущих контактно-конденсационного твердения в зависимости от соотношения исходных компонентов вязущего $\text{CaO}:\text{SiO}_2=1:1,0-1,5$ и соотношение вязущее:наполнитель (1:0,5-2,5), вида наполнителя (песок, шлак), времени гидротермальной обработки вязущей смеси 6 – 12 часов при 100C^0 и её автоклавной обработки (178C^0 и $p=8\text{атм.}$). На основании полученных экспериментальных данных можно сделать вывод о возможности использования вязущих контактного твердения для получения тротуарной плитки, получаемой методом полусухого вибропрессования.

Выбор полимерного модификатора при изготовлении дорожных покрытий с заданными эксплуатационными характеристиками

Студент гр. 104517 Чиркун О.П.
Научный руководитель – Шункевич В.О.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время к качеству дорожных покрытий предъявляются жесткие требования в связи с развитием интенсивного и скоростного движения автомобилей, выполнение которых связано с необходимостью повышения прочности, эластичности и теплостойкости в широком диапазоне эксплуатационных температур. Это достигается введением в минеральное покрытие небольших добавок высокополимерных материалов - полимерных модификаторов. С целью выбора подходящего полимерного

модификатора была изучена растворимость пенополистирола в ряде растворителей: этиленгликоль, бензин, нефрас, сольвент. Наблюдалось полное растворение пенополистирола в этиленгликоле, но раствор оставался мутным. При растворении пенополистирола в бензине вначале наблюдалось бурное растворение, которое оканчивалось образованием плотного нерастворимого сгустка полимера. Пенополистирол в нефрасе не растворялся. Наблюдалось полное растворение пенополистирола в сольвенте, раствор был прозрачным.

Для изучения растворимости ряда каучуков в бензине навески каучуков массой 1 г измельчали, заливали 10 мл бензина, оставляли на сутки для набухания, затем перемешивали при комнатной температуре или при нагревании теплой водой. Было показано, что каучуки СКИ, СКД, АРМК-15, ХБК, БК-1675, АРК растворимы в бензине. Не растворимым в бензине оказался натуральный каучук. Растворы каучуков в бензине различались по вязкости. Растворы СКД, АРК и АРМК-15 имели высокую вязкость, а растворы СКИ, ХБК, БК-1675 имели низкую вязкость.

При определении растворимости полимерных материалов в органических растворителях в качестве объектов исследования использовали гранулированные полимерные материалы различного состава (образец № 1 – полипропилен –1 (производство РБ, г. Полоцк), образец № 2 – полипропилен – 2 (производства Словении), образец 3 – полиуретан), которые последовательно растворяли в бензине (А – 92), ацетоне, этилацетате, смешанном растворителе (80 об. % – ацетон, 20 об. % – этилацетат).

Определение растворимости исследуемых материалов проводили по следующей методике. В стеклянную пробирку емкостью 20 мл вводили избыток полимерного материала и 10,0 мл органического растворителя. Закрытые стеклянными притертыми пробками пробирки выдерживали не менее суток при комнатной температуре (18 ± 1 °С). Последовательность проведения опытов была следующей (по номерам опытов)- 1, 5, 3, 4, 2, 6, 7, 11, 9, 10, 8, 12, что согласно исключало последовательное накопление систематических ошибок и способствовало получению более точных результатов эксперимента. За результат анализа принимали среднее арифметическое двух параллельных определений, абсолютное значение расхождения между которыми не превышало суммарной погрешности результата измерений (± 2 отн. %). Установлено, что образцы № 1 и № 2 практически не растворимы в исследуемых растворителях; образец № 3 не растворим в бензине, мало растворим в этилацетате (наблюдается частичное набухание гранул полимера), хорошо растворим в ацетоне и смешанном растворителе. Для количественной оценки растворимости полиуретана в ацетоне и смешанном растворителе определяли массу нерастворившейся (не набухшей) твердой фазы после ее высушивания на воздухе в течение 6 часов при комнатной температуре. Установлено, что растворимость полиуретана в ацетоне составляет 205 ± 4 г/л растворителя, в смешанном растворителе – 162 ± 4 г/л растворителя. Аналогичные результаты получены при последовательном добавлении полимерного материала в указанные растворители при перемешивании до образования не набухающей твердой фазы.

УДК 665.584.22/.24

Получение эмульсий стеарин-вода диспергационным методом и исследование их устойчивости

Студентка 7 гр. 3 курса ф-та ТОВ Бурдоленко А.Н.
Научные руководители: Эмелло Г.Г., Бондаренко Ж.В.
Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

Целью данной работы было получение и исследование устойчивости эмульсий стеарин-вода, которые являются основой косметических средств, используемых в качестве дневных кремов, кремов для бритья, пудровых основ и др.

Получение эмульсии есть результат двух конкурирующих процессов: диспергирования всего объема жидкости с образованием отдельных капель и коалесценции этих капель с образованием большого объема жидкости. Основными методами получения эмульсий являются диспергационные и конденсационные в присутствии стабилизаторов (эмульгаторов). Для получения косметических эмульсий применяют, как правило, диспергационные методы: механический, ультразвуковой и электрический.

В качестве масляной фазы эмульсий в работе использовали стеарин, который представляет собой товарный продукт, состоящий из 40% стеариновой и 60% пальмитиновой кислот. Процесс эмульгирования проводился по методу образования мыла. Известно, что мыло является хорошим эмульгатором и дает устойчивые эмульсии с очень малыми размерами капель. С этой целью в систему вводили гидроксид калия. При этом на границе раздела фаз стеарин-вода протекала реакция образования стеарата и пальмитата калия, которые и являлись эмульгаторами.

Стеариновые эмульсии получали диспергационным методом по способу «горячий/горячий». Данный способ предполагает отдельное нагревание как водной, так и масляной фаз до определенной температуры, при которой осуществляется их смешивание. В стаканчик помещали расчетное количество стеарина и расплавляли в колбонагревателе до температуры $70-75$ °С. В другом стаканчике подогревали водный раствор гидроксида калия до той же температуры. Стаканчик с масляной фазой помещали на водяную баню с мешалкой и при перемешивании медленно добавляли водную фазу (скорость вращения мешалки $250-300$ мин⁻¹). Затем при этой же скорости перемешивания эмульсию охлаждали до 60 °С,

перемешивали ее в течение 5 мин при скорости вращения мешалки 1200 мин⁻¹ и охлаждали до температуры 35–40°C при перемешивании со скоростью вращения 250–300 мин⁻¹.

В таблице 1 представлены композиционные составы полученных эмульсий и их свойства.

Таблица 1 – Композиционный состав и свойства эмульсий

№ п/п	Расход стеарина, г/100 эмульсии	Расход КОН, г / 100 эмульсии	pH эмульсии*	Тип эмульсии	Цвет	Примечание
1	10	0,3	–	М/В	Белый	Расслаивается на отдельные фазы
2	10	0,6	7,55	М/В	Белый	Быстро теряет влагу
3	10	0,8	7,69	М/В	Белый	Однородная, устойчивая
4	10	1,0	7,78	М/В	Белый	Однородная, устойчивая
5	10	1,2	7,92	М/В	Белый	Однородная, устойчивая
6	10	1,4	8,06	М/В	Белый	Однородная, устойчивая
7	10	1,6	9,12	М/В	Белый	Однородная, устойчивая, слегка мыльная на ощупь
8	10	1,8	10,28	М/В	Кремовый	Устойчивая, сильно мыльная на ощупь, консистенция подобна кефиру

* Для определения pH использовали эмульсии, разбавленные водой в пять раз

Полученные эмульсии после пятикратного разбавления водой были исследованы на устойчивость. Эксперимент проводили в цилиндрах объемом 10 мл. Результаты представлены на рисунках 1 и 2.

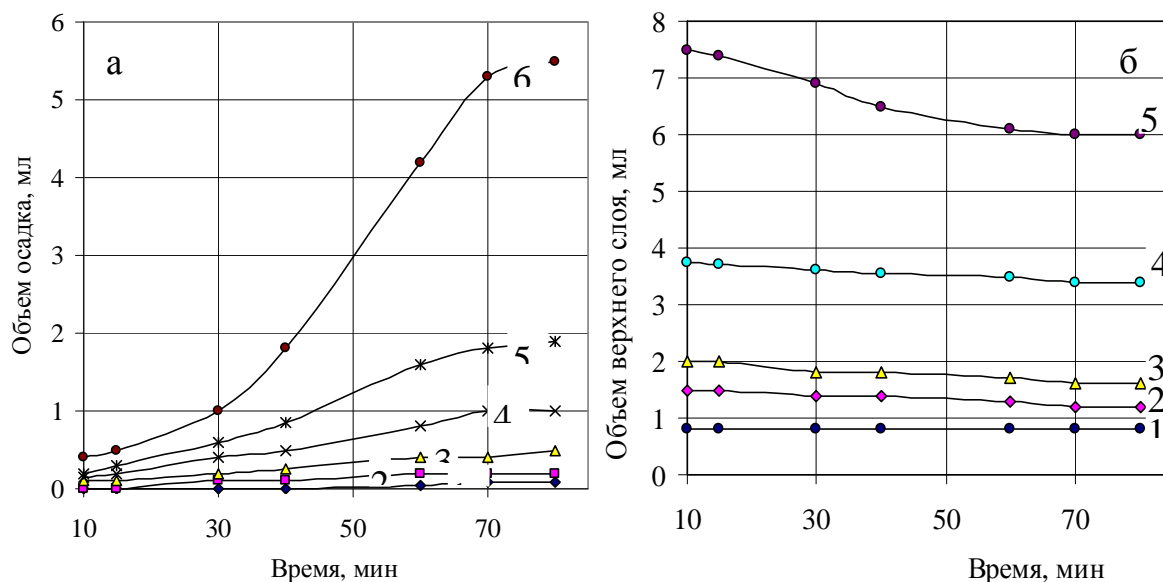


Рисунок 1 – Зависимость объема осадка (а) и объема верхнего слоя (б) от времени

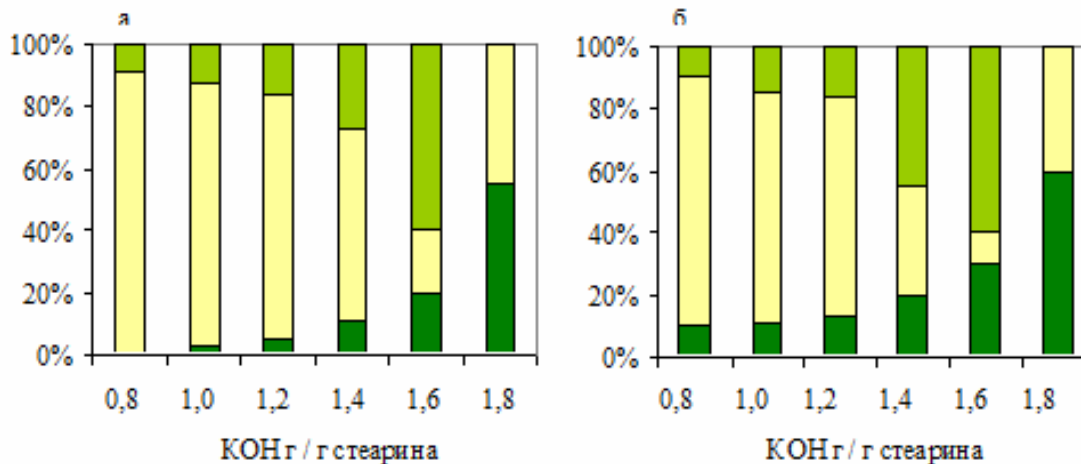


Рисунок 2 – Гистограммы потери устойчивости эмульсиями через 80 мин (а) и через неделю (б)

Наблюдения показали, что в процессе потери агрегативной и седиментационной устойчивости происходит образование трех слоев. В верхнем слое с течением времени содержание масляной фазы увеличивается, в среднем слое содержание масла уменьшается, а нижний слой – осадок, состоящий из седиментировавших частиц (рисунок 2).

Из рисунка 1 следует, что с увеличением времени от 10 до 80 мин объем осадка увеличивается для всех эмульсий. При этом следует отметить, что в эмульсиях с содержанием 0,8; 1,0 и 1,2 г КОН / г стеарина объем образовавшегося осадка незначительный (до 0,5 мл), в то время как в эмульсиях с содержанием КОН 1,6 и 1,8 г / г стеарина его количество составляет 1,8 и 5,5 мл соответственно. Объем верхнего слоя с течением времени незначительно понижается, что свидетельствует о его уплотнении. При содержании КОН 1,8 г / г стеарина этот слой не образуется.

Полученные закономерности позволяют сделать вывод, что после разбавления наиболее устойчивыми являются системы с содержанием КОН от 0,8 до 1,2 г / г стеарина.

УДК 693.22.004.18

Разработка высокотехнологичных составов медицинских стекол

Студентка гр. 8 Быстримович В.В.
Научный руководитель – Терещенко И.М.
Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

Целью настоящей работы является усиление внимания к проблеме получения химически устойчивых боросиликатных стекол для производства медицинской тары.

Анализ составов нейтральных стекол, используемых различными производителями, показал, что все они относятся к боросиликатным малощелочным и, следовательно, тугоплавким стеклам, причем содержание B_2O_3 варьируется в широких пределах от 4 до 12 мас. %.

Основными контролируемыми свойствами медицинских стекол является их химическая устойчивость к различным средам: к водным растворам, к растворам с кислой и щелочной реакцией.

Обращает на себя внимание тот факт, что не существует однозначной взаимосвязи между содержанием B_2O_3 в стекле и показателями химической устойчивости: примерно одинаковые показатели могут иметь стекла, содержащие 4% и, например, 10,5% B_2O_3 . Это свидетельствует о существенном влиянии типа и соотношения других оксидов, входящих в состав стекла.

B_2O_3 является обязательным компонентом нейтральных стекол, однако их варка связана с большими трудностями, главная из которых – улетучивание соединений бора из шихты и с поверхности стекломассы, что вызывает образование поверхностной кремнеземистой корки в выработочной части печей и в питателе и появление таких пороков, как камни, свиль, шпир. Высокая летучесть B_2O_3 при варке стекол (15% и более), приводит к химической неоднородности стекла, повышает количество бракованных изделий и осложняет экологическую обстановку. Наилучшие результаты в этом плане обеспечивает электрическая варка стекол под холодным слоем шихты. Поскольку намеченным к реализации проектом предусмотрено использование газовой ванной печи с электроподогревом (бустером), то содержание B_2O_3 в стекле следует ограничить.

В ходе эксперимента установлено следующее:

- выявлена важная роль Al_2O_3 связанная с обеспечением кристаллизационной устойчивости опытных стекол и определена оптимальная концентрация глинозема;

- выявлено положительное влияние BaO варку опытных стекол: а именно, введение до 3% BaO вместо щелочных компонентов практически на высокотемпературной вязкости стекол, в то же время ТКЛР существенно снижается;

- установлены минимально возможные содержания B_2O_3 и ΣR_2O , обеспечивающей температуру варки ($lg \eta = 1$) опытных стекол не выше $1550^\circ C$ и температуру выработки ($lg \eta = 3$) ниже $1170^\circ C$;

- особенно важное значение имело введение оксида цинка в состав стекол, что приводит к существенному возрастанию показателей их химической устойчивости, например: водостойкость стекла, содержащего 3% ZnO , введенного вместо CaO увеличилась на 40 %, что свидетельствует о резком снижении доли мигрирующих ионов из стекла в раствор. Интересно, что, чем меньше содержание B_2O_3 в стекле, тем сильнее выражено влияние оксида цинка.

На основании проведенных исследований для формирования стеклотрубки были выбраны два оптимальных состава медицинских стекол, отвечающих предъявляемым требованиям. Стекла были сварены в 3 литровых кварцевых тиглях в лабораторной газовой печи при $1550^\circ C$ с выдержкой в ней в течение 1 часа. Вручную, методом вытягивания, получена стеклотрубка длиной 5-6 м, диаметром 8-10 мм при толщине стенки 0,5-0,6 мм. Полученные трубки переданы для медицинских испытаний в органы Минздрава и на ЗАО «Еврохрусталь» для получения и последующих испытаний мелкогабаритных изделий.

Таким образом, проведенные исследования позволили оптимизировать составы медицинского стекла, снижая содержание B_2O_3 в их составе на 4 мас. % в сравнении с составом стекла, предлагаемым

итальянской фирмой «Olivotto», при сохранении удовлетворительных технико-эксплуатационных свойств и химической устойчивости по первому классу. В особенности обращает на себя внимание очень высокая щелочеустойчивость опытных стекол.

Использование подобных стекол для производства медицинской тары позволит снизить затраты на производство, поскольку V_2O_5 , вводимый в состав стекол борной кислотой, является весьма дорогостоящим и дефицитным для Республики Беларусь компонентом.

Литература

1. Безбородов, М.А. Химическая устойчивость силикатных стекол. М.: Наука и техника, 1972. – 304 с.
2. Дуброво, С.К. Стекло для лабораторных изделий и химической аппаратуры. М.: Наука, 1965. – 103 с.
3. Материалы по обмену опытом и достижениями в медицинской промышленности. – М., 1957. – 155 с.

УДК 666.01

Сопоставительный анализ составов и свойств промышленных химико-лабораторных стёкол для тонкостенной посуды

Студентка гр. 8 Глушень Т.М.

Научный руководитель – Бобкова Н.М.

Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

Целью настоящей работы является проведение научно-исследовательских мероприятий по выбору, синтезу и изучению свойств известных промышленных составов химико-лабораторных стёкол для тонкостенной посуды и на основании этого выполнить сопоставительный анализ составов и свойств этих стёкол.

Химико-лабораторное стекло является одним из важных видов технического стекла, применяемого для изготовления лабораторной посуды и приборов, а также для химической аппаратуры.

В нашей республике неизменно встает вопрос об укреплении материально-технической базы химических лабораторий научно-исследовательских институтов, заводов, техникумов, вузов, медицинских учреждений и т. д. В первую очередь необходимо обеспечить их изделиями из высококачественного химико-лабораторного стекла, без чего не могут осуществляться никакие аналитические работы, без чего не может идти обучение химических кадров.

В настоящее время в Республике Беларусь отсутствует производство изделий химико-лабораторного назначения. В месте с тем потребность республики в таких изделиях очень велика. Поставка изделий осуществляется в основном из России. Объём поставок достаточно велик и составляет свыше десятков миллиардов рублей в год, так как перечень потребителей чрезвычайно широк. Химико-лабораторную посуду потребляют предприятия здравоохранения, медицины, пищевой промышленности, приборостроения, учреждения образования (вузы, техникумы, училища, школы), лаборатории промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Поэтому обоснована постановка вопроса о создании в республике собственного производства химико-лабораторной посуды. Кроме того, наша республика располагает такими возможностями, учитывая наличие, например, на стеклозаводе “Неман” незадействованных стекловаренных печей. Однако, следует учитывать тот факт, что все известные составы химико-лабораторных стёкол были разработаны, в основном, в первой половине прошлого века и не всегда удовлетворяют возросшим современным требованиям, особенно международной классификации.

Для производства химико-лабораторной посуды необходимы стекла, обладающие высокой химической устойчивостью – способностью противостоять разрушающему действию агрессивных сред: атмосферной влаги, парам воды, растворам кислот, щелочей и т.д., и высокой термической устойчивостью, т. е. способностью выдерживать резкий перепад температур.

По мере развития разнообразных химических производств и связанных с этим непрерывно усложняющихся аналитических работ все больше потребуются новых видов стёкол, устойчивых в различных агрессивных средах, причем требования к химической устойчивости стекла будут неизменно повышаться.

Согласно ГОСТ 21400-75 химико-лабораторное стекло в зависимости от химической и термической стойкости делится на следующие группы:

- 1) ХС1 – химически стойкое первого класса;
- 2) ХС2 – химически стойкое второго класса;
- 3) ХС3 – химически стойкое третьего класса;
- 4) ТХС1 – термически и химически стойкое первого класса;
- 5) ТХС2 – термически и химически стойкое второго класса;
- 6) ТС – термически стойкое.

Для тонкостенных изделий применяются в основном стёкла группы ХС1, ХС2, ХС3, ТКЛР которых в интервале 20 - 300°С не превышает $94 \cdot 10^{-7} K^{-1}$, а термостойкость – не ниже 120°С.

Наиболее известными стёклами такого назначения являются стёкла, составы которых представлены в таблице 1.

Анализ данной таблицы показывает, что наблюдаются колебания в содержании основных компонентов, масс. %: SiO₂ (68,0 – 72,6), CaO (3,4 – 8,7), MgO (0 – 3,6), Σ Na₂O+K₂O (13,0 – 19,0), Al₂O₃ (3,5 – 6,7), B₂O₃ (0 – 3,0).

Эти колебания достаточно ощутимы, поэтому и свойства стёкол существенно различны. Это не позволяет сделать вывод о рекомендации наиболее рационального состава химико-лабораторного стекла.

В данной работе выполнено исследование технологических и физико-химических свойств стёкол известных марок, синтезированных в идентичных условиях. Изучены такие свойства стёкол, как температурный коэффициент линейного расширения, химическая устойчивость к воде, кислым и щелочным средам, термостойкость, кристаллизационные свойства, температуры стеклования и начала размягчения, микротвёрдость и плотность.

Таблица 1 - Составы химико-лабораторных стёкол для тонкостенных изделий

Марка	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	BaO	Na ₂ O	K ₂ O	ZrO ₂	ZnO	Fe ₂ O ₃
№23	68,6	2,5	3,8	0,8	3,4	-	9,7	6,1	-	-	-
№29	68,6	-	3,7	3,5	7,5	3,5	10,0	3,0	-	-	F 0,2
Б2	72,6	-	4,2	-	8,7	-	14,5	-	-	-	-
Uninost	68,9	-	3,9	2,9	5,5	-	17,8	1,3	-	-	-
X8	69,2	1,2	3,5	3,6	5,8	-	16,0	0,9	-	-	-
MuranoX	67,0	3,0	6,7	-	4,3	-	19,0	-	-	-	-
Ц 32	68,0	-	4,0	3,0	7,0	-	14,5	-	3,5	-	-
ЦЛ	68,1	0,5	4,0	2,4	7,3	-	13,5	1,4	2,8	-	-

Сделано заключение о соответствии свойств изученных стёкол требованиям международной классификации DIN 12111 и DIN 12116 (евростандарт) и о возможности разработки составов стёкол с улучшенными характеристиками.

В связи с этим была выполнена научно-исследовательская работа по выбору, синтезу и изучению свойств известных промышленных составов химико-лабораторных стёкол, предназначенных для выработки тонкостенных изделий (колбы, стаканы, бюретки, пипетки, бюксы, чашки Петри и тому подобное), с целью разработки рекомендаций по их использованию и усовершенствованию.

Литература

1. Дуброво, С. К. Стекло для лабораторных изделий и химической аппаратуры. – М.: Издательство «Наука», 1965. – 103 с.
2. Химическая технология стекла и ситаллов: учеб. для вузов/ М. В. Артамонова [и др.]; под общ. ред. Н. М. Павлушкина. – М.: Стройиздат, 1983. – 432 с.
3. Стекло: справочник/ под ред. Н. М. Павлушкина. – М.: Стройиздат, 1973. – 487 с.
4. Справочник по производству стекла/ под ред. И. И. Китайгородского и С. И. Сильвестровича. – М.: Стройиздат, 1963. – 1026 с.

УДК 666.295.4

Цветные нефритованные глазури на основе амфиболовых концентратов

Студентка гр. 9 Дудук Е.Г.

Научный руководитель – Левицкий И.А.

Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

Целью данной работы являлась разработка рецептур сырьевых композиций для получения нефритованных матовых цветных покрытий для декорирования плиток для полов.

На предприятиях Республики Беларусь в производстве плиток для полов широко используются полуфритованные глазури на основе сырьевых смесей, поставляемых из Италии. Дорогостоящие пигменты также закупаются в Италии и Испании. Актуальность создания цветных нефритованных глазури заключается в следующем: отсутствует необходимость использования дорогостоящих пигментов, замена импортных сырьевых

смесей и исключение из состава фритты. Все перечисленные факторы способствуют снижению себестоимости изделий, глазурованных покрытиями подобного типа.

Синтез нефритованных глазурей осуществлялся на основе амфиболового концентрата – отходов магнитного обогащения железистых кварцитов Околовского месторождения Беларуси. В Околовском месторождении продуктивные (железорудные) породы составляют примерно 28–35 % от общего объема пород. При разработке месторождения огромная (сотни тысяч тонн) масса безрудных пород пойдет в отвалы, как отход обогащения и магнитной сепарации железных руд. В результате обогащения железистых кварцитов образуются два вида отходов: амфиболитовый концентрат сухой и мокрой магнитной сепарации.

Отходы магнитного обогащения железистых кварцитов по минералогическому составу представлены гнейсами, амфиболами, железистыми кварцитами и другими породами и минералами.

Согласно данным рентгенофазового анализа минеральный состав отходов представлен кварцем, гематитом, роговой обманкой, минералами группы хлоритов и магнетитом. Присутствуют в незначительном количестве анортит, кальцит и биотит.

Химический состав амфиболовых концентратов, полученных после сухой и мокрой сепарации, представлены в таблице.

Химический состав амфиболовых концентратов сухой (1) и мокрой (2) магнитной сепарации

Типы сырья	Химический состав, мас. %												
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	ппп
1	55,95–61,05	0,19–0,24	5,99–6,09	2,41–3,99	14,72–18,22	0,25–0,40	6,34–7,12	4,28–5,12	0,30–0,36	0,83–1,10	0,69–0,86	0,12–0,15	1,09–1,83
2	49,97–53,09	0,21–0,25	5,83–6,75	7,35–10,00	15,26–18,94	0,21–0,34	6,44–7,40	4,04–4,58	0,40–0,5	0,96–1,20	0,84–0,88	0,12–0,13	1,99–2,51

Согласно данным ДТА, приведенным на рисунке, на термограммах обеих проб сырья отмечаются следующие термические эффекты: при 450–455°C (+), 540–550°C (–) и 720–740°C (–), обусловленные соответственно окислением двухвалентного железа, удалением основной части структурной и оставшейся конституционной воды.

Сырьевая композиция для получения цветных нефритованных глазурей наряду с амфиболовым концентратом включала кварцевый песок марки ВС–020, пегматит чупинский КПШМ 0,20–2, доломит марки А, технический глинозем ГК–2 и каолин просьяновский КН–83.

Шихта исследованных составов подвергалась совместному мокрому помолу в шаровой мельнице до остатка на контрольном сите № 0063 – 0,1–0,3 %. Полученная суспензия с влажностью 30–40 % наносилась на предварительно высушенные образцы керамических плиток методом полива. ТКЛР черепка керамических плиток составляет (70–80)·10⁻⁷ К⁻¹. Обжиг плиток проводился в газопламенной конвейерной печи типа RKS–1650 при температуре 1160±10°C в течение 43±1 мин в условиях ОАО «Керамин» (г. Минск).

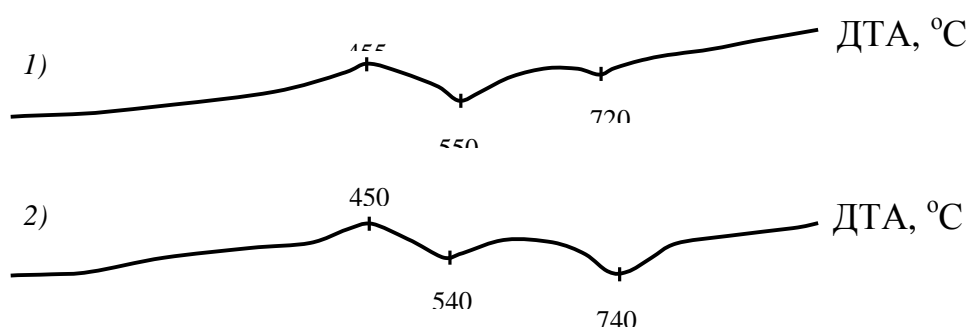


Рисунок – Термограммы отходов сухого (1) и мокрого (2) обогащения железистых кварцитов

С целью обеспечения требуемых показателей текучести глазурных суспензий применялся триполифосфат натрия, количество которого составляло 0,03–0,05 % сверх 100 %.

Нефритованные цветные глазури обладали преимущественно темно-коричневой и зеленоватой цветовой гаммой различных оттенков матовой фактуры.

Блеск покрытий определялся на фотоэлектрическом блескомере ФБ-2 с использованием в качестве эталона увиолевого стекла и составил 10–13%.

ТКЛР синтезированных глазурей измерялся на электронном dilatометре DIL 402 PC фирмы «Netzsch» (ФРГ) при постоянной скорости нагрева образцов в печи, составляющей 5 °C/мин и составил (55–

$67) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ в интервале 20–400°C.

Микротвердость глазурей определялась на приборе ПТМ-3М (ЛОМО, Россия) при нагрузке на индентор 200 г с обработкой данных с помощью фотоэлектронного микрометра (ОСБ «Спектр», Россия) и составила 6900–8300 МПа.

По износостойкости (ГОСТ 6787–90) покрытия отвечают 3-ей степени.

Цветовые характеристики глазурей определялись с помощью спектрофотометра СФ-13. Установлено, что преобладающая длина волны покрытий составляет 510–620 нм, чистота тона – 4–43 %, светлота – 35,1–36,4 %.

Дифференциально-термический анализ глазурей, выполненный с помощью дериватографа OD–102 фирмы «МОМ» (Венгрия) показал, что в интервале температур 120–125°C эндоэффект связан с удалением физической влаги. При температуре 560°C отмечается эндотермический эффект, обусловленный разложением каолинита. Диссоциация карбонатов характеризуется двумя эндоэффектами: при температуре 810–815°C, обусловленными разложением магнезита, и при 860–865°C – кальцит. Интенсивный экзоэффект при 890–900°C для нефритованной глазури свидетельствует о высокой интенсивности кристаллизационных процессов.

Рентгенограммы синтезированных материалов снимались на рентгеновском дифрактометре D 8 ADVANCE фирмы «Bruker» (Германия). С помощью рентгенофазового анализа установлено, что фазовый состав полуфриттованных глазурных покрытий представлен цирконом и диопсидом, присутствует небольшое количество волластонита и анортита. В нефритованных глазурях преобладает гематит и диопсид, в небольших количествах имеется также α -корунд, анортит и α -кварц. Значительная степень кристаллизации синтезированных глазурей обеспечивает высокие значения износостойкости и микротвердости покрытий.

Глазурные покрытия прошли испытания в условиях ОАО «Керамин», что показало реальную возможность использования амфиболовых концентратов для получения цветных глазурных покрытий. Это позволяет исключить из состава дорогостоящие фритты и жаростойкие пигменты.

УДК 666.295.4

Цветные фриттованные глазури для бытовой керамики

Студентка гр. 8, курс 5 Колоничкая Н. А.

Научный руководитель – Павлюкевич Ю.Г.

Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

Целью исследования является разработка беспигментных, малоборных цветных глазурей для бытовой керамики.

Стекла, синтезированные в системе $\text{R}_2\text{O}-\text{RO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{FeO})-\text{SiO}_2$, позволяют получать цветные глазурные покрытия без применения дорогостоящих пигментов с пониженным содержанием B_2O_3 и невысокой температурой формирования, что особенно актуально в условиях недостатка энергоресурсов и ужесточения требований к качеству продукции [1].

В качестве основного сырьевого материала для получения глазурей использовали амфиболитовый концентрат, содержащий значительное количество красящих оксидов железа, что обусловило возможность создания на его основе стекловидных покрытий широкой цветовой гаммы без дополнительного ввода красящих компонентов[2].

Синтез и исследование стекловидных покрытий проводили на основе составов стекол, содержащих следующие компоненты, % (здесь и далее по тексту содержание приведено в массовых %): амфиболитовый концентрат 45–65, B_2O_3 5–20, SiO_2 15–30, Na_2O – 7, CaO – 3. Стекла варили в фарфоровых тиглях. Время варки составляло 1 ч, температура – 1450 °C. При выработке стекла подвергались грануляции[4]. Стекла имели хорошие варочные и выработочные свойства, черный цвет. ТКЛР исследуемых стекол для получения глазурных покрытий находится в пределах $(62,32-75,68 \cdot 10^{-7}) \text{ K}^{-1}$.

Стекловидные покрытия готовились на основе полученных стекол оптимальных составов путем тонкого мокрого их измельчения с добавлением 7% огнеупорной глины и последующим нанесением полученной суспензии на керамическую подложку. Термическая обработка полученных образцов проводилась при 950, 1000 и 1050 °C с выдержкой при максимальной температуре 30 минут.

Исследование поведения стекловидных покрытий при нагревании показало, что испытуемые глазури характеризуются хорошей кроющей способностью. У опытных образцов, содержащих 10 и 15 % B_2O_3 в температурном интервале 950–1050 °C образуется хорошо заглаженное блестящее покрытие. У образцов, содержащих 5 % B_2O_3 , увеличивается количество дефектов и снижается температурный интервал растекания (985–1050°C). Фактура покрытий изменяется от блестящей до матовой, получены цвета: светло-желтовато-коричневый, красно-коричневый, шоколадный, темно-коричневый и коричневый (в соответствие с криминалистическим атласом цветов – ОТО МВД СССР). Наилучший разлив и высокий блеск характерен

для составов, содержащих 15 и 20 % B_2O_3 , 15 и 20 % SiO_2 , 55 и 45% амфиболитового концентрата. Согласно данным РФА, у всех составов основной кристаллической фазой является гематит, что обуславливает преобладающий красно-коричневый цвет.

В зависимости от химического состава глазурные покрытия имеют следующие температурные характеристики: начало взаимодействия глазури с керамической подложкой 720–850 °С; оптимальный интервал наплавления покрытий 900–1050 °С.

Значение микротвердости исследуемых глазури составляет от 4663 до 6070 МПа

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о целесообразности использования амфиболитового концентрата при получении стекол для глазурных покрытий с различными показателями физико-химических свойств, различной фактуры и оттенков коричневого цвета. Синтезированные глазури не содержат компонентов первого и второго класса опасности (барий углекислый, оксид цинка), а также летучих фтористых составляющих, что позволяет улучшить условия труда работающих и экологическую ситуацию в промышленных регионах. Кроме того, данные цветные глазури не содержат дорогостоящих пигментов, что сокращает расходы на их производство.

Литература

- 1 Радченко, Ю. С. Синтез цветных глазурных покрытий на основе мета диабазов / Ю. С. Радченко, И. А. Левицкий // Стекло и керамика. – 2000. – № 12. – С. 20–23.
- 2 Левицкий, И. А. Комплексное исследование продуктов обогащения железистых руд для получения силикатных материалов / И. А. Левицкий, С. Е. Баранцева, Ю. Г. Павлюкевич, Ю. А. Климош // Стекло и керамика. – 2004. – № 12. – С. 20–22.
- 3 Левицкий, И. А. Легкоплавкие глазури для облицовочной и бытовой керамики / И. А. Левицкий. – Минск: БГТУ, 1999. – 394 с.
- 4 Левицкий, И. А. Цветные беспигментные глазури на базе магматического сырья Беларуси / И. А. Левицкий, Ю. С. Радченко // Природные ресурсы. – 2000. – № 4. – С. 6–7.
- 5 Химическая технология керамики и огнеупоров: Лабораторный практикум для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» / сост. Е. М. Дятлова, В. А. Бирюк. – Минск: БГТУ, 2006. – 272 с.
- 6 Левицкий, И. А. Влияние оксидов железа на свойства и структуру глазурных стекол / И. А. Левицкий // Стекло и керамика. – 2003. – № 4. – С. 11–14.
- 7 Герасимов, В. В. Современные легкоплавкие боросиликатные стекла и глазури для майолики и гончарных изделий / В. В. Герасимов, О. В. Спирина // Стекло и керамика. – 2004. – № 6. – С. 26–29.

УДК 666.01

Получение стеклокристаллических изделий сложной формы с высокой износостойкостью на основе минерального сырья

Студент гр. 8, Корженевич М.А.
Научный руководитель – Терещенко И.М.
Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

На предприятиях нефтехимического комплекса широко используются транспортирующие установки, работающие в сложных условиях коррозионного и абразивного воздействия, что вызывает быстрый износ отдельных деталей и выход установок из строя.

В настоящее время основным материалом для изготовления ответственных элементов оборудования, например сферических элементов запорных устройств, являются дефицитные легированные стали. Однако в последнее время резко возросла их стоимость, что в совокупности с двумя характерными особенностями металлов: относительно невысокой устойчивостью к механической и химической коррозии, делает актуальным использование других видов материалов, например стеклокерамических, имеющие высокую прочность на сжатие, прочность, твердость, устойчивость к воздействию расплавов солей, шлаков, металлов, агрессивных жидкостей и газов, действию температуры, что позволяет применять их в химической и металлургической отраслях литейном производстве и др.

Таким образом, основная цель решаемой в данной работе, формулируется следующим образом: разработка технологии получения стеклокерамических изделий сложной формы, устойчивых к абразивному износу и коррозии.

Важными требованиями к разрабатываемым процессам является их экономическая и экологическая эффективность.

В качестве основы СКМ был выбран базальт, прежде всего по экономическим факторам, к которым относятся доступность и дешевизна данного вида сырья, а также в следствии высоких технико-эксплуатационных характеристик получаемых на их основе изделий: твердости, износостойкости, химической устойчивости.

В данной работе использовались базальты Ровненского месторождения (Украина), отличающиеся стабильностью химико-минералогического состава.

Анализ химического состава базальта показывает, что он является в полнее благоприятным для получения стекол и петроситаллов, поскольку отличается сравнительно низким содержанием SiO_2 – менее 50 мас.% и значительным содержанием модификаторов ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{RO} + \text{R}_2\text{O}$) – оксидов, снижающих температуру варки стекла.

Из возможных вариантов технологии получения изделий из СКМ был выбран порошковый способ. Этот способ синтеза ситаллов представляется как более продолжительный, трудо- и энергоемкий в сравнении с «классическим стекольным», преимуществами которого являются относительная простота, поточность производительность, возможность обеспечения высокого уровня автоматизации технологических процессов. Однако в классической технологии имеются и недостатки: жесткие требования к варочным и формовочным свойствам стекла, его кристаллизационной способности, необходимостью точного соблюдения химических составов шихты и технологических параметров. Кроме того получаемые порошковым способом изделия обладают определенными достоинствами перед традиционной стеклокерамикой: повышенный уровень прочности, износо- и термической устойчивости, широких ассортиментов, технологичностью (широкий интервал спеченного состояния, равномерность усадки при обжиге, устойчивость к деформации в обжиге).

Особенностью порошкового способа является тот факт, что спеканию подвергаются порошки стекла с размером зерен около 8-10 мкм с добавкой катализатора кристаллизации, который вводится либо на стадии варки, либо на стадии помола стекла.

В настоящей работе с целью повышения эффективности термопластическая технология получения изделий на основе базальтов была видоизменена. В частности, принято решение существенно сократить долю стекла в исходной шихте, используя его в качестве высокотемпературного связующего. Оставшаяся часть шихты была представлена тонкоизмельченным базальтом. Другими словами частично осуществлен переход от стекольной технологии получения изделий к керамической, что позволяет существенно снизить энергоемкость производства.

Неотъемлемой частью термопластической технологии является приготовление порошковой стекольной шихты (удельная поверхность 5000 г/см^2), которая для получения готового изделия подвергается спеканию с одновременной кристаллизацией стекла. Особое внимание при получении петроситалла следует уделять определению температурных интервалов: 1) выгорания связующего; 2) кристаллизации; 3) спекания материала. Ответы на эти вопросы были получены при изучении исходного стекла методом дифференциально-термического анализа.

Установлено, что в области температур 160–550 °С на ней наблюдается несколько экзоэффектов, связанных с выгоранием связующего. Известно, что парафин является сложной смесью углеводов с различными молекулярными массами, причем в интервале температур 160–300 °С выгорают легкие фракции, количество которых весьма велико, в интервале 320–470 °С удаляются средние фракции, содержание которых мало, а наиболее интенсивный экзоэффект при 500 °С связан с выгоранием большого количества тяжелых фракций. Поскольку интенсивное газовыделение при удалении термопластического связующего может привести к растрескиванию и потери формы изделия были приняты следующие меры предосторожности:

- низкая скорость подъема температуры (менее 2 град/мин) в интервале температуры 50-550 °С;
- выдержка при 200 °С в течение 0,5 ч;
- выдержка при 470 °С в течение 0,5 ч.

В дальнейшем ход обеих дериватограм идентичен и лишь при 850 °С наблюдается экзоэффект, связанный с кристаллизацией первой кристаллической фазы – авгита. Важна что процесс кристаллизации образцов не сопровождается существенными объемными изменениями, что позволяет осуществлять быстрый подъем температуры (до 300 град/ч).

Для выбора конечной температуры обжига потребовалось изучение изменения физико-химических свойств в зависимости от материала в интервале 750–1100 °С.

Данные изучения кажущейся плотности, водопоглощения и пористости, показывают что, их значения мало изменяются, вплоть до температуры 1050 °С. В интервале температур 1050-1100 °С происходит резкое снижение водопоглощения, пористости и увеличение кажущейся плотности в ходе интенсивно протекающего процесса спекания, который практически завершается к температуре 1100 °С.

Таким образом эта температура и была принята конечной температурой обжига, выдержка изделий при ней составляла 1 ч.

Основными кристаллическими фазами в синтезированном материале являются следующие: анортит, диопсид, авгит и гематит.

Основные свойства петроситалов, полученные по термопластической технологии в соответствии с разработанным режимом термообработки следующие: кислотостойкость в 1н HCl – 98%, водопоглощение – 0,12%, потери при истирании – $0,03 \text{ г/см}^2$.

Влияние катионных полиэлектролитов на обезвоживающую способность сульфитной и сульфатной целлюлозы

Магистрант Костюкевич А.В., студент Драпеза А.А.
Научный руководитель – Черная Н.В.
Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

В настоящее время на предприятиях нашей республики вырабатывается более ста видов бумажной и картонной продукции. Однако многие виды высококачественных бумаг и картонов по-прежнему ввозятся из-за рубежа. Причиной этого является неспособность большинства отечественных предприятий изготавливать бумагу и картон, соответствующие мировым стандартам, из-за недостаточно разработанной технологии химического фильтрования в мокрой части бумагоделательных (БДМ) и картоноделательных (КДМ) машин.

На стадии формования листа в волокнистой массе присутствует как свободная вода, так и вода, адсорбированная на поверхности волокон с помощью химических связей, а также вода, связанная химически в кристаллической структуре волокон. Под физическим фильтрованием понимается удаление несвязанной воды, а под химическим – удаление части воды, связанной химически [1]. Увеличение доли химического фильтрования позволяет повысить скорость БДМ и КДМ, снизить энергетические затраты на обезвоживание и сушку и получать продукцию с однородным просветом, что имеет особое значение для печатных видов бумаги и полиграфического картона.

Одним из перспективных способов повышения водоотдачи бумажной массы на сеточном столе БДМ и КДМ является использование катионных полиэлектролитов (КП), обладающих флокулирующим действием. Кроме того, они повышают удержание наполнителя и мелкого волокна в структуре бумаги и картона, что приводит к экономии сырья и снижает загрязненность сточных вод предприятий [2].

Цель работы – исследование влияния катионных полиэлектролитов на обезвоживающую способность сульфитной и сульфатной целлюлозы.

Для исследования были выбраны целлюлоза сульфатная (СФА) листовая белая марки «ЕН» (ТУ 5411-042-00279491-96), целлюлоза сульфитная (СФИ) листовая белая, целлюлоза СФА хвойная белая марки «ХБ-2» (ГОСТ 9571-89Е) и целлюлоза СФИ хвойная белая марки «КК-2» (ГОСТ 3914-89Е). Волокнистые полуфабрикаты подвергались по стандартной методике [3] роспуску в дезинтеграторе марки БМ-3 и размолу в лабораторном роле до 40°ШР. Для проведения исследований были использованы волокнистые суспензии с концентрацией 0,2%. Время от дозировки КП до начала измерения водоудерживающей способности исследуемых волокнистых полуфабрикатов составляло 12 с., что соответствует времени прохождения волокнистой суспензией пути от узлоловителя до выхода из напорного ящика в производственных условиях.

В ходе исследования были использованы такие виды КП, как смола полиамидная, модифицированная эпихлоргидрином, марки Водамин-115 (ТУ РБ 300041455.021–2001) и катионный полиакриламид в виде товарного продукта Praestol 611 ВС (ТУ 2216-001-40910172-98). Рабочие растворы КП готовили путем разведения товарных продуктов водой до концентрации 0,1%. Расход КП составлял 0,25% от абсолютно сухого волокна (а.с.в.). Для проклейки волокнистой суспензии использовали нейтральную гидродисперсию модифицированной канифоли ТМ с концентрацией 2% и расходом 0,6% от (а.с.в.). В качестве коагулянта применяли раствор сульфата алюминия (ГОСТ 12966-85) с концентрацией 2%, расход которого составлял 3,0% от а.с.в.

Оценка обезвоживающей способности волокнистой массы проводилась путем определения времени отбора 100, 200, 300, 400, 500 см³ фильтрата с использованием аппарата СР-2 при закрытой центральной трубке в конусной части прибора и выстраиванием графических зависимостей в координатах «время τ , с – объем отобранного фильтрата V , см³» [1]. Полученные графические зависимости приведены на рис. 1 и 2.

Анализ графических зависимостей, представленных на рис. 1 и 2 показывает, что при использовании Praestol 611 ВС скорость водоотдачи почти в восемь раз выше, чем при применении Водамин-115. Для повышения влияния Водамин-115 на время обезвоживания волокнистой суспензии рекомендуется повышать его расход до 0,30–0,35% от а.с.в. в зависимости от условий использования, так как при расходе 0,25% от а.с.в. короткие цепочки полиамидной смолы не способны образовывать флокулы, устойчивые к сдвиговым воздействиям.

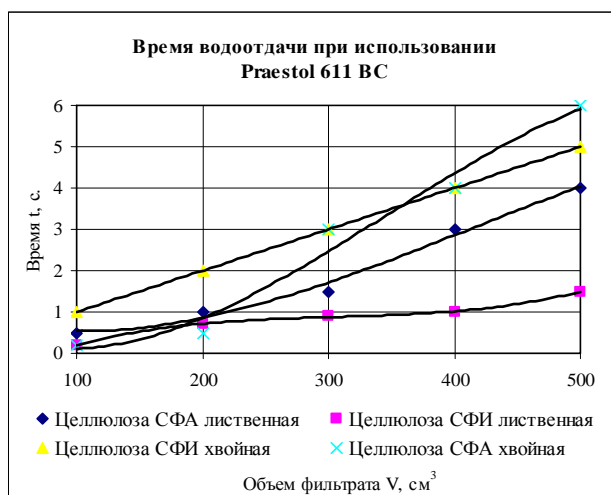


Рис. 1

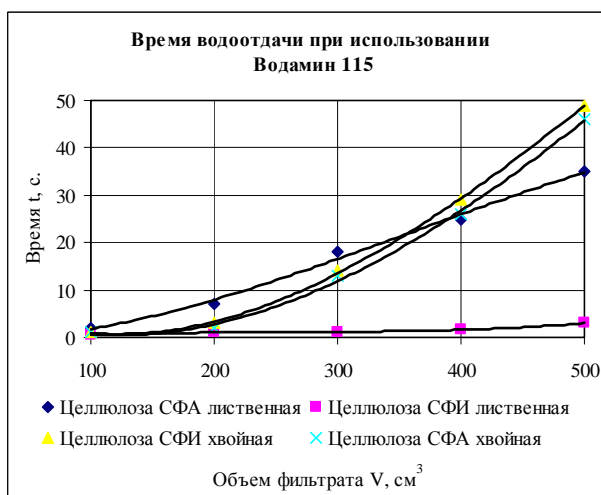


Рис. 2

Оценка влияния КП на обезвоживающую способность сульфитной и сульфатной целлюлозы показывает, что наибольшая скорость наблюдается при обезвоживании лиственной СФИ целлюлозы (500 см^3 за 1,5 с. для Praestol 611 BC). Это происходит вследствие того, что данный волокнистый полуфабрикат обладает короткими эластичными волокнами, способными образовывать микрофлокулы, устойчивые к сдвиговым воздействиям. Кроме того, данная волокнистая суспензия имеет наименьшую катионную потребность, что позволяет снизить расход КП на установление катионно-анионного баланса системы. Высокое время обезвоживания в случае СФИ хвойной целлюлозы (500 см^3 за 5 с. для Praestol 611 BC) объясняется сравнительно большой длиной волокон, препятствующей их быстрому сближению и образованием макрофлокул, склонных к удержанию молекул воды. СФА хвойная и лиственная целлюлозы проявили меньшую скорость водоотдачи по сравнению с СФИ хвойной и лиственными целлюлозами (400 см^3 за 2,8 и 4,4 с. для лиственной и хвойной СФА целлюлозы соответственно в случае использования Praestol 611 BC), что объясняется большей катионной потребностью их суспензий, а также менее эластичными волокнами.

Получено, что Praestol 611 BC оказывает большее влияние по сравнению с Водамин-115 на скорость водоотдачи сульфитной и сульфатной целлюлозы. При этом, в случае Praestol 611 BC, минимальная скорость обезвоживания наблюдалась у целлюлозы СФА хвойной (500 см^3 за 6 с.), тогда как для Водамин-115 минимальная скорость наблюдалась у СФИ хвойной целлюлозы (500 см^3 за 48 с.).

Литература

1. Оценка обезвоживания, эффективности полимерных добавок и химического фильтрования в мокрой части БДМ / П.В. Осипов, С.П. Осипов // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2007. – № 2. – С. 62–67.
2. Исследование влияния химикатов для флокуляции бумажной массы на процесс формования бумаги для печати / Л.Г. Махотина, Т.В. Мандре, О.А. Логинов, В.В. Тесленко, Э.Л. Аким // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2002. – № 5–6. – С. 20–27.
3. Лабораторный практикум по целлюлозно-бумажному производству: Учебное пособие для ВУЗов / Примаков С. Ф. [и др.]. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 168 с.

УДК 678.067

Улучшение совместимости смесей полиолефинов и стирольных пластиков в процессе их переработки

Студентка 1 гр. 5 к. ф-та ТОВ Лабуть Ю. М.

Научный руководитель - Мануленко А. Ф.

Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

В связи с развитием производства и техники возникает необходимость в получении пластмасс с различным набором физико-механических свойств. Но разработка и получение новых видов пластмасс представляет собой сложный трудоемкий процесс, требующий больших денежных вложений и времени. В настоящее время актуальным является вариант смешивания уже имеющихся марок пластмасс и исследование их свойств. Вместо первичных полимерных материалов можно также использовать вторичные, что способствует решению проблемы утилизации отходов пластмасс. Свойства смеси в зависимости от соотношения компонентов могут меняться кардинально. Это открывает широкие перспективы для создания,

новых материалов на основе смесей полимеров, обладающих таким сочетанием свойств, которое не обнаруживается ни у одного из индивидуальных полимеров.

Целью данной работы является улучшение совместимости смесей полиолефинов и стирольных пластиков путем введения в них функциональных добавок.

Объектами исследования выбраны крупнотоннажные полимеры: полиэтилен высокого давления, полиэтилен низкого давления, полипропилен, акрилобутадиенстирол, ударопрочный полистирол и полистирол. В качестве функциональных добавок к полиолефинам использовались ангидриды и диангидриды.

Функциональные добавки вводились в полиолефины методом реакционной экструзии. Полученные функционализированные полиолефины вводились в смесовые композиции в различных соотношениях.

Известно, что при добавлении к полимерам малых количеств модификаторов и наполнителей наблюдается немонотонное изменение свойств. Эффект появляется при добавлении не более 5% модификатора, а в ряде случаев достаточно долей процента модификатора или наполнителя. Эффект называют иногда эффектом малых добавок.

Результаты показывают, что исследуемые полимерные смеси являются эксплуатационно совместимыми, т.е. при изготовлении опытных образцов из смеси полимеров не происходит каких-либо особых изменений свойств, обусловленных двухфазной структурой, что позволяет широко применять многокомпонентные смеси полимеров.

На основании полученных результатов испытаний предложены методы улучшения совместимости полимеров и получения композиционных материалов с новыми свойствами. Полученные результаты испытаний могут быть применены для переработки вторичных полимеров, в том числе их смесей. Это позволит упростить технологию переработки смесей путем исключения из технологического процесса стадии разделения полимерных отходов различной химической природы, в частности полиолефинов полистирольных пластиков.

УДК 666.01

Исследования в области получения щелочестойких электродных стекол

Студентка гр. 8 Лебедева Е.А.

Научный руководитель – Бобкова Н.М.

Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

Целью настоящей работы является проведение научно-исследовательских мероприятий по выбору, синтезу и изучению свойств электродных стекол, устойчивых в высокощелочных средах, на основании чего выбраны оптимальные составы.

Электродными называются стекла особых составов, у которых при погружении в раствор электролита между поверхностью стекла и этим раствором возникает разность потенциалов, зависящая от ионного состава раствора. Электродные стекла предназначаются для изготовления рабочей (активной) части стеклянного электрода. Чаще всего ее изготавливают в виде шариков диаметром 9 мм.

Стеклянные электроды служат для контроля pH растворов электролитов. Продолжительность функционирования стеклянного электрода, т. е. его устойчивость, определяется рядом факторов: состав стекла, толщина pH-чувствительного поверхностного слоя мембраны, температура и состав раствора, в котором электрод используется.

Продолжающееся много лет изучение электродных свойств стекол и их применение в потенциометрии показало, что для многих щелочесодержащих стекол контакт с соответствующими растворами (расплавами) является обратимым. В этом случае есть все основания полагать, что скорость электродного процесса, связанного с переносом ионов через границу, велика. Не случайно поэтому стеклянный электрод с жидким внутренним заполнением и соответствующим токоотводом остается классическим вариантом конструктивного оформления электродов.

В пределах области одинаковой гигроскопичности и химической устойчивости характеристики электродных стекол могут быть изменены и улучшены путем изменения состава стекол. Стабильность, электропроводность и щелочная ошибка стеклянных электродов предположительно связываются с ионными свойствами модифицирующих элементов (например, щелочных и щелочноземельных), находящихся в пустотах решетки стекла. Кроме того, эти свойства связаны с электростатическими силами, появляющимися в стекле. В одних стеклах эти катионы связаны прочно, в других – слабо. Изменения в составе стекла определяют легкость, с которой может происходить обмен ионов между стеклом и раствором. Если поверхность стеклянного электрода непроницаема для всех ионов кроме водородного, щелочная ошибка будет минимальна, но эти стекла имеют высокое электрическое сопротивление и низкую химическую устойчивость. Следовательно, изменение составов стекол является наиболее логичным способом в достижении баланса различных свойств стеклянных электродов.

Изучив более чем 500 составов рН-чувствительных стекол ученые пришли к выводу, что электродные стекла должны содержать как минимум три компонента SiO₂, R₂O, MO или M₂O₃, где R –щелочной металл, а M –двух или трехвалентный металл, R₂O –может быть смесью двух оксидов щелочных металлов, MO –чаще всего CaO, BaO, SrO. Наиболее эффективной составляющей типа M₂O₃ предложили оксид лантана. Введение в состав стекла оксидов бария, цезия, лантана и замена натрия на литий значительно расширяет диапазон H⁺-функции стеклянного электрода.

Ранее, независимо от назначения, использовалось натрий-кальций-силикатное стекло ЭС-1 (техническое название Корнинг-015) состава: SiO₂ – 72, Na₂O – 22, CaO – 6 мас. %, а также литиево-магнезио-силикатные стекла или литиево-бариево-силикатные стекла. Электроды из этих составов теряют свои свойства при значениях рН растворов выше 10 – 11 и температурах выше 40 – 50°С. Поскольку большинство технологических процессов протекает при значениях рН, равных 13 -14, использование стеклянных электродов в производственных условиях было весьма ограничено.

Области применения стеклянных электродов значительно расширились после получения их на основе литиево-цезиево-лантановых стекол. Они более устойчивы при высоких значениях рН и температур.

Наиболее известным среди них является стекло Perly следующего состава (мол.%): SiO₂ – 65, Li₂O – 28, Cs₂O – 3, La₂O₃ – 4. Однако отсутствуют сведения об электродных стеклах, устойчиво работающих в области значений рН растворов 14 и более.

В данной научной работе были синтезированы стекла, составы которых базировались на стеклах Perly, но в которых для повышения щелочестойкости вводились оксиды щелочноземельных оксидов за счет снижения кислотного оксида SiO₂. Содержание SiO₂ колебалось в пределах (мол.%) 49 – 57, BaO – 0 – 5, SrO – 0 – 5. Кроме того, дополнительно вводилось от 1 до 5 мол.% ZrO₂. Все стекла синтезировались на основе чистых химических реактивов и аморфного кремнезема в электрической печи при температуре 1350°С. Стекла хорошо провариваются и осветляются. Стекла при термообработке в основном устойчивы к кристаллизации (образуется лишь слабая поверхностная пленка). Температуры начала размягчения стекла 550 - 570°С. Стекла обладают несколько пониженным температурным коэффициентом линейного расширения - (80 – 92)·10⁻⁷ К⁻¹, что возможно потребует корректировки. Щелочеустойчивость стекол определялась путем длительной выдержки стеклянных образцов в растворе 1н NaOH (рН=14) по потерям массы через каждые 7 суток в течение 5 недель. В течение первых 7 суток потери массы составили от 0,054 до 0,107 мг/см². Потери снижаются по мере увеличения в составе стекол ZrO₂.

Литература

1. Б.П. Никольский, Е.А. Матерова Ионоселективные электроды.-Л.: Химия, 1980.-240.
2. Б.П. Никольский, А.А. Белюстин Стеклянные электроды – новые аспекты теории, разработки и применения// Журнал аналитической химии.-1980. - Т. XXXV. – с.2206 – 2222.
3. Справочник по производству стекла/ Под ред. д.т.н. проф. И. И. Китайгородского и С. И. Сильвестровича. – М., 1963, т.2.
4. М.М. Шульц, А.М. Писаревский, С.Е. Волков Электрод, составленный из стекол с ионной и ионно-электронной проводимостями //Физика и химия стекла. – 1981.Т.7№2. – с.426 – 432.
5. Л.В. Стукан, В.С. Бобров О влиянии необменных процессов на электродные характеристики литиевых боросиликатных стекол//Журнал прикладной химии. – 1992. - №9. – с.1934 – 1941.
6. Н.Г. Карпухина, А.А. Киприянов Электродные свойства некоторых щелочно-силикатных стекол//Физика и химия стекла. – 2001. – Т.27№1. – с.101 – 107.
7. Р. Бейтс Определение рН. Теория и практика. – Л.: Химия, 1972. – с.400.
8. Стекло: справочник/ под ред. Н. М. Павлушкина. – М.: Стройиздат, 1973. – 487 с.
9. Химическая технология стекла и ситаллов: учеб. для вузов/ М. В. Артамонова [и др.]; под общ. ред. Н. М. Павлушкина. – М.: Стройиздат, 1983. – 432 с.

УДК 665.584.22/.24

Электрические свойства эмульсий стеарин-вода

Студентка 7 гр. 3 курса ф-та ТОВ Лукашевич Е.А.
Научные руководители – Эмелло Г.Г., Бондаренко Ж.В.
Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

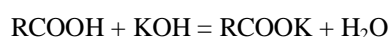
Целью данной работы явилось исследование электрических свойств стеариновых эмульсий, полученных диспергационным методом по способу «горячий/горячий» [1]. Данный способ предполагает отдельное нагревание как водной, так и масляной фаз до определенной температуры, при которой осуществляется их смешивание.

Диспергирование одной фазы в другой производили на водяной бане с помощью перемешивающего устройства фирмы ИКА с регулируемой скоростью вращения мешалки (скорость вращения варьировали в интервале 250–1200 мин⁻¹).

Механизм диспергирования расплавленной масляной фазы в горячей водной фазе сводится к следующему. Большие сферические капли при механическом воздействии деформируются в капли-цилиндрики или частицы иной формы в зависимости от соотношения вязкостей дисперсной фазы и дисперсионной среды. Капли-цилиндрики самопроизвольно дробятся при перемешивании системы на более мелкие капли. Процесс дробления повторяется до тех пор, пока размеры капель не составят 10–100 мкм.

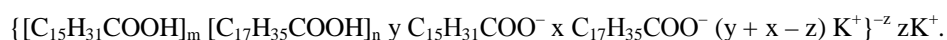
Дисперсные системы с мелкими каплями являются термодинамически неустойчивыми (капли стремятся к коалесценции). Поэтому в систему вводят третий компонент, называемый эмульгатором. Его задача сделать эмульсию устойчивой и повысить эффективность эмульгирования.

В исследованных эмульсиях масляная фаза представляла собой стеарин (смесь пальмитиновой и стеариновой кислот в процентном соотношении 60:40), а водная фаза – дистиллированная вода, в которую добавляли гидроксид калия. Поэтому эмульгаторами исследованных систем являлись мыла, образующиеся в результате омыления стеариновой и пальмитиновой кислот гидроксидом калия по реакции



В процессе эмульгирования стеарат-ионы (C₁₇H₃₅COO⁻) и пальмитат-ионы (C₁₅H₃₁COO⁻) располагаются в масляной фазе, а ионы калия – в водной. На поверхности капель образуется двойной электрический слой, который обеспечивает агрегативную и седиментационную устойчивость системы. Такой фактор стабилизации дисперсных систем называется электростатическим.

Схематическое изображение строения структурной единицы дисперсной фазы можно представить следующим образом:



Из представленной схемы видно, что капли эмульсии имеют отрицательный заряд (-z), что обусловлено знаком заряда потенциалопределяющих ионов (пальмитат- и стеарат-ионов).

При выполнении работы было получено семь стеариновых эмульсий массой 100 г каждая с 10%-ным содержанием стеарина и различным содержанием гидроксида калия. Эмульсии представляли собой густые кремообразные системы белого цвета.

Для исследования электрических свойств эмульсий производили их разбавление в пять раз водным раствором неионогенного поверхностно активного вещества (НПАВ) Твин 80. НПАВ вводили в систему для того, чтобы в процессе разбавления не изменился заряд капель эмульсии. Молекулы Твин 80 адсорбируются на поверхности капель, обеспечивая, таким образом, дополнительную устойчивость.

Методом макроэлектрофореза по методике, описанной в [2], определен электрокинетический потенциал (ξ-потенциал) капель эмульсий. На приборе реохордный мост измерено сопротивление эмульсий и рассчитана их удельная электропроводность [3]. Результаты исследования электрических свойств эмульсий стеарин-вода представлены на рисунке.

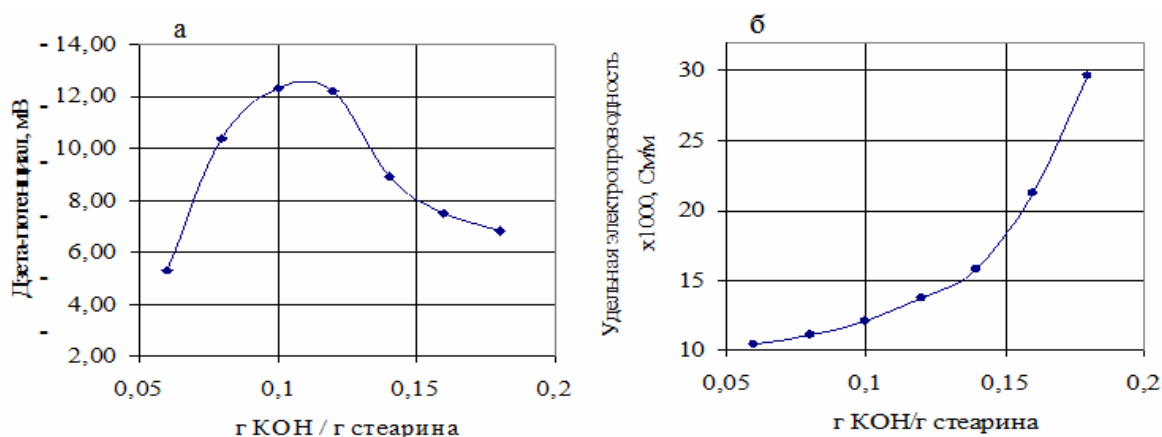


Рисунок – Зависимости электрокинетического потенциала капель эмульсии (а) и электропроводности эмульсии (б) от расхода гидроксида калия, пошедшего на омыление стеарина

Установлено, что при увеличении содержания гидроксида калия от 0,06 до 0,10 г/г стеарина происходит увеличение электрокинетического потенциала капель эмульсии от -5,8 до -12,4 мВ. Это свидетельствует о том, что количество потенциалопределяющих ионов в структуре капли увеличивается. Повышение содержания КОН от 0,12 до 0,18 г/г стеарина приводит к понижению ξ-потенциала до -6,8 мВ. Это происходит вследствие накопления ионов калия в адсорбционном слое противоионов.

График зависимости удельной электропроводности разбавленных эмульсий от содержания в них гидроксида калия напоминает кривую титрования слабой кислоты сильным основанием (щелочью). Удельная электропроводность исследуемых систем определяется количеством заряженных частиц (ионов, капель эмульсии) и их подвижностью под действием приложенного напряжения. При увеличении содержания КОН от 0,06 до 0,10 г/г стеарина наблюдается незначительное увеличение удельной электропроводности. На данном участке зависимость практически прямолинейная. Электропроводность в данном случае определяется, в основном, подвижностью и количеством капель эмульсии. Увеличение содержания КОН в системе приводит к появлению избыточного количества ионов K^+ и OH^- вследствие чего электропроводность увеличивается более значительно, особенно на участке, соответствующем расходам КОН 0,14–0,18 г/г стеарина (практически прямолинейный участок). Если прямолинейные участки продлить, то по точке их пересечения можно приблизительно оценить количество КОН, принимающее участие в процессе омыления стеарина. Это количество КОН составило 0,135 г/г стеарина. Эмульсии с избыточным количеством КОН являются мыльными на ощупь, легко вспениваются и имеют более рыхлую структуру.

Литература

1. Эмульсии / Под ред. Ф.Шермана, пер. с англ. под ред. А.А. Абрамзона. – Л.: Химия, 1972.
2. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / Под ред. Ю.Г. Фролова и А.С. Гродского. – М.: Химия, 1986.
3. Дулицкая, Р.А. Практикум по физической и коллоидной химии / Р.А. Дулицкая, Р.И. Фельдман. – М.: Высшая школа, 1978.

УДК 676.024.74

Оптимизация технологических параметров изготовления мешочной бумаги

Студент факультета ТОВ, 5 курса, 4 группы Лях К.А.
Научный руководитель – Жолнерович Н.В.
Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

Мешочная бумага на сегодняшний день является одним из массовых и наиболее прочных видов бумаги. Изготовленные из нее многослойные мешки находят применение в пищевой промышленности (для упаковки муки, сахара и других сыпучих продуктов), в производстве строительных материалов (упаковка цемента, гипса), в химической промышленности (упаковка извести, мела и других химических продуктов), а также в производстве минеральных удобрений и др. Требования, предъявляемые к мешочной бумаге, должны учитывать весьма разнообразные условия изготовления и эксплуатации бумажных мешков. Однако создать универсальный вид бумаги, удовлетворяющий всех потребителей, практически невозможно, да и нецелесообразно. Достижение определенных требований возможно путем комбинирования нескольких видов мешочной бумаги в виде многослойного мешка.

Преимущества бумажной упаковки по сравнению с другими видами упаковочных материалов очевидно. Во-первых, простота утилизации отработанной упаковки, во-вторых, возможность переработки и использования отработанного упаковочного материала в качестве вторичных ресурсов. Это обуславливает все возрастающий интерес к данному виду продукции и необходимость проводимых исследований с практической точки зрения.

Традиционно мешочная бумага изготавливается из небеленой сульфатной хвойной целлюлозы с добавлением в композицию проклеивающих материалов и упрочняющих добавок. Однако технология ее получения постоянно совершенствуется например, путем перевода процесса проклейки в область нейтральных значений рН, использованием новых упрочняющих добавок, нанесением поверхностного покрытия (придаванием паро-, водо-, газонепроницаемости, ламинированием полиэтиленом) и др. Существующий при этом широкий спектр предлагаемых веществ, как для проклейки так и вспомогательных химикатов, а также разнообразие их свойств вызывает определенные сложности при выборе конкретного продукта для производства бумаги и картона. Это связано, во-первых с существующей технологией кислой проклейки и необходимостью затрат на ее модернизацию, во-вторых с разработкой и внедрением новых технологических режимов изготовления бумажной продукции.

Известно [1], что при проклейке бумаги в нейтральной среде возможно повышение прочностных показателей бумаги вследствие снижения расхода проклеивающего вещества и коагулянта. Повышению эффективности применения проклеивающих веществ на канифольной основе способствует проведение комплексных исследований и определение оптимальных режимных параметров проклейки бумаги. В этой связи представляет интерес применение проклеивающего вещества на канифольной основе ТМВС-2Н, рецептура которого разработана на кафедре химической переработки древесины Белорусского государственного технологического университета и

промышленное производство освоено на ОАО «Лесохимик» (г. Борисов). Применение данного клея не требует капитальных вложений и существенного изменения традиционной технологии.

Одновременно для придания влагопрочности мешочной бумаги в ее композицию целесообразно добавлять влагопрочную смолу Melapret, которая в настоящее время находит широкое применение на бумажных предприятиях РБ в качестве упрочняющей добавки. Однако сведения о влиянии описанных выше химикатов на свойства мешочной бумаги в литературе отсутствуют, что обуславливает научную необходимость выполненных исследований.

Целью настоящей работы являлось определение оптимальных режимных параметров проклейки мешочной бумаги в нейтральной среде в присутствии клеевой канифольной композиции ТМВС-2Н и влагопрочной смолы Melapret.

Для достижения поставленной цели в лабораторных условиях были изготовлены и испытаны образцы мешочной бумаги массой 80 г/м^2 из 100% сульфатной хвойной целлюлозы. Расход проклеивающего вещества варьировали от 0 до 2,1% от а.с.в. В качестве коагулянта применяли сульфат алюминия, расход которого изменяли в пределах 0–4,5% от а.с.в. В качестве влагопрочной добавки применяли влагопрочную смолу Melopret, расход которой изменяли от 0 до 0,15% от а.с.в. Изготовление образцов мешочной бумаги осуществляли в соответствии со стандартной методикой.

Важно отметить, что оценки прочностных характеристик, которыми традиционно характеризуют качество бумаги, для мешочной бумаги недостаточно, т.к. условия эксплуатации данного вида продукции предполагают динамические нагрузки. В итоге проведенных в разных странах экспериментальных работ, исследователи пришли к единодушному выводу, что четкой зависимости между прочностью мешков и физико-механическими свойствами бумаги не существует [2, 3]. Это вызвано различиями в условиях приложения нагрузки, конструктивными особенностями мешков и свойствами затаренного продукта. В связи с этим в качестве критериев оптимизации нами были выбраны такие показатели как поглощение энергии при разрыве, Дж/м^2 , разрывная длина, м, жесткость при разрыве, кН/м и модуль Юнга, ГПа .

На основании полученных экспериментальных данных были получены адекватные математические модели, описывающие влияние расходных и режимных параметров изготовления мешочной бумаги на ее свойства.

В результате оптимизации параметров технологического процесса установлено, что расход проклеивающего вещества должен находиться в диапазоне 1,8–2,1% от а.с.в., при этом расход коагулянта составит 4,1–4,4% от а.с.в., при одновременном содержании в композиции бумаги влагопрочной смолы в количестве 0,13–0,15% от а.с.в.

Сравнительный анализ полученных данных показал, что при соблюдении оптимальных режимных параметров нейтральной проклейки мешочной бумаги из сульфатной хвойной небеленой целлюлозы клеевой композицией ТМВС-2Н в присутствии влагопрочной добавки Melapret образцы характеризуются впитываемостью при одностороннем смачивании по Коббу в пределах $12,7\text{--}14,8 \text{ г/м}^2$, поглощением энергии при разрыве $72\text{--}78 \text{ Дж/м}^2$, разрывной длиной $6700\text{--}6500 \text{ м}$, модулем Юнга $3,0\text{--}3,2 \text{ ГПа}$ и жесткостью при разрыве $530\text{--}540 \text{ кН/м}$.

Литература

1. Крылатов Ю.А., Ковернинский И.Н. Проклейка бумаги. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 288 с.
2. Сушкова Н. Д. Бумажные мешки. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 168 с.
3. Фляте Д. М. Свойства бумаги. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 648 с.

УДК 678.049.

Модификация бутадиен-нитрильных каучуков с целью улучшения физико-механических свойств композиций

Студент 4 курса Марусова Т. С.

Научный руководитель - Долинская Р.М.

Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

Целью настоящей работы является улучшение качества и свойств резиновых смесей и вулканизатов на основе бутадиен-нитрильных каучуков за счет введения модификаторов. В связи с этим проведены исследования по созданию резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильных каучуков(БНК) различных марок с использованием в качестве модификаторов полимеризационных олигомеров-олигоэфиракрилатов(ОЭА). ОЭА- олигомерные сложные и простые эфиры с концевыми или регулярно чередующимися акрилатными группами с молекулярной массой от 300 до 1500. Наличие разнообразных функциональных групп позволяет осуществить их взаимодействие с соединениями различной природы и создать материалы с широким диапазоном свойств.

Образцы эластомерных композиций на основе БНК подвергли вулканизации в гидравлическом прессе при температуре $143 \pm 3^{\circ}\text{C}$. В композиции вводили переменное количество ОЭА. В процессе вулканизации каучуков ОЭА протекает как гомополимеризация, так и привитая сополимеризация ОЭА. Рекомбинация макрорадикалов ведет к возникновению прочных -С-С- связей, а их взаимодействие с ОЭА- к образованию трехмерного привитого сополимера. Модификация каучуков, как показали исследования, снижает вязкость эластомерных композиций и улучшает физико-механические свойства вулканизатов.

На основании исследований физико-механических свойств эластомерных композиций был сделан вывод, что степень структурирования, прочность композиций возрастают пропорционально функциональности и концентрации ОЭА в смеси. Также было установлено, что все исследованные типы ОЭА улучшают прочностные и эксплуатационные свойства вулканизатов.

Таким образом, исследованные ОЭА хорошо совмещаются с БНК, снижают вязкость резиновых смесей, улучшают физико-механические и технологические свойства вулканизатов. Это можно объяснить тем, что в процессе вулканизации возможна полимеризация ОЭА, которая приводит к модификации свойств эластомерных композиций. Наиболее целесообразно использовать тетрафункциональные ОЭА, придающие вулканизатам лучший комплекс свойств.

УДК 543.544.32:547.913

Газохроматографический анализ пулегона в эфирных маслах

Студенты – Петрушеня А.Ф., Близнюк Е.В.

Научные руководители – Супиченко Г.Н., Коваленко Н.А.
Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

В пищевой промышленности эфирные масла используются в производстве напитков, кондитерских и ликероводочных изделий, жевательных резинок, колбас, соусов, в хлебопечении, консервной и рыбной промышленности. Необходимо заметить, что среди эфирных масел, традиционно применяемых для ароматизации пищевых продуктов, алкогольных и безалкогольных напитков, существуют такие, которые при определенных концентрациях могут оказать вредное воздействие на человека. К настоящему времени составлены списки запрещений и ограничений для ряда эфирных масел, применяемых на пищевых производствах, что отражено в предписаниях Комитета экспертов по пищевым ароматизаторам Европейского союза. Эти ограничения распространяются на эфирные масла и растения, содержащие пулегон – мята перечная, мята кудрявая, мята пулигиная. Допускается предельная концентрация пулегона в специальных мятных напитках до 250 мг/кг, в безалкогольных – 100 мг/кг, в пищевых изделиях – 25 мг/кг, в мятных конфетах – 350 мг/кг. Такое ограничение связано с высокой токсичностью пулегона, способного при приеме внутрь вызывать у человека некроз печени. По требованиям Европейской фармакопеи максимально допустимое содержание пулегона, употребляемое ежедневно, не должно превышать 140 мг. В этой связи при разработке новых видов пищевой продукции необходим строгий контроль за содержанием пулегона как в растительном сырье, так и продуктах на его основе.

Целью настоящей работы является ГЖХ – определение пулегона в эфирном масле многоколосника морщинистого *Agastache rugosa* L. из коллекции пряно-ароматических и лекарственных растений Центрального Ботанического сада НАН Беларуси.

Эфирные масла получали методом перегонки с водяным паром.

Газохроматографический анализ образцов эфирного масла выполнен на хроматографе «Цвет-800» с пламенно-ионизационным детектором при программировании температуры от 50 до 200°C со скоростью $3^{\circ}/\text{мин}$ в токе газа-носителя азота с использованием стеклянной капиллярной колонки длиной 30 м (НР-5). Идентификацию основных компонентов эфирного масла проводили сравнением рассчитанных обобщенных индексов удерживания (ОИУ) с литературными данными. В качестве реперных компонентов для расчета ОИУ использовали n-алканы C_7 – C_{16} , индексы удерживания которых принимали равными 100-n. Количественные определения основных компонентов проводили с использованием метода внутренней нормализации и метода внутреннего стандарта.

На основании проведенных исследований определено значение ОИУ и идентифицирован хроматографический пик пулегона в эфирном масле *Agastache rugosa* L. Для повышения надежности идентификации использовали стандартный образец этого соединения. Исследования провели в 2-х вариантах. В первом варианте была записана хроматограмма раствора пулегона, приготовленного из стандартного образца, в тех же условиях, что и анализируемое эфирное масло. Одинаковое время удерживания компонентов в обоих случаях позволило идентифицировать пулегон. Во втором случае к проанализированному образцу эфирного масла добавили стандартный образец пулегона. Увеличение площади пика, отнесенного к пулегону, подтвердило отнесение пика с ОИУ 1251 к пулегону.

Экспериментальные данные по содержанию пулегона в эфирном масле *Agastache rugosa* L., полученные методом внутренней нормализации и методом внутреннего стандарта, показали, что применение обоих методов дает близкие результаты и составляет ~ 20 мас. %.

Студентка гр. 9 Рыбак О.А.
Научный руководитель – Левицкий И.А.
Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

Целью данной работы является разработка рецептур сырьевых композиций для получения матовых износостойких полуфриттованных покрытий для декорирования плиток для полов.

Плитки для полов подвергаются значительным истирающим воздействиям, что требует применение глазурных покрытий с высокой износостойкостью. Большинство предприятий Республики Беларусь для производства глазурных покрытий для декорирования плиток для полов используют готовые импортные смеси сырьевых составляющих – компосты, поставляемые из Италии. Глазури на их основе обладают высокими эксплуатационными свойствами, но в то же время характеризуются повышенной стоимостью. Поэтому актуальным является вопрос разработки износостойких глазурей для декорирования плиток для полов, в которых произведена замена импортируемых компостов на разработанные составы покрытий с использованием доступных сырьевых материалов.

Матовость – явление оптическое, связанное с присутствием множества поверхностей разделов, от которых свет отражается, преломляется и рассеивается. Известно, что получить матовую фактуру покрытия можно подбором соответствующего химического состава, обеспечивающего кристаллизацию требуемых фаз, кристаллы которых имеют относительно крупные размеры, выступающие над поверхностью покрытия и диффузно отражающие падающий свет.

Особое значение в составе глазурных покрытий играет стеклофритта, которая снижает температуру протекания реакций, ускоряет процесс взаимодействия реагирующих компонентов в сырьевой смеси, ускоряя процесс глазурирования.

Получение полуфриттованных покрытий осуществлялось на основе стеклофритты, полученной в системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{ZrO}_2$, количество которой составляло в композиции 20–23 мас. %.

Основными компонентами, применяемыми для варки фритт, явились кварцевый песок, борная кислота, доломит, сода кальцинированная, поташ, цирконовый концентрат и технический глинозем. Компоненты шихты высушивались до влажности не более 0,5 % и измельчались до величины зерен не более 1 мм. Варка фритт осуществлялась при температуре $1450 \pm 20^\circ\text{C}$ в фарфоровых тиглях в газовой пламенной печи со скоростью подъема температуры $250^\circ\text{C}/\text{ч}$. Глазурные стекла характеризовались удовлетворительными варочными свойствами, расплав гранулировался в холодной проточной воде.

Наряду со стеклофриттой использовались кварцевый песок марки ВС–020, пегматит чупинский КПШМ 0,20–2, доломит марки А, волластонитовый концентрат ВП–25, технический глинозем ГК–2, оксид цинка и циркобит МО. Для улучшения реологических характеристик суспензии в составах глазурей применялся каолин просяновский КН–83.

Шихта исследованных составов подвергалась совместному мокрому помолу в шаровой мельнице до остатка на контрольном сите № 0063 – 0,1–0,3 %. Полученная суспензия с влажностью 30–40 % наносилась на предварительно высушенные образцы керамических плиток методом полива. ТКЛР черепка керамических плиток составляет $(70-80) \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$. Обжиг плиток проводился в газопламенной конвейерной печи типа RKS–1650 при температуре $1160 \pm 10^\circ\text{C}$ в течение 43 ± 1 мин в условиях ОАО «Керамин» (г. Минск).

С целью обеспечения требуемых показателей текучести глазурных суспензий применялся триполифосфат натрия, количество которого составляло 0,03–0,06 % сверх 100 %.

Блеск и белизна покрытий определялись на фотоэлектрическом блескомере ФБ–2 с использованием в качестве эталона при определении блеска увиолевого стекла, белизны – баритовой пластинки.

Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) синтезированных глазурей измерялся на электронном dilatометре DIL 402 PC фирмы «Netzsch» (ФРГ) в интервале температур 20–400 °C при постоянной скорости нагрева образцов в печи, составляющей $5^\circ\text{C}/\text{мин}$.

Микротвердость глазурей определялась на приборе ПТМ–3М (ЛМО, Россия) при нагрузке на индентор 200 г с обработкой данных с помощью фотоэлектронного микрометра (ОСБ «Спектр», Россия). Износостойкость покрытий определялась по ГОСТ 6787–90.

Полуфриттованные глазурные покрытия характеризовались матовой, шелковистой фактурой и величиной блеска в пределах 10–15 %. Значения микротвердости полуфриттованных глазурных покрытий изменялось в интервале 8960–9020 МПа, белизна – 83–89 %.

Значение ТКЛР покрытий составило $(67-72) \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$ в интервале $(20-400)^\circ\text{C}$, твердость по шкале Мооса – 7–8, по износостойкости они отвечали 3-ей степени.

Дифференциально-термический анализ глазурей выполнен с помощью дериватографа OD–102 фирмы «МОМ» (Венгрия). Установлено, что в интервале температур 120–125 °C эндоэффект связан с удалением физической влаги. При температуре 560°C отмечается эндотермический эффект, обусловленный

разложением каолинита. Диссоциация карбонатов характеризуется двумя эндоэффектами: при температуре 810–815°C, обусловленными разложением магнезита, и при 860–865°C – кальцита. Интенсивный экзоэффект при 910–915°C для полуфриттованной глазури свидетельствует о высокой интенсивности кристаллизационных процессов.

Рентгенограммы синтезированных материалов снимались на рентгеновском дифрактометре D 8 ADVANCE фирмы «Bruker» (Германия). Излучение – $\text{CuK}\alpha$, детектор – сцинтиляционный счетчик. Запись производилась в диапазоне углов $2\theta = 5\text{--}80^\circ$ с шагом $0,1^\circ$ и накоплением импульсов в течение 2 с. Для идентификации кристаллических фаз использовались международная картотека Joint Comite on Powder Diffraction Standarts, 2003 и программное обеспечение DIFFRAC PLUS фирмы «Bruker».

С помощью рентгенофазового анализа установлено, что фазовый состав полуфриттованных глазурных покрытий представлен цирконом ($\text{ZrO}_2\cdot\text{SiO}_2$) и диопсидом ($\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$), присутствует небольшое количество волластонита ($\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) и анортита ($\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$), а также α -кварца ($\alpha\text{-SiO}_2$) и α -корунда ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$).

Проведенные исследования зависимости истираемости и микротвердости покрытий от их фазового состава позволили установить, что указанные показатели определяются количеством циркона и диопсида, присутствующих в глазурном покрытии, а также размерами их кристаллических включений. С ростом в глазурном покрытии содержания циркона и диопсида и снижением размеров кристаллов значения микротвердости и износостойкости покрытий возрастали.

Методом сканирующей микроскопии с помощью микроскопа LEOLS JSM–35M (Япония) установлена гетерогенность глазурного покрытия, представленного стекловидной фазой, аморфизированным веществом и кристаллической фазой различного характера, которая является доминирующей. Диагностируются изометричные, призматические и остроугольные кристаллы с размерами от 0,1 до 6 мкм. Наблюдаются как единичные кристаллические образования, так и их скопления – конгломераты. Наибольшее количество остеклованной фазы наблюдается на поверхности огневого зеркала глазурного слоя. Имеются газообразные включения размером 0,1–0,5 мкм, расположенные, в основном, в глубинных слоях покрытия, что свидетельствует о практически полной дегазации глазурного слоя при однократном обжиге плиток для полов.

Проведенные испытания глазурных покрытий в условиях промышленного производства ОАО «Керамин» свидетельствуют о возможности внедрения разработанных рецептур импортзамещающих глазурных сырьевых смесей при обеспечении требуемых эксплуатационных свойств и декоративно-эстетических характеристик покрытий. Преимуществом синтезированных составов является отсутствие в сырьевых композициях компонентов первого класса опасности (особо опасных веществ) при снижении до минимума (3–5 мас.%) содержания веществ второго класса опасности. Наряду с экологическими преимуществами обеспечивается снижение расхода топливно-энергетических ресурсов за счет уменьшения количества фритты в сырьевых композициях.

УДК 66.023

Применение метода Хорвата и Шуберта при расчетах ректификационных колонн для разделения азеотропных смесей

Студент 3 к. 6 гр. факультета ХТТ Слабко Е.Н.

Научный руководитель – Калишук Д.Г.

Белорусский государственный технологический университет
г.Минск

При расчетах и технологическом проектировании ректификационной колонны важнейшим определяемым размером является высота ее контактной части. Для тарельчатых аппаратов эта высота пропорциональна числу тарелок и межтарельчатому расстоянию. Число тарелок может быть определено различными методами. Одним из наиболее распространенных является метод, основанный на вычислении числа теоретических ступеней контакта.

В расчетной практике до сих пор актуален графический метод определения числа теоретических ступеней контакта, разработанный Мак–Кэбом и Тиле в 1925 году. При расчетах колонн четкой ректификации, т. е. в случаях, когда молярная доля низкокипящего компонента (НК) в дистилляте близка к единице, либо в кубовом остатке близка к нулю, применение поименованного выше метода требует выполнения крупномасштабных диаграмм больших форматов. П.Хорватом и Р.Шубертом был предложен графический метод определения числа теоретических ступеней в колоннах четкой ректификации, исключающий указанный недостаток в [1]. В соответствии с данным методом графики равновесной и рабочих линий в областях молярных долей НК, близких к нулю и единице, следует выполнять в координатах

$$\text{Igy} - \text{Igx} \quad \text{и}$$

$\text{Ig}(1 - y) - \text{Ig}(1 - x)$ соответственно. В представляемых зависимостях: y – молярная доля НК в паровой фазе, кмоль/кмоль; x – молярная доля НК в жидкой фазе, кмоль/кмоль.

Метод Хорвата и Шуберта без доработки неприменим при расчетах колонн для разделения азеотропных смесей, предназначенных для получения кубового остатка и дистиллята с молярной долей НК, близкой к ее величине в точке азеотропы. Нами предлагается для такого рода расчетов ввести понятие фиктивной доли НК в смеси (исходной смеси, дистилляте, кубовом остатке, паровой и жидкой фазах).

Для смесей с нижней точкой азеотропы при содержании НК в дистилляте несколько меньшим, чем его содержание в азеотропной точке, фиктивные доли в жидкости x' и паре y' соответственно вычисляются по формулам:

$$x' = x / x_a; \quad (1)$$

$$y' = y / x_a, \quad (2)$$

где x_a – молярная доля НК в смеси азеотропного состава, кмоль/кмоль.

Характерным примером азеотропной смеси с указанными выше свойствами является смесь этилового спирта – вода. Для нее $x_a = 0,8941$ кмоль/кмоль. В процессе производства этилового спирта–ректификата высшей очистки марок «Экстра» и «Люкс» необходимо получать дистиллят с молярной долей НК выше 0,885 кмоль/кмоль (выше 96,2% об.). Исходной смесью в данных колоннах является спирт–сырец с молярной долей НК 0,57–0,65 кмоль/кмоль [2]. Для указанного случая нами проведено графическое определение числа теоретических ступеней контакта укрепляющей части колонны по методу Мак–Кэба и Тиле с построением крупномасштабной диаграммы и по модифицированному методу Хорвата и Шуберта. Отклонение рассчитанных величин друг от друга не превысило 5%. Следовательно, при применении предлагаемого нами метода достигается достаточно высокая точность при минимизации размеров расчетных диаграмм.

Литература

1. Howat J.P., Schubert R.F. Find Distillation Stages Graphically / Chem. Eng., 10, 1958. – p.p. 129–132.
2. Стабников В.Н. Перегонка и ректификация этилового спирта. – М.: Пищевая промышленность, 1964. – 456 с.

УДК 678.065.004.8

Разработка технологии использования отходов резиновой промышленности с целью получения новых изделий

Студент 4 курса Тарахович Н. С.

Научный руководитель - Щербина Е. И.

Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

Целью данной работы является создание и отработка рецептуры новых материалов с использованием отходов производств и технологии изготовления формовых резинотехнических изделий на их основе. В работе исследовалась возможность полностью исключить из состава резиновой смеси каучук. В качестве объектов исследования использовали отходы резиновой промышленности - резиновую крошку и регенерат. Изготовление исследуемых композиций проводили на вальцах ЛВ 320 160/160. Вулканизацию образцов проводили на гидравлическом прессе при температурах $(130-170) \pm 3^\circ\text{C}$ с использованием серосодержащей вулканизирующей группы, в состав которой входят также ускорители вулканизации сульфенамид Ц и каптакс. Физико-механические показатели композиций определяли по методикам ГОСТ, соответствующих на эти показатели: условная прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве, относительная остаточная деформация после разрыва, твердость по Шору, температурный предел хрупкости.

Полученные результаты исследований показали, что для изготовления полимерного композиционного материала предназначенного для изготовления плит напольных в качестве полимерной матрицы можно использовать регенерат и резиновую крошку. Использование сульфенамида Ц (ТМ-циклогексил-2-бензотиазол-сульфенамид) и каптакса (2-меркаптобензотиазол) позволяет получать композиции, которые имеют широкое плато и высокую скорость вулканизации в главном периоде.

Как показали проведенные исследования наилучшее сочетание комплекса физико-механических показателей наблюдается при температуре 155°C и времени вулканизации 150 минут, что соответствует рецептуре композиции, содержащей более 60% вулканизированной крошки. Это позволяет уменьшить расход вулканизационных групп и снизить стоимость изделия.

По результатам проведенных экспериментальных исследований на ОАО «Беларусьрезинотехника» были изготовлены опытные образцы изделий плит напольных в количестве 20 штук, которые проходят натурные испытания в качестве полов в цехах и как покрытия на спортивных площадках.

Таким образом, на основании проведенных исследований было показано, что наполные резинотехнические изделия можно получать на основе отходов резиновых производств, что позволяет снизить стоимость изделия.

УДК 665.12:543.544

Определение содержания твердых триглицеридов и жирных кислот новых видов маргаринов и спредов

Студентка V курса 6 группы факультета ТОВ Точко Н.Ю.
Научный руководитель – Болтовский В.С.
Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

Современной тенденцией в производстве продуктов питания является создание таких продуктов, которые бы имели высокую пищевую и биологическую ценность.

В связи с этим в масложировой отрасли пищевой промышленности актуальным является разработка рецептур и технологий маргаринов и спредов. Замена (частично или полностью) молочного жира растительными маслами и/или их компонентами, снижает их себестоимость. Кроме этого, за счет использования растительных масел увеличивается содержание моно- и полиненасыщенных жирных кислот и уменьшается содержание холестерина, что приводит к повышению их пищевой ценности и биологической эффективности. По сравнению с маргаринами спреды более пластичны, что приближает их по пластическим свойствам к сливочному маслу.

Как известно, технологические свойства, вкусовые качества, товарный вид маргаринов и спредов определяются в решающей степени физико-химическими характеристиками жировой основы, соотношением и составом ее отдельных компонентов, поэтому целью исследований являлось определение содержания твердых триглицеридов и жирнокислотного состава. В качестве образцов были взяты рецептуры маргаринов и спреда, разработанные ОАО «Минский маргариновый завод». Физико-химические характеристики данных продуктов соответствуют требованиям, приведенным в нормативных документах.

Для обеспечения хороших пластических свойств необходимо, чтобы в жировой основе содержалось определенное количество твердых триглицеридов (ТТГ). Исследования содержания ТТГ проводили методом ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) с использованием прибора Minispec серии MQ. Результаты исследований приведены на рис. 1.

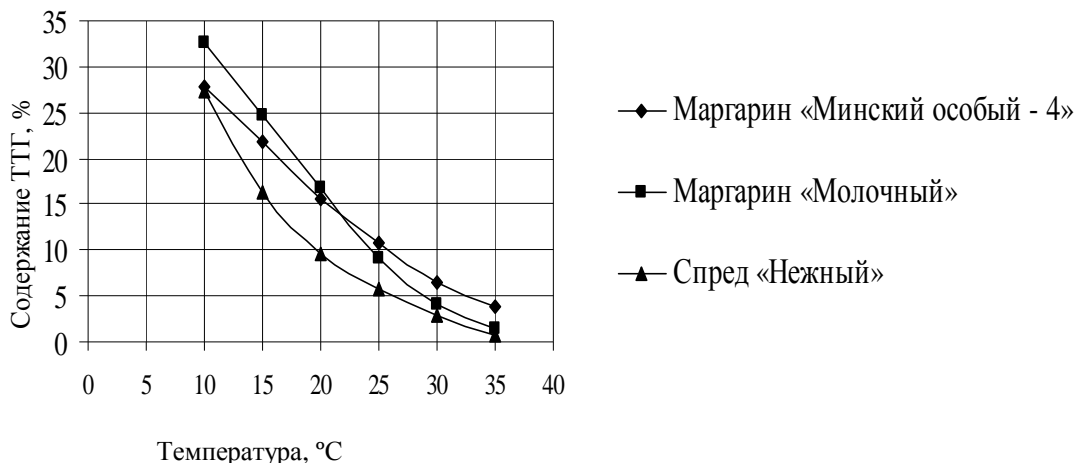


Рисунок 1 – Содержание ТТГ в маргаринах и спреде

Из рисунка 1 видно, что кривая плавления спреда более пологая по сравнению с маргаринами, что свидетельствует о его лучшей пластичности. Это объясняется входящим в его состав пальмовым маслом. По пластическим свойствам спред близок к сливочному маслу.

Одним из важных показателей ценности маргаринов и спредов является их жирнокислотный состав. Анализ жирных кислот (ЖК) в виде их метиловых эфиров проводили методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ) с использованием хроматографа HEWLETT PACKARD HP 4890 D с пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонки с внутренним диаметром – 0,32 мм, длиной – 30 м, заполненной неподвижной фазой Innowax (полиэтиленгликоль) толщиной 0,5 мкм. Температура инжектора составляет 250 °C. Газ носитель – гелий. Линейная скорость на входе в колонку 26 см/с. Анализ проводили с программированием температуры: начальная температура термостата 200 °C в течение первых 20 мин,

затем нагрев со скоростью 1 °С/с, конечная температура 220 °С в течение 10 мин. Величина содержания вычисляется автоматически. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Сравнение полученных данных (табл. 1) с составом физиологически полноценного пищевого жира, предназначенного для питания здорового организма, содержащего 30-40% насыщенных жирных кислот, 50-60% моновенасыщенных и 10-20% полиненасыщенных, показало, что по содержанию жирных кислот маргарины и спред имеют оптимальные или близкие к ним значения. Наибольшее содержание транс-изомера элаидиновой кислоты наблюдается в маргарине «Молочный». Это можно объяснить тем, что в состав маргарина входит саломас. Минимальное количество транс-изомера элаидиновой кислоты у спреда.

Таким образом, для создания маргаринов и спредов с оптимальными свойствами необходимо использовать различное жировое сырье, увеличивая количество растительных масел и сокращая или полностью отказываясь от саломасов, являющихся источниками вредных для организма транс-изомеров.

Таблица 1 – Содержание жирных кислот

Жирная кислота	Содержание жирных кислот, %		
	Маргарин «Столичный»	Маргарин «Молочный»	Спред «Нежный»
каприловая C _{8:0}	0,51	0,40	0,86
каприновая C _{10:0}	0,03	0,01	1,05
лауриновая C _{12:0}	1,49	1,03	5,89
тридекановая C _{13:0}	0,01	0,00	0,02
миристиновая C _{14:0}	1,05	0,13	3,66
миристоолеиновая C _{14:1-9-цис}	0,06	0,00	0,02
пентадекановая C _{15:0}	0,19	0,05	0,16
пальмитиновая C _{16:0}	15,00	5,79	26,43
пальмитолеиновая C _{16:1-9-цис}	1,08	0,22	0,29
маргариновая C _{17:0}	0,00	0,00	0,00
стеариновая C _{18:0}	10,90	5,13	4,32
олеиновая C _{18:1-9-цис}	44,51	58,63	37,01
элаидиновая C _{18:1-9-транс}	2,42	3,93	1,24
линолевая C _{18:2-9-цис,12-цис}	13,31	11,43	11,87
линоленовая C _{18:3-6-цис,9-цис,12-цис}	4,42	4,20	2,36
арахиновая C _{20:0}	0,40	0,65	0,36
гадолеиновая C _{20:1-9-цис}	1,26	1,83	0,60
бегеновая C _{22:0}	0,16	0,35	0,13
эруковая C _{22:1-13-цис}	0,45	0,78	0,39
остальные	2,76	5,44	3,34
содержание насыщенных ЖК	29,74	13,54	42,88
содержание моновенасыщенных ЖК	47,36	61,46	38,32
содержание полиненасыщенных ЖК	17,73	15,63	14,23

УДК 678.067

Теплопередача при ротационном формовании

Магистрант Хрол Е.З., студенты Передня Е.А., Петрушеня А.Ф.
 Научный руководитель – Ревяко М.М.
 Белорусский государственный технологический университет
 г. Минск

Ротационное формование – метод изготовления крупногабаритных полых изделий из термопластичных полимерных материалов. Метод позволяет получать изделия в виде различных емкостей, баков, резервуаров, манекенов и т.д. с максимальным объемом изделия до 30 м³. Подобные изделия в основном используются в сфере транспортировки и хранения различных жидкостей (топливо, вода,

химические реагенты), судопроизводстве, коммунально-бытовом хозяйстве. Основными достоинствами метода являются:

- Полое изделие может быть изготовлено цельным без сварных линий или соединений;
- Конечный продукт практически не имеет внутренних напряжений;
- Оснастка для формования недорогая и может быть относительно быстро изготовлена;
- Мелкосерийное производство оказывается экономически выгодным;
- Отсутствие отходов производства;
- Возможность изготовления многослойных изделий;

Однако метод обладает и некоторыми недостатками, такими как длительное время формования, ограниченность выбора материалов для формования, относительно высокими материальными затратами из-за наличия стадии измельчения материала.

Процесс ротационного формования начинается с загрузки дозированной порции материала в полую металлическую форму, подобную оболочке. Форму герметично закрывают и приводят во вращение в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. При вращении происходит нагрев формы в камере сжигания. Загруженный в форму материал при этом переходит в вязкотекучее состояние, а за счет вращения формы в двух взаимно перпендикулярных плоскостях происходит формование изделия. Охлаждение отформованного изделия происходит вне камеры спекания при продолжении вращения формы. По окончании охлаждения форма раскрывается, готовое изделие извлекается и происходит загрузка новой порции материала в форму. Основными стадиями процесса ротационного формования являются стадии нагревания и охлаждения. Обе эти стадии связаны с передачей тепла сперва от нагретого газа холодному полимерному порошку, а затем от горячего изделия холодной окружающей среде. Проблема теплопередачи является основной при рассмотрении вышеуказанных стадий [1].

Схему процесса передачи тепла можно представить в следующем виде (рис. 1).

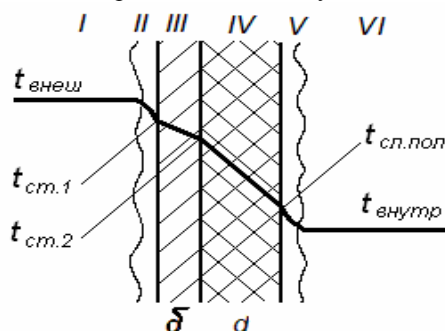


Рис. 1. Схема теплопередачи при ротационном формовании: I – воздух (внешняя среда, топочные газы); II – пристенный пограничный слой; III – металлическая стенка; IV – слой полимера; V – пристенный пограничный слой; VI – воздух (внутренняя среда формы).

На стадии нагревания за счет теплопередачи через металлическую стенку слой полимерного материала нагревается до температуры плавления, а затем материал начинает сплавляться, образуя на внутренней поверхности формы тонкую пленку. Постепенно за счет отдачи тепла материал сплавляется, и толщина стенки изделия увеличивается. За счет высокой вязкости полимера, а также вращения формы относительно двух осей материал равномерно распределяется внутри формы, образуя слой равной толщины.

Система внутри печи замкнутая и все тепло, передаваемое полимерному материалу, идет на его плавление и спекание. В любой момент времени количество теплоты, переносимое через стенку формы и слой материала, может быть рассчитано по зависимости [2]:

$$dQ = K \cdot F \cdot \Delta t \cdot d\tau \quad (1)$$

где K – коэффициент теплопередачи, Вт/м²·град; F – площадь поверхности теплопередачи, м²; Δt – разность температур, град; $d\tau$ – элементарно малый промежуток времени, с. Коэффициент теплопередачи определяет общее термическое сопротивление системы. Его можно определить из уравнения [2]:

$$K = \frac{1}{\sum r_i} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_\phi}{\lambda_\phi} + \frac{d_{MAT}}{\lambda_{MAT}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2)$$

где r – термическое сопротивление теплопередаче; α_1, α_2 – коэффициент теплоотдачи от воздуха в печи поверхности формы и от полимерного материала воздуху внутренней полости формы соответственно, Вт/м²·град; d_ϕ, d_{MAT} – толщина стенки формы и слоя материала соответственно, м; $\lambda_\phi, \lambda_{MAT}$ – коэффициенты

теплопроводности материала стенки формы и полимерного материала соответственно, Вт/м·град. Однако толщина слоя полимера d_{MAT} , прилипшего к стенке формы, с течением времени изменяется. При увеличении слоя полимера увеличивается термическое сопротивление системы, что приводит к уменьшению количества тепла, передаваемого полимеру, за счет уменьшения коэффициента теплопередачи K . Теплопередача проходит в нестационарном режиме, т.к. постоянно изменяется скорость передачи тепла в системе.

Решение задачи переноса тепла в нестационарном режиме аналитическим способом затруднительно. Возможно лишь приближенное решение поставленной задачи. Проблема может быть решена при использовании ЭВМ при решении поставленной задачи методом конечных элементов. Результаты расчета представим в виде графических зависимостей (рис. 2).

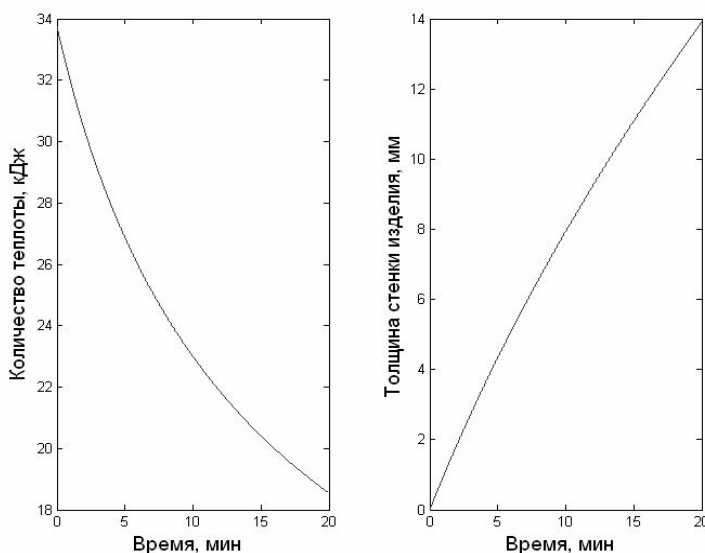


Рис. 2. Зависимость переносимого тепла и толщины стенки от времени при ротационном формовании

На практике для получения изделий, толщиной 10 мм, процесс формования осуществляют в течение 15 мин. Значение реального времени формования близко к расчетной величине, что свидетельствует о возможности использования метода конечных элементов с применением ЭВМ для вычисления времени изготовления изделия методом ротационного формования.

Литература

1. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия. – 1984. – 632 с.
2. Теория тепломассообмена. Под ред. А.В. Лыкова. – М.: Высшая школа. – 1979. – 495 с.

УДК 666.01

Исследование возможности использования колеманита в производстве стекловолокна

Студентка гр. 8 Шаверга И.М.

Научный руководитель – Павлюкевич Ю.Г.

Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

Целью настоящей работы является усиление внимания к проблеме расширения минерально-сырьевой базы боросиликатных стекол для производства стеклянного волокна.

За последние годы наблюдается рост темпов развития производства стеклянного волокна и расширение областей применения стекловолокнистых материалов, обладающих особыми свойствами, не присущими природным материалам.

Наибольшее распространение в мире получило стеклянное волокно из кальцийалюмоборосиликатного стекла типа Е, содержащего менее 1% оксидов щелочных металлов.

Они характеризуются высокой химической стойкостью к воде, хорошими диэлектрическими свойствами (удельное электрическое сопротивление 10^{12} Ом·м), достаточно высокой прочностью (до 3300 МПа) и низким температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР $60 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).

Тем не менее стекло Е имеет ряд технологических недостатков. К наиболее серьезным, прежде всего относится присутствие в нем летучего компонента – оксида бора, который вводится в состав шихты борной кислотой. В этом случае, потери B_2O_3 в процессе варки составляют не менее 15%, что часто приводит к нарушению химической однородности стекла, а также загрязнению окружающей среды. Кроме того, борная кислота является дефицитным и дорогостоящим компонентом, что также является большим недостатком.

Актуальной задачей современной стекольной промышленности, в частности производства стекловолокна из стекла типа Е, является расширение минерально-сырьевой базы, повышение качества продукции и снижение себестоимости путем разработки новых составов, снижение вредного воздействия на экологию в целом.

С этой целью были проведены исследования по изучению возможности использования природного колеманита ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot\text{H}_2\text{O}$) в производстве стеклянного волокна в качестве борсодержащего сырья.

Колеманит в настоящее время не используется в стекольной промышленности, поэтому большой интерес представляет выявление его роли в процессе получения стекол.

В качестве базового состава для синтеза стекол был выбран промышленный состав стекла типа Е, предназначенный для производства непрерывного стекловолокна, по одностадийной технологии.

В шихтовом составе опытных стекол постепенно заменяли содержание H_3BO_3 на $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot\text{H}_2\text{O}$ в следующих соотношениях: 0:100; 50:50; 100:0. Колеманит вводили в шихту с целью изучения его влияния на технологические свойства вырабатываемых стекол.

Варка стекла осуществлялась при температуре $1500\pm 10^\circ\text{C}$ в газопламенной печи периодического действия. Скорость подъема температуры $250^\circ\text{C}/\text{час}$ с выдержкой при максимальной температуре 1 час.

Для изучения процессов стекло- и силикатообразования провели рентгенофазовый анализ. Образцы шихт подвергали термической обработке в электрической печи при температурах 500°C , 700°C , 900°C , 1100°C , с последующей выдержкой, при максимальных температурах, в течении 1-го часа.

* – здесь и далее по тексту массовое содержание.

Исследовали физико-химические свойства стекол: кристаллизационную способность; температурный коэффициент линейного расширения; плотность; температуру начала размягчения - для выявления процесса улетучивания оксида бора в опытных стеклах.

Для изучения процессов фазообразований в шихте использовали метод термического анализа.

В ходе эксперимента установлено следующее:

- в шихте, на основе колеманита, при температуре 700°C , образуется $\text{Ca}_2\text{B}_2\text{SiO}_7$, который, при температуре 900°C , разлагается, с образованием CaBSi_2O_3 . В шихте, на основе борной кислоты, процесс силикатообразования $\text{Ca}_2\text{B}_2\text{SiO}_7$ проходит при более высоких температурах. Из полученных данных следует, что процессы стекло- и силикатообразования в шихте, на основе колеманита проходят значительно быстрее, чем в шихте, на основе борной кислоты. В итоге существенно облегчается варка стекол, снижается расход топлива.

- в процессе термической обработки, при температуре 500°C , шихта, на основе $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot\text{H}_2\text{O}$, увеличилась в объеме, примерно на 10-20%, что связано с процессом удаления кристаллизационной воды. Этот процесс необходимо учитывать при производственных варках кальцийалюмоборосиликатного стекла типа Е, на основе колеманита.

- в ходе физико-химических исследований выявили, что свойства полученных опытных стекол одинаковы и они соответствуют требованиям, предъявляемым к составам стекол типа Е. Стекла имеют следующие характеристики:

- температурный коэффициент линейного расширения, $\text{K}^{-1} - 52,0 \cdot 10^{-7}$;

- плотность, $\text{кг}/\text{м}^3 - 3560$;

- область кристаллизации, $^\circ\text{C} - 1100-970$;

Однако необходимо отметить тот факт, что в процессе составления шихты, на основе борной кислоты, учитывали 15% потерь на улетучивание оксида бора в процессе варки. Шихта на основе колеманита составлялась без учета потерь. Поскольку приведенные выше свойства стекол одинаковы, то можно сделать вывод об идентичности химического состава этих стекол. Из чего следует, что, с введением борной кислоты значительная часть B_2O_3 улетучивается, а с введением колеманита этого не происходит, так как B_2O_3 находится в связанном состоянии.

Результаты исследований позволили сделать вывод о перспективности использования колеманита в производстве стеклянного волокна из стекла типа Е.

В ходе эксперимента выявили, что значительно уменьшаются потери B_2O_3 в процессе варки при замещении колеманита на борную кислоту, что позволит решить ряд технологических проблем: повышение качества продукции, уменьшение себестоимости, снижение вредного воздействия указанного компонента на экологию в целом.

Литература

1. Безбородов, М.А. Химическая устойчивость силикатных стекол. М.: Наука и техника, 1972. – 304 с.
2. Ходаковский, М.Д. Производство стеклянных волокон и тканей. М.:Химия, 1973. – 346 с.
3. Колесов, Ю.И., Кудрянцев, М.Ю., Михайленко, Н.Ю. Типы и составы стекол для производства непрерывного стеклянного волокна. Стекло и керамика, 2001.- №6-5 с.
4. Стеклянные волокна / Под общ. ред. Асланова М.С. - М.:Химия, 1979. – 296 с.
5. Стеклянные волокна / под общей ред. Аслановой М.С. –М.: «Химия», 1979.-256.с.
6. Химическая технология стекла и ситаллов/ Под общ. ред Н.М Павлушкина - М.: Стройиздат, 1983.-427 с.

Студент 4 группы 5 курса Шапель О.Е.
 Научный руководитель – Бондаренко Ж.В.
 Белорусский государственный технологический университет
 г. Минск

Целью данной работы являлось изучение свойств коробочного картона в зависимости от вида и расхода гидрофобизирующего компонента, а также температуры сушки.

Коробочный картон используется для тароупаковочных целей и имеет важное значение в народном хозяйстве развитых стран. На долю тароупаковочного картона приходится более 70% производимого в мире картона, поэтому улучшение качества данного вида продукции и совершенствование технологии его производства является актуальным вопросом.

В Республике Беларусь картон для изготовления коробок изготавливается по ТУ РБ 00280146.031-98. В соответствии с данными техническими условиями в зависимости от назначения и показателей качества картон может изготавливаться марок КТ (для изготовления тары с печатью и без), КВС (для изготовления внутренних слоев спичечных коробок) и МК (мелованный картон для упаковочной тары). Для производства коробочного картона в качестве волокнистого полуфабриката используется преимущественно макулатура. Свойства картона во многом определяются его композиционным составом и параметрами технологического процесса. Важное значение при этом имеет процесс проклейки картона, который может осуществляться с использованием различных гидрофобизирующих компонентов в кислой или нейтральной средах. Поэтому в работе было изучено влияние вида и расхода гидрофобизирующего компонента на свойства коробочного картона.

В лабораторных условиях были получены образцы картона массой одного метра квадратного 200 г. В качестве волокнистого полуфабриката использовали макулатуру со степенью помола 45 °ШР. Для гидрофобизации образцов использовали клеи канифольные модифицированные марки ТМ и ТМВС-2Н, которые вводили в размолотую макулатурную массу в виде гидродисперсий в количестве 0,0–2,5% от абсолютно сухого волокна (а.с.в.). Для осаждения клея на волокне применяли коагулянт – раствор сульфат алюминия, его дозирование осуществляли до рН массы 4,5–5,0 для клея ТМ и до рН 7,0–7,5 для клея ТМВС-2Н. Образцы картона изготавливали на листоотливном аппарате и после их сушки и кондиционирования по стандартным методикам определяли разрушающее усилие в сухом и влажном состояниях, удлинение до разрыва в сухом состоянии, впитываемость при одностороннем смачивании картона. Полученные результаты представлены в таблице.

Таблица – Влияние вида и расхода клея на свойства картона

Наименование показателей	Расход клея, % от а.с.в.					
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Клей ТМ						
Разрушающее усилие, Н:						
- в сухом состоянии	22	24	27	33	35	28
- во влажном состоянии	2,4	2,5	2,7	3,2	4,5	4,1
Удлинение до разрыва в сухом состоянии, мм	3,3	2,9	2,6	2,2	2,0	1,5
Впитываемость при одностороннем смачивании, г/м ²	220	131	118	109	100	75
Клей ТМВС-2Н						
Разрушающее усилие, Н:						
- в сухом состоянии	22	32	45	58	56	43
- во влажном состоянии	2,4	3,5	3,6	4,1	4,3	4,5
Удлинение до разрыва в сухом состоянии, мм	3,3	2,6	2,4	2,2	1,9	2,4
Впитываемость при одностороннем смачивании, г/м ²	220	148	122	106	98	80

Как видно из представленных данных, при увеличении расхода гидрофобизирующих компонентов увеличивается прочность картона. Максимальное разрушающее усилие образцов картона достигается при расходе клея ТМ в количестве 2,0% от а.с.в. и клея ТМВС-2Н в количестве 1,5% от а.с.в. При увеличении расхода гидрофобизирующего компонента свыше указанных пределов прочность образцов картона имеет тенденцию к снижению. Это может быть объяснено, вероятно, преобладанием отрицательного влияния клеевых частиц на образование межволоконных сил связей в картонном полотне над положительным их влиянием – установлением связи между волокнами целлюлозы через координационную связь с ионами алюминия.

Увеличение расхода клея в композиции картона приводит к снижению его удлинения до разрыва в сухом состоянии. Данный показатель снижается более чем на 40% при использовании исследуемых клеев.

Вероятно, это связано с тем, что гидрофобизирующий компонент влияет на гибкость волокон и снижает силы связи между волокнами, что и приводит к снижению показателя удлинения.

Введение в композицию коробочного картона клеев ТМ или ТМВС-2Н приводит к повышению гидрофобных свойств. Об этом свидетельствует показатель впитываемости при одностороннем смачивании, который снижается от 220 до 75 г/м² при использовании клея ТМ и от 220 до 80 г/м² при использовании клея ТМВС-2Н. Объяснить повышение гидрофобности образцов коробочного картона с введением в композицию клея можно увеличением количества гидрофобных преград, создаваемых клеевыми частицами на поверхности волокон при их осаждении.

В работе было изучено также влияние температуры сушки на основные показатели качества картона; температуру сушки образцов картона изменяли от 110 до 140°C. Полученные результаты показали, что в изученном интервале температура сушки не оказывает значительного влияния на прочностные и гидрофобные свойства картона. Разрушающее усилие картона в сухом состоянии возрастает на 7–10 Н, впитываемость при одностороннем смачивании снижается не более чем на 5%. Однако при этом удлинение образцов в сухом состоянии снижается в 2 раза.

Таким образом, проведенные исследования показали, что для проклейки коробочного картона могут использоваться в качестве гидрофобизирующих компонентов клеи ТМВС-2Н и ТМ с расходом не более 2% от а.с.в. При использовании данных клеев картон имеет сопоставимые показатели гидрофобности, но в случае использования клея ТМВС-2Н обладает большей прочностью в сухом состоянии. При этом проклейка массы осуществляется в нейтральной среде (рН массы 7,0–7,5), что имеет положительный экологический аспект. Температура сушки картона в интервале 110–140°C не оказывает значительного влияния на его свойства независимо от используемого клея, но приводит к дополнительным энергетическим затратам, что экономически нецелесообразно. Поэтому, с нашей точки зрения, для производства коробочного картона целесообразнее применять клей ТМВС-2Н.

УДК 661.1

Оценка точности формул для упрощенных расчетов теплоты сгорания природного газа

Студент 5 к. Шелухин В.С., студентка 3 к. Кандидатова И.Н.
Научный руководитель – Калишук Д.Г.
Белорусский государственный технологический университет
г.Минск

Продукты сгорания топлив являются одним из основных источников энергии, а также рабочим телом при проведении многих химико-технологических процессов: сушке, обжиге, крекинге и др. При проектировании и контроле работы теплотехнического оборудования, его наладке важным параметром является теплота сгорания топлива, которая определяет температуру продуктов сгорания, коэффициент избытка воздуха и другие величины.

В химических предприятиях Беларуси основным топливом является природный газ. В практике инженерных расчетов нижнюю теплоту сгорания его Q_n , МДж/м³, следует рассчитывать по формуле [1]:

$$Q_n = \sum_{i=1}^n Q_{ni} c_i, \quad (1)$$

где Q_{ni} – нижняя теплота сгорания i -го компонента природного газа, МДж/м³;
 c_i – объемная доля i -го компонента в природном газе, м³/м³.

По требованиям стандарта [1] значение Q_n округляется до 0,05 МДж/м³. При расчетах следует учитывать горючие компоненты, объемная доля которых превышает $1 \cdot 10^{-4}$ м³/м³, а теплота сгорания – $5 \cdot 10^{-3}$ МДж/м³ природного газа.

Природный газ, поставляемый в Беларусь, имеет относительно стабильный состав и содержит следующие горючие компоненты: метан, этан, пропан, изобутан и изопентан (см. таблицу 1). Следовательно, для указанного состава газа формула (1) приобретает вид

$$Q_n = Q_{n1}c_1 + Q_{n2}c_2 + Q_{n3}c_3 + Q_{n4}c_4 + Q_{n5}c_5, \quad (2)$$

где Q_{n1} , Q_{n2} , Q_{n3} , Q_{n4} , Q_{n5} – нижние теплоты сгорания метана, этана, пропана, изобутана и изопентана соответственно, МДж/м³;

c_1 , c_2 , c_3 , c_4 , c_5 – объемные доли метана, этана, пропана, изобутана и изопентана соответственно, м³/м³.

Таблица 1 – Содержание горючих компонентов в природном газе, поставляемом в Беларусь (по данным Белтопгаза за 2000 год)

Месяц	Объемная доля горючего компонента $c_i \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{м}^3$				
	метан	этан	пропан	изобутан	изопентан
Январь	97916	852	251	88	13
Февраль	98040	759	266	94	15
Март	97976	794	283	101	17
Апрель	97861	847	313	112	18
Май	97712	936	349	131	21
Июнь	97641	972	365	140	25
Июль	97742	906	334	130	25
Август	97524	1026	405	151	29
Сентябрь	97590	990	376	139	24
Октябрь	97756	907	332	125	22
Ноябрь	97775	910	334	120	21
Декабрь	97845	873	314	119	19
Среднее за год	97779	898	327	120	21

Ввиду преобладающего содержания в природном газе метана, а также сравнительно небольшого колебания в нем доли других углеводородов, представляется возможным упростить расчетную формулу (2), представив ее в виде

$$Q_n = A (Q_{n1}c_1 + \dots + Q_{nk}c_k), \quad (3)$$

где A – коэффициент, учитывающий теплоту сгорания неучтенных горючих компонентов;
 k – порядковый номер последнего из учтенных горючих компонентов.

В рассматриваемом нами случае $k < 5$. Очевидно, что расчет по формуле (3) существенно упрощается по сравнению с расчетом по формуле (2), если будут учитываться два (метан и этан) или три (метан, этан и пропан) компонента. С целью получения осредненных значений коэффициентов A были проведены расчеты нижних теплот сгорания: точных по формуле (2), приближенных с использованием формулы (1) при учете двух компонентов $Q_{n(2)}$, МДж/м³, и трех компонентов $Q_{n(3)}$, МДж/м³. Результаты этих расчетов приведены в таблице 2. При выполнении расчетов использованы значения Q_{n1} – Q_{n5} , приведенные в стандарте [1] для температуры 0°С и давления 101,325 кПа.

Таблица 2 – Результаты точных и приближенных расчетов теплоты сгорания природного газа

Месяц	Нижняя теплота сгорания, МДж/м ³			$Q_n / Q_{n(2)}$	$Q_n / Q_{n(3)}$
	по формуле (2) Q_n	$Q_{n(2)}$	$Q_{n(3)}$		
Январь	36,043	35,680	35,914	1,010174	1,003592
Февраль	36,032	35,665	35,913	1,010290	1,003314
Март	36,076	35,662	35,926	1,011609	1,004175
Апрель	36,115	35,657	35,949	1,013043	1,004618
Май	36,180	35,662	35,987	1,014525	1,005363
Июнь	36,210	35,659	35,999	1,015452	1,005861
Июль	36,162	35,653	35,964	1,014276	1,005506
Август	36,260	35,652	36,029	1,017054	1,006412
Сентябрь	36,211	35,653	36,003	1,015651	1,005777
Октябрь	36,156	35,659	35,968	1,013938	1,005227
Ноябрь	36,152	35,660	35,971	1,013797	1,005032
Декабрь	36,140	35,668	35,961	1,013239	1,004978
Среднее за год	36,146	35,661	35,966	1,013600	1,005005

В результате анализа расчетов нами приняты следующие упрощенные формулы для определения нижней теплоты сгорания природного газа:

$$Q_n = 1,0136 (Q_{n1}c_1 + Q_{n2}c_2); \quad (4)$$

$$Q_n = 1,0050 (Q_{n1}c_1 + Q_{n2}c_2 + Q_{n3}c_3). \quad (5)$$

Сравнение результатов расчетов по формуле (2) с результатами расчетов по формулам (4) и (5) после их округления в соответствии с требованиями стандарта [1] показало, что максимальное абсолютное отклонение значений Q_n , вычисленных по формуле (4), от их значений, определенных по стандарту, составляет 0,100 МДж/м³, по формуле (5) – 0,050 МДж/м³. При этом относительное отклонение точных

значений Q_n , вычисленных по формуле (4), от определенных по формуле (2) не превышает 0,35%, а вычисленных по формуле (5) – 0,17%. Следовательно, формулы (4) и (5) обеспечивают удовлетворительную точность и могут быть использованы на стадии проектирования теплотехнического оборудования, а также при контроле его работы.

Литература

ГОСТ 22667-82. Газы горючие природные. Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 5 с.

УДК 666.01

Оптимизация составов боросиликатных стекол для оптического волокна

Студенты гр. 8 Шибайло Т. С., Голубкова Е. С.

Научный руководитель – Папко Л. Ф.

Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

Целью настоящей работы является оптимизация составов боросиликатных стекол, используемых в качестве оболочки оптического волокна, по технологическим свойствам.

Оптическое волокно имеет световедущую жилу с показателем преломления более 1,8 и оболочку из стекла с низким показателем преломления. Для обеспечения высокой апертуры оптического волокна стекло для оболочки должно иметь коэффициент преломления менее 1,5. Низкие показатели преломления стекол обеспечиваются при получении их на основе системы $K_2O(Na_2O)-Al_2O_3-B_2O_3-SiO_2$. Составы опытных стекол включают, мол. %: SiO_2 62,5–75; B_2O_3 12,5–22; Al_2O_3 1; K_2O 3–11; Na_2O 3–11. Температура варки стекол 1550 ± 10 °С.

Значения показателя преломления синтезированных стекол изменяются от 1,4748 до 1,520, и снижается с ростом содержания оксида бора. Показатель преломления менее 1,5 обеспечивается при содержании B_2O_3 более 17,5 мол. %.

Разработка технологического процесса варки новых составов стекол требует данных по технологическим свойствам – вязкости и кристаллизационной способности. Вязкость играет существенную роль на всех стадиях производства стекол и изделий из них. Вязкость определяет условия плавления, необходимые для получения гомогенной стекломассы, температуру отжига, необходимую для снятия внутренних напряжений, температурный интервал формования изделий из стекла, верхнюю температурную границу эксплуатации любого стекла и условия, при которых может произойти спонтанная кристаллизация [1].

Температурную зависимость вязкости стекол выражают эмпирическими и рядом теоретических уравнений. Ряд авторов предлагает методы расчета температурной зависимости вязкости стекол по химическому составу [2, 3]. Однако практическое применение нашли методы, предложенные для ограниченной области составов промышленных стекол – тарных, листовых.

Для описания температурных зависимостей вязкости стекол, в том числе боросиликатных, в работе [3] предложена математическая модель следующего вида:

$$\lg \eta = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cdot x_i + b/T,$$

где $\lg \eta$ – значение вязкости; a_0 , a_i , b – коэффициенты регрессии; X_i – содержание компонентов, мол. %; T – температура, К.

Для оценки возможности применения данной модели для расчета вязкости оптических стекол проведено экспериментальное определение данного показателя. Состав стекла включает, мол. %: SiO_2 74,4; B_2O_3 17,5; Al_2O_3 1,3; K_2O 6,7; Sb_2O_3 0,1.

Вязкость стеклообразующих расплавов может меняться на 12 и более порядков в интервале между началом пластической деформации и практической температурой плавления, поэтому измерение вязкости в широком интервале температур требует применения разных методов, каждый из которых ограничен определенной областью значений вязкости [4].

Определение низкотемпературной вязкости стекол в пределах 10^9 – 10^{14} Па·с осуществлялось на вискозиметре модели Orton BBV–1000. В основе работы прибора лежит метод определения вязкости по изгибу стержня. Измерение среднетемпературной вязкости стекол в диапазоне 10^5 – 10^9 Па·с осуществлялось на вискозиметре модели Orton PPV–1000 при вязком сжатии сплошного прямого цилиндра. Значения вязкости определялись по скорости деформации образца при его нагреве от 600 до 1000 °С. Высокотемпературная вязкость в диапазоне 10 – 10^4 Па·с определялась на высокотемпературном вискозиметре модели Orton RSV–1600. В основе работы прибора заложен ротационный метод [4].

Результаты расчета и экспериментального определения показателей вязкости, соответствующих основным технологическим процессам, представлены в таблице.

Таблица – Вязкостные характеристики оптического стекла

Технологическая стадия	Температура, °С	Значения вязкости, $\lg \eta$ [Па·с]	
		экспериментальные	расчётные
Отжиг	480	12,0	9,7
Спекание	620	9,7	7,7
Деформация образцов под действием веса	730	7,6	6,5
Вытягивание волокна	800–900	6,5–5,7	5,6–5,0
Выработка из расплава	1100–1300	4,0–3,05	3,8–2,91
Варка стекла	1560–1580	2,10–2,0	2,02–1,96

Сопоставление расчетных и экспериментальных данных показывает их существенное расхождение в температурной области высоковязкого состояния, отвечающего значениям вязкости 10^{12} – 10^6 Па·с. Этот температурный интервал отвечает интервалу стеклования и для него характерно резкое изменение вязкости с температурой. Энергия активации вязкого течения E_η в данной области зависит от температуры, т.е. температурная зависимость вязкости имеет сложный характер. В области высоких температур расплавы силикатных стекол подчиняются закону Ньютона, зависимость вязкости от температуры выражается следующим уравнением:

$$\eta = A \exp(E_\eta / RT).$$

Математическая модель расчета вязкости, предложенная в работе [3], выражает данную зависимость и поэтому отмечается удовлетворительная сходимость результатов расчета и эксперимента. Следовательно, данная модель может применяться для оценки температуры варки боросиликатных стекол, соответствующей вязкости порядка 10^2 Па·с. Для оценки показателей вязкости в области стеклования необходимо проведения экспериментальных исследований.

Для стекол, используемых для изготовления оптического волокна, важное значение имеет кристаллизационная способность, так как вытягивание волокна происходит в температурном интервале кристаллизации стекол, ниже линии ликвидуса. Она оценивалась по градиентной термообработке в температурном интервале 600–1050 °С с выдержкой 3 ч. Склонность к кристаллизации исследуемых стекол проявляется в образовании кристаллической пленки. С повышением содержания оксидов-стеклообразователей SiO_2 и B_2O_3 склонность к кристаллизации снижается. Это проявляется в уменьшении температурного интервала кристаллизации. Стекла, содержащие 72,5–75 мол.% SiO_2 и более 17 мол.% B_2O_3 , не имеют признаков кристаллизации.

Таким образом, по результатам исследования оптимизированы составы оптических стекол, синтезированных на основе системы $\text{K}_2\text{O}(\text{Na}_2\text{O})\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--B}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$. Повышение содержания K_2O и Na_2O снижает вязкость расплава, соответственно снижается температура варки стекол. Однако по мере повышения содержания оксидов-модификаторов повышается показатель преломления и кристаллизационная способность стекол. Снижению кристаллизационной способности стекол способствует повышение содержания SiO_2 и B_2O_3 . Сложность температурной зависимости вязкости требует проведения экспериментальных исследований при разработке составов стекол для промышленного применения.

Литература

- 1 Шелби Дж. Структура, свойства и технология стекла. – М.: Мир, 2006. – 386 с.
- 2 Мазурин О. В., Николина Г. П., Петровская М. Л. Расчет вязкости стекол. – Л.: ЛТИ им. Ленсовета, 1988. – 48 с.
- 3 Маховская И. А. Разработка складів стекол та технології горячого декорування скловіробов: Автореф. дис. канд. техн. наук/ Національний університет “Львівська політехніка”. – Дніпропетровськ, 2006. – 24с.
- 4 Шульц М. М., Мазурин О.В. Современные представления о строении стекол и их свойствах. – Л.: Наука, 1988. – 198 с.

**Влияние гексилового эфира *n*-трифторацетилбензойной кислоты
на анионообменную экстракцию бензоат-ионов**

Студенты ф-та ТОВ Шрубок А.О., Громакова А.С. (гр.IV-3)
Научный руководитель – Кийко Т.Н.
Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

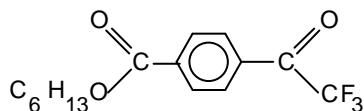
Цель данной работы – исследовать закономерности влияния трифторацетилпроизводных, в частности, гексилового эфира *n*-трифторацетилбензойной кислоты, на эффективность анионообменной экстракции бензоат-ионов.

Бензойная кислота и ее соли являются распространенными консервантами. Бензойная кислота применяется при изготовлении плодово-ягодных изделий, бензоаты – при производстве рыбных консервов, маргаринов, напитков. Они подавляют окислительно-восстановительные процессы - за счет угнетения ферментов, и особенно эффективны против дрожжей и плесневых грибов. Эти консерванты разрешены к применению в Беларуси, но и для них установлены предельно допустимые концентрации (в зависимости от вида продукции).

Для определения бензоат-ионов существуют хроматографические методы, а также извлечение перегонкой с последующим спектрофотометрическим определением. Однако спектрофотометрический метод малоселективен, а хроматографический требует наличия хроматографа для ВЭЖХ. Более простыми и экспрессными являются экстракционно-фотометрический и потенциометрический методы анализа, но к настоящему времени не разработано достаточно селективных методик и электродов.

Так как в основе работы ионселективных электродов лежит ионный обмен на поверхности мембраны, то целесообразно предварительно изучить анионообменную экстракцию бензоат-ионов.

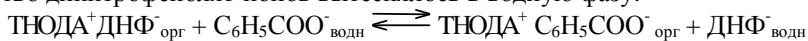
Мембраны анионселективных электродов часто изготавливают на основе высших четвертичных аммониевых солей, поэтому в качестве органической фазы использовали $1 \cdot 10^{-3}$ М толуольный раствор динитрофенолята тринионилкоктадециламмония (C_9H_{19})₃C₁₈H₃₇N⁺ (ТНОДА). Для повышения селективности экстракции карбоксилат-ионов органическую фазу можно модифицировать добавлением сольватирующих добавок класса трифторацетилпроизводных, которые облегчают переход аниона в органическую фазу. В данной работе был использован гексиловый эфир *n*-трифторацетилбензойной кислоты (ГЭ):



концентрацию которого варьировали от $5,29 \cdot 10^{-3}$ до $5,29 \cdot 10^{-6}$ М. Предварительно провели опыт без сольватирующей добавки.

В качестве водной фазы использовали 0,01 М раствор бензоата натрия с pH = 9 (для подавления гидролиза). Для холостого опыта использовали подщелоченную дистиллированную воду (pH = 9). Проводили не менее 3 параллельных опытов.

Равные объемы водной и органической фаз сливали в экстракционных пробирках с пришлифованными пробками, термостатировали при 20°C, затем встряхивали 10 минут. При этом в результате ионного обмена часть бензоат-ионов переходила в органическую фазу, а эквивалентное количество динитрофенолят-ионов вытеснялось в водную фазу:



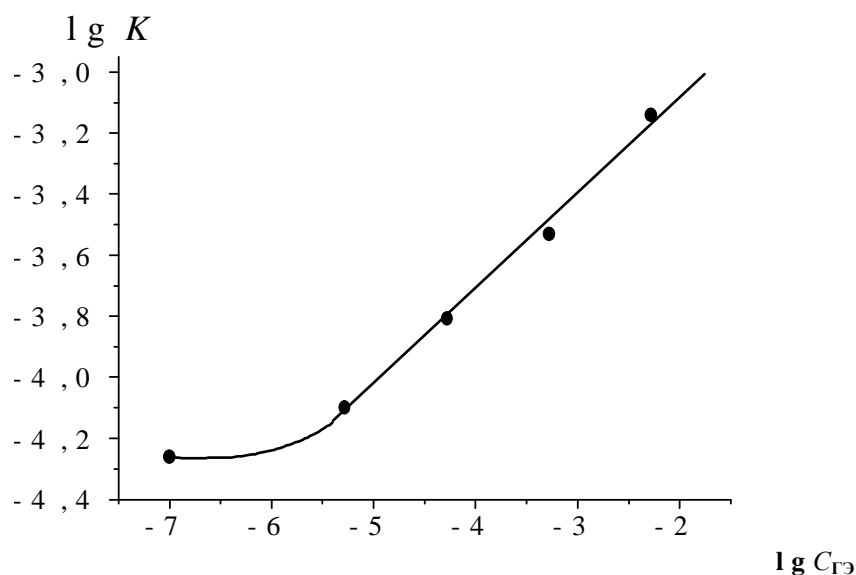
Данное равновесие характеризуется концентрационной константой обмена

$$K_{DNP}^{C_6H_5COO^-} = \frac{[ТНОДА^+ C_6H_5COO^-]_{орг} [DNP^-]_{в}}{[ТНОДА^+ DNP^-]_{орг} [C_6H_5COO^-]_{в}}$$

Выразив через исходные концентрации и равновесную концентрацию динитрофенолят-ионов в водной фазе, получим:

$$K_{DNP}^{C_6H_5COO^-} = \frac{[DNP^-]_{в}^2}{(C_0(ТНОДА^+ DNP^-) - [DNP^-]) (C_0(C_6H_5COO^-) - [DNP^-])}$$

После расслоения фаз отбирали водную фазу и измеряли ее оптическую плотность на фотометре КФК-3-01 при длине волны 410 нм. Равновесную концентрацию динитрофенолят-ионов в водной фазе рассчитывали по закону Бугера-Ламберта-Бера. Полученные данные показали наличие следующей зависимости $\lg K - \lg C_{ГЭ}$:



Эти данные можно использовать для повышения селективности экстракционно-фотометрического анализа бензоат-ионов и для разработки высокоселективных электродов.

УДК 66.002

К вопросу оптимизации проектирования химико-технологического оборудования

Магистрант Игнаткович П.Е.

Научный руководитель - Новосельская Л.В.

Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

В настоящее время при проектировании все большее значение приобретают вопросы оптимального выбора условий процесса и затрат материалов на изготовление оборудования. Однако в большинстве работ основное внимание уделяется математическим аспектам проектирования и решения уравнений, дающих возможность нахождения оптимума целевой функции на конкретном этапе расчета, что не может полностью удовлетворять потребностям проектировщиков [3]. Вместе с тем, использование эффективных математических средств, современных методологий, численных методов и алгоритмов, процессов выбора наилучших конструкций с точки зрения их технико-экономической эффективности позволяют получить принципиально новые решения поставленных задач. Особое внимание заслуживает конструирование в интерактивном режиме, когда пользователь имеет возможность оперативно взаимодействовать с ЭВМ на любом этапе проведения процесса расчета. При этом в результате использования диалога «человек – машина» появляется возможность изменять как число, так и тип варьируемых элементов, выбирать наиболее эффективный в сложившейся ситуации метод поиска, подстраивать конечные численные параметры путем влияния входящих параметров, посредством анализа промежуточных значений, к конкретным особенностям оптимизируемой функции.

Основная направленность представленной работы состоит в оптимизации технических (геометрических, функциональных и прочностных) и экономических (затраты на материалы и изготовление) параметров проектируемых объектов.

Анализируя основные методы оптимизации геометрических параметров различных аппаратов, можно прийти к следующему выводу о том, что они обладают одним существенным недостатком – эти методы не учитывают специфику технологических расчетов, а основываются так или иначе на решении дифференциальных уравнений, в основу которых положен принцип нахождения экстремума функции, выражающей зависимость веса аппарата либо его площади поверхности от диаметра (как одного из важнейших геометрических параметров) [4-6]. Метод графов дает подробную картину использования материала конструкции в зависимости от изменения различных технологических параметров и указывает их

связь с прочностными характеристиками. Однако, для его реализации необходимо решение матрицы смежности.

В качестве примера частичного применения вышеуказанного метода оптимизации рассматривается расчет процесса сушки гранул во взвешенном слое, используемый в производстве медпрепаратов на РУП «Борисовский завод медпрепаратов», и аппарата для его осуществления. Аппараты такого же типа используются на ЗАО «Атлант» для сушки гранулированных полимерных материалов.

Исходными параметрами в данном случае выбираются: давление в сушильном аппарате; температура цикла сушки; температура цикла регенерации теплоносителя; производительность установки; расход теплоносителя. В качестве конечных параметров определяются: диаметр сушильного бункера; высота аппарата; толщина стенки бункера; высота сепарационного пространства; максимальный вес аппарата; скорость теплоносителя.

На первом этапе решения задачи рассматривались технологические факторы, влияющие на возможность выбора оптимальных геометрических параметров для сушки гранулированных материалов на Борисовском заводе медпрепаратов. Исходя из сравнительного анализа конструкций сушилок и требований технологии проведения процесса, за исходную конструкцию принята сушилка во взвешенном слое. С учетом определяющих критериев Лященко, Архимеда, при соответствующих порозностях определялись и сравнивались различные значения диаметров, высот, форм аппарата. Затем производился предварительный расчет толщин стенок составляющих элементов. После проверки по допускаемым напряжениям принималось решение по выбору оптимальных геометрических параметров.

В ходе прочностного расчета основным этапом, окончательно влияющим на численное значение толщины стенки, а, значит, на расход металла, используемого для изготовления аппарата, является решение краевой задачи, поскольку в месте сопряжения «обечайка – днище» из-за резкого перелома образующих возникают дополнительные перерезывающие силы и моменты и как следствие появляются изгибающие моменты. Необходимо определить выдержит ли сосуд заданные нагрузки в опасном сечении. Так как у основания сосуда давление увеличивается на величину гидростатического и меняется форма сопрягаемых деталей, за опасное выбирается сварное соединение «обечайка – днище». Краевая задача положена в основу проверочного расчета сварного соединения «обечайка – днище». Поскольку одной из целей разрабатываемого метода оптимизации является проверка всех возможных вариантов расчета, то необходимо решить краевую задачу как для соединения «цилиндр – конус», так и для соединения «цилиндр – эллипс».

На основании метода графов была составлена соответствующая программа, позволяющая рассчитать сопряжения всевозможных вариантов частей аппарата и исправить недостатки и использовать достоинства вышеописанных методов, а также учитывающая особенности и ошибки, возникающие в процессе проектирования. Поэтому работа с этой программой, реализация которой ведется на ЭВМ, осуществляется в режиме диалога с пользователем. Основными особенностями, а главные достоинствами такой программы являются: возможность установки ее на любой персональный компьютер; наглядность и простота работы; постоянный диалог с пользователем, что способствует достижению наибольшего эффекта от использования программы; в процессе работы с программой существует возможность делать упор на усовершенствование выбранного параметра; использование стандартных значений в автоматическом режиме, что способствует ускорению и облегчению процесса расчета; расчет аппарата, работающего как под вакуумом, так и от действия внутреннего давления; возможность использования прочностного раздела для расчетов сосудов, используемых в других процессах; выбор определенной окончательной конфигурации аппарата в зависимости от поставленных целей проектирования; сравнение результатов расчетов, влияющих в конечном итоге на технико-экономические показатели, для всех конфигураций и всех вариантов.

Циклы расчетов, ответвления и пересечения этих циклов, приводят к усложнению задачи до такой степени, что вполне вероятным становится получение неверного ответа. Однако тщательный анализ структуры и алгоритма показывает, что этого пересечения можно избежать, благодаря многоуровневой конфигурации циклов и их разветвленности, и добиться хорошей сходимости. С целью устранения этих недостатков в программе предусмотрено дублирование участка цикла, участвующего в пересечении, и дополнительная его проверка по моментной и безмоментной теориям прочности.

Литература:

1. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии. – Л., 1979.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии – М.: Химия, 1973.
3. Батищев Д.И. Методы оптимального проектирования: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1984. – 248 с. ил.
4. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. Пер. с польск. – М.: Мир, 1981. – 456 с., ил.
5. Уайлд Д. Оптимальное проектирование: Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 272 с., ил.
6. Джонс Дж. К. Методы проектирования: Пер. с англ. – 2-е изд., доп. – М.: Мир, 1986. – 326 с., ил.

Студент Сумич А. И.
Научный руководитель – Ещенко Л. С.
Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

В последние годы наблюдается интенсивное развитие ультраструктурной (золь-гель) технологии неорганических материалов. Золь-гель технология – важнейший способ получения нанодисперсных материалов разнообразного целевого назначения. При этом, актуальным направлением развития золь-гель синтеза является модифицирование кремнесодержащих соединений как неорганическими, так и органическими веществами. Согласно литературным данным синтез многокомпонентных силикатных и гибридных органо-неорганических золь-гель систем осуществляется на основе ряда гидролизующихся соединений: алкоксисоединений (прежде всего тетраэтоксисилана), фосфорной кислоты, щелочных водорастворимых силикатов. Особенностью используемых золь-гель методов является то, что реакция гидролитической поликонденсации щелочных силикатов протекает в присутствии неорганических веществ (соли, кислоты), а также низко- и высокомолекулярных органических модификаторов (полиолы, полиионены, эпоксидные соединения и др.), которые придают заданные физико-химические и технические ценные свойства формируемым материалам. При этом, как правило, неорганические вещества и модификаторы являются темплатными агентами, способствующими формированию силикатных и гибридных нанокомпозитов со специфической структурой.

Целью данной работы явился золь-гель синтез алюмосиликатных и силикофосфатных соединений на основе жидкого стекла, сульфата алюминия, фосфорной кислоты. Задачами работы явились:

1. получение продуктов гелеобразования и исследование их состава и свойств;
2. разработка золь-гель технологии силикофосфатных, алюмосиликатных соединений заданного состава и свойств.

Исследуемыми факторами золь-гель синтеза являлись способ смешения реагентов и их концентрация. В зависимости от способа смешения реагентов, золь-гель превращения осуществлялись как в щелочной, так и в кислой средах. В щелочной, когда к жидкому стеклу приливали раствор H_3PO_4 или $Al_2(SO_4)_3$; в кислой, когда к раствору H_3PO_4 или $Al_2(SO_4)_3$ приливали жидкое стекло. Кроме того, золь-гель синтез проводили при одновременном смешении реагентов. В качестве исходных реагентов были использованы жидкое стекло с модулем $M=3,02$ состава $[Na_2O]=11,58\%$, $[SiO_2]=33,88\%$; растворы фосфорной кислоты с содержанием H_3PO_4 60, 40, 20%; 1М, 0.75М, 0.5М и 0.25М растворы $Al_2(SO_4)_3$. Природу химических превращений, протекающих в системах жидкое стекло - фосфорная кислота – вода, жидкое стекло – сульфат алюминия – вода оценивали по изменению оптической плотности и pH бинарных систем. Фазовый состав полученных продуктов определяли рентгенографически с помощью дифрактометра 08 Advance фирмы “Bruker” AXS (Германия).

На основании экспериментальных данных установлена зависимость оптической плотности в системе жидкое стекло – фосфорная кислота – вода от мольного соотношения реагентов, которая имеет экстремальный характер. При этом наличие максимума на кривых соответствует определенному соотношению $P_2O_5:Na_2O$, зависящему от концентрации H_3PO_4 . При уменьшении концентрации кислоты максимум оптической плотности смещается в область более высоких соотношений $P_2O_5:Na_2O$. Показано, что продукты взаимодействия жидкого стекла и растворов сульфата алюминия (или фосфорной кислоты) могут быть студнеобразными, пастообразными или порошкообразными. Различная форма продуктов золь-гель превращений определяется, в первую очередь, концентрацией применяемых реагентов. Кроме того, морфология образующихся продуктов и их состав зависят от мольного соотношения реагентов.

Отмечено, что приливание при постоянном перемешивании в жидкое стекло 60%, 40% H_3PO_4 обуславливает формирование студнеобразной массы при мольном соотношении $P_2O_5:Na_2O \geq 0,05$, в то время как использование 20% H_3PO_4 сдвигает ее образование в область $P_2O_5:Na_2O \geq 0,15$. Значение pH системы в этих случаях не изменяется и составляет 10,8 – 11,0. Дальнейшее увеличение мольного соотношения $P_2O_5:Na_2O$ приводит к образованию продуктов гелеобразования, представляющих собой рассыпчатый объемный порошок. Характерно, что с уменьшением концентрации применяемой фосфорной кислоты влажность образующихся порошков увеличивается.

Показано, что установленные закономерности формирования продуктов гелеобразования в системе жидкое стекло – фосфорная кислота - вода характерны и для системы жидкое стекло - сульфат алюминия – вода, когда в раствор жидкого стекла приливали раствор сульфата алюминия. Отмечено во всех случаях образование золя, переходящего в гель с последующим отверждением системы. В случае использования 1М, 0.75М и 0.5М растворов $Al_2(SO_4)_3$ гелеобразование происходит при мольном соотношении $Al_2O_3:SiO_2=0,006$ – 0.012, а при использовании 0.25М $Al_2(SO_4)_3$ – при $Al_2O_3:SiO_2=0,07$. Показано, что при прилипании к раствору сульфата алюминия раствора жидкого стекла существует зависимость между концентрацией раствора $Al_2(SO_4)_3$, значением pH среды, соотношением $SiO_2:Al_2O_3$ и формой образующегося продукта: чем выше концентрация раствора $Al_2(SO_4)_3$, тем в более кислой среде и при более высоких значениях мольного

соотношения $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ происходит загустевание системы с формированием порошкообразного или пастообразного продукта. Особо следует подчеркнуть, что с увеличением концентрации раствора $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ до 1 моль/л увеличивается расход раствора жидкого стекла, и формирование порошкообразного продукта происходит в кислой среде при значении $\text{pH}=4,4$.

Установлен химический и фазовый состав продуктов гелеобразования в исследуемых системах. В системе жидкое стекло – фосфорная кислота – вода образуются продукты, содержащие при заданных соотношениях реагентов до 17 – 18% (масс.) фосфатов натрия состава $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Нерастворимой частью является кремнегель, массовая доля которого составляет до 30% (масс.), остальное вода.

На основании расчета материального баланса процессов золь-гель получения алюмосиликатных продуктов в системе жидкое стекло – сульфат алюминия – вода было установлено, что массовое соотношение растворимой и нерастворимой частей составляет 1:(2,0 – 4,0) в зависимости от условий синтеза. В растворимой части присутствует растворимый в воде Na_2SO_4 , а в нерастворимой – алюмосиликатсодержащие соединения.

Разработана технологическая схема получения силикофосфатных и алюмосиликатных продуктов, которая включает стадии приготовления исходных растворов заданных концентраций и их смешивание. Достоинством предложенной технологии является отсутствие стадии фильтрации и сушки, а также побочных продуктов, т.е. технология является безотходной. Характерно, что сырье, необходимое для производства исследуемых продуктов, в Республике Беларусь является общедоступным и не дорогим, что позволяет снизить себестоимость продукции и, соответственно, повысить прибыль предприятия. Образующиеся при этом порошкообразные продукты могут быть использованы в составе моющих и чистящих средств или в производстве бумаги в качестве наполнителей.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Авраменко О.С., 4
Агеенко А.В., 143
Акулович Л. М., 57
Аладко Д. В., 110
Аладко С.В., 110
Алешкевич Е.Л., 130
Андрухович Д.Г., 106
Анискевич М.В., 32
Анищенко И.В., 135
Анушко Т.Ю., 169, 171
Арабей А.В., 9, 14, 17
Бабаньков П.В., 12
Безенсон С.В., 180
Белявин К.Е., 100
Беляев А.В., 140
Беляцкий В.Н., 196
Близнюк Е.В., 216
Бобкова Н.М., 203, 211
Богдан М. А., 149
Бограенок А.Г., 101
Бойко В.В., 152
Болтовский В.С., 220
Бондаренко Ж.В., 200, 212, 225
Борис А.В., 13
Борисов В.Г., 37
Боровик Д.И., 146
Босяков К.Г., 76, 82
Боярчук М. А., 63
Бугаев А.В., 109
Букато Н.Ю., 138
Бурак Г.А., 192
Бурдоленко А.Н., 200
Быстримович В.В., 202
Бэйнер М.В., 181
Василевский С.В., 159
Вейник В.А., 42
Вершеня Е.Г., 178
Вершина А.К., 151, 152
Винерский С.Н., 177
Волочко А.Т., 138
Волчкович Д.В., 140
Вольский В.А., 145
Галаев К.О., 156
Галкин А.С., 103
Гапуржонов Д.Г., 198
Гегеня Д.В., 37, 48
Генюш И.П., 37, 46
Глуховский В.И., 7, 23
Глуховский М. В., 7, 23
Глушень Т.М., 203
Головков В.В., 52, 57
Голубкова Е. С., 228
Голубцова Е.С., 141, 142, 156, 159
Гончарик А.И., 111
Горанский Г.Г., 130
Григорьев С.В., 135
Гринкин А.В., 49, 140
Громакова А.С., 230
Гуминский Ю.Ю., 70
Данилко Б.М., 174
Девойно О.Г., 136
Дивин А.Е., 178
Дмитриев М.В., 114
Дмитрович А.А., 159
Долинская Р.М., 215
Драгун Н. П., 87
Драпеза А.А., 209
Дубинчик И.В., 199
Дуденкова Е.Г., 152
Дудук Е.Г., 204
Душкевич М.А., 74
Дьячкова Л.Н., 133
Дятлова Е.В., 147
Евдасева И.Л., 44
Евсеева Е.А., 197
Елизаров А.В., 42
Ероховец П., 62
Ещенко Л. С., 233
Жданова А.А., 133
Жемойта А.В., 132
Жолнерович Н.В., 214
Жолудь А.С., 100
Жук А. Е., 158
Жук Н.Н., 182
Жукова Е.В., 126
Журавков Н.М., 176
Завадина И.В., 96
Задруцкий С.П., 22
Залужная О.Г., 34, 37
Заяц Т.В., 173
Заяш О.О., 100
Зелезинская С.В., 111
Земсков И.В., 22
Зенько П.В., 22
Зык Н.В., 198
Иваницкий Д.М., 101
Иванкович Е.В., 68
Иванов М.И., 12
Иванова Н.П., 149
Иванченко В.А., 194
Игнаткович П.Е., 231
Ильченко Н.В., 32
Исаевич Л.А., 104
Исаченко И.В., 106
Кабишов С.М., 127
Казак С.А., 172
Казерский А.А., 104
Калишук Д.Г., 218, 226

Калюжный А.С., 154
Камейша Д.В., 108
Каменчук С. А., 51
Кандидатова И.Н., 226
Капуста Д.О., 196
Капцевич В.М., 145
Карачун И.А., 109
Карбанович С.А., 63
Карпицкий В.С., 103
Качар И.Л., 177
Каштелян А.А., 84, 86
Керженцева Л.Ф., 133, 143
Кийко Т.Н., 230
Кирсанов Б.А., 20
Киселева Т.Н., 170
Ковалевский В. Н., 158
Коваленко Н.А., 216
Козлова О.В., 16
Колесникова А.Е., 41
Колоничкая Н. А., 206
Колос А.А., 50
Колоско П.С., 65
Колошич С.В., 16
Комлик Т.А., 97
Константинов В.М., 30, 31, 34, 37, 56
Копач В.Ю., 90
Корженевич М.А., 207
Корнеев С.М., 122
Коротков С.Ю., 9
Костюкевич А.В., 209
Красавин В. Ю., 158
Краснякова Ю.В., 151
Крутилин А.Н., 76, 78, 79, 81, 82, 84, 89
Кудин М.В., 106
Кузьмич Т.П., 172
Кукуй Д. М., 63, 92
Кукуй Д.М., 62, 68, 94
Кулыба А.В., 114
Куль А.В., 185
Курбатов М.И., 76, 82, 84, 86
Курбатова М.И., 70
Курпик С.В., 107
Кухарчук М.В., 82
Лабкович В.Н., 103
Лабуть Ю. М., 210
Лазарева В.Г., 186
Лазаренков А.М., 162, 166
Лапицкая Я.О., 121
Лебедева Е.А., 211
Левицкий А., 199
Левицкий И.А., 204, 217
Леднева М.Ю., 78, 79, 81, 89
Леонович С.М., 104
Лигатко Л.А., 196
Липинский С.А., 103
Логачев М.В., 108
Логачёв М.В., 107
Ложечников Е.Б., 109, 110
Лопатко М.О., 174
Лукашевич Е.А., 212
Лукьянова Р.С., 192
Лущик П.Е., 4, 11
Лущик Т.Н., 20, 162
Лынов П.Н., 53
Любимов В.И., 110
Лях К.А., 214
Мазурик И.С., 175
Мазуркевич Е.В., 142
Макаренко А.В., 101
Максимик М.Ю., 26
Малинкович В.А., 45
Малюкевич Д.Н., 107
Мандрикова Н.В., 183
Мануленко А. Ф., 210
Мартыненко О.А., 16, 162
Марусова Т. С., 215
Маршина Е.А., 145
Матюшинец Т.В., 74
Медведев Д.И., 196
Меженцев А.А., 193
Мельниченко В.В., 45
Менчицкая А.С., 141
Микуцкий В.А., 135
Милош П.З., 80
Михайловская Т.В., 39
Михальцов А.М., 9, 13
Мишкевич М.Г., 67
Мордик Е.В., 178
Морозов Д.С., 119, 127
Мосько Л.В., 69
Мурашова И.В., 49, 140
Науменко А.А., 166, 168
Науменко А.М., 173, 175
Невар Н. Ф., 72
Немененок Б.М., 4, 12, 16
Несмачная Е.В., 94
Никитина Л.А., 147
Николайчик Ю.А., 90
Новик А.В., 108
Новосельская Л.В., 231
Одиночко В.Ф., 70
Ольшевский С.А., 114
Онащенко Ф.Е., 130
Основина Л.Г., 186
Павлюкевич Ю.Г., 206, 223
Пантелеенко Ф.И., 130
Пантелеенко А.Ф., 136
Пантелеенко Ф.И., 146
Папко Л. Ф., 228
Пахальчук А.В., 170
Передня Е.А., 221
Перетрухин В.В., 183
Петрушеня А.Ф., 216, 221
Петухова Г.Н., 192

Пивоварчик А.А., 24, 25
 Пилипович С.В., 24
 Писарев В.А., 132
 Пискунович И.С., 135
 Поболь А.И., 154, 157
 Поболь И.Л., 49, 140, 154, 157
 Полуян М.О., 22
 Поплавский Р.П., 50
 Проворова И.Б., 194
 Протасеви Г.Ф., 40
 Протасевич Г.Ф., 32, 49, 140
 Прохорченко И.Ф., 68
 Путеева А.С., 54
 Пучков Э.П., 46, 48, 54
 Рабцевич А.В., 56
 Рабцевич Т.Н., 100
 Радченко Ю.С., 185
 Ратников П.Э., 124
 Рафальский И.В., 4, 9, 11, 14, 17, 119, 127
 Ревяко М.М., 221
 Резвицкий Н.С., 195
 Ровдо В.С., 22
 Ровин С.Л., 69, 96, 97
 Розум В.А., 26
 Романченко Р.И., 177
 Руденская М.В., 130
 Рудницкий Ф.И., 68, 70, 73
 Рудькова А.А., 100
 Румянцева Г.А., 121
 Русин О.А., 196
 Рыбак О.А., 217
 Рябцев И.В., 111
 Садченко А.Г., 52, 57
 Самец А.М., 108
 Саранцев В.В., 130, 138
 Сенчуров Е.В., 57
 Сергеев Л.Е., 52, 57
 Сергееня В.Н., 84
 Серко Н.В., 25
 Серяков А.В., 193
 Сивогринов Е.В., 109
 Скаева Е.М., 143
 Скворцов В.А., 63
 Сквородко О., 192
 Слабко Е.Н., 218
 Слепнева Л.М., 195
 Слепченко С.Л., 104
 Слуцкий А.Г., 20
 Снарский А.С., 154
 Соколев В. Ф., 67
 Соколов Ю.В., 32, 41, 44, 53
 Сорока И., 91
 Сошенко А.А., 4, 9
 Ставров В. П., 51
 Ставров В.П., 50
 Стефанович А.В., 33, 35
 Стефанович В.А., 37
 Стрельчения С.В., 73
 Стрижевская Т.Н., 30
 Суворов Д.А., 176
 Сумич А. И., 233
 Супиченко Г.Н., 216
 Тарасевич Н.Ф., 110
 Тарахович Н. С., 219
 Терешко В.В., 182
 Терещенко И.М., 202, 207
 Тимошпольский В.И., 118
 Ткачева М.А., 110
 Точко Н.Ю., 220
 Трусова И.А., 126
 Тутин С.В., 76
 Углик Н.М., 180
 Удот А.Ю., 190
 Ушаков В.Н., 40
 Ушакова И.Н., 181
 Фасевич Ю.Н., 62, 80, 91
 Федоров А.Н., 194
 Феклистов А.В., 118
 Филипенко Е. В., 87
 Филянович Л.П., 163, 164, 166, 168, 169, 171
 Фомихина И.В., 158
 Халецкий А.И., 101
 Харитонович А.А., 32
 Хвисючик С.Н., 178
 Хмелевский П.С., 190
 Холод А.Г., 33, 35
 Хренов О.В., 140
 Хурсина О.В., 122
 Чайковский Д. В., 92
 Чепикова Э.А., 166
 Черная Н.В., 209
 Чернушевич Г.А., 183
 Чиркун О.П., 199
 Чирун Д. А., 72
 Чичко А. А., 65
 Шаверга И.М., 223
 Шагойко Ю.В., 199
 Шаматульская Н.В., 143
 Шапель О.Е., 225
 Шаранина Н.М., 177
 Шарий В.Н., 114
 Шахно А.А., 33, 35, 37
 Шевцов А.А., 20
 Шелухин В.С., 226
 Шершун О.Е., 114
 Шибайло Т. С., 228
 Шибекко О.О., 142
 Шибут Н.В., 124
 Шиманович О.А., 114
 Шичкова Т.А., 152
 Шкор Д.А., 197
 Шнып И.А., 192
 Шрубок А.О., 230
 Шубич В.В., 114

Шункевич В.О., 199
Щербаков В. Г., 31
Щербаков Э.Д., 39
Щербина Е. И., 219
Эмелло Г.Г., 200, 212
Юревич С.В., 132

Юшкевич Д.В., 154, 157
Яганов Е.О., 163, 164
Яглов В.Н., 190
Яговдик И.Н., 149
Янкович А.Г., 114

СОДЕРЖАНИЕ

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Исследование и разработка технологии получения отливки "поршень" из сплава АК12М2МгН с использованием компьютерной программы ProCAST	4
Студенты гр.104113 Авраменко О.С., гр.104114 Сошенко А.А.	4
Научный руководитель - Немененок Б.М.	
Решение тепловых задач в компьютерной системе моделирования литейных процессов ProCAST для оценки качества отливок из алюминиевых сплавов	4
Студент гр. 104113 Лущик П.Е.	
Научный руководитель – Рафальский И.В.	
Методология учёта нестационарности функционирования источников выделения и источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от технологических процессов и оборудования литейного производства	7
Магистрант Глуховский М. В.	
Научный руководитель – Глуховский В.И.	
Выбор компонентов смазок для пресс-форм литья под давлением	9
Студент гр.104124 Коротков С.Ю.	
Научный руководитель - Михальцов А.М.	
Производство поршневых сплавов, выплавленных из вторичного сырья	9
Студент гр. 104114 Сошенко А.А.	
магистрант Арабей А.В.	
Научный руководитель – Рафальский И.В.	
Разработка трехмерных моделей для изготовления литейной оснастки отливки полурамы трактора	11
Студент гр. 104113 Лущик П.Е.	
Научный руководитель – Рафальский И.В.	
Исследование рециклинга железосодержащих отходов	12
Студенты гр.104123 Бабаньков П.В., гр.104114 Иванов М.И.	
Научный руководитель - Немененок Б.М.	
Реализация программного комплекса ProCAST для литья под высоким давлением	13
Студентка гр.104113 Борис А.В.	
Научный руководитель - Михальцов А.М.	
Исследование влияния металлургической наследственности шихтовых материалов на процессы формирования кристаллической структуры алюминиевых сплавов	14
Магистрант Арабей А.В.	
Научный руководитель – Рафальский И.В.	
Оценка эффективности процессов рафинирования алюминиевых деформируемых сплавов	16
Студенты гр.104123 Мартыненко О.А., Колошич С.В., гр.104114 Козлова О.В.	
Научный руководитель - Немененок Б.М.	
Компьютерный термический анализ для контроля фазовых переходов заэвтектических силуминов с учетом влияния температурной обработки расплава	17
Магистрант Арабей А.В.	
Научный руководитель – Рафальский И.В.	
Исследование процесса внепечного способа получения лигатур	20
Студентка гр.104113 Лущик Т.Н., студенты гр.104114 Шевцов А.А., Кирсанов Б.А.	
Научный руководитель – Слуцкий А.Г.	

Разработка состава жаростойкой стали литой оснастки термических агрегатов	22
Студент гр. 104113 Ровдо В.С. Научный руководитель – Земсков И.В.	
Высокоэффективный таблетированный препарат для обработки расплавов на основе алюминия	22
Студенты гр.104125 Полуян М.О.,Зенько П.В. Научный руководитель – Задрецкий С.П.	
Характерные особенности работы электродуговой печи белорусского металлургического завода как источника выделения и выброса	23
Магистрант Глуховский М. В. Научный руководитель – Глуховский В.И.	
Влияние смазок на качество поверхности отливок при литье под давлением алюминиевых сплавов .	24
Студент гр. 104124 Пилипович С.В. Научный руководитель – Пивоварчик А.А.	
Эрозионная стойкость смазочных слоев при литье под давлением алюминиевых сплавов	25
Студентка гр. 104113 Серко Н.В. Научный руководитель – Пивоварчик А.А.	
Отработка состава экзотермических вставок для обогрева прибылей при изготовлении отливки ступица колеса прицепа в условиях сталъцеа №2 руп «МАЗ»	26
Студент Максимик М.Ю. Научный руководитель – Розум В.А.	

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Классификация применяемых технологий энергосбережения при термической обработке.....	30
Магистрант Стрижевская Т.Н. Научный руководитель - Константинов В.М.	
Анализ возможности использования металлических отходов для наплавки в условиях РУП «МЗШ»	31
Магистрант Щербаков В. Г. Научный руководитель - Константинов В.М.	
Исследование влияния состава плакирующего слоя на микрогеометрию подложки при напылении порошка NiCrBSi	32
Студент гр. 104213 Ильченко Н.В. Научный руководитель – Соколов Ю.В.	
Оптимизация термообработки сплава Д16.....	32
Студенты гр. 104512 Анискевич М.В., гр. 104513 Харитонович А.А. Научный руководитель – Протасевич Г.Ф.	
Исследование структуры отходов быстрорежущей стали после цементации	33
Студенты гр. 104513 Шахно А.А., Холод А.Г. Научный руководитель - Стефанович А.В.	
Фрактография усталостных изломов.....	34
Студентка гр. 104213 Залужная О.Г. Научный руководитель – Константинов В.М.	
Исследование фазового состава быстрорежущей стали после нитроцементации	35
Студенты гр. 104513 Шахно А.А., Холод А.Г. Научный руководитель - Стефанович А.В.	
Особенности фрактографического исследования разрушений деталей транспортных средств	37
Студентка гр. 104213 Залужная О.Г. Научный руководитель – Константинов В.М.	

Анализ причин разрушения материала труб полотенецсушителей	37
Студенты гр. 104513 Шахно А.А., гр. 104214 Генюш И.П., Гегеня Д.В. Научные руководители – Стефанович В.А., Борисов В.Г.	
Позднее внутрiformенное графитизирующее модифицирование – эффективный способ предотвращения отбела в чугунном литье	39
Студент гр. 104213 Михайловская Т.В. Научный руководитель – Щербаков Э.Д.	
Химико-термическая обработка с использованием метода металлотермии	40
Студент гр. 104513 Ушаков В.Н. Научный руководитель – Протасеви Г.Ф.	
Исследование процесса структурообразования покрытий в условиях сверхбыстрых скоростей кристаллизации	41
Студент гр. 104213 Колесникова А.Е. Научный руководитель – Соколов Ю.В.	
Защита сталей от высокотемпературной газовой коррозии	42
Студент гр.104213 Елизаров А.В. Научный руководитель ст. преп. Вейник В.А.	
Трансформация микроструктуры напыленных покрытий при термической обработке	44
Студентка гр. 104213 Евдасева И.Л. Научный руководитель – Соколов Ю.В.	
Современные программные средства, применяемые для проектирования процессов термообработки	45
Студент гр.104213 Малинкович В.А. Научный руководитель – Мельниченко В.В.	
Сплавы с эффектом памяти формы	46
Студент гр.104214 Генюш И.П. Научный руководитель – Пучков Э.П.	
Коррозионностойкие хромомарганцевые стали	48
Студент гр.104214 Гегеня Д.В. Научный руководитель – Пучков Э.П.	
Исследование структуры и свойств покрытий системы 44Ni-56Ti полученных методом СВС с последующим переплавом	49
Студентка гр. 104513 Мурашова И.В., аспирант Гринкин А.В. Научный руководитель – Протасевич Г.Ф., Поболь И.Л.	
Свойства пресс-композиций из текстильных отходов и вторичного полипропилена	50
Студент гр. IV ф-та ХТиТ Поплавский Р.П. Научные руководители – Колос А.А., Ставров В.П.	
Конструкция и технология изготовления стеллажа из отходов термопластичных полимеров, армированных стеклянными волокнами	51
Студент гр. V-1 ф-та ХТиТ Каменчук С. А. Научный руководитель – Ставров В. П.	
Исследование обрабатываемости деталей оборудования пищевой промышленности	52
Студенты гр.1 рпт Головков В.В., Садченко А.Г. Научный руководитель – Сергеев Л.Е.	
Формирование плазменных покрытий в условиях вибрации подложки	53
Студент гр. 104213 Лынов П.Н. Научный руководитель – Соколов Ю.В.	

Исследование влияния нормализации бесшовных труб после прокатки на механические свойства (РУП «БМЗ»)	54
Студентка гр.104513 Путеева А.С.	
Научный руководитель – Пучков Э.П.	
Анализ возможности снижения энергетических затрат при индукционной наплавке деталей плугов на РУП «Минский завод шестерен»	56
Магистрант Рабцевич А.В.	
Научный руководитель - Константинов В.М.	
Интенсификация финишной обработки крупногабаритных подшипников	57
Студенты – Головков В.В., Садченко А.Г.	
Научные руководители – Акулович Л. М., Сергеев Л.Е., Сенчуров Е.В.	

МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Управление свойствами экзотермических смесей	62
Студент гр. 104315 Ероховец П.	
Консультант – Фасевич Ю.Н.	
Научный руководитель – Кукуй Д.М.	
Литье с противодавлением	63
Студент гр. 104323 Карбанович С.А.	
Научный руководитель – Скворцов В.А.	
Технология получения литых заготовок для изготовления металлокорда	63
Студентка гр. 104323 - Боярчук М. А.	
Научный руководитель - Кукуй Д. М.	
Процесс дефосфорации стали шлаком при выплавке в дуговых электропечах	65
Студент гр. 104324 Колоско П.С.	
Научный руководитель – Чичко А. А.	
Прогрессивная технология выплавки чугуна с заменой ферросилиция карбидом кремния	67
Студент гр. 104324 Мишкевич М.Г.	
Научный руководитель – Соболев В. Ф.	
Выбор путей создания инструментальных материалов повышенной износостойкости при переплаве отходов инструментального производства	68
Студент гр.104313 Иванкович Е.В.	
Научный руководитель – Рудницкий Ф.И.	
Сущность экзотермического подогрева прибылей	68
Студент гр. 104324 – Прохорченко И.Ф.	
Научный руководитель – Кукуй Д.М.	
Снижение удельных энергозатрат при электроплавке чугуна и стали	69
Студентка гр.104313 – Мосько Л.В.	
Научный руководитель – Ровин С.Л.	
Исследование структуры и свойств цинковых антифрикционных сплавов для изготовления тяжело нагруженных вкладышей подшипников	70
Студент гр. 104323 Курбатова М.И.	
Научный руководитель – Рудницкий Ф.И.	
Компас-график – современная система для создания конструкторской документации	70
Студент гр. 104316 Гуминский Ю.Ю.	
Научный руководитель – Одинокко В.Ф.	

Тема «Влияние термоциклической обработки на структуру и механические свойства литого борсодержащего сплава»	72
Студент гр. 104324 Чирун Д. А.	
Научный руководитель – Невар Н. Ф.	
Перспективы улучшения структуры и свойств литых сплавов путем модифицирования наноструктурированными добавками	73
Студент гр.104313 Стрельчения С.В.	
Научный руководитель – Рудницкий Ф.И.	
Особенности выбора вентиляционных отверстий кокильной оснастки при использовании методов численного моделирования	74
Студент гр. 304312 Душкевич М.А.	
Научный руководитель – Матюшинец Т.В.	
Селективное отверждение песчаной смеси.....	76
Студент гр. 304312 Тугин С.В.	
Научный руководитель – Крутилин А.Н.	
Материалы литых тормозных барабанов.....	76
Студент гр.104313 Босяков К.Г.	
Научный руководитель – Курбатов М.И.	
Непрерывное литье машиностроительных заготовок	78
Студентка гр.104314 Леднева М.Ю.	
Научный руководитель – Крутилин А.Н.	
Теоретический анализ процесса разогрева отливки на выходе из кристаллизатора.....	79
Студентка гр.104314 Леднева М.Ю.	
Научный руководитель – Крутилин А.Н.	
Разработка эффективных составов экзотермических смесей	80
Студент гр. 304312 Милош П.З.	
Научный руководитель – Фасевич Ю.Н.	
Выбор режима движения отливки при полунепрерывном литье чугунных заготовок	81
Студентка гр.104314 Леднева М.Ю.	
Научный руководитель – Крутилин А.Н.	
К вопросу получения литых тормозных барабанов	82
Студент гр.104313 Босяков К.Г.	
Научный руководитель – Курбатов М.И.	
К вопросу о восстановлении оксидов	82
Студент гр.104324 Кухарчук М.В.	
Научный руководитель – Крутилин А.Н.	
К вопросу компьютерного моделирования процесса получения литых тормозных дисков	84
Студент гр.104313 Каштелян А.А.	
Научный руководитель – Курбатов М.И.	
Разработка технологии получения массивных заготовок из высокопрочного чугуна	84
Студент гр.104326 Сергеев В.Н.	
Научный руководитель – Крутилин А.Н.	
Основные требования, предъявляемые к литым тормозным дискам	86
Студент гр.104313 Каштелян А.А.	
Научный руководитель – Курбатов М.И.	
Создание математической модели формовочной смеси для управления смесеприготовлением.....	87
Магистрант Филипенко Е. В.	
Научный руководитель – Драгун Н. П.	

Особенности конструкции установки горизонтального непрерывного литья	89
Студентка гр.104314 Леднева М.Ю. Научный руководитель – Крутилин А.Н.	
Противопригарные покрытия для литейных форм и стержней.....	90
Студент гр. 104323 – Копач В.Ю. Научный руководитель – Николайчик Ю.А.	
Методы определения основных свойств экзотермических смесей.....	91
Студент гр. 104315 Сорока И. Научный руководитель – Фасевич Ю.Н.	
Технологический цикл выплавки кордовой стали в ДСП.....	92
Студент гр. 104323 Чайковский Д. В. Научный руководитель - Кукуй Д. М.	
Машина непрерывного литья заготовок.....	94
Студентка гр. 104313 - Несмачная Е.В. Научный руководитель – Кукуй Д.М.	
Переработка и использование низкосортных металлоотходов.....	96
Студентка гр.104323 Завадина И.В. Научный руководитель – Ровин С.Л.	
Современные методы и системы контроля и управления процессами приготовления формовочных смесей в литейном производстве	97
Студентка гр.104323 Комлик Т.А. Научный руководитель – Ровин С.Л.	

МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Разработка технологии электроимпульсного упрочнения спеченных вольфрамовых контактов звуковых сигналов	100
Студентка гр. 104423 Рабцевич Т.Н. Научный руководитель – Белявин К.Е.	
Технология водоабразивной резки и обработки материалов	100
Студенты гр.104424 Жолудь А.С., Рудькова А.А., Заяш О.О. Научный руководитель – Давидович Л.М.	
Повышение износостойкости сегментов режущих аппаратов зерно- и кормоуборочной техники с использованием холодного пластического деформирования.....	101
Студенты гр. 104414 Бограенок А.Г., Макаренко А.В., Халецкий А.И. Научный руководитель – Иваницкий Д.М.	
Горячая штамповка точных поковок на КГШП в штампах с разъёмными матрицами.....	103
Студенты гр. 104414 Липинский С.А., Галкин А.С., гр.104424 Лабкович В.Н. Научный руководитель – Карпицкий В.С.	
Особенности формообразования пластическим деформированием фланца в толстостенной трубной заготовке.....	104
Студенты гр. 104414 Слепченко С.Л., Казерский А.А., Леонович С.М. Научный руководитель – Исаевич Л.А.	
Способы гибки трубных заготовок по малому радиусу	106
Студенты гр. 104424 Исаченко И.В., Андрухович Д.Г. Научный руководитель – Кудин М.В.	

Фестонообразование при вытяжке цилиндрических деталей	107
Студенты гр. 104424 Курпик С.В., Малюкевич Д.Н. Научный руководитель – Логачёв М.В.	
Камерная печь безокислительного нагрева металла	108
Студенты группы 104424 Новик А.В., Самец А.М., Камейша Д.В. Научный руководитель – Логачев М.В.	
Технические возможности переработки отходов металлокорда	109
Студенты гр. 104414 Бугаев А.В., Карачун И.А., Сивогринов Е.В. Научный руководитель – Ложечников Е.Б.	
Формообразование фильтрующих элементов прокаткой порошка	110
Студентка гр. 104423 Ткачева М.А. Научный руководитель – Ложечников Е.Б.	
Анализ возможностей силовой интенсификации технологических процессов листовой штамповки за счет совместного выполнения операций	110
Студенты гр. 104414 Аладко Д. В., Аладко С.В., Тарасевич Н.Ф. Научный руководитель – Любимов В.И.	
Повышение производительности гидравлических прессов	111
Студенты гр.104424 Зелезинская С.В., Гончарик А.И., Рябцев И.В. Научный руководитель – Овчинников П.С.	
Способы накатывания криволинейных профилей	114
Студенты гр. 104424 Шубич В.В., Шершун О.Е., Кулыба А.В. Научный руководитель – Шиманович О.А.	
Определения динамического предела текучести	114
Студенты гр. 104424 Янкович А.Г., Ольшевский С.А., Дмитриев М.В. Научный руководитель – Шарий В.Н.	

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Перспективы использования высококалорийных углей на предприятиях машиностроительного и металлургического комплексов	118
Студент гр. 104135 Феклистов А.В. Научный руководитель – Тимошпольский В.И.	
Оптимизация объема партии отливок и литых полуфабрикатов с использованием ЭВМ в машиностроительном и металлургическом производстве	119
Студент гр. 104134 Морозов Д.С. Научный руководитель – Рафальский И.В.	
«Корекс» процесс прямого восстановления железа	121
Студентка гр. 104134 Лапицкая Я.О. Научный руководитель – Румянцева Г.А.	
Возможности применения отходов машиностроительного производства (стальной и чугунной стружки) при производстве металлопродукции	122
Студентка гр. 104134 Хурсина О.В. Научный руководитель – Корнеев С.М.	
Преимущества среднечастотных индукционных печей при выплавке стали (чугуна) над другими плавильными агрегатами.	124
Студентка гр. 104134 Шибут Н.В. Научный руководитель – Ратников П.Э.	

Эффективность использования жидкого полупродукта для выплавки стали в дсп..... 126
Студентка гр. 104134 Жукова Е.В.
Научный руководитель – Трусова И.А.

Расчет параметров процесса непрерывной разливки стали при непрерывном литье заготовок с использованием ЭВМ..... 127
Студент гр. 104134 Морозов Д.С.
Научный руководитель – Кабишов С.М., Рафальский И.В.

ПОРОШКОВЫЕ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОКРЫТИЯ И СВАРКА

Исследование микротвердости металлокерамических покрытий 130
Студентка гр. 104617 Руденская М.В.
Научный руководитель – Пантелеенко Ф.И.

Модернизация оборудования для обработки дробью..... 130
Студент гр. 104614 Онащенко Ф.Е., Алешкевич Е.Л.
Научные руководители – Горанский Г.Г., Саранцев В.В.

Особенности проведения физико-механических испытаний сварных соединений в соответствии с требованиями европейских и международных норм..... 132
Студенты гр.104815 Жемойта А.В., Юревич С.В.
Научный руководитель - Писарев В.А.

Исследование структуры и свойств порошковых инфильтрированных композиционных материалов на основе железа 133
Студентка гр.104613 Жданова А.А.
Научный руководитель – Дьячкова Л.Н., Керженцева Л.Ф.

Композиционные плакированные порошки 135
Студент гр. 104613 Пискунович И.С., Анищенко И.В.
Научные руководители – Григорьев С.В., Микуцкий В.А.

Лазерные наплавленные покрытия из борированных отходов чугуна 136
Магистрант Пантелеенко А.Ф.
Научный руководитель – Девойно О.Г.

Получение огнеупорных материалов в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза 138
Студент гр. 104615 Букато Н.Ю.
Научные руководители – Волочко А.Т., Саранцев В.В.

Исследование структурного и фазового состава материала системы $0,9(\text{Ni-Ti})+0,1(\text{Ti+C})$ полученного методом СВС с последующим электронно-лучевым переплавом..... 140
Аспирант Гринкин А.В., студентка гр. 104513 Мурашова И.В.
Научные руководители – Поболь И.Л., Протасевич Г.Ф.

Механическое легирование порошковых композиций титан-алюминий..... 140
Студент гр. 104614 Волчкович Д.В.
Научные руководители – Беляев А.В., Хренов О.В.

Исследование влияния состава присадочного материала на склонность к образованию горячих трещин, прочности и вязкости сварных соединений стали 38ХС3Н4К2МФА..... 141
Студент группы 104816 – Менчицкая А.С.
Научный руководитель – Голубцова Е.С.

Исследование корреляционной связи между характеристиками зернового состава и площадью удельной поверхности порошкового керамического материала на основе карбида кремния..... 142
Студенты группы 104615 – Мазуркевич Е.В., Шибeko О.О.
Научный руководитель – Голубцова Е.С.

Теплообменное оборудование на основе тепловых труб	143
Студенты гр.104614 Шаматурская Н.В., Скаева Е.М. Научные руководители – Агеенко А.В., Керженцева Л.Ф.	
Исследование структурных и гидродинамических свойств пористых волокнистых материалов из медных волокон	145
Магистрант Маршина Е.А., студент гр. 31 мо ФТС Вольский В.А. Научный руководитель – Капцевич В.М.	
Особенности формирования композиционных электрохимических покрытий на основе железа	146
Магистрант Боровик Д.И. Научный руководитель - Пантелеенко Ф.И.	
Получение теплоизоляционных керамических материалов на основе системы Al-CaMg(CO₃)₂-SiO₂ .	147
Студентка гр. 9, ХТиТ Никитина Л.А. Научный руководитель – Дятлова Е.В.	
Повышение коррозионной стойкости углеродистой и легированных сталей	149
Студентки гр.11, 4 к. Яговдик И.Н., гр.12, 5 к. Богдан М. А. Научный руководитель – Иванова Н.П.	
Оптические свойства титановых покрытий, осажденных с применением систем сепарации плазмы вакуумной дуги	151
Студентка гр. 3 факультета ХТиТ Краснякова Ю.В. Научный руководитель – Вершина А.К.	
Системы сепарации плазмы, генерируемой в вакууме электродуговым испарителем	152
Студентка гр. 3 факультета химической техники и технологии Дуденкова Е.Г. Научный руководитель – Вершина А.К.	
Изучение зависимости величины относительного удлинения от температуры образцов твердых растворов ферритов Sr_(0,5-x/2)Ca_(0,5-x/2)La_xFe_{12-x}Zn_xO₁₉ (x = 0 и x = 0.5)	152
Студент 15 гр. 4 курса фак. ХТиТ –Бойко В.В. Научный руководитель – Шичкова Т.А.	
Использование электронно-лучевых технологий при изготовлении ротора турбокомпрессора	154
Студент гр. 304815 Поболь А.И., аспирант Юшкевич Д.В. Научный руководитель – Поболь И.Л.	
Возможности практического применения 3D моделирования при разработке технологического процесса сварки	154
Студент гр.104813 Калужный А.С. Научный руководитель – Снарский А.С.	
Использование обобщенного (комплексного) показателя D для оптимизации свойств сварного шва, при сварке стали 32Х2Г2СНВМ	156
Студент гр. 104816 Галаев К.О. Научный руководитель – Голубцова Е.С.	
Пайка ПКА припоем на основе меди	157
Аспирант Юшкевич Д.В., студент гр. 304815 Поболь А.И. Научный руководитель – Поболь И.Л.	
Новый метод получения композита алмаз-SiC	158
Студент гр. 104613 Красавин В. Ю. Научные руководители - Ковалевский В. Н., Жук А. Е., Фомихина И.В.	
Исследование свойств фрикционного материала на основе меди	159
Студент группы 104615 – Василевский С.В. Научный руководитель – Голубцова Е.С., Дмитрович А.А.	

ОХРАНА ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Оценка источников литейных цехов и масштабов загрязнения окружающей среды выбросами вредных веществ.....	162
Студенты гр. 104123 Мартыненко О.А., гр. 104113 Лущик Т.Н. Научный руководитель – Лазаренков А.М.	
Оптимизация режима труда и отдыха	163
Студент гр. 108415 Яганов Е.О. Научный руководитель – Филянович Л.П.	
Исследование условий труда персонала энергетических объектов	164
Студент гр. 108415 Яганов Е.О. Научный руководитель – Филянович Л.П.	
Исследование производственного травматизма энергетического персонала.....	166
Студент гр. 101724 Науменко А.А. Научный руководитель – Филянович Л.П.	
Аттестация рабочих мест литейщиков по условиям труда	166
Студент гр. 108125 Чепикова Э.А. Научный руководитель – Лазаренков А.М.	
Причины пожаров в электроустановках	168
Студент гр. 101724 Науменко А.А. Научный руководитель – Филянович Л.П.	
Пожарная опасность электроустановок.....	169
Студент гр. 104215 Анушко Т.Ю. Научный руководитель – Филянович Л.П.	
Управление рисками как элемент системы управления охраной труда.....	170
Студент гр. 108175 Пахальчук А.В. Научный руководитель – Киселева Т.Н.	
Контроль содержания вредных веществ в рабочей зоне производственных помещений.....	171
Студент гр. 104215 Анушко Т.Ю. Научный руководитель – Филянович Л.П.	
Средства коллективной защиты на строительной площадке	172
Студент гр. 112315 Казак С.А. Научный руководитель – Кузьмич Т.П.	
Воздействие ультразвука на организм человека при медицинских исследованиях.....	173
Студент гр. 113514 Заяц Т.В. Научный руководитель – Науменко А.М.	
Характеристика излучений оптического диапазона при сварке плавлением.....	174
Студент гр. 104813 Лопатко М.О. Научный руководитель – Данилко Б.М.	
Электромагнитные излучения на селитебных территориях и в жилых помещениях.....	175
Студент гр. 113534 Мазурик И.С. Научный руководитель – Науменко А.М.	
Роль человеческого фактора в современном производстве.....	176
Студент гр. 113613 Суворов Д.А. Научный руководитель – Журавков Н.М.	
Оценка условий труда машиниста котельного оборудования	177
Студенты гр. 106524 Качар И.Л., Романченко Р.И., Шаранина Н.М. Научный руководитель – Винерский С.Н.	

Оценка условий труда работающих с копировальными аппаратами	178
Студент гр. 106213 Хвисючик С.Н. Научный руководитель – Мордик Е.В.	
Опасность ионизирующих излучений, виды поражения человека, используемые меры профилактики.....	178
Студент гр. 110434 Дивин А.Е. Научный руководитель – Вершеня Е.Г.	
Исследование пожарной безопасности индивидуальных гаражей	180
Студент гр. 111143 Безенсон С.В. Научный руководитель – Углик Н.М.	
К вопросу токсиметрических показателей стержневых смесей.....	181
Студентка гр. 104327 Бэйнер М.В. Научный руководитель – Ушакова И.Н.	
Радиационно-экологические свойства сырья для производства строительных материалов	182
Студент 2 к. ХТиТ Жук Н.Н. Научный руководитель – Терешко В.В.	
Накопления радионуклидов в основных видах пищевой продукции леса.....	183
Студентка гр.1, курса 3, ф-та ТОВ Мандрикова Н.В. Научные руководители – Перетрухин В.В., Чернушевич Г.А.	
Ртуть и вопросы демеркуризации	185
Студентка 2 к. факультета ИЭ Куль А.В. Научный руководитель – Радченко Ю.С.	
Проблема совершенствования методики мониторинга условий и охраны труда.....	186
Студент гр. 1 Лазарева В.Г. Научный руководитель - Основина Л.Г.	
ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ	
Полимербитумное вяжущее в дорожном строительстве.....	190
Студент гр. 104216 Удот А.Ю. Научный руководитель – Яглов В.Н.	
Грунтобетоны для строительства дорог	190
Студент гр. 104216 Хмелевский П.С. Научный руководитель – Яглов В.Н.	
Получение грунтобетона на основе местных недефицитных материалов для строительства автомобильных дорог низких категорий.....	192
Студент гр. 104817 Сковородко О. Научный руководитель – Бурак Г.А.	
Химизм производства стекла и пеностекла.....	192
Студент гр. 110316 Петухова Г.Н. Научные руководители – Лукьянова Р.С., Шнып И.А.	
Исследование возможности использования полипропилена для приготовления полимер-битумного вяжущего	193
Студент гр. 104216 Серяков А.В. Научный руководитель – Меженцев А.А.	
Исследование кинетики легирования чугуна никелем через шлаковую фазу.....	194
Студенты гр. 104115 Иванченко В.А., Федоров А.Н. Научный руководитель – Проворова И.Б.	

Влияние температуры на эффективность экстракции соединений РЗЭ из азотнокислых растворов .	195
Студент гр. 104616 Резвицкий Н.С. Научный руководитель – Слепнева Л.М.	
Полимербетоны на основе отходов производства полиуретана	196
Студент гр. 104127 Русин О.А., гр. 104137 Лигатко Л.А. Научный руководитель - Беляцкий В.Н.	
Полимербитумные вяжущие в дорожном строительстве	196
Студент гр. 104517 Капуста Д.О. Научный руководитель – Медведев Д.И.	
Асфальтобетон на вспененном битуме	197
Студент гр. 104427 Шкор Д.А. Научный руководитель – Евсеева Е.А.	
Распределение соединений РЗЭ при образовании фосфогипса	198
Студент гр. 104517 Гапуржонов Д.Г. Научные руководители – Зык Н.В.	
Вяжущие контактно-конденсационного твердения	199
Студент гр. 104817 Левицкий А. Научный руководитель: Дубинчик И.В., Шагойко Ю.В.	
Выбор полимерного модификатора при изготовлении дорожных покрытий с заданными эксплуатационными характеристиками	199
Студент гр. 104517 Чиркун О.П. Научный руководитель – Шункевич В.О.	
Получение эмульсий стеарин-вода диспергационным методом и исследование их устойчивости	200
Студентка 7 гр. 3 курса ф-та ТОВ Бурдоленко А.Н. Научные руководители: Эмелло Г.Г., Бондаренко Ж.В.	
Разработка высокотехнологичных составов медицинских стекол	202
Студентка гр. 8 Быстримович В.В. Научный руководитель – Терещенко И.М.	
Сопоставительный анализ составов и свойств промышленных химико-лабораторных стёкол для тонкостенной посуды	203
Студентка гр. 8 Глушень Т.М. Научный руководитель – Бобкова Н.М.	
Цветные нефритованные глазури на основе амфиболовых концентратов	204
Студентка гр. 9 Дудук Е.Г. Научный руководитель – Левицкий И.А.	
Цветные фриттованные глазури для бытовой керамики	206
Студентка гр. 8, курс 5 Колоничкая Н. А. Научный руководитель – Павлюкевич Ю.Г.	
Получение стеклокристаллических изделий сложной формы с высокой износостойкостью на основе минерального сырья	207
Студент гр. 8, Корженевич М.А. Научный руководитель – Терещенко И.М.	
Влияние катионных полиэлектролитов на обезвоживающую способность сульфитной и сульфатной целлюлозы	209
Магистрант Костюкевич А.В., студент Драпеза А.А. Научный руководитель – Черная Н.В.	

Улучшение совместимости смесей полиолефинов и стирольных пластиков в процессе их переработки	210
Студентка 1 гр. 5 к. ф-та ТОВ Лабуць Ю. М. Научный руководитель - Мануленко А. Ф.	
Исследования в области получения щелочестойких электродных стекол	211
Студентка гр. 8 Лебедева Е.А. Научный руководитель – Бобкова Н.М.	
Электрические свойства эмульсий стеарин-вода	212
Студентка 7 гр. 3 курса ф-та ТОВ Лукашевич Е.А. Научные руководители – Эмелло Г.Г., Бондаренко Ж.В.	
Оптимизация технологических параметров изготовления мешочной бумаги	214
Студент факультета ТОВ, 5 курса, 4 группы Лях К.А. Научный руководитель – Жолнерович Н.В.	
Модификация бутадиен-нитрильных каучуков с целью улучшения физико-механических свойств композиций	215
Студент 4 курса Марусова Т. С. Научный руководитель - Долинская Р.М.	
Газохроматографический анализ пулегона в эфирных маслах	216
Студенты – Петрушеня А.Ф., Близнюк Е.В. Научные руководители – Супиченко Г.Н., Коваленко Н.А.	
Полуфриттованные глазури повышенной белизны	217
Студентка гр. 9 Рыбак О.А. Научный руководитель – Левицкий И.А.	
Применение метода Хорвата и Шуберта при расчетах ректификационных колонн для разделения азеотропных смесей	218
Студент 3 к. 6 гр. факультета ХТТ Слабко Е.Н. Научный руководитель – Калишук Д.Г.	
Разработка технологии использования отходов резиновой промышленности с целью получения новых изделий	219
Студент 4 курса Тарахович Н. С. Научный руководитель - Щербина Е. И.	
Определение содержания твердых триглицеридов и жирных кислот новых видов маргаринов и спредов	220
Студентка V курса 6 группы факультета ТОВ Точко Н.Ю. Научный руководитель – Болтовский В.С.	
Теплопередача при ротационном формовании	221
Магистрант Хрол Е.З., студенты Передня Е.А., Петрушеня А.Ф. Научный руководитель – Ревяко М.М.	
Исследование возможности использования колеманита в производстве стекловолокна	223
Студентка гр. 8 Шаверга И.М. Научный руководитель – Павлюкевич Ю.Г.	
Зависимость свойств коробочного картона от условий его получения	225
Студент 4 группы 5 курса Шапель О.Е. Научный руководитель – Бондаренко Ж.В.	
Оценка точности формул для упрощенных расчетов теплоты сгорания природного газа	226
Студент 5 к. Шелухин В.С., студентка 3 к. Кандидатова И.Н. Научный руководитель – Калишук Д.Г.	

Оптимизация составов боросиликатных стекол для оптического волокна	228
Студенты гр. 8 Шибайло Т. С., Голубкова Е. С. Научный руководитель – Папко Л. Ф.	
Влияние гексилового эфира <i>n</i>-трифторацетилбензойной кислоты на анионообменную экстракцию бензоат-ионов	230
Студенты ф-та ТОВ Шрубок А.О., Громакова А.С. (гр.IV-3) Научный руководитель – Кийко Т.Н.	
К вопросу оптимизации проектирования химико-технологического оборудования	231
Магистрант Игнаткович П.Е. Научный руководитель - Новосельская Л.В.	
Разработка золь-гель технологии силикофосфатных соединений.....	233
Студент Сумич А. И. Научный руководитель – Ещенко Л. С.	
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ.....	235
СОДЕРЖАНИЕ	239



БНТУ **Механико-технологический факультет**

Подготовка по специальностям
и специализациям инженеров в области:

- литейное производство черных и цветных металлов;
- материаловедения, оборудования и технологии термической обработки;
- организация металлургического производства;
- композиционных порошковых материалов, покрытий;
- машины и технология обработки материалов давлением;
- машины и технология литейного производства;
- оборудование и технология сварочного производства.



УП «Технопарк БНТУ «Метолит»
220013, г. Минск, ул. Я. Коласа, 24, к. 34/1
Тел./факс (017) 292-71-83