

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Механико-технологический факультет

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ

Сборник научных работ
XV Республиканской студенческой научно-технической конференции

22–25 апреля 2014 года

Минск
БНТУ
2014

УДК 669 (082)
ББК 34.3
Н76

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ:

Иванов И.А., декан механико-технологического факультета, д-р техн. наук, профессор

ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:

Белявин К.Е., д-р техн. наук, профессор;
Константинов В.М., д-р техн. наук, доцент;
Кукуй Д.М., д-р техн. наук, профессор;
Немененок Б.М., д-р техн. наук, профессор;
Трусова И.А., д-р техн. наук, профессор;
Лазаренков А.М., д-р техн. наук, профессор;
Алексеев Ю.Г., канд. техн. наук, доцент;
Слуцкий А.Г., канд. техн. наук, доцент;
Керженцева Л.Ф., канд. техн. наук, доцент;
Меженцев А.А., канд. техн. наук, доцент

РАБОЧАЯ ГРУППА

Любимов В.И., канд. техн. наук, доцент;
Рафальский И.В., канд. техн. наук, доцент;
Пантелеенко А.Ф., ассистент;
Вейник В.А., ст. преподаватель;
Одинокко В.Ф., канд. техн. наук, доцент;
Наumenко А.М., канд. техн. наук, доцент;
Проворова И.Б., ст. преподаватель;
Ратников П.Э., канд. техн. наук, доцент;
Гмырак В.Н., помощник ген. директора НТП БНТУ «Политехник»

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Билиба Н.Э.

СЕКРЕТАРЬ РАБОЧЕЙ ГРУППЫ

Кулинич И.Л.

В настоящий сборник включены материалы докладов XV Республиканской студенческой научно-технической конференции «Новые материалы и технологии их обработки», участники которой выступали по следующим направлениям: «Литейное производство чёрных и цветных металлов», «Материаловедение в машиностроении», «Машины и технология литейного производства», «Машины и технология обработки металлов давлением», «Металлургические процессы», «Порошковые и композиционные материалы, покрытия и сварка», «Химические технологии», «Молодёжные инновационные проекты. Организация и управление инновационными предприятиями при университетах».

В 2014 году исполняется 90 лет со дня рождения известного ученого в области литейного производства, лауреата Государственной премии БССР, заслуженного деятеля науки Республики Беларусь, доктора технических наук, профессора Дмитрия Николаевича Худокормова



Дмитрий Николаевич родился 28 августа 1924 года в с. Звягино Пушкинского района Московской области. В 1942 году он становится курсантом пехотного училища и после его окончания в 1943 году участвует в боевых действиях на фронтах Великой Отечественной войны. После демобилизации из армии Д. Н. Худокормов поступает в Челябинский механико-машиностроительный институт. В 1947 году он переводится в Московский автомеханический институт (МАМИ) и в 1950 году с отличием заканчивает его по специальности «Машины и технология литейного производства». Свою трудовую деятельность Д.Н. Худокормов начал в 1950 году мастером на заводе им. С. Орджоникидзе (г. Челябинск), где проработал 4 года. За эти годы он работал мастером, старшим мастером, заместителем главного металлурга и начальником ОТК.

В 1955 году Дмитрий Николаевич поступает в аспирантуру МАМИ. В июне 1957 года после успешной защиты диссертации ему присуждается ученая степень кандидата технических наук.

С 1957 по 1960 годы он работает доцентом кафедры «Металловедение и литейное производство», а затем деканом металлургического факультета Челябинского политехнического института.

С 1960 года научная и педагогическая деятельность Д.Н. Худокормова связана с Республикой Беларусь. До 1963 года он работает начальником металлургической лаборатории Минского филиала НИИТавтопрома, а затем в Белорусском политехническом институте, где прошел путь от старшего преподавателя кафедры «Технология металлов» до заведующего кафедрой «Литейное производство черных и цветных металлов» (ныне «Металлургия литейных сплавов») и проректора института по научной работе.

В июне 1968 года Дмитрию Николаевичу присуждается ученая степень доктора технических наук, а в апреле 1969 года - ученое звание профессора. 1 апреля 1969 года им организуется кафедра «Литейное производство черных и цветных металлов», которую он возглавлял в течение 24 лет, а потом работал в должности профессора кафедры еще 14 лет. За этот период им была проделана большая работа по созданию высококвалифицированного научно-педагогического коллектива, организации учебно-воспитательного процесса, научных исследований, совершенствованию методики преподавания. В течение пяти лет Д.Н. Худокормов работал проректором института по научной работе, более 10 лет был членом экспертного совета ВАК СССР, более 20 лет председателем специализированного совета по защите доктор-

ских и кандидатских диссертаций. Им опубликовано свыше 340 научных работ, подготовлено 35 кандидатов и 2 доктора технических наук.

В 1978 году Д.Н. Худокормов был удостоен Государственной премии БССР.

К сожалению, 6 октября 2012 года после непродолжительной болезни Дмитрий Николаевич ушел из жизни.

Широкую известность и признание получили работы, выполненные Д.Н. Худокормовым и его учениками по микролегированию чугунов и цветных сплавов, по защите воздушного бассейна от выбросов плавильных агрегатов и стержневого оборудования, исследования по использованию металлизированных окатышей, в том числе и из руд Белорусских месторождений, для производства отливок из высокопрочного чугуна и стали.

Он был инициатором привлечения студентов к научно-исследовательской работе и создания учебно-научно-производственных объединений с предприятиями Республики.

Большой популярностью у ученых и инженерно-технических работников пользуются книги Д.Н. Худокормова «Роль примесей в процессе графитизации чугуна» и «Производство отливок из чугуна». Его ученики успешно трудятся на различных должностях в Российской Федерации, в Украине, в Республике Беларусь, в странах дальнего зарубежья.

Боевые и трудовые заслуги Дмитрия Николаевича Худокормова отмечены орденами Красной Звезды, Отечественной войны I степени, Трудового Красного Знамени, рядом боевых и юбилейных медалей, двумя Почетными грамотами Президиума Верховного Совета БССР, Почетными грамотами МВО СССР, БССР, БНТУ.

**Литейное
производство
чёрных и цветных
металлов**

Создание эффективной технологии получения высококачественной литой заготовки является сложной инженерной задачей и зависит, в первую очередь, от опыта и профессиональных качеств инженера-литейщика. Однако использование связки «универсальная САД система – литейная САПР» может существенно облегчить и ускорить процесс проектирования.

Первым этапом при этом является создание трёхмерной модели отливки и литниково-питающей системы с использованием любой системы трёхмерного моделирования, в которой имеется соответствующий конвертер, позволяющий преобразовывать файлы САД программы в универсальный формат обмена данными, который понимает САПР. Технолог при этом может проводить все расчеты, на базе которых строится 3D модель, вручную, исходя из имеющихся методик и собственного опыта.

Ускорить выполнение математических расчетов с использованием справочных данных можно несколькими способами:

1. Самостоятельно автоматизировать расчеты, используя базовые знания в области программирования и САПР. При этом можно написать самостоятельное приложение для Windows на любом из языков программирования (Delphy, VBA и др.) для расчета параметров ЛПС. Те же алгоритмы расчета можно реализовать и с использованием языков программирования, интегрированных в САПР («Solid Works», например, поддерживает внутреннее программирование на VBA), и получать в результате расчётов не только данные для построения моделей, но и организовать автоматическую генерацию 3d моделей и чертежей по этим данным.

2. Использовать готовое программное обеспечение различных разработчиков. В рамках выполнения магистерской диссертации выпускником кафедры «Металлургия литейных сплавов» Цукановым С.В. был создан комплекс программ на языке программирования C++, обеспечивающий получение данных по ЛПС для стального литья.

Другим примером готовых решений является САПР литейных технологий «Foundry Expert», разработчиком которой является ООО «Новатор» (Украина). Данная система представляет собой дополнительный модуль, который работает внутри САПР «Solid Works». Система обеспечивает разработку технологии всех этапов получения стальных отливок: автоматическое определение плоскостей разъема; проектирование и расчет литниковых систем; формирование стержней и знаков; расчет припусков; расчет формовочных уклонов; поиск тепловых узлов, расчет и расстановку прибылей; проектирование холодильников; расстановку жеребеков; определение размеров опок или ямы.

Система предоставляет проектировщику возможность выбора на любой стадии разработки технологии как автоматического режима расчетов, так и ручного. В последнем случае специалист сам принимает решения, на основании которых САПР производит расчет геометрических параметров по заложенным разработчиками методикам и модифицирует исходную 3D модель детали в модель отливки. При этом автоматически производится проверка на проливаемость отверстий детали и не проливаемые отверстия глушатся, наносятся припуски, создаются стержни и стержневые знаки, строятся прибыли, литниковая система, выпора, создаются модели полуформ, генерируется чертежная документация и технологические карты.

Пользователь также имеет возможность доступа к сформированным разработчиком базам данных и методикам, используемых системой для расчетов. Базы данных можно самостоятельно редактировать и пополнять в соответствии с конкретными условиями.

Полученные модели полуформ верха и низа в дальнейшем вместе с моделью отливки можно использовать для расчетов процессов заполнения формы и кристаллизации расплава в любой специализированной литейной САПР (Полигон, ProCast и др.).

УДК 669.715

Перспективы использования вторичного алюминиевого металлосырья и кварцосодержащих материалов для получения марочных силуминов

Студенты гр. 104119 Дик А.Б., Рохоцевич В.В., гр. 104110 Фурсевич Т.М.
Научные руководители Арабей А.В., Рафальский И.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Несмотря на широкое распространение в земной коре алюминия и кремния (26,0 и 7,5 %, соответственно), процесс получения алюминия и сплавов на его основе остается сложным и энергоемким, что и объясняет их высокую стоимость. Рост потребления алюминия и его сплавов в различных отраслях промышленности с учетом сокращения мировых запасов бокситов стимулирует поиск альтернативных технологий получения силуминов. Эта проблема особенно актуальна для Республики Беларусь, в которой отсутствует собственное производство первичного алюминия, а потребность в алюминиевых сплавах частично компенсируется за счет выплавки силуминов с использованием вторичного алюминиевого сырья с подшихтовкой кристаллическим кремнием, который в основном импортируется из Российской Федерации.

Динамика изменения стоимости вторичного алюминия и кристаллического кремния в Республике Беларусь свидетельствует о тенденции роста цен на кремний, лом и отходы алюминия и его сплавов, при общем превышении стоимости кремния над вторичным алюминиевым сырьем в 2–2,5 раза.

Следует отметить, что при плавке вторичного алюминия расходуется около 5 % энергии относительно ее затрат на производство первичного алюминия. Например, для производства 1 т первичного алюминия требуется около 15000 кВт·ч электроэнергии, в то время как для производства вторичного только 550 кВт·ч. Таким образом, экономится более чем 95 % энергии, необходимой для производства алюминия из первичного сырья.

Количество вторичных сплавов, которые можно добавлять в шихту, определяется прежде всего химическим составом получаемых сплавов и лигатур и требованиями к качеству литых изделий. Применение вторичных сплавов ограничивается, как правило, высоким содержанием в них вредных примесей (железа, магния, цинка, неметаллических включений и др.).

Одним из источников металлоотходов являются магнийсодержащие деформируемые и литейные сплавы, содержание магния в которых доходит до 13 %. В процессе выплавки силуминов осуществляется получение марочных сплавов с содержанием магния до 1,35 %, следовательно, значительная часть вторичного металлосырья не может быть использована для производства марочных сплавов из-за превышения установленных стандартами требований по химическому составу (в частности, по содержанию магния). В связи с этим при переработке магнийсодержащих отходов алюминиевых сплавов требуется проводить многократную металлургическую обработку расплава специальными флюсами и реагентами для удаления магния из расплава в шлак до заданного уровня. В качестве компонентов, обеспечивающих удаление магния из расплава, применяются хлор-, фтор-, серо- и кислородсодер-

жащие реагенты. Однако использование хлоридов, фторидов и серосодержащих реагентов приводит к существенным экологическим проблемам на производстве.

Анализ литературных данных показал, что получение сплавов и лигатур на основе системы алюминий-кремний осуществляться следующими основными способами:

- 1) сплавлением шихтовых материалов;
- 2) восстановлением легирующего компонента из его соединений.

Основными достоинствами способа получения сплавов и лигатур на основе системы Al–Si непосредственным сплавлением шихтовых материалов являются высокая производительность и возможность получения сплавов с низкой загрязненностью металлическими примесями и неметаллическими включениями со строго заданным химическим составом и необходимыми физико-химическими и механическими свойствами. Однако данный способ обладает рядом недостатков: большие безвозвратные потери металла (алюминия до 10 % и легирующих компонентов до 25 %), низкое усвоение кремния мелких фракций (менее 5–6 мм), высокие энергетические затраты. Следует отметить, что получение сплавов системы Al–Si на основе технологического процесса сплавления компонентов предполагает наличие двух металлургических производств – первичного алюминия и кристаллического кремния.

Получение сплавов системы алюминий-кремний методом восстановления кремния из его оксидов алюминием основано на возможности протекания реакции:



С учетом стоимости шихтовых материалов синтез алюминиевых сплавов методом прямого восстановлением кремния из кремнезема может позволить сократить материальные затраты. Ориентировочный расчет затрат на материалы, применяемые для получения сплавов системы Al–Si из лома и отходов алюминиевых сплавов с использованием формовочного кварцевого песка марки 2K₂O₂O₃ взамен кристаллического кремния, показывает, что при получении синтетического сплава системы Al–Si с содержанием кремния в сплаве около 30 % экономия материалов может составить свыше 350 дол. США на тонну сплава (при использовании лома алюминиевых сплавов с повышенным содержанием магния). При этом показатели ресурсосбережения существенно повышаются при получении высококремнистых сплавов системы Al–Si.

УДК 669.715

Анализ технологических решений получения алюмоматричных композиционных сплавов, упрочненных дисперсными материалами

Студенты гр. 104110 Киселев Р.В., Тетерина Т.С., Джураев Т.Х.,
гр. 104119 Иваненко О.С.

Научные руководители Арабей А.В., Рафальский И.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В последние десятилетия значительный научный и практический интерес вызывают вопросы получения алюмоматричных композиционных сплавов, т.е. сплавов на основе алюминия, упрочненных различными дисперсными материалами (наполнителями), в частности, оксидами, карбидами, нитридами и другими неметаллическими материалами, с целью повышения физико-механических свойств. В этом направлении непрерывно ведется активный научный поиск, в том числе по созданию эффективных способов введения дисперсных частиц упрочняющей фазы в виде оксидов различных элементов в алюминиевые сплавы.

Алюмоматричные композиционные сплавы обычно используются в аэрокосмической промышленности, автомобилестроении (например, изготовление жаропрочных деталей вы-

соконагруженных двигателей, деталей тормозных дисков, карданных валов, блоков цилиндров повышенной износостойкости и др.), строительной индустрии. Использование алюминиевых сплавов в качестве металлической основы является предпочтительным ввиду их очевидных сравнительных преимуществ перед другими сплавами, включая низкую стоимость, высокие технологические и эксплуатационные свойства. Структура дисперсно-упрочненных композиционных сплавов представляет собой металлическую матрицу, в которой равномерно распределены дисперсные частицы упрочняющей фазы. Часто при производстве композиционных материалов используются достаточно доступные материалы, имеющие относительно невысокую стоимость, и в ряде случаев являющиеся побочными продуктами различных технологических процессов (например, SiO_2 , SiC , Al_2O_3 , алюмосиликаты, зола, графит и др.).

В зависимости от агрегатного состояния металлической основы получение композиционных материалов на основе алюминия могут осуществлять следующим образом:

- твердофазные процессы (в том числе методы порошковой металлургии);
- жидкофазные процессы (методы жидкого прессования, вортекс-процесс, методы механического и электромагнитного замешивания, замешивания с подачей газовой среды, вакуумной и компрессионной пропитки, плазменной инъекции, центробежного литья, литье под низким и высоким давлением, лигатурный метод, в том числе метод легирования таблетками и порошковыми брикетами и др.);
- жидко-твердофазные процессы, в которых ввод частиц наполнителя осуществляется в интервале кристаллизации сплавов, включая композиционное литье жидко-твердых суспензий (semi-solid процесс).

Преимущество жидкофазных технологий получения алюмоматричных композиционных сплавов является простота технологического процесса, минимальные припуски на механическую обработку, низкие затраты времени на подготовку технологического процесса. Однако жидкофазные технологии имеют и ряд недостатков, связанных с проблемой смачивания частиц упрочняющей фазы расплавом, что затрудняет широкое освоение этих методов в промышленности. Также из-за низкой смачиваемости частиц кремнезема расплавом алюминия затруднен их ввод в матричный расплав с использованием технологий суспензионной разливки.

Смачивание вводимых в расплав частиц обеспечивает непрерывный физический контакт между фазами, необходимый для достижения прочных адгезионных связей. Однако проведенные многочисленные исследования показали, что большинство вводимых в расплав алюминия частиц (оксиды, карбиды) обладают краевым углом смачивания, превышающим 90° , а, следовательно, не смачиваются расплавом. Данный факт является основной причиной, затрудняющей использование простых и экономичных жидкофазных технологий получения алюмоматричных композиционных сплавов.

Анализ литературных данных показал, что дисперсные материалы, не смачиваемые расплавом алюминия (карбиды, нитриды, оксиды и др.), могут быть введены в него с использованием методов принудительного воздействия на компоненты системы: интенсивным механическим замешиванием (вортекс-процесс), вдуванием в расплав с помощью плазменной струи аргона или другого инертного газа (инъекционный метод), методами реакционного литья (in-situ), центробежного литья, вакуумной и комплексной пропитки, введением в расплав в виде спеченных или спрессованных брикетов. В некоторых технологических процессах для улучшения смачивания дисперсных частиц при их вводе в расплав на частицы наносят специальные покрытия методами химического или газофазного осаждения, модифицируют расплав поверхностно-активными добавками (Li, Na, Mg, Ca).

Однако использование большинства описанных методов ввода дисперсных частиц в матричный расплав характеризуются высокими технологическими и экономическими затратами. Более простым и технологичным способом ввода несмачиваемых частиц в расплав алюминия является жидкофазная технология вортекс-процесса, при которой используется

интенсивное механическое перемешивание расплава и частиц наполнителя. Тем не менее и этот метод обладает рядом существенных недостатков: ограничение по размерам дисперсной фракции, трудность реализации интенсивного перемешивания большого объема расплава в условиях реального производства, окисление и газонасыщение расплава, высокая скорость износа (коррозии) импеллера.

Получение алюмоматричных композиционных сплавов в жидко-твердом состоянии с дисперсными наполнителями имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с жидкофазной технологией:

- обеспечивается возможность замешивания и равномерного распределения высокодисперсных частиц материалов, не смачиваемых расплавом алюминия в обычных условиях, в металлической матрице;

- не требуется высокая скорость перемешивания сплава с и, как следствие, существенно снижается стоимость оборудования для приготовления металломатричных композиционных материалов;

- снижаются энергозатраты, связанные с перегревом расплава выше температуры ликвидус.

К недостаткам процесса следует отнести низкую жидкотекучесть алюмоматричной композиции.

УДК 669.715

Анализ методов неразрушающего контроля для адаптивной информационной системы качества продукции литейного производства

Студенты гр. 104119 Поворотный Ю.С., Романов А.А.,
гр. 104110 Никитюк П.А.

Научные руководители Рафальский И.В., Арабей А.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Благодаря успехам, достигнутым в последние годы в области разработки аппаратных средств измерений и методов обработки данных, точность и возможности систем контроля качества литейной продукции в режиме реального времени значительно возросли. Однако практическая реализация и широкое применение систем экспрессного контроля на технологических этапах выплавки и обработки сплавов, используемых для получения литых изделий, сдерживается рядом причин: необходимостью постоянной корректировки математических моделей при изменении технологических условий процессов получения сплава (адаптация системы к изменяющимся технологическим условиям); сложностью выделения параметров, используемых для контроля технологических процессов выплавки и обработки сложнолегированных многокомпонентных литейных сплавов.

При математическом моделировании и формализованном описании объектов контроля качества в литейном производстве прежде всего принимают во внимание такие физические и химические процессы, как массо- и теплообмен между компонентами металлической системы и с окружающей средой, протекающие химические реакции и изменение химического состава сплавов, изменения агрегатного состояния, тепловые эффекты химических и физических процессов в процессе плавки и затвердевания отливок.

В процессе плавки литейного сплава, в общем случае, осуществляют контроль следующих параметров: содержание основных элементов химического состава; температура расплава; технологические свойства, определяемые методом отбора и анализа проб.

Одним из основных методов получения данных о свойствах литейных сплавов при диагностике процессов литья является термография, или термический анализ (ТА). Научные работы в области термического анализа, посвященные изучению диаграмм состояния сплавов

и зависимостей между их свойствами и составом, позволили впервые осуществить систематическое исследование литейных сплавов. Являясь высокочувствительным методом измерения теплофизических характеристик, ТА широко используется не только в научных целях, но и для решения практических задач экспрессного контроля качества литейных сплавов.

В настоящее время ТА является широко распространенным методом быстрого и точного экспресс-анализа литейного чугуна, стали и цветных литейных сплавов, проводимым непосредственно на рабочей площадке плавильных агрегатов. Метод позволяет, например, определять углеродный эквивалент (CE, %), содержание углерода (C, %) и кремния (Si, %) в литейных чугунах, эффективность модифицирования и инокуляции, углеродный эквивалент и степень раскисления стали, степень измельчения зерна, характеристики микроструктуры модифицирования алюминиевых литейных сплавов и другие свойства сплавов. В металлургии данный метод анализа широко используют для определения температур начала и конца кристаллизации сплава при затвердевании жидкой фазы, определения объемной доли твердой фазы в интервале кристаллизации сплава.

Также широкое применение в производстве литых изделий нашли методы неразрушающего контроля качества (НKK), не нарушающих целостность контролируемого изделия и изменения его структуры и свойств в процессе контроля. Используемые методы НKK литейной продукции, как правило, предназначены для обнаружения скрытых дефектов в слитках, отливках и готовых изделиях. Методы НKK основываются на регистрации и анализе результатов взаимодействия физических полей (излучений) или веществ с объектом контроля, при этом характер этого взаимодействия зависит от химического состава, строения, состояния структуры контролируемого объекта.

Наиболее широкое применение для контроля скрытых макро- и микродефектов получили акустический, магнитный, вихретоковый, радиационный и проникающими веществами (капиллярный) методы. Акустический неразрушающий контроль относится к числу наиболее универсальных методов НKK и может применяться для литых изделий, получаемых из черных и цветных металлов, отливок сложной конфигурации и больших типоразмеров.

В низкочастотных акустических методах анализу подвергают частоты собственных колебаний изделия, связанных с его структурой и свойствами. Эти методы являются одними из самых простых и надежных для решения задач НKK литых изделий различных сложных форм и размеров. Методы неразрушающего низкочастотного акустического контроля обеспечивают информацией о значениях собственных (резонансных) частот колебаний литых изделий (или технологических проб).

В связи с этим в работе в качестве параметров контроля использовали данные, полученные с использованием методов термического анализа затвердевающей пробы расплава для определения параметров затвердевания и акустического анализа технологической U-образной пробы сплава для определения частот собственных колебаний. Использование указанных методов обеспечивает возможность проведения мониторинга за состоянием технологических процессов получения сплавов и литых изделий с соблюдением требований активного неразрушающего контроля, при котором не только не должна быть нарушена целостность готовой продукции, но и обеспечена возможность принятия оптимизирующих управленческих решений в процессе производства литых изделий.

Студентки гр. 104119 Иваненко О.С., Лавринчик Е.Г.
Научный руководитель Довнар Г.В., консультант Андриц А.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью данной работы является определение направлений рециклинга элементов питания путем анализа данных литературных источников.

Объект исследования – элементы питания – химические источники тока, предмет – нейтрализация их вредного воздействия на окружающую среду после выхода из употребления и извлечение ценных компонентов.

Гальванические элементы – это химические источники электрического тока, и их действие основано на процессе протекания окислительно-восстановительной реакции при взаимодействии двух металлов через электролит, приводящем к возникновению в замкнутой цепи электрического тока.

Химические источники тока подразделяются на: первичные, используемые однократно («батарейки»); вторичные, используемые многократно за счет частичного восстановления активных веществ путем заряда (аккумуляторы); топливные элементы, в которых окислитель и восстановитель непрерывно подаются к катоду и аноду, а материал самих электродов в реакциях не участвует.

К первичным источникам тока относят: марганцево-цинковые с соевым электролитом, марганцево-цинковые с щелочным электролитом, ртутно-цинковые и ртутно-кадмиевые источники тока, серебряно-цинковые, медно-цинковые, воздушно-цинковые, литиевые с твердыми катодами и апротонным электролитом, литиевые источники тока с жидким или растворенным окислителем, йодно-литиевые с твердым электролитом.

Аккумуляторы бывают: никель-кадмиевые (Ni-Cd), никель-металлогидридные (Ni-MH), никель-цинковые, серебряно-цинковые и серебряно-кадмиевые, никель-водородные, литий-ионные аккумуляторы (Li-ion), литий-полимерные аккумуляторы (Li-pol).

Как правило, элементы питания выполняются герметичными дисковой, цилиндрической или призматической формы. Применение имеет достаточно широкий диапазон – от бытовых агрегатов до электронной вычислительной техники. По мере поступления в негодность источников тока, их необходимо собирать и утилизировать.

Химический состав гальванических элементов включает в себя ряд соединений из следующих компонентов: Mn, Cr, Cu, Ni, Zn, Hg, Li, Cd, Co, Al, Pb, Si, Ti, Ca, V, Fe, Cl, C, некоторые из которых являются тяжелыми металлами и при попадании в окружающую среду (в результате коррозии или механического повреждения), представляют серьезную угрозу. Это немаловажный фактор для рассмотрения вопроса о нейтрализации вредного воздействия. Кроме того, гальванические элементы являются ценными источниками вторичных материалов, извлечение которых способствует решению ряда задач по ресурсосбережению и импортозамещению. При извлечении ценных компонентов появляется возможность получения чистых металлов, сплавов на основе тяжелых цветных металлов и лигатур.

Учитывая недостаточно развитую систему сбора батареек и относительно небольшое общее количество используемых элементов питания, но широкую номенклатуру на территории Республики Беларусь, наиболее целесообразно рассматривать разработку комплексных способов переработки различных типов и видов источников питания с минимизацией сортировочных операций.

Главной задачей в данном случае должна стать нейтрализация вредного воздействия составляющих компонентов, предпочтительно ликвидных, получением нейтральных соединений.

УДК 621.352.1-049.7

Выбор оптимального способа переработки химических источников тока, вышедших из употребления

Студентки гр. 104119 Иваненко О.С., Толкач В.А.
Научный руководитель Довнар Г.В., консультант Андриц А.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время широкое распространение получил ряд мероприятий по сбору и утилизации отработанных элементов питания, поскольку входящие в их состав металлы и их соединения (никель, кадмий, марганец, ртуть и др.) представляют потенциальную угрозу окружающей среде и здоровью живых организмов. Кроме того, на территории Республики Беларусь весьма ограничен запас собственных природных ресурсов, что делает целесообразным совершенствование технологий в области переработки вторичных материалов. В данном случае источником ценного сырья служат компоненты вышедших из строя гальванических элементов.

Таким образом, целью данной работы является выбор оптимальной технологии переработки элементов питания, которая позволит не только решить проблему нейтрализации их вредного воздействия, но и обеспечит эффективное извлечение ценных компонентов.

Наиболее распространенные из существующих способы переработки гальванических элементов - электрохимические (гидрометаллургические) и пирометаллургические. Однако вместе с тем применяются и прочие способы рециклинга, например, с помощью ультразвука и др. Кроме того стоит отметить, что основные методы переработки требуют разделения сырья на группы использования в зависимости от типа химического источника тока и его состава (первичные цинк-марганцевые, вторичные никелевые и литиевые), т.е. для каждого типа химического источника тока применяется своя технология.

Учитывая недостаточно развитую систему сбора отработанных химических источников тока в нашем государстве, но их достаточно широкую номенклатуру, необходима разработка технологий использования сырья с высокой степенью извлечения составляющих компонентов при небольших затратах на процесс. Таким требованиям наиболее полно отвечают комплексные способы переработки, позволяющие оптимизировать технологический процесс получением комплекса соединений.

Литературные данные по процессам переработки ХИТ указывают на то, что основными способами являются гидрометаллургические. Пирометаллургические методы – энергоемки и неэффективны, потому их применение сводится лишь для получения продуктов, которые иным путем произвести невозможно. При этом теряется значительная часть ценных компонентов.

В качестве оптимальной технологии можно привести следующую.

Сначала производится ручная сортировка на конвейере с отделением никель-кадмиевых элементов и пластмассовых крупногабаритных блоков, требующих отдельной разборки; после этого происходит разделение на типы с помощью щелевого сита. Подобная процедура позволяет выделить три основные группы ХИТ, переработка которых будет производиться в отдельных циклах. К 1-й группе относятся никель-кадмиевые элементы, ко 2-й - литиевые плоские батареи от мобильных телефонов, а также крупные литиевые «таблетки» от фонарей и процессоров; 3-я группа включает солевые цинк-марганцевые, щелочные цинк-

угольные пальчиковые элементы и мелкие «часовые» таблетки – в основном щелочные цинк-угольные элементы.

Схема переработки I группы (никель-кадмиевые элементы) состоит в последовательности операций: размол с отделением в обособленные продукты (пластик и бумага, металлические корпуса и контакты, угольный порошок, в котором сосредоточены: щелочь, кадмий и никель в форме гидратированных окислов); восстановительный обжиг при $t = 800^{\circ}\text{C}$ угольного порошка в ретортной печи. Далее угольный остаток с восстановленным никелем подвергаются магнитной сепарации с отделением никелевого порошка и производят брикетирование угольного порошка, пластика и бумаги в брикеты для металлургических целей.

Получаемые продукты: угольные брикеты на полимерно-целлюлозной связке, железно-никелевый скрап, чушковый кадмий, кусковая щелочь. Возможно получение отдельно никелевого порошка или никелевых гранул.

Переработка литиевых элементов II группы реализуются в следующей последовательности: размол с разделением на продукты (пластик и бумага, металлические корпуса, электроды, контакты, активная масса, содержащая уголь, кобальт, литий в форме окислов в щелочи); восстановительный обжиг при 800°C активной массы для восстановления кобальта из окиси; магнитная сепарация кобальта из активной массы; выщелачивание водой гидроокиси лития; вакуумное выпаривание раствора с осаждением моногидрата гидроокиси лития.

Получаемые продукты: угольные брикеты на полимерно-целлюлозной связке, железно-никелевый скрап, порошок кобальта, моногидрат гидроокиси лития.

Переработка солевых и щелочных цинк-угольных и цинк-марганцевых элементов III группы включает операции: размол с разделением на продукты (пластик и бумага, железно-никелевый скрап, цинковый скрап, угольная набивка, содержащая марганец, цинк, соли и щелочи); дистилляционный восстановительный обжиг угольной массы с дробной кристаллизацией цинка, хлорида цинка и щелочи; магнитная сепарация марганца из угольной массы.

Получаемые продукты: угольные брикеты на полимерно-целлюлозной связке, железно-никелевый скрап, цинк чушковый, хлорид цинка, щелочь, марганцевый концентрат.

Все процессы переработки различных типов элементов питания осуществляются на однотипном оборудовании.

Предложенные способы являются наиболее эффективными, однако необходимо еще проводить исследования для разработки общего процесса, позволяющего осуществлять переработку всех типов ХИТ в одном производственном цикле.

УДК 669.054.82

Анализ способов переработки сталеплавильных шлаков

Студенты гр. 104110 Однолько А.С., гр.104111 Ковалев А.А.

Научный руководитель Немененок Б.М.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Наиболее крупнотоннажными отходами производства, образующимися при выплавке стали в электродуговых печах, являются сталеплавильные шлаки.

В процессе плавки образование шлака неизбежно и необходимо. Основными функциями сталеплавильного шлака являются: поглощение и удаление из расплавленного металла вредных примесей и защита расплавленного металла от насыщения газами, содержащимися в атмосфере печи.

Этапы переработки и утилизации всей массы образующихся шлаков являются обязательным элементом безотходной технологии.

Во-первых, многочисленные шлаковые отвалы и связанные с этим отчуждения земельных угодий, образование пыли, отрицательное воздействие на воздушный и водный бассей-

ны вредны и экологически недопустимы; во-вторых, утилизация отходов экономически выгодна.

Основными путями утилизации шлаков сталеплавильного производства являются:

- 1) извлечение металла;
- 2) получение железобитума для вагранок;
- 3) получение щебня для дорожного и промышленного строительства;
- 4) использование основных шлаков в качестве известковых удобрений (шлаковой муки) для сельского хозяйства;
- 5) использование фосфорсодержащих шлаков для получения удобрений для сельского хозяйства;
- 6) вторичное использование конечных сталеплавильных шлаков.

Сталеплавильные шлаки в зависимости от дальнейшего использования можно условно разделить на несколько групп:

а) шлаки, образующиеся в начальный (окислительный) период плавки, которые содержат большое количество оксидов железа FeO и Fe_2O_3 (иногда до 40 % от общего количества шлака) и застрявшие в шлаке корочки чистого железа. Основность этих шлаков невелика и они могут храниться и перерабатываться отдельно;

б) шлаки, сформировавшиеся в конце плавки, которые имеют более высокие значения основности ($CaO/SiO_2 = 2,5 \div 3,5$) и содержат меньшее количество железа. При проведении восстановительного периода под белым или карбидным шлаком содержание оксидов железа составляет менее 1 %. Такие шлаки можно оставлять в агрегате для использования в следующей плавке или после выпуска вновь загружать в печь;

в) шлаки, попадающие в сталеразливочный ковш с выпускаемой сталью, в жидком состоянии содержат незначительное количество железа и после окончания разливки вместе с остатками металла на днище и стенках ковша попадают в шлаковые чаши. Полученный конгломерат конечного шлака и скрапин металла подвергают разделке с целью максимального извлечения металла.

В среднем в сталеплавильных шлаках содержится (в пересчете на чистое) 20-25 % железа, в том числе 10-15 % металлического железа, которое затрудняет дальнейшую переработку шлака, поскольку для его помола требуется мощное дробильное оборудование. Измельчение шлака до кусков с размерами 25-27 мм позволяет извлечь до 15 % металла от масс шлака, что экономически оправдывает все затраты на помол и извлечение.

Учитывая опыт обращения со сталеплавильными шлаками на металлургических заводах Евросоюза и России, на ОАО «БМЗ» наращиваются производственные мощности по переработке данного отхода производства с получением шлакового щебня для дорожного строительства и шлакового песка.

Особую важность приобретает переработка сталеплавильных шлаков при выплавке легированных сталей, позволяющая сберечь десятки тонн легирующих элементов. В большинстве случаев использованию в качестве строительного материала предшествует его выдержка в отвалах. Затем шлак измельчают и направляют на магнитную сепарацию для извлечения металла. Щебень из сталеплавильных шлаков является полноценным заменителем гранитного щебня в бетонах и железобетонах. В связи с этим на ряде металлургических предприятий переработке подвергается практически весь сталеплавильный шлак. При этом получают значительное количество щебня, шлаковой муки, фосфатшлака и извлеченного металла.

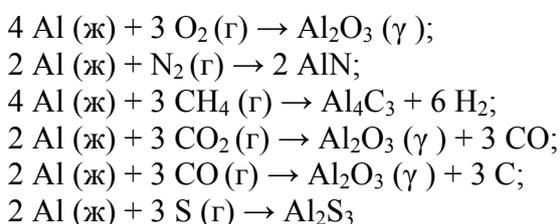
Студенты гр. 104110 Никитюк П.А., Свиридов С.А.
 Научный руководитель Немененок Б.М.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Основными процессами при производстве вторичного алюминия, от которых могут происходить выбросы, являются:

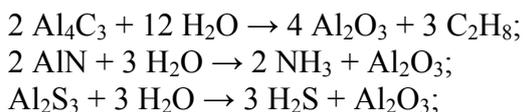
- складирование и транспортировка сырьевых материалов;
- расплавление металла;
- легирование с добавлением необходимого количества требуемых металлов;
- промежуточное хранение расплавленного металла в печах выдержки;
- рафинирующая обработка расплава;
- подготовка изложниц;
- разливка металла в изложницы;
- удаление отходов из печи и ремонт футеровки.

Для каждого из этих технологических процессов имеется множество различных технологий, каждая из которых отличается уровнем влияния на атмосферный воздух. Считается, что основные атмосферные выбросы включают: летучие органические соединения и душистые вещества; металлические частицы и пыль; дым от технологических процессов; диоксины и фураны из очищаемых расплавов. Сюда следует отнести и потенциальные загрязнители, которые образуются в процессе переработки окрашенного и/или загрязненного компонентами органики, эмульсий и маслами алюминиевого лома.

При плавке отходов алюминия в пламенных печах, возможно его взаимодействие с компонентами газовой фазы по реакциям:



В результате в алюминиевый шлак попадают нитриды, сульфиды и карбиды алюминия, способные к гидролизу во влажной атмосфере. На практике наличие нитрида алюминия можно определить в дождливую погоду по резкому аммиачному запаху, наличие карбидов дает специфический запах ацетиленового запаха, причем реакция протекает с выделением большого количества тепла и нагревом шлака. Присутствие в шлаках сульфида алюминия приводит к образованию сероводорода:



Таким образом, важное значение для экологической ситуации имеют условия охлаждения и хранения горячего шлака. В случае его складирования на открытых площадках происходит не только выделение вредных газов, но безвозвратная потеря значительной части металлического алюминия (до 22 %) с образованием Al_2O_3 . Поскольку горячий алюминиевый шлак способен к саморазогреву за счет протекающих термических реакций, то существует большая вероятность возгорания продуктов гидролиза. Рассматривая суммарный процесс

образования AlN , Al_2S_3 и Al_3C_4 и основной вклад продуктов гидролиза данных соединений, загрязняющих атмосферу, авторы работы делают вывод, что приоритетное место занимают продукты химических превращений AlN и Al_3C_4 . Это обусловлено тем, что в воздухе содержится до 78 % азота, а в природном газе или печном топливе углерод составляет основную массу.

Применительно к складским запасам алюминиевых шлаков на ОАО «Белцветмет» возможно выделение до 79 т веществ 4-го класса опасности (аммиак и пропан), до 3 т веществ без класса опасности (ацетилен) и до 7 т веществ 2-го класса опасности (сероводород).

УДК 669.71

Повышение срока службы футеровки пламенных печей для плавки силуминов

Магистрант Вольский Е.А., студентка гр. 104111 Горбель И.А.
 Научный руководитель Немененок Б.М.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Анализ работы плавильных печей цехов и участков алюминиевого литья показал, что срок службы футеровки во многом зависит от типа, назначения, емкости печи, марок выплавляемых сплавов, режима работы печи, вида шихты и способа ее загрузки.

Футеровка печей в процессе эксплуатации подвергается воздействию многих разрушающих факторов, среди которых необходимо выделить механическое и физическое воздействие, а также химическое взаимодействие.

В алюмосиликатных огнеупорах химическое взаимодействие с расплавом алюминия протекает с первых дней службы. На поверхности огнеупоров при контакте с расплавом алюминия имеет место смачивание и межфазная реакция, в результате которых расплав алюминия по порам проникает вглубь огнеупора. Установлено, что футеровка из огнеупоров ШБ при плавке алюминиевых сплавов через год эксплуатации перерождается на 80-90%. При этом содержание SiO_2 в огнеупорах снижается с 61,5 до 2,06 %, а содержание Al_2O_3 повышается с 23,7 до 82,5 % и в составе огнеупоров появляется около 7,6 % Al . Металлизация огнеупоров приводит к увеличению теплопроводности рабочего, а затем и теплоизоляционного слоя вследствие кристаллизации металла в порах огнеупора. Взаимодействие алюмосиликатных огнеупоров с расплавами алюминия развивается от поверхности контакта вглубь кладки не равномерно, а с опережением в местах прохода металла по трещинам и неплотностям.

С целью выбора наиболее устойчивых к расплаву алюминия футеровок анализировали их составы (таблица 1) и зависимость стандартного изобарного потенциала образования некоторых оксидов от температуры (рисунок 1).

Учитывая, что степень химического взаимодействия огнеупорного материала с расплавом должна быть минимальна, в составе огнеупора нежелательно большое содержание оксидов, способных восстанавливаться жидким алюминием. Из рисунка 1 следует, что оксиды, расположенные выше Al_2O_3 , имеют более низкую свободную энергию и не могут быть восстановлены расплавленным алюминием.

Таблица 1 – Химический состав огнеупоров, применяемых для футеровки печей при плавке алюминиевых сплавов

Материал	Химический состав, %				
	Al_2O_3	SiO_2	CaO	Fe_2O_3	Прочие соединения
1	2	3	4	5	6
Шамот	20-45	50-75	-	1,0-3,0	$(Na_2O + K_2O) < 3,5$
Муллит	72-75	24-26	-	0,3-1,0	$(Na_2O + K_2O) < 0,3...0,6$

1	2	3	4	5	6
Андалузит	59,0	41,0	-	-	-
Боксит	90,0	10,0	-	-	-
Корунд	99,5	-	-	-	-
Resistal B85 Spezial	83,3	7,0	-	1,4	BaO - 1,8 P ₂ O ₅ - 3,1
MTNFL P-76	76,0	10,0	-	1,5	BaO - 5,0 P ₂ O ₅ - 4,0
ВГББ-3Ф	> 65,0	> 12			BaSO ₄ - 7..10 P ₂ O ₅ - 2,5...4,0
Алит - 72 АРС-Ал	82,0	3,0	3,8	0,9	-
Алит - 65 АРС-Ал	66,0	22,0	3,8	0,7	-
Алит - 72 АР	85,0	9,0	2,9	1,0	-
Алит - 42 АРС-Ал	52,0	36,0	3,8	0,9	-
Алкорит - 53/1,5	54,0	43,0	1,5	0,7	-
Алкорит - 85/1,5	86,0	8,0	1,5	1,1	-
Алкор - 76 А	86,0	4,0	6,0	1,2	-
Алкор - 37-25	40,0	43,0	11,0	4,0	-
Алакс - 1,4-1350	43,0	40,0	12,0	3,0	-
Алакс - 0,9 - 1000	32,0	28,0	17,0	12,0	-

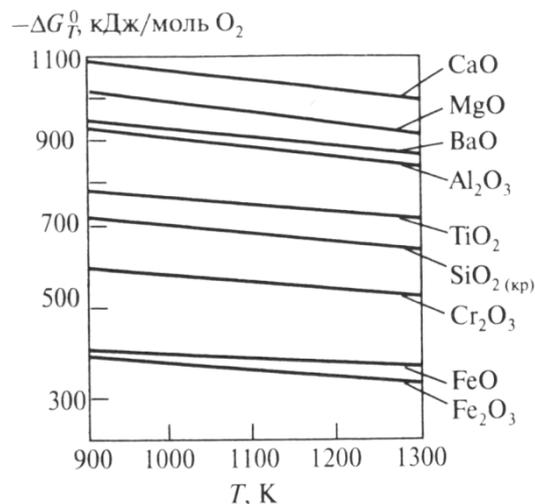
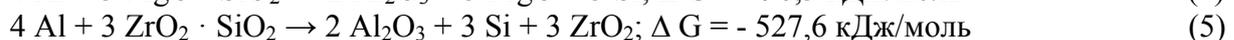
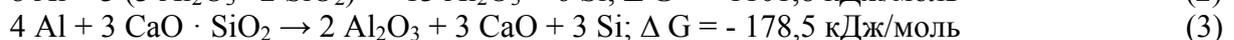
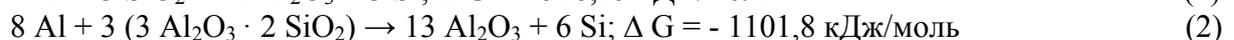


Рисунок 1 – Зависимость стандартного изобарного потенциала образования некоторых оксидов от температуры

Кристаллический кремнезем, оксиды железа, титана и хрома способны взаимодействовать с расплавом алюминия и восстанавливаться в процессе эксплуатации печей. Поэтому содержание SiO₂ в современных огнеупорах (Resistal B85 Spezial, MTNFL P-76 и ВГББ-3Ф) снижено до 7-12 % (таблица 1). Исходя из рисунка 1 на увеличении срока службы огнеупоров положительно может сказаться наличие в их составе оксидов кальция, бария и магния. Это подтверждается и данными таблицы 1. Так все огнеупоры иностранного производства и ВГББ - 3Ф содержат в своем составе 1,8-5,0 % BaO или 7-10 % BaSO₄, а огнеупорные бетоны серии Алкор и Алакс содержат 6,0-17,0 % CaO. Расчеты показывают, что восстановление кремния алюминием возможно не только из кремнезема, но и с более сложных силикатов:



Принято считать, что степень взаимодействия футеровки с расплавом (коррозии) обратно пропорциональна содержанию оксида алюминия в огнеупорном материале. Однако это зависимость нарушается, если алюминиевый сплав содержит магний. В этом случае оксид алюминия реагирует с магнием с образованием алюмомagneзиальной шпинели, что способствует более быстрому зарастанию рабочего пространства печи и перерождению футеровки.

Существенное влияние на стойкость футеровки оказывает ее смачиваемость расплавом алюминия. При краевом угле смачивания менее 90° поры любого диаметра проницаемы для расплава. Для снижения смачиваемости расплавом керамики в состав алюмосиликатных огнеупорных масс вводят различные добавки, такие, как сульфат бария $BaSO_4$, фторид кальция CaF_2 , фторид алюминия AlF_3 , борат алюминия $AlBO_3$, титанат алюминия $AlTi$, волластонит $CaSiO_3$, карбид кремния SiC , нитрид алюминия AlN и их композиции. Например, добавки $BaSO_4$ увеличивают краевой угол смачивания до $105-125^\circ$.

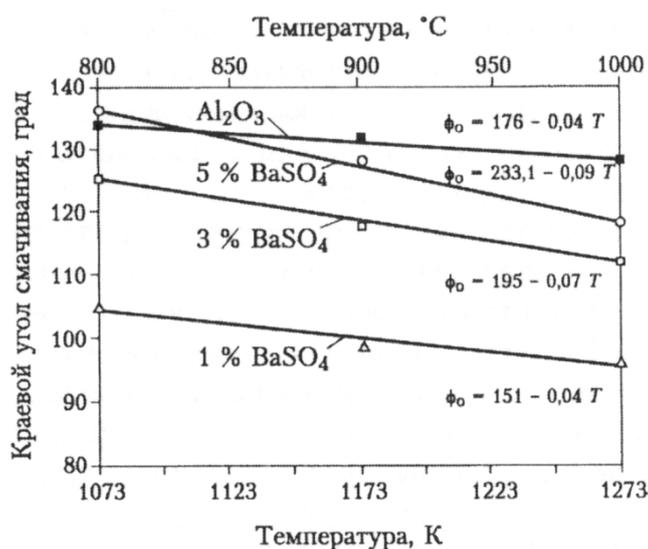


Рисунок 2 – Влияние температуры и добавок $BaSO_4$ на краевой угол смачивания расплавом алюминия подложки из Al_2O_3

В присутствии сульфата бария, расплавленного алюминия и кислорода воздуха протекает реакция



которая приводит к зарастанию пор продуктами реакции. В дальнейшем $BaO \cdot Al_2O_3$ может претерпевать химическое превращение с образованием цельзиана $BaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2$.

Создание огнеупорных материалов, обладающих комплексом требуемых свойств, не всегда представляется возможным. Поэтому элементы футеровки пламенных печей должны выполняться из разных материалов, которые в максимальной степени могут противостоять факторам ее износа.

Части футеровки, которые контактируют с жидким расплавом, следует выполнять многослойными. При этом для исключения коррозии огнеупоров можно использовать материалы, плохо смачиваемые расплавом, или защищать их рабочие поверхности специальными огнеупорными и теплостойкими покрытиями, полученными с использованием СВС-технологий.

Это позволит, во-первых, повысить срок службы огнеупорной футеровки, и, во-вторых, исключить загрязнение расплава продуктами реакций, протекающих между расплавом и составляющими футеровки.

Переработка металлосодержащих отходов

Магистрант Розенберг Е.В.,
 Научные руководители Комаров О.С.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Переработка и утилизация отходов, особенно содержащие тяжелые металлы на сегодняшний день является важным экологическим, экономическим и технологическим аспектом как для всего мира так и для нашей небольшой страны. В Республике Беларусь скопилось огромное количество опасных металлосодержащих отходов, которые хранятся на территориях предприятий по всей стране и их количество только увеличивается.

Таблица 1 – Динамика образования, использования и удаления отходов на предприятиях Республики Беларусь за 2009 и 2010 г., т.

Регион	Количество образующихся отходов		Использовано, передано, реализовано отходов		Количество удалённых отходов		Наличие отходов на конец года	
	2009 г.	2010 г.	2009 г.	2010 г.	2009 г.	2010 г.	2009 г.	2010 г.
Брестская область	94,33	83,27	38,40	21,30	67,73	64,73	402,22	401,34
Витебская область	39,17	38,62	0,00	0,18	39,17	71,84	485,20	505,52
Гродненская область	21,84	27,23	8,42	16,99	13,84	14,04	286,58	316,64
Гомельская область	4401,23	5070,26	3421,13	3401,40	1116,50	1885,36	1361,35	2772,54
Минская область	103,76	90,18	45,70	76,18	59,05	46,44	604,43	606,03
г. Минск	1218,56	1385,03	300,58	385,99	927,70	1109,31	1787,54	1064,98
Могилевская область	45,83	67,26	15,80	15,00	55,74	55,76	72,22	79,14
Республика Беларусь	5924,71	6761,85	3830,04	3917,04	2279,73	3247,48	4999,53	5746,19

Наибольший интерес представляли предприятия Гомельской области, так как они вносят наибольший вклад в общее количество образующихся металлосодержащих отходов порядка 74,98%. С большинства из них были получены образцы отходов для изучения.

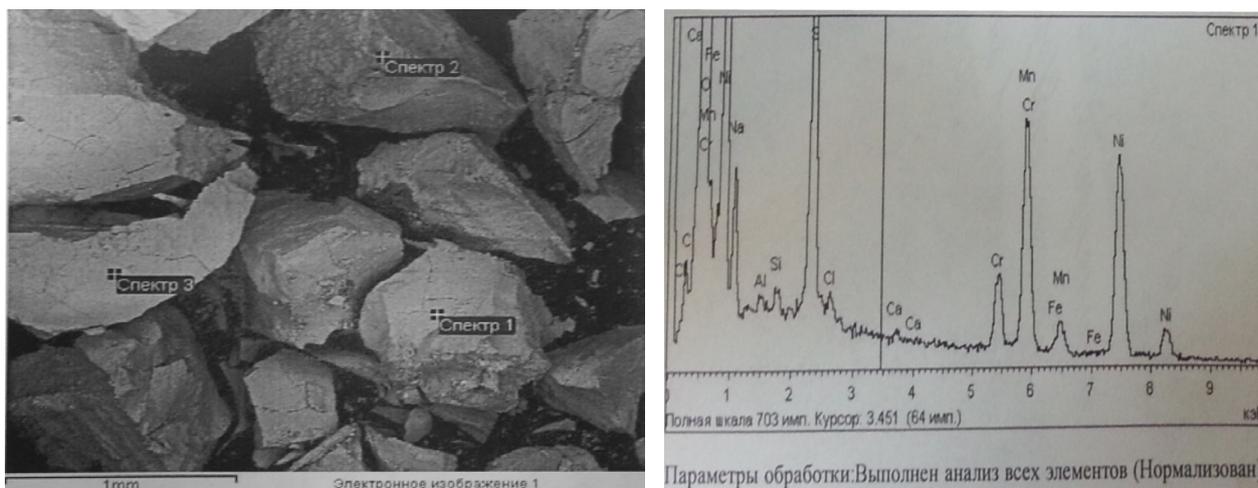
По итогам проведенного исследования были выделены отходы «Гомельского ПО «Кристалл». Захоронение данных отходов недопустимо по экологическим соображениям, а утилизация с целью рециклинга металлов по разным причинам не производилась.

Отход данного предприятия представляет собой отжатый коллоидный раствор, образующийся в процессе реализации технологии получения синтетических алмазов для промышленных нужд. На территории «Гомельского ПО «Кристалл» хранится 100 тонн отходов и ежегодно добавляется порядка 12 тонн. Содержание Ni, в которых колеблется в пределах 10–15%, и Mn 8–12%, которые могут выступать в качестве сырья для получения никелевой лигатуры, используемой при выплавке специальных железоуглеродистых сплавов.

Была рассмотрена возможность извлечения никеля в виде никелевого концентрата из никельсодержащих отходов производства синтетических алмазов. Поставленная задача достигается тем, что отработанные отходы обрабатываются раствором соляной кислоты (HCl) или серной кислоты (H₂SO₄), раствор фильтруется и осаждается щелочью (NaOH), после чего опять подвергают фильтрации, осадок промывают для удаления остатков кислот и щелочей и сушат. В результате получаем концентрат следующего состава:

Таблица 2 – Состав отходов после обработки

Спектр	C	O	Na	Al	Si	S	Cl	Mn	Fe	Ni	Итого
Спектр1	5,60	59,01	3,99	0,16	5,14	3,14	1,49	8,57	0,33	14,91	100,0
Спектр2	3,97	36,89	5,22	0,20	6,38	4,38	2,21	17,53	0,97	25,55	100,0
Спектр3	5,21	65,86	1,36	0,94	5,39	3,39	1,19	9,44	0,65	9,33	100,0
Среднее	4,93	53,92	3,52	0,43	5,64	3,64	1,63	11,85	0,65	17,60	100,0



а) б)
Рисунок 1 – Спектральный анализ:
а – электронное изображение частиц; б – результаты анализа.

Данный отход может утилизироваться путем добавления в чугун при ваграночной плавке для поднятия марки чугуна. Так как никель – способствует стабилизации аустенитной структуры и увеличивает количество перлита в металлической основе сплава, препятствует отбелу и улучшает обрабатываемость чугуна. Кроме того, измельчается перлит и графит и увеличивается прочность и износостойкость отливок. Механические свойства и износостойкость чугуна при этом резко возрастают. Никель способствует также выравниванию твердости по сечению отливки. Ввод желателен осуществлять в виде брикетов.

УДК 621.7.079

Разделительные составы для пресс-форм литья под давлением на водной основе

Студент гр. 104110 Литвинов М.О.
Научный руководитель Михальцов А.М.
Белорусский Национальный технический университет
г. Минск

Практически во всех развитых странах имеет место широкое применение процесса литья под давлением (ЛПД) имеющего ряд преимуществ над традиционными (высокая производительность, возможность получения тонких и сложных по конфигурации отливок).

Основной недостаток этого литья – наличие в отливках воздушно-газовой пористости, которая снижает их прочностные свойства, герметичность, а также образование задигов.

Для устранения этого недостатка используют разделительные покрытия, которые наносят на рабочую поверхность пресс-формы. Это уменьшает усилие извлечения, а также оказывает существенное влияние на служебные свойства отливок, такие как шероховатость поверхности, прочность, пористость. Кроме того, использование таких покрытий при ЛПД позволяет воздействовать на температурный режим работы пресс-формы.

Водоэмульсионные разделительные покрытия для пресс-форм ЛПД в большинстве случаев состоят из основного разделяющего компонента (основа), наполнителя, растворителя (разбавитель), поверхностно-активных веществ (ПАВ) и различного типа специальных добавок (присадок).

Наиболее полно требованиям основы разделительного покрытия для пресс-форм литья под давлением отвечают кремнийорганические материалы, удачно сочетающие в себе такие свойства как высокая термическая устойчивость, химическая инертность, малое изменение вязкости с ростом температуры, экологическая безопасность и др.

С точки зрения литья под давлением для использования в составах разделительных покрытий наиболее приемлема полиметилсилоксановая жидкость (ПМС300), с температурой начала термической деструкции 350-370 °С. Но такие эмульсии обладают высокой вязкостью, что отрицательно сказывается на их седиментационной устойчивости. Поэтому, для снижения вязкости силиконовых жидкостей, добавляют органические жидкости (растительные масла и их производные). Добавление ПАВ (неонол) также оказывает существенное влияние на седиментационную устойчивость эмульсии.

По результатам экспериментов можно предположить, что на величину седиментационной устойчивости эмульсии влияет также температура подогрева компонентов, скорость и время их перемешивания.

Установлено, что для получения эмульсии на основе ПМС300 с высокой седиментационной устойчивостью достаточно перемешать подогретые и выдержанные при температуре 70-80 °С компоненты в течение 5 минут, при скорости перемешивания 6000 мин⁻¹.

Дальнейшее увеличение температурно-временных параметров не приведет к существенному росту седиментационной устойчивости эмульсии.

УДК 621.745.669.13

Термодинамический анализ восстановительных процессов

Студенты гр. 104119 Билиба Н.Э., гр. 104121 Кулинич И.Л.
Научный руководитель Слуцкий А. Г.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В промышленных условиях металлы получают с использованием различных восстановителей (газы и твёрдые вещества, такие как углерод либо металлы).

Например, процесс восстановления газами (косвенное восстановление) протекает по следующей реакции:



Для обеспечения полного восстановления металла необходимо определённое количество CO, но при этом состав газовой смеси должен быть восстановительным. Условием полного косвенного восстановления соответствует выражение для константы реакции (1):

$$n_{min} = 1 + \frac{1}{K_1} \quad (2)$$

где n_{min} – минимальное количество молей восстановителя CO.

Анализ данного условия показывает, что методом косвенного восстановления можно получать металлы из оксидов первой и второй групп. Для третьей группы (трудновосстановимые) невозможно создать условия для получения равновесного состава газовой фазы, которая содержала бы 100% CO.

Произвели расчёты равновесного состава газовой фазы на примере косвенного восстановления никеля и молибдена при температуре 1873 К (таблица 1).

Таблица 1 – Расчёты равновесного состава газовой фазы на примере косвенного восстановления Ni и Mo

№, п/п	Восстановительная реакция	$\lg K = \frac{A}{T} + B$	$\lg K_1$	K_1	Количество восстановителя CO, %
1.	$\text{NiO} + \text{CO} = \text{Ni} + \text{CO}_2$	$\lg K_1 = -\frac{2254}{T} + 0,42$	0,7	5,01	16
2.	$\text{MoO}_3 + 3\text{CO} = \text{Mo} + 3\text{CO}_2$	$\lg K_2 = -\frac{5364}{T} + 0,01$	-2,87	$1,5 \cdot 10^{-3}$	99,8

Анализ полученных результатов свидетельствует, что никель относится к первой группе металлов, а молибден – к третьей. Это означает, что для восстановления молибдена косвенным методом в системе требуется обеспечить практически 100% CO, что в реальных условиях создать невозможно.

В металлургии широко используется процесс восстановления металлов твердым углеродом. Расчеты показали (рисунок 1), что температура начала восстановления никеля составляет 700 К, а молибдена в несколько раз выше – 1800 К. Полученные расчётные данные согласуются с результатами по косвенному восстановлению молибдена.

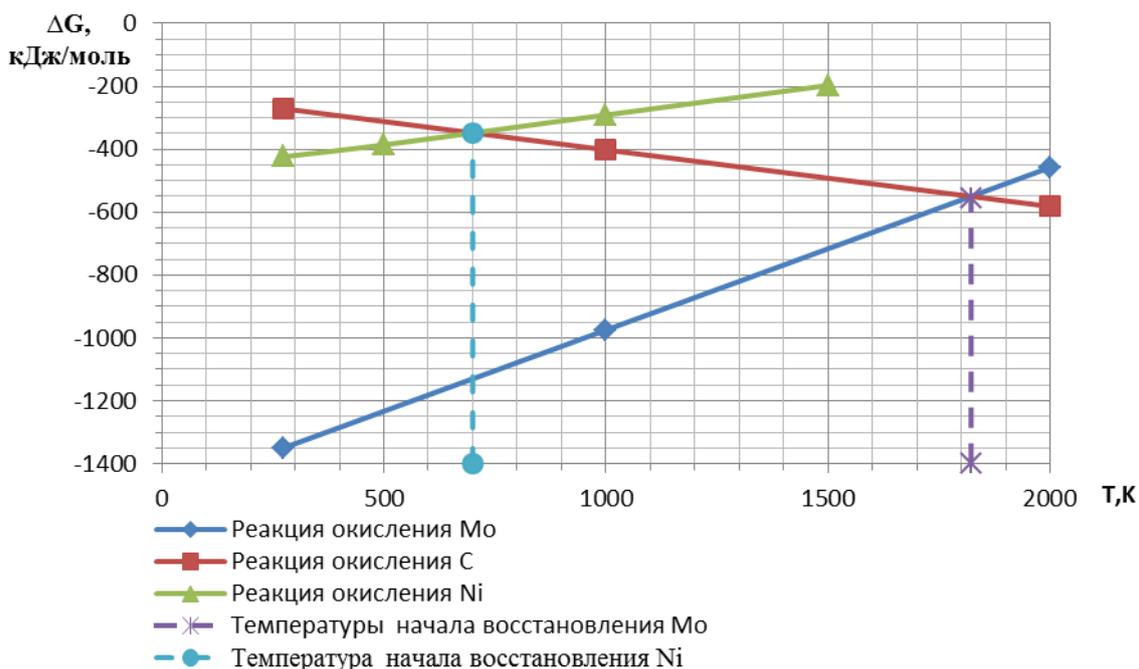


Рисунок 1 – Результаты расчета температуры начала восстановления молибдена и никеля твёрдым углеродом графическим методом

Одним из методов извлечения молибдена из соединения является металлотермическое восстановление. В качестве восстановителей используются элементы, имеющие более высокое сродство к кислороду (алюминий, магний, кальций и др.). Процесс сопровождается выделением значительного количества тепла, за счёт которого обеспечивается формирование слитка восстановленного металла либо сплава. Например, для успешного течения алюмино-

термического процесса без внешнего подогрева необходимо, чтобы приход тепла составлял не менее 2300 Дж/г смеси. Расчёты показали, что термичность восстановительной смеси на основе оксида молибдена высокая и составляет 4700 г. Это означает, что при проведении данного процесса не требуется внешнего подогрева смеси.

Таким образом проведённый термодинамический анализ различных способов восстановления молибдена показал, что рациональной технологией получения лигатур на его основе является внепечная алюминотермия.

УДК 621.745.669.13

Методика изготовления и испытний микролигатуры, содержащей нанодисперсные частицы соединений активных элементов

Магистрант Амер Мохамед Мефтах (Ливия);
студенты гр. 104121 Кулинич И.Л., гр. 104119 Кривопуст А.А.
Научный руководитель Слуцкий А.Г.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящей работе представлены методики получения и применения микролигатуры при выплавке высокоуглеродистых сплавов железа. С целью отработки данной методики были подобраны два состава смесей на основе порошка меди и олова с добавками ультрадисперсного порошка оксида иттрия. Известно, что металл-протектор плакирует тугоплавкие наночастицы, препятствует их коагуляции и обеспечивает их хорошую смачиваемость расплавом. Приготовление исходной композиции осуществлялось в специальном лабораторном смесителе с использованием с целью активации компонентов шары различного диаметра 2, 4, 6 мм. Изготовили композиции по 2 вариантам с продолжительностью 2 и 6 часов для оценки равномерности распределения ультрадисперсного порошка оксида иттрия в объёме смеси. Полученную смесь затем брикетировали на лабораторном прессе с усилием 25 т. На рисунке 1 представлены фотографии брикетов лигатуры на основе меди (а) и олова (б), содержащих дисперсные частицы оксида иттрия.



а)



б)

Рисунок 1 – Общий вид брикетов лигатур:
а – на основе меди; б – на основе олова

В практике производства изделий широко используется метод прокатки и экструзии. Этим методом формуют детали при обычных и высоких температурах. В лабораторных условиях с применением указанных методов была отработана методика и получены образцы лигатуры на основе олова. На рисунке 2 представлены фотографии таких лигатур.



а)



б)

Рисунок 2 – Общий вид лигатуры на основе олова:
а – экструзии; б – прокатки

Ниже представлена методика исследования процесса легирования чугуна лигатурой (рисунок 3). Для выплавки синтетического чугуна использовали лабораторную печь сопротивления (1). Навески чугуна (6) загружались в кварцевые колбы (5) в которые подавался нейтральный газ из баллона (9) через гибкий шланг (10). Включалась печь (11) и производился нагрев шихты до плавления. Температура в печи контролировалась термопарой (7) через потенциометр (8). После полного расплавления в жидкий чугун в железной фольге вводились навески лигатуры. Сплав перемешивался кварцевой палочкой, выдерживался несколько минут и печь отключалась. По необходимости снимались кривые охлаждения. После завершения процесса кристаллизации кварцевые колбы вместе с образцами чугуна извлекались из печи.

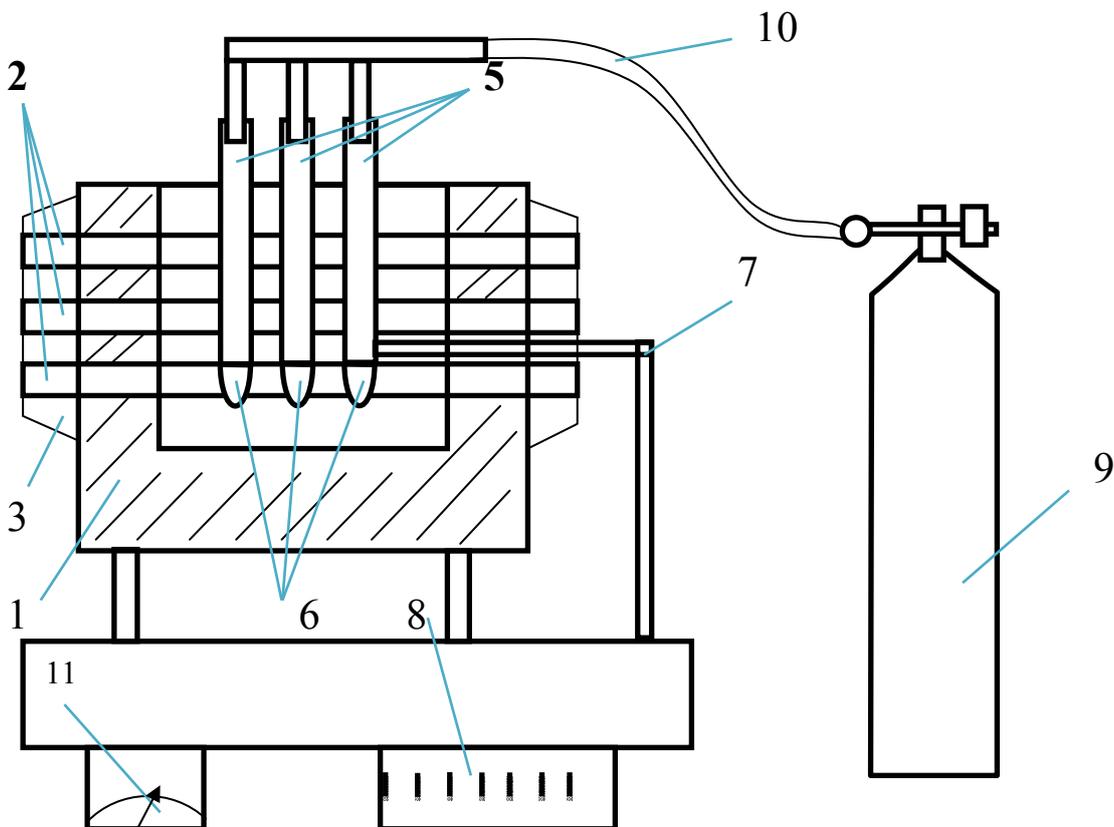


Рисунок 3 – Схема плавильной печи:
1 – печь; 2 – нагреватели; 3 – защитный кожух; 4 – пульт управления;
5 – кварцевые колбы; 6 – брикеты синтетического чугуна; 7 – термопара; 8 – потенциометр;
9 – баллон с инертным газом; 10 – гибкий шланг; 11 – трансформатор

Исследование полученных образцов лигатуры и легированного чугуна предполагается на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия). Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) является одним из наиболее универсальных приборов для исследования и анализа микроструктурных характеристик твердых тел. Исследование элементного состава планируется проводить с помощью микрорентгено-спектрального анализатора «INCA 350» фирмы «Oxford Instruments» (Англия). В работе также планируется использовать сканирующий электронный микроскоп VEGA II LMU с микроанализатором INCA Energy 350, а также спектроскан МАКС – GV.

Таким образом в результате проведенных экспериментальных исследований предложена и отработана методика получения и применения лигатур на основе порошкообразных смесей, содержащих дисперсные соединения активных элементов.

Материаловедение в машиностроении

Сравнительная оценка методов микродугового и высоковольтного электролитического оксидирования

Студентки гр. 104219 Бекетова И.Ю., Марышева А.А.
Научный руководитель Соколов Ю.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Оксидирование - преднамеренное окисление поверхностного слоя металлических изделий. Образующиеся в результате оксидирования окисные пленки предохраняют изделия от коррозии, имеют декоративное значение, служат в качестве электроизоляции, являются основой для нанесения на них защитных покрытий — лака, краски, жировой смазки и т.д. Оксидированию подвергают изделия из стали, чугуна, алюминиевых, медных, цинковых и других сплавов.

Оксидирование металла можно проводить несколькими способами:

- химическим;
- термическим;
- анодным (электрохимическим);
- пламенные методы (микродуговое оксидирование и др.).

В данной работе будут сравниваться два процесса оксидирования: микродуговое и высоковольтное электрохимическое.

Микродуговое оксидирование (МДО) – метод получения многофункциональных оксидных слоев.

МДО можно проводить на постоянном и переменном токах. На постоянном токе необходимо повышать напряжение с течением времени, так как в зону разряда не привносятся дополнительные электроны, но по этой же причине процесс МДО, осуществляемый на постоянном токе занимает длительное время. При использовании переменного тока на отрицательной полуволне в зону разряда вносятся дополнительные электроны, которые увеличивают разрядный ток и повышают температуру в зоне разряда, что способствует формированию высокотемпературных модификаций оксида Al_2O_3 с высокой микротвердостью. Однако это может так же быть причиной начала разрушительного дугового процесса.

Толщина покрытий, полученных микродуговым способом, составляет около 200 – 250 мкм. Температура электролита может колебаться от 15 до 400 °С, и это не оказывает на процесс особого влияния.

Этот процесс применяют для формирования покрытий в основном на магниевых и алюминиевых сплавах.

Недостатками МДО являются:

- высокое энергопотребление, так как при получении толстых покрытий применяется либо большая плотность переменного тока, либо увеличенная длительность процесса, что значительно снижает экономическую эффективность данного метода;
- сложность получения гладких и равномерных, с требуемыми толщиной и функциональными свойствами, покрытий на всю или заданную поверхность изделий сложной геометрической формы.

Высоковольтное электрохимическое оксидирование (ВВЭО) – процесс нанесения оксидной пленки на поверхность металлов, сплавов, полупроводников. Пленка защищает изделие от коррозии, обладает электроизоляционными свойствами, служит хорошим основанием для лакокрасочных покрытий, используется в декоративных целях. Оксидная пленка может быть выращена на различных металлах: алюминии, ниобии, тантале, титане, цирконии и т.д. Для каждого из этих металлов существуют свои условия проведения процесса. Толщина и свойства пленки зависят от конкретного металла. Алюминий уникален в своем роде, так как в до-

полнение к тонкому оксидному слою, сплавы алюминия в определенных кислотных электролитах образуют толстые оксидные пленки, имеющие высокопористую структуру.

Можно получать на алюминии слои с различными заранее заданными свойствами: твердые и мягкие защитные слои, безпористые, пористые, эластичные, хрупкие. Различные свойства получают при варьировании составом электролита и режимами электролиза.

При оксидировании алюминия в нейтральных или кислых электролитах (в большинстве растворов) поверхность алюминия почти моментально покрывается толстым слоем оксидов: сначала образуется тонкий слой окислов, а потом кислород, проникает сквозь этот слой, упрочняя и утолщая его.

Большинство существующих технологий используют при оксидировании алюминия и его сплавов постоянный или импульсный ток с длительностью импульса в несколько миллисекунд. Данные процессы позволяют формировать пленки оксида алюминия толщиной в 30 мкм приблизительно за 40 минут.

Таким образом, метод высоковольтного электрохимического оксидирования можно эффективно использовать для формирования оксидных слоев толщиной до 70 мкм. Метод ВВЭО обеспечивает высокие физико-механические свойства оксидных пленок и характеризуется низким энергопотреблением и меньшим временем проведения процесса, что делает его конкурентно способным среди других методов оксидирования алюминия.

Подобная схема дает особые преимущества в случаях, когда требуется использование тока высокой плотности или при обработке сплавов с высоким содержанием меди. Покрытия, полученные с использованием высоковольтного электрохимического оксидирования, обладают повышенной коррозионной стойкостью и сопротивлением истиранию.

УДК 621.762

Горячее изостатическое прессование (HIP)

Студент гр. 104519 Богданчик М.И.
Научный руководитель Щербаков В.Г.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Горячее изостатическое прессование (HIP) представляет собой процесс уплотнения порошков в печи при высоком давлении (100-200 МПа) и при температуре от 900 до 1250 °С. Давление газа (аргон) действует равномерно во всех направлениях, чтобы обеспечить равномерность свойств и 100% уплотнение. Данный процесс предоставляет множество преимуществ и имеет высокую производительность по сравнению с ковкой и литьем.

Благодаря HIP методу возможно изготовления широкого спектра деталей. С его помощью можно изготовить как массивные детали, например, колеса диаметром до 1 метра, так и для изготовления быстрорежущего инструмента весом менее 100 г.

Основные преимущества технологии HIP:

- Дисперсная и изотропная микроструктура;
- Улучшение износостойкости и коррозионной стойкой;
- Сокращение числа сварных швов сложных деталей;
- Использование композиционных материалов;
- Простая маршрутная технология производства, что приводит к минимальным задержкам производства;
- Сокращение количества механических операций;

Благодаря выше изложенным преимуществам, HIP технология показывает высокие технологические и экономические показатели.

Основные этапы процесса:

- Производство порошка;
- Разработка и изготовление контейнеров;
- Контейнер заполняется и уплотняется порошком;
- Изостатическое горячее прессование;
- Перемещение контейнера;
- Последующие операции обработки;

В процессе горячего изостатического прессования температура, давление аргона и время выдержки зависит от вида материала.

После заполнения и закрытия контейнера создается вакуум. Затем, пока температура повышается, давление аргона увеличивается в контейнере. В конце время выдержки, температура и давление аргона остается стабильным.

После этого, быстрое охлаждение происходит при понижении давления и температуры.

Температура применяется 0,8T солидуса, чтобы избежать появления жидкой фазы. Современные HIP системы отличаются равномерным и быстрым охлаждением

На рисунке 1 представлен график режима процесса изостатического прессования, на котором:

- т.1-Создание вакуума,
- т.2-Уравновешивание,
- т.3-Увеличение давления,
- т.4-Нагрева,
- т.5-Выдержка,
- т.6.-Охлаждение,
- т.7-Уравновешивание,
- т.8.-Откачка газа.

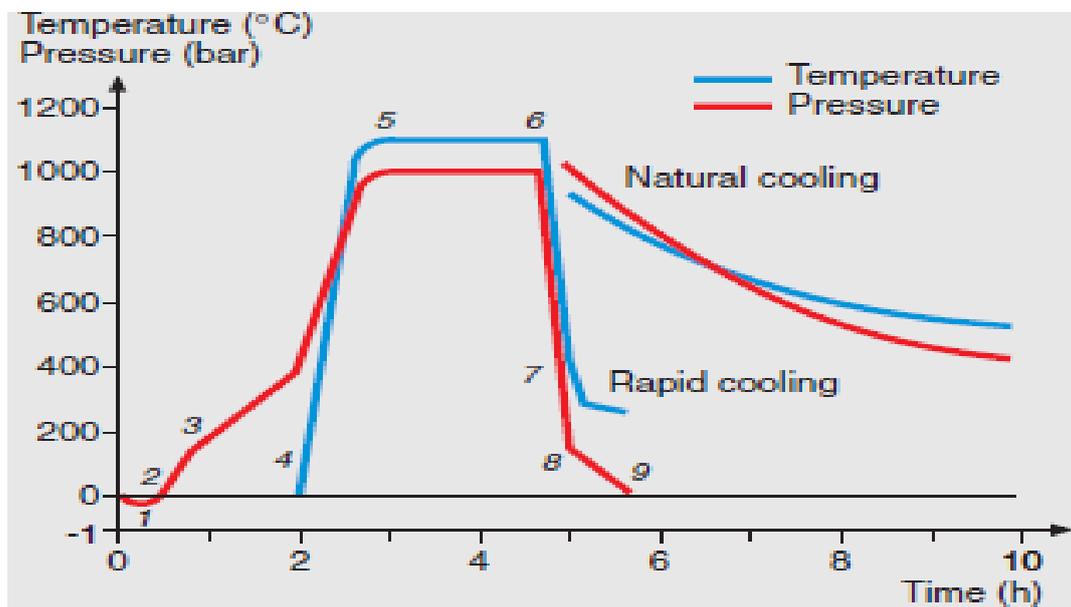


Рисунок 1 – График режима процесса изостатического прессования

Технология HIP уменьшает время цикла, за счет резкого сокращения стадии охлаждения на 80%. Она также обеспечивает объединение термообработки с HIP в одну стадию. Равномерное охлаждение ограничивает рост зерна и тепловой деформации частей. HIP обработка длится от 6 до 8 часов.

Студент гр. 104519 Богданчик М.И.
Научный руководитель Дашкевич В.Г.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Оцинкованная сталь – один из наиболее востребованных в мировом хозяйстве конструкционных материалов, основная доля которого используется в строительстве, что объясняется высокими конструкционными свойствами стали в сочетании с долговечностью, обеспечиваемой цинковым покрытием.

Цинк и сплавы на его основе - единственный металл, обеспечивающий надежную долговечную защиту стали от атмосферной коррозии за счет электрохимической защиты, в которой цинк является жертвенным металлом. Современные технологии строительства как промышленного, так и гражданского парка, в том числе малоэтажного жилья, ориентированы именно на оцинкованную сталь – для изготовления как несущих элементов здания и перекрытий, так и стеновых панелей и декоративных элементов. Возникла значительная потребность в оцинкованных металлоконструкциях в виде опор ЛЭП, дорожного профиля, фурнитуры автомобильных и железных дорог, сегментов мостов и подземных сооружений, значительно увеличилась доля цинкуемых крупногабаритных конструкций.

Потребность в оцинкованном металле в последние годы значительно увеличилась, емкость рынка строительной оцинкованной стали растет на 10 - 15% в год, в 2011 г. Она составляла 4,5 млн т. Из них примерно 2.2 млн т. используется в виде оцинкованного полосового проката, 1,5 млн т – оцинкованного проката с полимерным покрытием и только 800 тыс. т – металлоконструкций. При этом на рынке остро ощущается нехватка внутренних производственных мощностей по горячему цинкованию металлоконструкций вследствие того, что ранее этого вида производства практически не было, не считая немногочисленных линий низкой производительности с устаревшими техническими и технологическими возможностями.

В связи с возросшей потребностью в России этот вид производства сейчас активно развивается. Так, если до 2000-х годов насчитывалось не более десятка линий цинкования, то сегодня их свыше 50. Однако до насыщения рынка все еще далеко. По данным Международной цинковой ассоциации (IZA) в Германии насчитывается порядка 160 линий подобного производства, а в Италии, Испании и Франции – около 90, 70 и 60 соответственно.

С ростом рынка цинкования произошли изменения и в его структуре: так, значительно увеличилась доля цинкуемых крупногабаритных конструкций, вследствие чего на линии нового поколения, как правило, устанавливаются ванны достаточно большого объема, что наряду с развитием технологической и транспортной составляющих производства привело к значительному повышению производительности. Если еще несколько лет назад средняя производительность линии горячего цинкования составляла 15-25 тыс. т в год, то сегодня она колеблется в районе 30-40 тыс. т, а высокопроизводительные автоматизированные линии способны оцинковывать более 60 тыс. т в год. Современные автоматизированные комплексы горячего цинкования металлоконструкций отличаются значительно более высокой производительности труда, низкими производственными издержками, качеством продукции, экологичностью и надежностью производства. Благодаря изоляции химической части производства удалось практически полностью исключить вредное воздействие кислотных паров на человека и оборудование

Яркий пример современного производства горячего цинкования металлоконструкций, выполненного фирмой INGENIA GmbH по технологии ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина», - введена в эксплуатацию в 2010 г. Автоматизированная линия горячего цинкования

на ООО «Металл-Дон» производительности 50 тыс. т в год, с длиной ванны 13 м. На данном производстве реализованы уникальные технические и технологические решения, не имеющих аналогов в России, позволяющие выполнять самые сложные производственные задачи, в том числе оцинкованию конструкций длиной до 16,5 м в предельно сжатые сроки.

Надежность в работе линий обеспечивается благодаря как высококачественному оборудованию, специально подготовленному для работы в тяжелых условиях заводов горячего цинкования, так и удаленному контролю специалистами поставщиков оборудования работы линии, что позволяет своевременно выявить и устранять сбои и неполадки в работе линии, тем самым минимизируя количество и продолжительность остановок, связанных как с предупредительно-плановыми, так и со срочными ремонтными работами

Необходимо отметить, что, несмотря на большую потребность в новых линиях горячего цинкования, между уже действующими производствами существует достаточно жесткая конкуренция как по цене и качеству продукции, так и по скорости обслуживания. При этом в конкурентной борьбе принимают участие производства расположенные не только рядом с потребителем оцинкованного металла, но и достаточно удаленные от него. Поэтому сегодня залогом успеха на рынке горячего цинкования является не столько выгодность местоположения, сколько выбор правильных технологически и технических решений, которые позволят достойно ответить на вызов конкурентов.

УДК 662.994

Разработка мероприятий по энергосбережению при ТО в печах с выкатным подом

Студенты гр. 104519 Гарнашевич Ю.А.,
гр. 104510 Баранова Т.Н., Приходько Н.А.
Научный руководитель Стефанович В.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Топливные камерные печи с выкатным подом предназначены для термообработки крупногабаритных изделий.

Сегодня крайне остро стоит проблема повышение эффективности различных технологических процессов. Установка новых современных печей является крайне дорогостоящим и трудоёмким процессом, поэтому на многих отечественных предприятиях отдают предпочтение реконструкции и модернизации имеющегося оборудования, которое зачастую уже отработало свой ресурс.

Целью данной работы является поиск путей реконструкции топливных камерных печей с выкатным подом, которые бы соответствовали современным тенденциям в печестроении.

Для термических печей периодического действия, наряду с уменьшением потерь теплоты на разогрев футеровки путем применения малотеплоемких и низкотеплопроводных волокнистых огнеупорных изделий, значимым резервом экономии топлива может быть и второй фактор – утилизация теплоты уходящих газов.

Анализ литературных данных показал, что основными направлениями при реконструкции печей с выкатным подом являются:

1. Рекуперация и регенерация отработанного тепла для повышения теплового КПД печей;
2. Использование прогрессивных материалов для изготовления кладки печи. Отличные теплоизоляционные качества футеровочных материалов обеспечивают уменьшение толщины футеровки и уменьшение габаритных размеров печи. Низкая плотность футеровочных материалов обеспечивает высокую экономичность и быстрый разогрев печи за счет уменьшения общего количества тепла, аккумулируемого футеровкой;

3. Применение самых современных горелочных устройств с автоматическим регулированием и разнообразными режимами работы (принципов импульсного горения и высокой скорости истечения газового факела), установка рекуперативных горелочных устройств для максимизации использования тепла, что позволит снизить расход газа и повысить эффективность его использования;

4. Использование микропроцессоров для управления процессами горения и режимом нагрева (охлаждения) печи, обеспечивающих суммарную экономию энергии, сокращение длительности термообработки и, как следствие, повышение производительности печей, более точное регулирование температуры на конечной стадии режима термической обработки;

5. Использование защитных атмосфер и вакуума, что существенным образом упростит технологию изготовления изделий и полуфабрикатов, а также способствует снижению части металла, которая уходит в отходы;

6. Внедрение систем компьютерного сбора и хранения информации (возможность записи архива параметров и событий) для автоматической генерации паспорта термообработки изделия;

7. Обеспечение высокой герметичности рабочего пространства печи за счёт применения высокоплотных затворы и уплотнения заслонок;

8. Применение жаропрочных бетонов на выкатной подине для повышения её эксплуатационной стойкости, а также исполнения выкатного пода и подъемной двери с повышенной скоростью движения;

Реализация этих тенденций позволяет значительно сократить энергозатраты на ТО, удовлетворить требования по экологической и экономической эффективности, качеству и себестоимости продукции, уровню механизации, автоматизации и роботизации, дизайну.

При проведении реконструкции топливных печей с выкатным подом наиболее целесообразным было бы осуществить замену горелок. Это позволит существенным образом снизить расход теплоносителей и повысить качество термической обработки металлоизделий.

Оптимальное газогорелочное устройство отопительных печей должно обеспечивать устойчивый процесс горения при колебаниях давления газа в сети и полное сгорание топлива без химического недожога при наличии малых избытков воздуха в топочном пространстве, а также создавать такой очаг горения, который обеспечивал бы интенсивный, но в то же время равномерный обогрев печи по периметру.

Рекуперативные и регенеративные горелки используются в современных технологиях «беспламенного сжигания», характеризующихся значительно увеличенной зоной горения с относительно однородными температурными характеристиками (в отличие от резкого пика температуры, характерного для традиционного пламени).

Рекуперативные и регенеративные горелки были разработаны, чтобы использовать тепло дымовых газов для подогрева воздуха горения. Рекуператор представляет собой теплообменник, обеспечивающий подогрев поступающего воздуха горения за счет тепловой энергии отходящих газов. Рекуператор может обеспечить экономию около 30% энергии по сравнению с системой, использующей холодный воздух горения. Однако рекуператор, как правило, неспособен обеспечить подогрев воздуха до температуры, превышающей 550–600°C.

Рекуперативные горелки могут использоваться технологическом процессе с температурой 700–1100°C. Они устанавливаются парами и работают по принципу краткосрочной аккумуляции энергии дымовых газов в керамических регенераторах тепла. Такие горелки позволяют утилизировать 85–90% тепла отходящих газов печи, обеспечивая подогрев поступающего воздуха горения до очень высоких температур, которые могут достигать величины всего на 100–150°C меньше, чем рабочая температура печи. Горелки подобного типа могут использоваться в диапазоне рабочих температур 800–1500 °C. При этом потребление топлива может быть снижено на величину до 60%.

Расчет параметров гальванических покрытий для получения требуемого химического состава наплавленного покрытия

Студенты гр. 104219 Ковальчук Е.В., гр. 104519 Гарнашевич Ю.А., Зыбайло А.С.
 Научный руководитель Стефанович А.В.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Количество дополнительно введенного элемента зависит от толщины гальванического слоя. Для определения толщины гальванического слоя обеспечивающего заданное введение легирующего элемента воспользуемся методом площадей, которое дает следующее равенство:

$$S_n \cdot B_n = S_c \cdot B_c \quad (1)$$

где S_n - площадь поперечного сечения проволоки;

S_c - площадь гальванического покрытия в поперечном сечении;

B_n – количество легирующего элемента дополнительно вводимого в наплавленное покрытие;

B_c – количество химического элемента в гальваническом покрытии.

Выражая S_n , S_c через радиус проволоки R и толщину гальванического слоя h и решая уравнение (1) относительно h получаем зависимость:

$$h = R \left[1 - \sqrt{(B_c - B_n) / B_c} \right], \quad (2)$$

Таблица 1 – Толщины гальванического слоя, обеспечивающие введение заданного количества легирующего элемента

Количество вводимого легирующего элемента, %	Радиус проволоки, мм				
	1	1,5	1,8	2,0	2.2
	Толщина гальванического слоя, мкм				
1	2,5	3,7	4,5	4,9	5,5
2	5,6	7,8	9,9	11,1	12,1
3	7,6	10,6	13,7	15,2	16,7
4	10,2	14,2	18,3	20,3	22,3
9	23,1	34,6	41,5	46,1	50,7
10	25,7	38,6	46,3	51,4	56,5
12	31,0	46,5	55,8	62,0	68,2
18	47,2	71,0	85,0	94,5	104,0
20	53,0	80,0	96,0	107,0	117,0
23	66,5	99,7	120,0	133,0	121,0
26	70,0	105,0	126,0	140,0	154,0

По формуле (2) можно вычислить требуемую толщину гальванического слоя на проволоке радиусом R для введения заданного количества B_n легирующего элемента в наплавленное покрытие.

В таблице 1 представлены толщины гальванических слоев, обеспечивающие дополнительное введение в наплавленное покрытие 1; 2; 3; 4; 9; 10; 12; 18; 20; 23; 26 % легирующего элемента.

Для повышения коррозионной стойкости наплавленных покрытий на проволочный электрод необходимо нанести слой меди и хрома. Толщину гальванического покрытия, обеспечивающего заданное количество легирующего элемента, выбирают в соответствии с таблицей 1.

Для торможения катодного процесса необходимо ввести в наплавленное покрытие 1-1,8% меди. Такое количество меди в наплавленном покрытии обеспечит толщина гальванического слоя $\approx 5-11$ мкм для проволоки диаметром 2 мм. Для увеличения пассивации наплавленного покрытия необходимо ввести 3-5% хрома. Такое количество хрома в наплавленном покрытии обеспечит толщина гальванического покрытия $\approx 15-25$ мкм.

УДК 662.998-492

Снижение энергозатрат при ТО методом обкладывания каркаса печей теплоизоляционными плитами

Студенты гр. 104519 Гарнашевич Ю.А., Жибрик Д.М., Зыбайло А.С.
Научные руководители Стефанович В.А., Борисов С.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Снижение энергозатрат при ТО уменьшает себестоимость изготовления изделий. В последнее время на рынке появилось большое количество теплоизоляционных материалов, которые поставляются в виде плит различной толщины. Данными плитами можно обкладывать каркасы действующих печей. В данной работе проведены расчеты по снижению тепловых потерь через двухслойную стенку, состоящую из огнеупорного шамотного слоя толщиной 230 мм и теплоизоляционного диатомитового слоя толщиной 230 мм (рисунок 1,а).

Теплоизоляционные плиты приклеивают на металлический каркас толщиной 20, 30, 40 и 50 мм (рисунок 1,б).

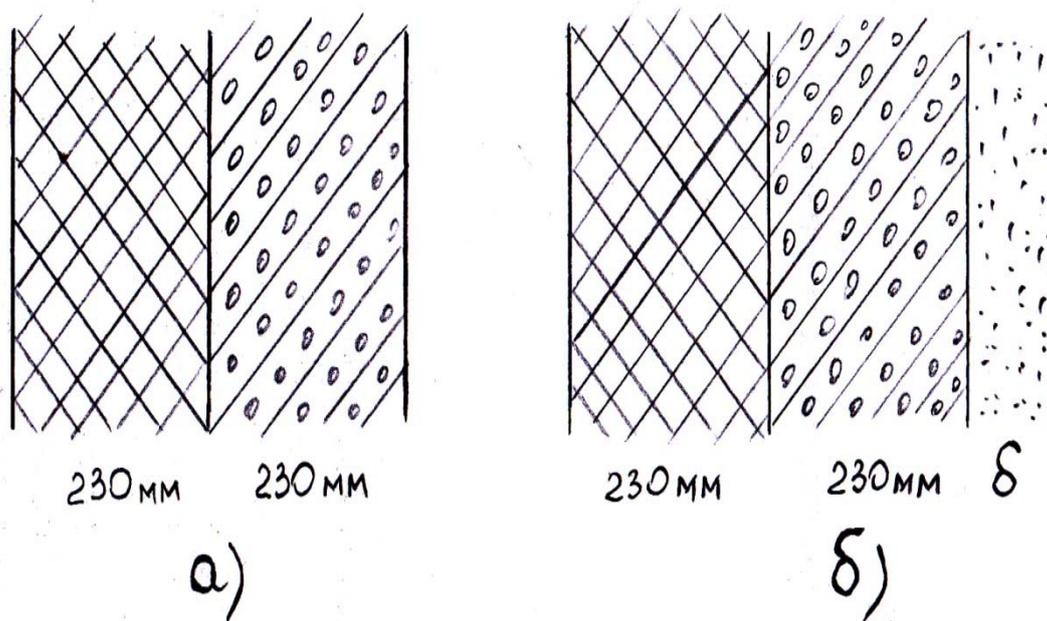


Рисунок 1 - Схема футеровок: а - двухслойная; б - с дополнительным теплоизоляционным слоем

Результаты расчетов тепловых потерь через стенку с различной толщиной теплоизоляционного слоя в таблице 1.

Таблица 1 – Тепловые потери через футеровку различных конструкций

		Двухслойная	δ, мм			
			20	30	40	50
Тепловые потери, Вт/м ²	Вермикулитовая плита	526,2	482,1	462,61	444,75	427,21
	Минеральная каменная вата		267,8	257	247,1	237,3
	Пенополиуретан		148,8	142,8	137,3	131,8

Применение дополнительной теплоизоляции позволяет уменьшить тепловые потери при использовании вермикулитовых теплоизоляционных плит толщиной 20 мм на 8,4%, 30 мм на 12,1%, 40 мм на 15,5%, 50 мм на 18,8%; плит из минеральной каменной ваты толщиной 20 мм на 49,1%, 30 мм на 51,2%, 40 мм на 53%, 50 мм на 54,9%; плит из пенополиуретана толщиной 20 мм на 71,7%, 30 мм на 72,9%, 40 мм на 73,9%, 50 мм на 75%.

Нанесение дополнительного теплоизоляционного слоя вносит дополнительные финансовые затраты, но снижение потерь энергии позволяет компенсировать данные затраты при использовании вермикулитовых плит толщиной 20 мм через 7,7 месяца, 30 – 8,2 месяца, 40 – 8,5 месяца, 50 – 8,8 месяца; плит из минеральной каменной ваты толщиной 20 мм через 0,12 месяца, 30 – 0,17 месяца, 40 – 0,22 месяца, 50 – 0,27 месяца; плит из пенополиуретана толщиной 20 мм через 0,3 месяца, 30 – 0,48 месяца, 40 – 0,63 месяца, 50 – 0,77 месяца.

С увеличением толщины дополнительного теплоизоляционного слоя возрастает срок окупаемости, но вместе с этим существенно снижаются энергозатраты.

УДК 669-1

Абгрунтаванне выбару выгляду гальванічнага пакрыцця для павышэння каразійнай стойкасці наплаўленага пакрыцця

Студэнты гр. 104219 Кавальчук Я.В.,
гр. 104519 Зыбайло А. С., Баранова Т. М.
Навуковы кіраўнік дацент Стэфановіч В.А.
Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт
г. Мінск

Для транспарціроўкі харчовых вадкасцяў выкарыстоўваюцца цэнтрабежныя помпы, дэталі якіх выраблены з каразійнастойкіх сталяў з павышаным супраціўленнем да зносу. Для герметызацыі вала прывада і корпуса помпы выкарыстоўваюць тарцовыя ўшчыльненні, якія вырабляюць з дзвух частак: вярчальныя кольца з графіту; не вярчальныя кольца з каразійнаўстойлівай сталі. Абавязковым патрабаваннем да стальных дэталей тарцовых ушчыльненняў пры перапампоўванні харчовых вадкасцяў з'яўляецца адсутнасць утварэння цёмных плёнак на паверхні. Пры абранні кольцаў з каразійных сталяў мартэнсітнага класа 40Х13, 95Х18 неабходны рэсурс працы помпы забяспечаецца, але пры працы ў раствору кіслот і шчолачаў кольца пакрываюцца цёмнай плёнкай са значнымі язвамі каразійнага паходжання на паверхні. Пры вырабе кольцаў з каразійнаўстойлівай хроманікелевай сталі назіраецца моцны знос, але не ўтвараецца цёмная плёнка.

Для павышэння стойкасці кольцаў тарцовых ушчыльненняў прымяняўся метада аргонадугавай наплаўкі з выкарыстоўваннем у якасці прысадкавага матэрыялу паверхналігіраванага бора дроту, вырабленага з хроманікелевай каразійнаўстойлівай сталі. Цвёрдасць

наплаўленага пакрыцця складала 35-40 HRC. Наплаўленыя кольца забяспечвалі неабходны рэсурс працы, але пры гэтым пакрываліся шэрай плёнкай. З'яўленне шэрай плёнкі на наплаўленым пакрыцці абумоўлена наступнымі фактарамі: дэндрытнай ліквацияй хрому; выгараннем тытану, зніжачы схільнасць сталі да міжкрышталічнай карозіі; звязваннем часткі ў хімічныя злучэнні, што памяншае колькасць тытану ў матрыцы.

Табліца 1 – Утрыманне лігіруючых элементаў у фазах наплаўленага пакрыцця

Спектр	B, %	C, %	Si, %	Ti, %	Cr, %	Mn, %	Fe, %	Ni, %	Вынік
Спектр 1	0,08	0,07	0,55	0,12	14,49	0,51	71,83	10,33	100
Спектр 2	0,11	0,12	0,68	0,14	12,92	0,48	72,82	9,73	100
Спектр 3	8,79	0,06	0,36	0,55	22,66	0,54	59,79	7,25	100

Размеркаванне элементаў у наплаўленым пакрыцці паказала, што ўтрыманне карбідаўтвараючых элементаў у барыдах больш, чым у цвёрдым раствору: тытана ў 3,9-4,6 разы, хрому ў $\approx 1,4-1,7$ разы; не карбідаўтвараючага элемента нікеля ў барыдах менш у 1,3-1,4 разы, чым у цвёрдым раствору. Цвёрды раствор (аўстэніт) змяшчае меншую колькасць хрому 12,92 - 14,49 %, чым зыходная сталь 06Х19Н9Т, і назіраецца большае ўтрыманне вугляроду ў цвёрдым раствору, што абумоўлівае зніжэнне каразійнай трываласці. (Табліца 1)

Каразійная трываласць нержавеючай сталі вызначаецца яе ўласцівасцю лёгка пасівіравацца ў каразійным асяроддзі і залежыць ад утрымання хрому. Найменшае ўтрыманне хрому, якое забяспечвае сталі пасіўны стан, складае 12%. З павелічэннем утрымання хрому каразійная стойкасць нержавеючай сталі ў акісляльных умовах рэзка ўзрастае.

Асноўным спосабам павышэння каразійнай трываласці нержавеючай сталі з'яўляецца легіраванне. Найбольш эфектыўным з'яўляецца павелічэнне ўтрымання хрому, нікеля, медзі. З павышэннем ўтрымання хрому і нікеля пашыраецца вобласць пасіўнага стану нержавеючых сталяў, так як у значнай ступені зніжаюцца патэнцыял і ток пасівацыі. Увядзенне медзі спрыяе тармажэнню катоднага працэсу.

Зыходзячы з вышэйсказанага, павышэнне каразійнай стойкасці можа быць дасягнута шляхам павелічэння хрому ў наплаўленым пакрыцці і дадатковым легіраваннем меддзі. Для дадатковага легіравання наплаўленага пакрыцця на дротавы электрод можна нанесці неабходныя элементы гальванічным метадам.

УДК 621.784.6.06

Полимерные водосмешиваемые закалочные среды

Студент гр. 104519 Зыбайло А. С.

Научный руководитель Вейник В.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Водные растворы полимеров обладают рядом преимуществ перед традиционными минеральными маслами – они пожаробезопасны, безвредны для окружающей среды и здоровья людей. Охлаждающую способность полимерных сред можно регулировать, изменяя концентрацию полимера в растворе.

Водные растворы полимеров позволяют, в зависимости от концентрации, осуществлять управление интенсивностью охлаждения в широких границах между водой и маслом. Растворы слабой концентрации, в плане охлаждающей характеристики, лежат в области характеристик воды, не проявляя, однако ее негативных свойств. Неконтролируемое и неравномерное образование паровой оболочки на изделии гарантированно исключается.

Охлаждение протекает быстро и равномерно, в противоположность закалке с помощью воды не возникает пятнистость, искривление поверхности изделия сведено к минимуму.

Растворы более высокой концентрации имеют охлаждающую характеристику подобную маслу. При температурах мартенситного превращения, охлаждающий эффект, по отношению к воде, сильно уменьшен. Таким образом опасность возникновения трещин практически исключается.

Возникающая пленка обеспечивает, с одной стороны, равномерное отделение паровой оболочки, с другой стороны, в области конвективной фазы сокращает теплоотдачу с поверхности изделия к жидкостной фазе, а в итоге, дает решающее, для данной области, уменьшение эффекта закалки.

Процесс образования пленки обратим, т.е. при остывании изделия до температуры закалочной жидкости шихта снова идет в раствор. Таким образом, достигается минимальный расход концентрата, а закаленные изделия выходят с чистой поверхностью.

Нагревание для закалки стальных деталей не должно производиться в солевой ванне, поскольку даже небольшие количества привнесенных закалочных солей негативно сказываются на качестве, в особенности охлаждающего эффекта растворов.

По причине превосходных свойств, растворы нашли применение в следующих сферах:

- термическое улучшение ковочных деталей и заготовок из низколегированных и обычных сталей, а также стального литья;
- термическое улучшение и закалка поверхности узлов гусеничных лент;
- закалка науглероженных или нацианированных мелких деталей в цепной или двухколесной индустрии, особенно из проходных печей;
- охлаждение (с минимальной деформацией) фасонных деталей из легкой и листовой стали;
- поверхностная закалка с применением индукционного нагрева и газопламенной закалки коленчатых, кулачковых валов и вала-шестерни, зубчатых колес, клиновидных зубчатых зацеплений, шпинделей, вальцов, валиков, планок и т.д.

УДК 621.78.062.3

Нагрев в защитной атмосфере

Студент гр. 104519 Зыбайло А.С.

Научный руководитель Вейник В.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В современном производстве снижения затрат на внутренние процессы предприятия и сокращение эксплуатационных издержек производства. Именно оптимизация этих расходов, а не экономия в ущерб качеству даёт наибольший экономический эффект.

Основные виды термической обработки производятся с нагревом изделий до температуры аустенизации. На этой стадии повышается риск окалинообразования, обезуглероживания и потери легирующих компонентов сплавов на поверхности изделия, что может привести к растрескиванию, снижению твердости и ухудшению других механических характеристик.

Слой окалины на поверхности является ещё и тепловой изоляцией, понижая скорость и равномерность нагрева стальных изделий.

Чтобы защитить заготовки при нагреве до температуры аустенизации, следует создавать барьер из защитной атмосферы, который резко замедляет диффузию кислорода к поверхностям термообрабатываемых деталей, позволяющей избежать изменения химического состава в поверхностных слоях металла (изделия). Чаще всего защитной атмосферой является расплав солей, защитный газ или вакуум.

Процесс термической обработки в защитной среде позволяет снизить трудоёмкость изготовления за счёт того, что:

- исключаются очистные операции после термообработки (дробеструйная и абразивная обработка, галтовка, травление);
- исключаются некоторые доводочные операции после термообработки;
- исключается брак в изделии, вызванный недостаточной чистотой поверхности в труднодоступных внутренних полостях, карманах.

Защитной средой в печах является эндотермическая атмосфера. Эндогаз, обладая определенным углеродным потенциалом, защищает поверхность металла не только от окисления, но и от обезуглероживания. Эндотермическая атмосфера может использоваться в качестве нейтральной для среднеуглеродистых сталей, поскольку находится с ними в равновесии, т.е. не обезуглероживает и не науглероживает их. Основные преимущества эндотермической атмосферы перед другими защитными атмосферами следующие: а) экономичность; б) простота установки для ее приготовления и возможность автоматизации ее работы; в) регулируемость и универсальность, позволяющая применять ее к различным сталям и чугунам с содержанием от 0,2 до 2% С и к различным видам термической обработки (закалка, отжиг, нормализация).

В ситуации, когда габаритные размеры инструмента не позволяют использовать для нагрева под закалку печь с контролируемой атмосферой, используется твёрдый карбюратор для создания защитного барьера во время нагрева под закалку. Инструмент помещается в жаропрочный короб. Туда же помещается ящик с карбюратором. Короб герметично закрывается при помощи технологических замков и огнеупорной глины, помещается в печь, возгоняется. Карбюратор, переходя в газовую фазу, заполняет объем герметично закрытого короба с образованием твердой фазы и углекислого газа.

Твердая фаза в виде технологического покрытия садится на нагретую поверхность деталей, осуществляя их защиту от высокотемпературной коррозии, обезуглероживания и потери легирующих элементов. Итак, результат - защитное покрытие формируется в печах камерного типа с воздушной атмосферой непосредственно во время термической обработки без изменения принятых режимов термообработки.

Развивая технологию металлообработки на предприятии, решается вопрос: «Какие из технических новаций перспективны для них с точки зрения экономии и рентабельности?». Ответ на поставленный вопрос находят в собственных решениях актуальных производственных задач на основе современной науки и принципов производства.

УДК 621.793:502.171

Ресурсосберегающая технология термической и антикоррозионной обработки изделий из металла

Студент гр. 104219 Ковшик И.А.
 Научный руководитель Константинов В.М.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

В условиях повышения цен на энергоносители и сырьевые ресурсы вопросы энергосбережения при антикоррозионной и термической обработке изделий всегда представляли особую актуальность. Не смотря на наличие производственной базы в сфере антикоррозионной и термической обработке изделий, Республика Беларусь нуждается в создании ряда собственных технологий, удовлетворяющих условиям современного производства, заключающимся в обеспечении не только качества изготавливаемой продукции, но так же удовлетворении требованиям энергоэффективности и экологической безопасности.

В связи с этим возникает необходимость применения комплексного подхода в разработке новых технологий в сфере нанесения защитных покрытий, основанного не только на

повышении эксплуатационных свойств изделий, но так же на обосновании экономической эффективности определенной технологии с учетом требований экологической безопасности.

В большинстве случаев, нанесение защитных покрытий на детали производится непосредственно после окончательной термообработки деталей. Стандартные операции термической обработки заключаются в обеспечении ряда циклов нагрев - охлаждение с целью формирования структуры, обеспечивающей необходимые эксплуатационные характеристики изделия и могут составлять значительную часть себестоимости изделия.

В данном случае антикоррозионную обработку производят с применением технологий гальванического цинкования после окончательной операции термической обработки – отпуска. Покрытия, формируемые на изделии при гальваническом способе цинкования, имеют низкую стойкость к механическим воздействиям и истиранию, что связано с отсутствием диффузионного взаимодействия между металлической основой и покрытием, а так же сравнительно низкой твердостью чистого цинка.

В настоящий момент, на рынке цинковых услуг РБ лидирующие позиции отведены технологиям электролитического нанесения цинка и горячему цинкованию в расплавах. Однако, при реализации данных технологий на производстве значительные затраты идут на разработку систем очистки и регенерации отходов, от данного типа производств, что влечет за собой дополнительные экономические потери.

Известно, также, что существует ряд процессов, позволяющих получать качественные защитные покрытия на изделиях из металла при температурах, совпадающих с температурами окончательной термической обработки для ряда деталей машин за счет диффузии атомов коррозионностойкого элемента в поверхность изделия. С учетом этого, определенную перспективу представляют процессы термодиффузионного цинкования в порошковых насыщающих средах (ТДЦ). Температурный интервал процессов ТДЦ составляет от 300 до 700 °С в зависимости от времени выдержки и ряда особых технологических параметров процесса. Такой широкий интервал рабочих температур позволяет подобрать необходимый режим цинкования с учетом предварительной термической обработки изделий.

Данный способ антикоррозионной обработки раскрывает широкие перспективы при совмещении стандартных операций отпуска с одновременным насыщением поверхности детали коррозионностойкими элементами.

Таким образом, интеграция процессов ТДЦ в общий цикл термической обработки изделий позволит наносить гальвано-замещающее антикоррозионное покрытие с существенным снижением затрат на антикоррозионную обработку, а так же обеспечит возможность создания ряда собственных импортозамещающих производств на территории Республики Беларусь.

УДК 621.793

Перспектива реализации технологий термодиффузионного цинкования в условиях ОАО «МАЗ»

Студент гр. 104219 Ковшик И.А.

Научный руководитель Константинов В.М.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Для большинства деталей автотракторной техники ОАО «МАЗ» формирование антикоррозионных защитных покрытий на основе цинка производится после операций окончательной термической обработки. Для формирования защитных покрытий такого используют технологии гальванического цинкования в электролитах. Покрытия, формируемые на изделии при гальваническом способе цинкования, имеют низкую стойкость к механическим воздействиям и истиранию, что связано с отсутствием диффузионного взаимодействия между

металлической основой и покрытием, а так же сравнительно низкой твердостью чистого цинка.

Существует альтернативное направление антикоррозионной защиты на основе цинка, позволяющее получать качественные защитные диффузионные слои на стальных деталях при температурах сопоставимых с температурами окончательной термической обработки ряда деталей машин.

Формирование диффузионного слоя происходит за счет диффузионного взаимодействия атомов коррозионностойкого элемента (цинка) с поверхностью насыщаемого изделия. Данные процессы основаны на технологиях термодиффузионного цинкования в порошковых насыщающих средах (ТДЦ). Температурный интервал процессов ТДЦ находится в пределах от 350 до 700 °С в зависимости от времени выдержки и ряда специфических технологических параметров процесса. Широкий интервал рабочих температур ТДЦ дает принципиальную возможность совместить операции окончательной термической обработки стальных деталей с процессом ТДЦ.

Наиболее перспективными деталями автотракторной техники производства ОАО «МАЗ» представляющими интерес для исследования реализации процессов ТДЦ в общем цикле термической обработки являются упругие элементы и крепежные изделия. Упругие элементы и пружины автотракторной техники ОАО «МАЗ» подвергаются термической обработке с помощью агрегатов «СИЗ». Данное оборудование включает 2 печи сопротивления: (1) «СКЗ» 8.40.1/7 - для реализации операций отпуска и (2) СКЗ 8.40.1/9 - для реализации операции закалки.

Крепеж ОАО «МАЗ» подвергается термической обработке с помощью агрегатов «REMIX» АТ-180. Перед термической обработкой крепежные изделия подвергают входному контролю и очистке. Режимы термической обработки проводят в соответствии с рядом специальных программ, учитывающих определенные технологические особенности обрабатываемого крепежа. Программа выбирается в зависимости от марки стали, твердости, согласно КТИ. Нагрев под закалку производится с контролем углеродного потенциала для каждого типа программы. Закалка крепежных изделий осуществляется в 1-3% раствор NaOH либо масло И-20.

Для замены отпуска термодиффузионным цинкованием наиболее целесообразно использовать те детали, программа термической обработки которых включает отпуск при температурах сопоставимых с температурами реализации стандартных режимов цинкования способом ТДЦ, находящимися в диапазоне 400 – 480 °С. Реализация режимов ТДЦ при данных температурах наиболее рациональна и не требует дополнительного оборудования и специальной обработки цинкового порошка.

Для деталей, температура отпуска которых находится в диапазоне 440-480°С, предусмотрено увеличение длительности цинкования с целью формирования структуры с необходимым комплексом эксплуатационных свойств, а так же обеспечения твердости, регламентируемой соответствующей нормативно-технической документацией. Следует отметить, что использование гидротермально обработанных насыщающих смесей на основе цинка, а так же реализация принципа вакуумирования контейнера с обрабатываемыми деталями позволят существенно расширить номенклатуру деталей ОАО «МАЗ» для обработки способом ТДЦ.

Диффузионный отжиг цинковых покрытий полученных погружением в расплав и электролитическим методом

Студент гр. 104219 Ковшик И.А.
 Научный руководитель Вейник В.А.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Структурные составляющие диффузионного цинкового слоя полученного при погружении деталей в расплавленный цинк обладают различными свойствами. Фаза δ_1 – пластична, обладает высокой устойчивостью против коррозии. Фазы ζ , Γ – хрупки. Скорость роста отдельных фаз меняется в зависимости от температуры процесса. Согласно диаграмме состояния Fe – Zn каждая фаза устойчива в определенном температурном интервале. Создание условий процесса цинкования, при котором преимущественно развивались пластичные фазы и подавлялись хрупкие имеет ряд затруднений. В температурных интервалах 500-550 °С рост Γ -фазы замедляется а хрупкая ζ -фаза исчезает, однако растворимость железа в расплавленном цинке при данных температурах согласно диаграмме состояния Fe – Zn сильно увеличивается и ванна цинкования быстро выходит из строя, помимо этого при извлечении изделия из расплава при данных температурах на его поверхности образуется η -фаза являющиеся недостаточно стойкой в большинстве агрессивных сред.

Соотношение структурных составляющих в диффузионном покрытии определяется встречной диффузией железа и цинка. Определенное влияние на структуру покрытия оказывает термическая обработка – диффузионный отжиг. Наиболее оптимальный комплекс свойств для последующей термической обработки получается в расплавах цинка с добавкой 0,04 % алюминия. Оптимальный режим данной обработки – нагрев до 490-570 °С с выдержкой в течение 10-20 с. Охлаждение на воздухе. При этом хрупкая ζ -фаза заменяется менее хрупкой δ_1 -фазой. Покрытие при этом имеет зернистое строение и приобретает матово-серую шероховатую поверхность. Применение данной технологии актуально к листовому прокату.

Применение диффузионного отжига цинковых покрытий полученных электролитическим методом позволяет получить многофазное покрытие. До диффузионного отжига, электролитическое цинковое покрытие состоит из слоя чистого цинка, после отжига формируются интерметаллические фазы. Интерметаллические фазы имеют повышенные параметры устойчивости в условиях агрессивных сред, а также повышенные параметры микротвердости по сравнению с чистым цинком.

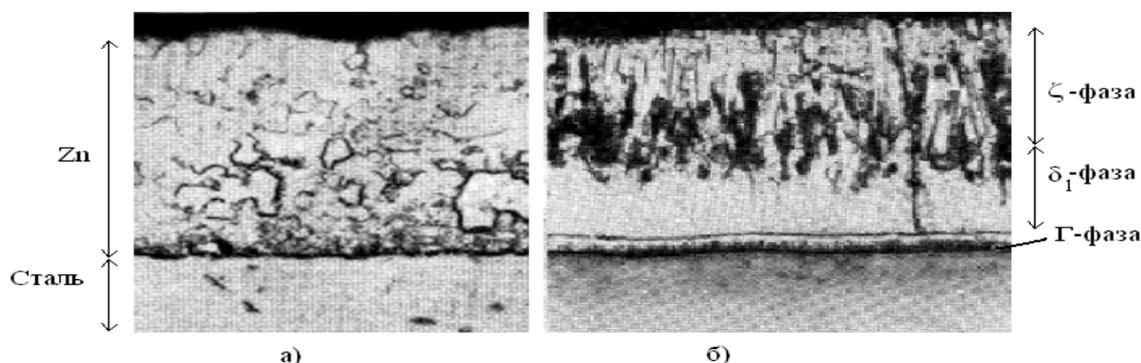


Рисунок 1 – Диффузионный отжиг электролитического цинкового покрытия:

- а – электролитическое цинковое покрытие;
 б – электролитическое цинковое покрытие после диффузионного отжига при 450 °С

На рисунке 1,а представлен образец электролитического цинкового покрытия. Видна резкая граница между стальным основанием и слоем цинка. Покрытие недиффузионного типа, т.к. процесс идёт при низкой температуре недостаточной для интенсивной диффузии. Покрытие пористое. На рисунке 1,б данное покрытие подвергнуто диффузионному отжигу при температуре 450 °С и времени выдержки 10 минут. С увеличением времени выдержки до 30 минут при температуре 450 °С структура диффузионного слоя качественно не меняется. Повышение температуры до 500 °С при тех же выдержках увеличивает количество пластичной δ_1 -фазы, но при этом растёт хрупкая Γ -фаза.

Таким образом, в процессе диффузионного отжига происходит изменение структурных составляющих цинкового покрытия. Правильные режимы термической обработки позволяют получать преимущественно наиболее коррозионностойкую δ_1 -фазу.

УДК 621.793

Пассивация цинковых покрытий

Студент гр. 104219 Ковшик И.А.
 Научный руководитель Вейник В.А.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Цель обработки цинковых покрытий после их изготовления – повышение коррозионной стойкости, улучшение внешнего вида, подготовка покрытия к окраске, а также предотвращение образования продуктов коррозии цинка – $Zn(OH)_3$.

Для повышения коррозионной стойкости оцинкованные изделия обрабатывают в растворах различных пассиваторов. Перед пассивированием поверхности обезжиривают, в случае пассивации только что оцинкованных поверхностей обезжиривание не требуется.

Затем изделия обрабатывают слабым раствором H_2SO_4 для снятия поверхностной окисной плёнки, промывают и погружают в пассивирующий раствор. В состав пассиваторов обычно входит CrO_3 , а также бихроматы калия или натрия ($K_2Cr_2O_7$, $Na_2Cr_2O_7$)

Таблица 1 – влияние пассивации на коррозионную стойкость диффузионного цинкового покрытия

Способ обработки покрытия	Глубина коррозии, мкм		
	Водопроводной воде	3%-м растворе NaCl	Тумане из 3%-го раствора NaCl
Без обработки	73	56	42 – 56
Пассивация без изменения цвета покрытия	4 – 5	22 – 23	24
То же с изменением цвета	1 – 4	14 – 19	14 – 20

При пассивации крупных изделий, окисную плёнку можно предварительно не снимать, но тогда необходимо увеличить выдержку в пассивирующем растворе до 1 – 3 минут. Толщина покрытия при этом уменьшается на 1,3 – 3,8 мкм.

После пассивации изделия промывают в воде при 50 – 60 °С и сушат сжатым воздухом. Обработанное покрытие можно использовать в средах содержащих хлориды, его стойкость значительно выше чем покрытия, не прошедшие данную обработку. В таблице 1 приведены результаты коррозионных испытаний оцинкованных изделий.

Для предотвращения образования на поверхности оцинкованного изделия белого налёта $Zn(OH)_3$, поверхности обрабатывают раствором, состоящим из 1% буры; 0,4 % ортофос-

форной кислоты и 0,2 % NaNO_3 . Цвет покрытия при обработке данным раствором не изменяется.

Применение пассиваторов широко используется в промышленности, особенно при производстве крепежа.

УДК 621.793

Сопоставительный анализ различных методов цинкования

Студент гр. 104219 Ковшик И.А.

Научный руководитель Вейник В.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Цинкование – наиболее распространенный процесс защиты металла от коррозии. Способы цинкования характеризуются многообразием технологических процессов, возможностью широкой механизации и автоматизации, высокими технико-экономическими показателями. Цинковый слой выступает не только пассивным протектором, но и создаёт активную защиту, являясь анодом по отношению к стальной основе защищаемого изделия.

Для обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции необходимо использовать наиболее ресурсосберегающую технологию, которая будет обеспечивать высокие эксплуатационные характеристики защитного цинкового покрытия. В данной работе приведен анализ наиболее распространенных способов цинкования. Существует два принципиально разных типа покрытий на основе цинка – диффузионные и недиффузионные. Диффузионные покрытия сцепляются с металлической основой на атомарном уровне вследствие протекания диффузионных процессов между насыщаемой стальной основой и насыщающим элементом (цинком).

Исходя из способов формирования защитных цинковых покрытий их физических характеристик, можно выделить шесть видов цинковых покрытий:

- Гальванические (электролитические). Покрытия на поверхность изделий наносят в растворах электролитов под действием электрического тока. Основными компонентами этих электролитов являются соли цинка. Процесс идёт при низкой температуре. Что позволяет обрабатывать детали после окончательной термической обработки. Данный тип покрытий – недиффузионный. Одним из недостатков данной технологии для ответственных деталей машиностроения (крепеж, упругие элементы) является проявление водородной хрупкости деталей, которую необходимо устранять последующим нагревом. Эксплуатационные свойства данного типа покрытий можно повысить за счет применения дополнительной термической обработки, что позволяет получить интерметаллидный диффузионный слой.

- Термодиффузионные (ТДЦ). Защитный цинковый слой формируют на изделия путем химико-термической обработки при температуре 450—500 °С в порошковых смесях на основе цинка. Диффузионные слои, полученные данным способом, обладают высокой коррозионной стойкостью а также высокими значениями микротвердости вследствие образования в диффузионном слое интерметаллических фаз. Температурный интервал позволяет совместить процессы высокого и среднего отпуска некоторых стальных деталей машиностроения (крепеж, упругие элементы) с процессом диффузионного цинкования, и, таким образом, сократить расходы электроэнергии на дополнительную антикоррозионную обработку изделия.

- Горячецинковые. Покрытия наносят на изделия методом погружением в ванну с расплавленным цинком. В зависимости от времени выдержки изделия в расплаве цинка, при данном способе цинкования могут формироваться как покрытия на основе чистого цинка, так и интерметаллидные диффузионные слои. Данная технология даёт хорошо себя зарекомендовала при необходимости антикоррозионной защиты изделий с большой площадью поверхности (листовой металл, сварные конструкции).

- **Металлизационные.** Покрытия наносят путем распыления струей воздуха или горячего газа расплавленных частиц цинка. В зависимости от способа напыления используют цинковую проволоку (пруток) или порошок цинка. В промышленности используют газопламенное напыление и электродуговую металлизацию.

- **Цинконаполненные.** Эти покрытия представляют собой композиции, состоящие из связующего и цинкового порошка. В качестве связующих используют различные синтетические смолы (эпоксидные, фенольные, полиуретановые и др.), лаки, краски, полимеры.

- **Комбинированные.** Покрытия данного типа представляют собой комбинацию цинкового покрытия любого вида с лакокрасочным либо полимерным. В мировой практике такие покрытия известны как «дуплекс-системы». В таких покрытиях сочетается электрохимический защитный эффект цинкового покрытия с гидроизолирующим защитным эффектом лакокрасочного или полимерного.

В таблице 1. приведены наименования деталей и возможность обработки их различными видами цинкования.

Таблица 1 – Сравнительный анализ применения различных видов цинкования к различным видам изделий

Наименование изделий	Горячее цинкование	Электролитический	Металлизация	ТДЦ	Цинконаполненные
Полосовой прокат	+	+	+	-	+
Трубы	+	+	+	+	+
Проволка	+	+	-	-	х
Сборные металлоконструкции	+	-	+	-	+
Мелкие детали	+	+	х	+	х

+ – технология применяется, - – применяется, х – применяется ограниченно.

Единого метода цинкования подходящего под все детали не существует, всё зависит от формы детали, а также допустимой температуры нагрева изделия. Рациональный выбор технологии позволяет сэкономить ресурсы.

УДК 621.785.54

Лазерная закалка

Студенты гр. 104210 Коротков А.С., Кривальцевич А.С.
 Научный руководитель Вейник В.А.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Лазерная закалка металлов и сплавов лазерным излучением основана на локальном нагреве участка поверхности под воздействием излучения и последующем охлаждении этого поверхностного участка со сверхкритической скоростью в результате отвода теплоты во внутренние слои металла.

При этом время нагрева и время охлаждения незначительны, практически отсутствует выдержка при температуре нагрева. Эти условия обеспечивают высокие скорости нагрева и охлаждения обрабатываемых поверхностных участков. Вследствие указанных особенностей формирования получают тонкую кристаллическую структуру.

Технология лазерной закалки полностью автоматизирована и позволяет упрочнить плоские, цилиндрические поверхности, а также детали со сложной геометрией (режущий инструмент, пресс-формы, штампы и т.д.). Чтобы закалить заготовку, лазерный луч нагревает

внешние слои до температуры аустенитного превращения со скоростью около 730 °С в секунду. Это приводит к гомогенизации металла и росту аустенита. В зависимости от материала, температура аустенитного превращения приблизительно равна 900...1400 °С и сохраняется 3-10 сек. После того, как заданная температура достигнута, лазерный луч перемещают по контуру обрабатываемой поверхности, после прекращения действия излучения участок охлаждается за счёт отвода теплоты во внутренние слои металла: происходит самоохлаждение. Быстрое охлаждение создает очень твёрдую мартенситную структуру. Технология лазерной закалки является экологически чистой, так как не требует использования дополнительной охлаждающей среды, такой как вода, масло или сжатый воздух.

Полученная прочность соответствует верхнему пределу мартенситного превращения, глубина проникновения зависит от типа материала и составляет от 0,1 до 0,2 мм, при твердости с 35 до 68 HRC (в зависимости от химического состава).

Основной целью лазерного термоупрочнения сталей, чугунов и цветных сплавов является повышение износостойкости деталей, работающих в условиях трения. В результате лазерной закалки достигаются высокая твердость поверхности, высокая дисперсность структуры, уменьшение коэффициента трения, увеличение несущей способности поверхностных слоев, минимальная деформация поверхности, сохранение в центре детали высокой пластичности, требуется минимальная (или даже иногда не требуется) механическая обработка и другие параметры. Заметно увеличивается износостойкость чугунов и алюминиевых сплавов в условиях трения скольжения после обработки непрерывным лазером. Повышение износостойкости чугунов после лазерной обработки обусловлено не только соответствующим структурным и фазовым составом, но и улучшением условий трения благодаря сохранившемуся в зоне лазерного воздействия графиту. Также повышается износостойкость сталей и некоторых других сплавов при трении в щелочной и кислой средах.

Режимы лазерной закалки

Для упрочнения инструментов применяется лазерная закалка импульсным излучением. Эффективна обработка боковых поверхностей вырубных пуансонов, так как в этом случае упрочненный слой сохраняется после многократных переточек. Стойкость пуансонов возрастает в 2,5 раза.

Более высокая производительность закалки обеспечивается лазерами непрерывного излучения при перемещении обрабатываемой детали относительно луча с постоянной скоростью. При этом на детали формируются закаленные поверхностные участки в виде полосы шириной от 1 до 10 мм. Максимальная глубина упрочнения при закалке сталей и чугунов без оплавления достигает 2,0 мм. При обработке с оплавлением это значение возрастает, но при этом ухудшается качество поверхности.

Закалка непрерывным лазером обеспечивает большую равномерность упрочнения поверхности по сравнению с импульсным воздействием, так как по длине упрочненной полосы твердость распределяется равномерно. При обработке больших поверхностей упрочненные полосы накладывают с перекрытием. В ряде случаев для обеспечения износостойкости поверхности целесообразно накладывать полосы на некотором расстоянии друг от друга без перекрытия.

Последующее выравнивание свойств упрочненной полосы и увеличение ее ширины до 20 мм достигается сканированием лазерного луча в поперечном направлении по отношению к перемещению обрабатываемой детали. При высокой частоте сканирования (200 Гц и более) обеспечивается равномерное воздействие лазерного излучения по ширине обрабатываемого участка.

Внедрение технологии лазерной обработки обеспечит России и Беларуси экономию ресурсов в размере 100 млрд. рублей.

Широкое распространение лазерной обработки материалов приведет к повышению износостойкости, увеличению срока службы техники. По экспертной оценке, внедрение этой технологии в масштабах Союзного государства России и Беларуси позволит уменьшить по-

требность в запасных частях, потери времени и затраты на ремонт оборудования, повысить общую производительность труда, а также обеспечит экономию ресурсов не менее чем на 100 млрд. рублей за небольшой промежуток времени.

УДК 621.785

Химико-термическая обработки конструкционных сталей

Студенты гр. 104210 Кривальцевич С.А., Коротков А.С.
Научный руководитель Вейник В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Изобретение относится к области металлургии, в частности к способам химико-термической обработки деталей из конструкционных теплопрочных сталей, зубчатых колес, валов, пар трения и других деталей, работоспособных при нагреве в зоне контакта до 500°C.

Способ химико-термической обработки деталей из конструкционных сталей, состоящий из цементации при 900-920°C, отпуска при 650°C в течение 5 часов, закалки с температуры 780-900°C в масле, обработки холодом -70°C в течение 2 часов, отпуска при 160-350°C. При этом твердость цементованного слоя составляет 58-60 HRC.

Уменьшается концентрация углерода в мартенсите при низкотемпературном отпуске, что приводит к снижению твердости слоя, т.е. разупрочнению. Детали могут быть использованы при рабочих температурах 150-300°C. В зоне контакта до 450-500°C идет резкое снижение твердости цементованного слоя до 50-54 HRC вместо ≥ 60 HRC, резкое снижение контактной долговечности и усталостной прочности при изгибе $\sigma_{-1} = 590-690$ МПа.

Известен способ термообработки вторичнотвердеющих быстрорежущих сталей, заключающийся в закалке от высоких температур 1240-1280°C в масле, обработке холодом и трехкратном отпуске при 530-560°C.

Способ не может обеспечить высокую ударную вязкость в комплексе с максимальной твердостью, что может быть обеспечено только на высоконикелевой теплостойкой вторичнотвердеющей стали. Этот способ термообработки пригоден только для безникелевых инструментальных сталей.

Никель и марганец во вторичнотвердеющей инструментальной стали считается вредной примесью, так как увеличивает устойчивость остаточного аустенита до такой степени, что он не превращается в мартенсит после трехкратного отпуска при 560-600°C, тем самым не обеспечивается максимальный уровень вторичного твердения. Для получения, кроме прочих свойств, высокой ударной вязкости необходимо использование стали со значительным количеством никеля, для которой требуется другая последовательность операций.

Последующая обработка холодом при -70°C формирует в слое неоднородную структуру - крупноигльчатый мартенсит различной травимости и остаточный аустенит, что приводит к возникновению в слое неблагоприятных растягивающих напряжений вместо сжимающих $\sigma_{ост} - 290--490$ МПа.

Недостатком способа является характер остаточных напряжений, создающихся в цементованном слое при непосредственном после закалки охлаждении до температуры ниже нуля, что резко снижает ударную вязкость цементованного слоя и усталостную прочность при изгибе.

Технической задачей предлагаемого изобретения является создание способа химико-термической обработки деталей из конструкционных сталей, обладающих повышенной усталостной прочностью при изгибе, контактной долговечностью и ударной вязкостью цементованного слоя, что обеспечит увеличение ресурса работы изделий.

Поставленная задача достигается тем, что предложен способ химико-термической обработки деталей из конструкционных сталей, включающий цементацию, закалку, промежу-

точный отпуск, обработку холодом и окончательный отпуск, отличающийся тем, что цементацию проводят при 920-940°C, после которой дополнительно проводят высокотемпературный отпуск при 640-680°C и закалку при температуре 980-1000°C, а промежуточный отпуск осуществляют при температуре 500-520°C по крайней мере два раза.

Установлено, что при отпусках дисперсионного твердения из остаточного аустенита выделяются специальные карбиды, а из мартенсита – легированный цементит. Следовательно, для получения высокой твердости и теплопрочности необходимо после закалки получить большое количество остаточного аустенита, а затем в процессе промежуточных отпусков 500 – 520°C выделить спецкарбиды, затем провести обработку холодом и окончательный отпуск. Таким образом, установленные закономерности вторичного твердения конструкционной стали привели к необходимости построения нового цикла термообработки.

Цементация конструкционных сталей проводится при 920-940°C. При этой температуре обеспечивается наиболее оптимальная для конструкционных сталей концентрация углерода в поверхностном диффузионном слое 1,3-1,5%, максимальная твердость $\geq 60\text{HRC}$ и глубина насыщенной карбидной зоны ~0,25-0,35 мм сумма карбидных фаз 15-20%.

Получение в цементованном слое большого количества карбидной фазы приводит к блокирующему влиянию на сдвиги при пластической деформации, в результате чего повышается усталостная прочность и контактная долговечность обрабатываемых деталей.

Повышение температуры цементации ~1000°C приводит к увеличению предела растворимости углерода в аустените. При этом скорость диффузии растет быстрее, чем скорость поверхностной адсорбции и на поверхности формируется незначительное количество карбидной фазы 5% вместо 15-20%.

После цементации проводится операция высокотемпературного отпуска при 640-680°C, которая сопровождается образованием большого количества карбидов, что приводит к обеднению твердого раствора углеродом и легирующими элементами и обеспечивает более благоприятную исходную структуру для получения равномерного распределения аустенита после закалки и устраняет наследственную устойчивость аустенита.

При последующей закалке при 980-1000°C в цементованном слое стали образуется большое количество остаточного аустенита ~70%. В процессе промежуточных отпусков при 500-520°C протекает мартенситное превращение и выделение из аустенита большого количества высокодисперсных частиц спецкарбидов Me_{23}C_6 , M_6C , легированных Mo, W, V, которые, увеличивая энергию связи атомов в карбидах, повышают их устойчивость против коагуляции, в результате чего повышается твердость 57-60 HRC, теплопрочность до 500°C, контактная долговечность и усталостная прочность обрабатываемых деталей.

Обработка холодом повышает твердость до требуемых значений 61-63 HRC, обеспечивая более полное превращение остаточного аустенита в мартенсит. Применение обработки холодом после промежуточных отпусков дисперсионного твердения позволяет существенно повысить твердость цементованного слоя ~3-4 ед. HRC с одновременным повышением усталостной прочности, контактной долговечности при обеспечении высокой ударной вязкости цементованного слоя. Окончательный, после обработки холодом, отпуск проводится с целью отпуска мартенсита, образующегося в процессе предварительных обработок.

Студенты гр. 104210 Кривальцевич С.А., Коротков А.С.

Научный руководитель Вейник В.А.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Изобретение относится к металлообрабатывающей промышленности, в частности к способам резания металла на металлорежущих станках.

Известен способ механической обработки деталей из конструкционных сталей резанием, включающий нагрев обработанной детали внешним источником тепла (см., например, патент РФ №2340427, В23В 1/00, опубл. 2008 г.).

Недостатком известного способа механической обработки деталей из конструкционных сталей резанием является то, что прогрев поверхности детали производится при тангенциальном расположении горелки к поверхности нагреваемой детали. Это приводит к рассеиванию тепловой энергии и неравномерности прогрева детали. При этом горелку перемещают на расстояние, связанное с глубиной прогрева детали, а не с зоной снимаемого металла режущим инструментом, связанной с его рабочей режущей шириной, что также приводит к неравномерности прогрева детали в зоне обработки. Данные недостатки ведут к дополнительному разупрочнению структуры металла, снижают параметры шероховатости и производительность процесса резания в целом.

В основу изобретения поставлена задача обеспечения однородного прогрева поверхности детали в зоне обработки, как по глубине, так и по ширине, при этом зона нагрева поверхности детали должна быть не менее рабочей части режущего инструмента. Это обеспечит улучшение параметров шероховатости, не приведет к дополнительному разупрочнению металла и повысит производительность процесса резания с одновременным улучшением качества обработанной поверхности и сохранением первоначальной структуры металла.

Поставленная задача решается тем, что в способе механической обработки деталей из конструкционных сталей резанием, который включает нагрев обрабатываемой детали внешним источником тепла в виде горелки, тепловое излучение горелки направляют перпендикулярно обрабатываемой поверхности детали, зона нагрева этой поверхности составляет не менее рабочей части режущего инструмента, а сам нагрев осуществляют путем взаимно перпендикулярного перемещения горелки и стола режущего станка, при этом механическая обработка деталей производится фрезерным станком.

Поскольку тепловое излучение горелки направляют перпендикулярно обрабатываемой поверхности детали, зона нагрева этой поверхности составляет не менее рабочей части режущего инструмента, а сам нагрев осуществляют путем взаимно перпендикулярного перемещения горелки и стола режущего станка, при этом механическая обработка деталей производится фрезерным станком, обеспечивается улучшение параметров шероховатости, не происходит дополнительного разупрочнения металла, повышается производительность процесса резания за счет равномерного, однородного прогрева поверхности детали только в зоне обработки.

Обработка с нагревом на фрезерных станках плоских и коробчатых деталей из труднообрабатываемых сплавов, например, содержащих значительный процент хрома и молибдена либо вольфрама, требует прогрева сразу всей фрезеруемой поверхности плоских, а также сварнолитых стальных деталей. Сварной шов при фрезеровании играет такую же роль, как труднообрабатываемый металл, поскольку содержит большое количество неметаллических включений.

Предложенный способ механической обработки деталей, как указано выше, обеспечивает равномерный прогрев металла непосредственно перед режущим инструментом, и осо-

бенно важен в тех случаях, когда необходимо увеличить мощность самой горелки, не вызывая перегрев детали, особенно для сплавов, легированных легкоплавкими элементами.

На графическом материале изображено устройство для осуществления способа механической обработки деталей из конструкционных сталей резанием с использованием фрезерного станка.

Устройство представляет собой фрезерный станок со столом. На столе установлена обрабатываемая деталь плоской или коробчатой формы. На стойке станка, на консоли закреплена с возможностью перемещения горелка. К горелке гибкими шлангами подключены баллоны и с ацетиленом и кислородом соответственно. Обработка поверхностей детали производится фрезой.

Способ механической обработки деталей из конструкционных сталей резанием осуществляют следующим образом.

Плоскую фрезеруемую поверхность детали, например, из стали Х4В2ФМ, нагревают пламенем ацетиленокислородной горелки с регулируемым расходом газа так, чтобы в плоскости касания пламени с обрабатываемой поверхностью деталь имела температуру 800...1000°C. При этом горелку перемещают на консоли таким образом, чтобы пятно нагрева пламени охватывало деталь перед фрезой и зона нагрева была не менее рабочей части фрезы. Одновременно производят перемещение стола с деталью, причем стол и горелка перемещаются взаимно перпендикулярно, а тепловое излучение горелки направлено перпендикулярно обрабатываемой поверхности детали, создавая полосу равномерного прогрева с достижением на глубине резания температуры 450...550°C. Гибкие шланги позволяют горелке свободно перемещаться относительно стола станка над деталью. Благодаря такому перемещению обеспечивается одновременный и равномерный прогрев детали по всей площади и глубине обрабатываемой поверхности. По достижении в срезаемом слое температуры разупрочнения металла процесс резания протекает непрерывно с образованием чешуйчатой легкоудаляемой стружки. При фрезеровании фрезу охлаждают смазывающей охлаждающей жидкостью. Местное однородное разупрочнение металла за счет взаимно перпендикулярного перемещения стола с деталью и горелки и перпендикулярного направления действия теплового излучения на обрабатываемую поверхность значительно интенсифицирует процесс фрезерования, обеспечивает заданные параметры шероховатости и не приводит к дополнительному разупрочнению металла.

Различные температурные режимы обрабатываемых деталей в зависимости от их формы необходимы в связи с тем, что происходит различная теплоотдача с их поверхности, а в зоне фрезерования должен поддерживаться определенный температурный режим.

Таким образом, как показали опытно-экспериментальные исследования, в результате осуществления предлагаемого способа обеспечивается повышение производительности процесса резания деталей из труднообрабатываемых сплавов и корпусных сварнолитых изделий в 8...12 раз с одновременным улучшением качества обрабатываемой поверхности и сохранением первоначальной структуры металла.

УДК 621.785.4

Использование вакуумного термического комплекса с закалкой газом высокого давления при химико-термической обработке металлов и сплавов

Студент гр. 104210 Лайко А.А.
Научный руководитель Вейник В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Процессы термической и термохимической обработки протекают в отдельных, независимых друг от друга камерах. Поэтому разные процессы ТО можно проводить параллельно.

В зависимости от производственной ситуации, отдельные камеры можно отключить в любое время.

Это обеспечивает высочайшую гибкость процессов и повышает степень использования оборудования, экономит энергию и сокращает затраты. Посредством разделения функций транспортировки и закалки, возможно, продолжать загрузку камер обработки даже во время процесса закалки.

Это повышает степень использования всего комплекса и улучшает экономичность. Расширение комплекса новыми камерами термообработки, возможно, проводить при запущенном производстве без задержки выпуска в течении одного двух дней.

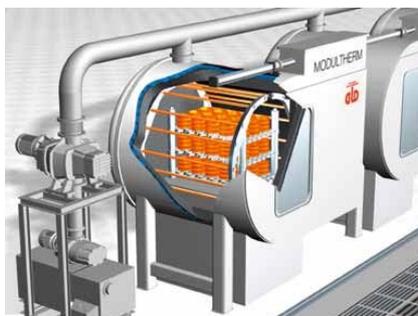


Рисунок 1. - Камера термообработки

Челночный модуль.

За внутренние перемещения садки внутри установки ModulTherm®2.0 отвечает челночный модуль. Он идеально объединяет функции перемещения и закалки и, тем самым, обеспечивает наилучшую степень использования установки.

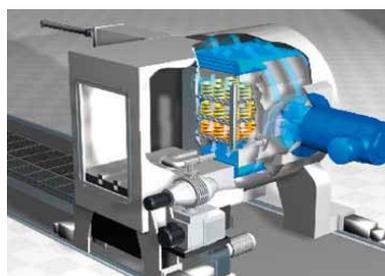


Рисунок 2. - Челночный модуль, состоящий из транспортной и закалочной камер.

Транспортная камера.

Транспортная камера жестко закреплена на челночном модуле. Вилочно-погрузочная система обеспечивает абсолютно все перемещения холодных и горячих садок внутри термического комплекса ALD ModulTherm®2.0. Все системы приводов вынесены за пределы транспортной камеры, не подвергаются при этом термическим нагрузкам и легко доступны для обслуживания.

Камера закалки.

Для закалки низколегированных конструкционных и улучшаемых сталей ALD делает ставку на экологически чистую сухую закалку газом. При этом в специально разработанной закалочной камере детали равномерно, и в соответствии с процессом, закаливаются охлаждающим газом, как азот или гелий, под высоким давлением до 20 бар и при высокой скорости потока. Преимуществами запатентованной ALD Vacuum Technologies GmbH технологии закалки газом высокого давления являются особенно низкий разброс твердости и минимальные коробления деталей. В случае массивных деталей это обеспечивается реверсированием потока газа закалки, т.е. поочередной продувкой садки закалочным газом сверху вниз и наоборот. Особо тонкие детали динамически закаливаются с настолько малыми короблениями, что во многих случаях много затратных процессов последующей механической обработки можно избежать.

На Минском тракторном заводе внедрена технология химико-термической обработки деталей в вакууме с закалкой в среде инертного газа на установке «ModulTherm» немецкой фирмы «ALD Vacuum Technologies». Данное оборудование смонтировано в механическом цехе в составе технологической линии для механической обработки шестерен, валов и других деталей тракторов «Беларус».

Модульная вакуумная установка для термообработки «ModulTherm» представляет собой полностью автоматическую систему. Наличие штабелеров-накопителей на 36 поддонов позволяет проводить химико-термическую обработку деталей без участия основного производственного персонала до 24 часов. Большим преимуществом является то, что выполнение ремонтно-профилактических работ на отдельных модулях возможно без прекращения действия всей установки.

Следует отметить, что химико-термическая обработка в вакууме с закалкой в среде инертного газа имеет ряд преимуществ по сравнению с ее традиционной технологией. Сокращается технологическое время, улучшается качество обрабатываемых деталей, снижаются затраты, улучшаются экологические условия. Кроме того, обеспечивается гибкость и легкая переналадка технологии, стабильная воспроизводимость результатов.

В качестве закалочной среды используется экологически безопасный инертный газ — гелий, в итоге отсутствуют отходы производственного процесса. После проведения термообработки отпадает необходимость в очистке деталей дробью. Процесс регенерации гелия позволяет восстанавливать до 95—98 процентов газа, используемого на закалку. Применение в высокотемпературных печах современных футерованных материалов дает возможность снизить затраты на расходование топливно-энергетических ресурсов.

Использование установки «ModulTherm» на МТЗ позволило значительно улучшить качество химико-термической обработки и обеспечить снижение затрат на производство. Неоспоримым преимуществом «ModulTherm» является и то, что она установлена в общей линии механической обработки, и все операции технологического цикла, от поковки до изготовления годной детали, производятся на одном участке без дополнительных межцеховых транспортных перевозок.

УДК 621.785.525

Использование вакуумной цементации при химико-термической обработке

Студент гр. 104210 Лайко А.А.
Научный руководитель Вейник В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Цементация в вакууме и плазме являются вакуумными технологиями, где газ цементации находится под абсолютным давлением в несколько мбар. Для цементации используются углеводороды, например метан, ацетилен или пропан, причем пропан и ацетилен используются для цементации в вакууме.

Метан для достижения требуемого эффекта цементации требует дополнительного воздействия плазмы. Цементация в плазме с использованием метана имеет преимущество, если требуется частичная цементация. В этом случае на ту часть детали, которая не должна подвергаться цементации помещается съемный защитный металлический экран. Это легче, чем использовать пасту, которую трудно удалять.

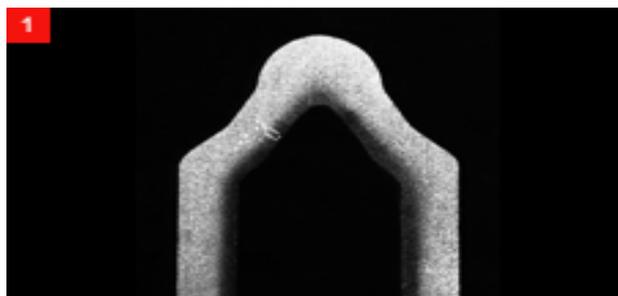


Рисунок 1 – Форсунка для впрыска топлива после частичной цементации в разрезе



Рисунок 2 – Типичные детали после цементации (автомобильные трансмиссии)

Применение цементации в вакууме.

Цементация в вакууме с использованием пропана или ацетилена применяется в большинстве случаев для деталей несложной геометрии. Однако было доказано, что ацетилен дает лучший выход по углероду из-за своей нестабильности и более высокого содержания углеродов на моль. Поэтому, используя ацетилен, можно без особых проблем производить цементацию даже плотно загруженных садок с деталями сложной геометрии.

Таблица 1 – Термическое разложение во время цементации

Газ цементации	Содержание углерода (массовая доля)	Выход углерода (% от углерода, переданного в садку)
Метан CH_4	75%	<3%
Пропан C_3H_8	82%	~25%
Ацетилен C_2H_2	92%	~60%

Небольшое количество технологического газа проходит через рабочую камеру и удаляется вакуумными насосами. Параметры процесса напр. температура и проток газа, определяются в зависимости от требования к деталям и используются для управления процессом. Для достижения необходимого углеродного профиля цементация сменяется этапом диффузии, весь процесс завершается этапом диффузии. Эта последовательность также является параметром системы управления.

Преимущества процесса

По сравнению с цементацией в атмосфере цементация в вакууме имеет множество преимуществ. Из-за более высокой скорости подачи газа время цикла значительно сокращаются. В вакуумных установках можно получить более высокую температуру, что также сокращает время процесса, особенно для большей глубины слоя цементации.



Рисунок 3– Различные детали для цементации в вакууме



Рисунок 4 – Типичная садка деталей коробок передач для цементации

Преимущества цементации в вакууме

- Быстрая передача углерода;
- Отсутствие поверхностного окисления;
- Равномерность глубины слоя цементации;
- Возможность встраивания в производственную линию;
- Незначительный расход газа цементации;
- Можно проводить цементацию на высоких температурах.

УДК 621.785.4

Использование вакуумных технологий при химико-термической обработке металлов и сплавов

Студент гр. 104210 Лайко А.А.

Научный руководитель Вейник В.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Вакуумные печи можно рассматривать как альтернативу повсеместного метода закалки в масле. Нагрев происходит конвективно с давлением газа до 300 МПа или в вакууме. Хорошее расположение зоны вывода горячих газов из нагревательной камеры дает улучшение равномерности охлаждения и великолепные результаты скорости охлаждения. Закалка возможна различными газами: азотом, гелием, водородом до давления 20 бар.

Закалка газом вызывает существенно меньшие коробления. Оборудование позволяет выбирать скорость закалки. Следовательно, деталь закаливается с той скоростью, которая дает необходимую твердость, но не быстрее, так как повышенная скорость ведет к повышенной деформации.

Наиболее известный производитель вакуумных печей в Европе немецкая фирма «ALD» производит горизонтальные, вертикальные вакуумные печи, печи с вращающимся подом во время цикла охлаждения.

Вакуумные печи SWL с круглой нагревательной камерой и нагревательными элементами из изогнутого графита, со вспомогательным оборудованием конвекционного нагрева ConFlar в настоящее время являются авангардом конструкций вакуумных печей.

Вакуумная термическая обработка благоприятна с точки зрения окружающей среды. Отпадают такие экологические проблемы, как масло, моющие средства или закалочные соли.

Вакуумные установки для термической обработки работают: с равномерным нагревом; высокой равномерностью температуры; равномерной закалкой; изменяемой скоростью закалки; высокой мощностью закалки; коротким временем циклов; конвективным нагревом.

Вакуумные печи гарантируют: незначительные коробления; надежность; экономичность.

Вакуумная цементация и нитро цементация.

Вакуумная цементация и нитро цементация представляют собой наиболее эффективные способы насыщения сталей. В качестве насыщающей атмосферы при цементации используют ацетилен, при нитро цементации ацетилен и аммиак.

Разработана уникальная технология вакуумной цементации FineCarb, которая основывается на смеси трех газов. Эта технология гарантирует чистый процесс без внутреннего окисления, которое можно наблюдать при технологии, основанной на ацетиле. Вакуумная цементация проводится в вакууме при давлении 1-15 Мбар в углеродсодержащей среде, где носителем является этилен с ацетиленом, смешанные с водородом или аммиаком в определенной запатентованной пропорции.

Возможно использование газов пропана (C_2H_4), этилена (C_2H_2) или ацетилена (C_2H_2).

УДК 621.762

Использование карбидосталей на основе TiC в промышленности

Студентки гр. 104210 Лущик М.Э., Чепаченко Ю.И.

Научный руководитель Вейник В.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Карбидостали – особый класс материалов, изготавливаемый методом порошковой металлургии, содержат от 30 до 70% карбидной фазы и по уровню режущих свойств занимают промежуточное положение между быстрорежущими сталями повышенной теплостойкости (P6M5K, P9M4K8) и W-Co-сплавами (типа VK8), превосходя последние по прочности при изгибе на 600-800 МПа.

Инструментальные быстрорежущие стали, имея в своем составе до 30% карбидной фазы, обладают способностью изменять свои свойства в результате термообработки и могут подвергаться достаточно сложной механической обработке. В термообработанном состоянии они достаточно вязки и способны работать в условиях ударных нагрузок.

Твердые сплавы содержат 80–95% твердой фазы, характеризуются высокой твердостью и практически не поддаются механической обработке. Склонность твердого сплава к хрупкому разрушению не дает возможности использовать его в тех условиях, где имеются ударные нагрузки.

Наибольшее распространение получили следующие способы изготовления карбидосталей:

а) прессованием смеси порошков исходных материалов в брикеты и последующим спеканием полученных прессовок;

б) пропиткой пористого спеченного карбидного каркаса стальным расплавом; в) легированием чугунов.

Выбор метода получения карбидосталей определяет область их применения, желательный комплекс свойств конечного продукта.

Приготовление порошковой смеси состоит в смешивании порошка TiC с порошком стали-связки заданного состава либо со смесью порошка железа с порошками легирующих компонентов. В качестве металла-связки обычно используются легированные инструментальные стали марок X12M, X4H2MB, X6B3M, 5X6BM2, P6M5K5. В таблице 1 представлены характеристики свойств, спеченных карбидосталей после закалки и отпуска.

Таблица 1 – Свойства карбидосталей, спеченных в вакууме

Марка стали	Массовая доля TiC, %	HRC _c после				$\sigma_{изг}$	$\sigma_{сж}$
		спекания	отжига	закалки	отпуска		
X12M	50	62	47	70	70	1200	3100
	30	55	31	66	63	1500	2000
X4H2MB	50	63	54	72	71	1100	3600
	30	57	42	66	65	1400	2200
X6B3M	30	58	38	68	67	1230	3100
	10	47	15	57	56	1320	2500
5X6BM2	30	58	37	67	67	1250	2900
	10	48	18	56	55	1350	2300

Карбидостали обладают высокой твердостью при нагреве, сравнительно низким коэффициентом трения, устойчивостью против адгезии при обработке материалов, незначительным изменением размеров при термической обработке. Карбидостали легче инструментальных сталей на 12 %, твердых сплавов — на 50 %.

Одной из разновидностей карбидосталей можно считать композиционные материалы, представляют собой металлические матрицы (основы) с заданным распределением в них упрочнителей (например, дисперсных частиц и др.). При этом эффективно используются индивидуальные свойства составляющих композиции. Комбинируя объемное содержание компонентов, можно, в зависимости от назначения, получать материалы с требуемыми значениями прочности, жаропрочности, модуля упругости, абразивной стойкости, а также создавать композиции с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами. В настоящее время существующие промышленные способы получения карбидосталей основаны в большинстве случаев на методах порошковой металлургии с последующим их прессованием.

Карбидостали, состоящие из легированных сталей и тугоплавких карбидов (обычно TiC), сочетают твердость и износостойкость карбида титана с хорошими механическими и технологическими свойствами стали. Все это определяет широкую область использования карбидосталей для изготовления режущего инструмента, инструментов для бесстружковой обработки (штампов, пуансонов, валок), для деталей измерительных инструментов, а также в качестве конструкционного материала для кулачков, роликов, втулок, зубчатых колес, деталей подшипников и других деталей, работающих в условиях сухого трения и агрессивных сред.

УДК 669.018.2

Использование в технике материалов с эффектом памяти формы

Студентка гр. 104210 Лущик М.Э.
 Научный руководитель Пучков Э.П.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Целью настоящей работы является выявление перспектив практического использования материалов с эффектом памяти формы. Благодаря исследованиям последних десятилетий разработаны уникальные материалы, которые существенно изменяют представления о закономерностях неупругого деформирования.

Такие материалы способны полностью самопроизвольно восстанавливать форму за счет обратимого мартенситного превращения, несмотря на значительные силовые воздействия. Явление, при котором наблюдается полная или частичная обратимость неупругой деформации называется эффектом памяти формы. Эффект памяти формы состоит в том, что образец, имеющий определенную форму в аустенитном состоянии при повышенной темпера-

туре, пластически деформируют при более низкой температуре мартенситного превращения. После отогрева в область обратного превращения исходная характерная форма восстанавливается и принимает свою первоначальную конфигурацию.

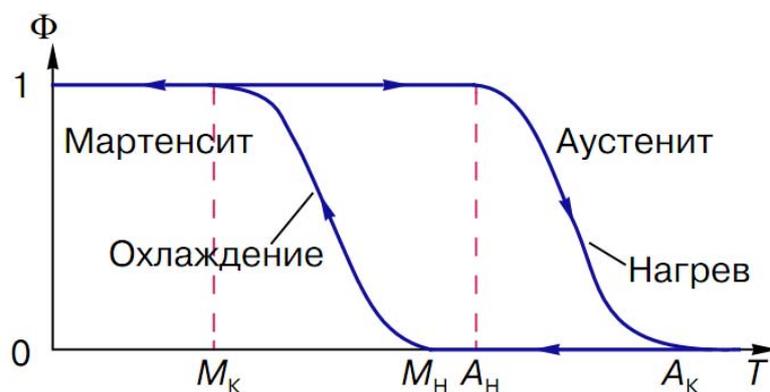


Рис. 1. Зависимость относительного количества мартенсита от температуры

Самыми распространенным сплавами с ЭПФ являются сплавы Ti-Ni (никелид титана или нитинол) и сплавы на основе меди Cu-Al-Ni и Cu-Al-Zn. Последние в свою очередь популярны в производстве из-за невысокой стоимости. Но такие недостатки сплавов на основе меди как высокая хрупкость, низкое сопротивление усталости и изменение свойств в результате старения при температурах ниже эксплуатационных снижают их позиции в производстве, отдавая предпочтения нитинолу. Процесс производства нитинола сложен. Никелид титана в жидком состоянии легко поглощает газы и взаимодействует со многими веществами. Необходимая чистота производства обеспечивается за счет применения вакуумных печей и сложного вспомогательного оборудования. Поэтому широкое применение нитинола лимитируется его высокой стоимостью.

Несмотря на себестоимость, нитинол имеет существенный ряд достоинств. Высокая коррозионная стойкость NiTi и хорошая совместимость с тканями и отсутствие реакций отторжения биологических структур человеческого организма поспособствовали широкому распространению в медицинской промышленности. Разработаны уникальные стенты для сосудистой хирургии, способные выдерживать от 10 до 20 миллионов циклов «сжатия-расширения». Сегодня во всем мире стали хорошо известны брекет-системы, различные ортопедические приспособления, с дозированной корректирующей нагрузкой на область пораженной костной ткани. Из сплавов с памятью формы изготавливают фильтры для кровозаменителей, зажимы артерий головного мозга, скрепки и пластинки для фиксации переломов, детали протезов, элементы конструкций насосов для искусственных сердец, внутрикостные шпильки, устройства для скелетного вытяжения и коррекции позвоночника. В Японии создан робот с плечевой опорой, локтевым шарниром, запястьем и захватом, имеющий пять степеней свободы.

Как дополнительный элемент нитинол используются в целом ряде устройств, конструкции которых предполагают перемещения, вызываемые теплом. Так, например, нитинол используется в устройствах противопожарной защиты, для герметизации стыков летательных аппаратов, подводных лодок и предотвращения утечки радиации на атомных электростанциях. Соединения труб, изготовленных из сплавов с эффектом памяти формы, с соответствующими размерами стенок и муфтой с толщиной тела лишь 2 мм могут выдерживать высокое давление (в пределах сотни атмосфер).

В космической промышленности разработаны «самораскрывающиеся» компактные антенны, изначально, на земле, плотно упакованные для удобства транспортировки в открытый

космос. Антенна скручивается в маленький бунт, а после запуска в космос восстанавливает свою первоначальную форму при нагреве до температуры выше 100°C.

Свойства сплавов с ЭПФ обеспечивают возможность их инновационного производства и применения в отраслях машиностроения, аэрокосмической и ракетной технике, приборостроения, энергетики и медицины. Совмещая силовые и деформационные свойства элементов из металла с ЭПФ, удастся проектировать исключительно простые и эффективные устройства, которые с каждым днём завоевывают популярность и становятся неотъемлемой частью современного производства.

УДК. 66-963

Перспективность замены химического оксидирования на высоковольтное электролитическое оксидирование

Студентки гр. 104219 Марышева А.А., Бекетова И.Ю.
Научный руководитель Соколов Ю.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Процесс оксидирования представляет собой формирование оксидных пленок на поверхности металла, как в целях защиты, так и для придания металлическому изделию декоративных свойств. Наиболее широкое применение ранее имело химическое оксидирование, но сегодня целесообразной является его замена на анодирование или высоковольтное электрохимическое оксидирование (ВВЭО).

Химическое оксидирование осуществляют обработкой изделия в растворах (расплавах) окислителей. При этом на поверхности детали образуется тонкая пассивная пленка, предохраняющая металл от коррозии. Состав пленки зависит от состава раствора, в котором производится оксидирование. Для черных металлов химическое оксидирование проводится при температуре от 30 до 100 °С в щелочных либо кислотных составах. Для кислотного оксидирования используют, в основном, смесь нескольких кислот, например, азотная (или ортофосфорная) и соляная кислоты с некоторыми добавками ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, соединения Mn). Щелочное оксидирование проводится в более широком интервале температур (30 – 180 °С). В состав вводят окислители. После нанесения оксидного слоя металлические изделия хорошо промываются и сушатся. Иногда готовое покрытие промасливают или дополнительно обрабатывают в окислительных растворах.

Основное преимущество пленок, получаемых химическим оксидированием,— экономичность и простота получения. Однако, они являются тонкими и вследствие своей мягкости не могут работать на истирание и износ, кроме того, они имеют довольно низкую коррозионную стойкость.

Пленки с более широким комплексом свойств можно получить высоковольтным электрохимическим оксидированием.

Анодирование проводят в жидких либо твердых электролитах. При анодировании поверхность металла, который окисляется, имеет положительный потенциал.

Анодированием можно получать на алюминии плёнки с различными заранее заданными свойствами. Можно получать твердые и мягкие защитные, безпористые, пористые, эластичные, хрупкие. Различные свойства получают при варьировании составом электролита и режимами электролиза.

При электрохимическом оксидировании сначала образуется тонкий слой оксидов, а потом кислород, проникает сквозь этот слой, упрочняя и утолщая его. Оксидный слой достигает толщины около 0,01 – 0,1 мкм и прекращает свой рост. Этот слой называется барьерным. Для продолжения роста оксидов необходимо увеличить напряжение на ванне.

Толщина оксидной пленки, полученной при анодировании алюминия, зависит от растворяющей способности электролита. А она, в свою очередь, определяется концентрацией кислоты, температурой и другими факторами.

Толщина оксидной плёнки зависит также от состава алюминия и его сплавов. Химически чистый алюминий легче анодировать, чем его сплавы. С увеличением в составе сплава различных добавок труднее получить пленки с хорошими характеристиками. На алюминиевых сплавах, содержащих марганец, медь, железо, магний, покрытие получается шероховатым, неровным. Это объясняется высокой скоростью растворения интерметаллических соединений, в виде которых эти металлы присутствуют в алюминиевом сплаве.

Таким образом, метод высоковольтного электрохимического оксидирования обеспечивает более высокие физико-механические свойства оксидных пленок и характеризуется низким энергопотреблением в сравнении с получением оксидных плёнок методом химического оксидирования. Метод ВВЭО позволяет сократить время обработки детали, уменьшить количество потребляемой электроэнергии на единицу продукции.

УДК. 620.181

Исследование процесса многокомпонентного насыщения стали 45 в системе Cr-C с введением в насыщающую смесь легкоплавких добавок

Студенты гр. 104219 Орда Д.В., Синькевич О.Л., гр. 104510 Люцкевич А.И.
Научные руководители Борисов С.В., Стефанович В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью работы является получение диффузионных слоев на стали 45 высокой твердости при насыщении хромом и углеродом. Структура данных слоев представляет вкрапления твердых включений карбидов в матричной матрице (принцип Шарпи). При этом предполагается получение диффузионных слоев значительной толщины, что позволит проводить шлифование изделий в окончательный размер после их термической обработки. Исследование проводили в порошковых смесях с определенным соотношением хромирующего и цементирующего карбюризатора. Разработанные смеси для комплексной химико-термической обработки можно будет использовать для упрочнения пуансонов и матриц с толщиной рабочей части 3-10 мм. При этом поверхностный слой будет обладать высокой твердостью и износостойкостью, а сердцевина значительной вязкостью позволяющей воспринимать динамические нагрузки. В качестве материала предполагается использовать углеродистые стали 40, 45, 50, а также низколегированные 40X, 38ХМА, 40ХН, 40ХНФ и др.

За основу исследований были взяты результаты насыщения углеродистых сталей хромом и углеродом, проведенных ранее на кафедре «Металловедение и термическая обработка металлов» БПИ. В исследованиях отмечается, что при насыщении углеродистой стали совместно углеродом и хромом можно получить различные структуры диффузионных слоев.

В ранее проведенных исследованиях был выбран состав хромирующей и цементирующей составляющих:

- хромирующая смесь, полученная методом алюмотермии – 100%(30% Al_2O_3 + 21% Al + 49% Cr_2O_3) + 0,5% NH_4Cl ;
- цементирующая смесь - 100% (85% древесный уголь + 15% $NaHCO_3$);
- легкоплавкие добавки - Cu, Zn, Sb, $SnCl_2 \cdot 2H_2O$, CoO, MoO_3 .

После термической обработки (закалка $t = 840^{\circ}C$ + вода и низкого отпуска $180-200^{\circ}C$) поверхностная твердость достигала 64-65 HRC. При химико-термической обработке хром проникает на глубину 50 мкм и его концентрации составляет 1 - 1,5%, при этом на самой поверхности (толщиной 3-5 мкм) концентрация хрома составляет несколько десятков процентов.

Насыщение проводили при температуре 1050⁰С в течение $\tau = 5$ ч. в металлических тиглях с плавким затвором.

Для получения оптимальных свойств диффузионных слоев был применен последовательный симплекс метод планирования эксперимента с использованием правильного симплекса. В качестве параметров оптимизации были выбраны следующие параметры: твердость после закалки, твердость после отпуска, толщина слоя, наличие твердых частиц в слое, балл зерна после насыщения. В качестве факторов, входящих в состав смеси, были выбраны следующие: количество хромирующей и цементирующей смеси и количество легкоплавких добавок.

В соответствии с ПСМ были проведены опыты. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты проведенных опытов

№ точки	Балл зерна после насыщения	Толщина слоя, мкм	Балл твердых частиц	Твердость после закалки, HRC	Твердость после отпуска (400 ⁰ С) HRC
1	6	350	1	64	46
2	4	140	1	62	44
3	4	280	1	63	45
4	3	350	1	64	46
5	4	70	1	63	45
6	7	840	2	62	45
7	4	210	1	62	45
8	4	210	1	63	46
9	4	210	1	63	46
10	5	140	1	64	46
11	7	70	1	63	46
12	7	315	1	64	48
13	7	1050	2	66	49
14	8	1750	3	67	50
15	7	1400	3	67	50
16	7	840	2	65	49
17	7	770	1	64	48

В результате проведенных экспериментов с использованием ПСМ были получены диффузионные слои на стали 45 со следующими оптимальными параметрами: температурно-временные параметры $t = 1050^{\circ}\text{C}$ время насыщения $\tau = 4$ ч, балл зерна перлита - 7, толщина слоя - 1750 мкм. Структура слоя после насыщения представляет собой мелкозернистый перлит с многочисленными включениями мелких твердых частиц.

Выводы:

ХТО из оптимизированных смесей позволяет получить после закалки и отпуска большую твердость (65-67 HRC) и высокую износостойкость на стали 45. В результате применения ПСМ для насыщения из диффузионной смеси, получены диффузионные слои до 1700 мкм, имеющие балл зерна 8 и состоящие из перлита с мелкодисперсными твердыми включениями.

Студенты гр. 104210 Савич А.Ю., Шевцов А.Ю.
Научный руководитель Вейник В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью данной работы является анализ свойств мартенситно-стареющих сталей, их достоинств и применений.

Мартенситно-стареющие стали широко используются как в машиностроении, так и в других отраслях промышленности, а также науки, известность этих сталей получена благодаря сочетанию высоких механических свойств и технологичности.

В этих сталях содержится от 8 до 24 % Ni с добавками, чаще всего значительными, кобальта (8-12 %), молибдена (3-6 %), а также титана (1-2 %), алюминия (1-2 %) и др.

Высокий уровень прочности, достигаемый в мартенситно-стареющих сталях, обусловлен процессами старения в безуглеродистом ($< 0,03$ % C) мартенсите, который в исходном, несостаренном, состоянии обладает высокой пластичностью и относительно малой прочностью. Упрочнение сталей осуществляется при старении и обусловлено процессами «предвыделения» и образования высокодисперсных интерметаллидных фаз типа NiTi, Ni₃Ti, Ni(Ti, Al), Ni₃(Ti, Al), Fe₂Mo и др., когерентно связанных с матрицей. Максимальный эффект при старении дает Ti и Al, меньший Mo и Co.

Мартенситно-стареющие стали имеют высокий предел текучести и низкий порог хладноломкости. Например, сталь H18K9M5T для получения необходимых свойств проводят нагрев под закалку до 900 °C и старение при 480-520 °C. При этом обеспечивается получение требуемых свойств, но происходит понижение пластичности и вязкости: $\sigma_{0,2} = 1800 \dots 2000$ МПа; $\sigma_b = 1900 \dots 2200$ МПа; $\delta = 8 \dots 12\%$; $\psi = 40 \dots 60\%$; KCU = 0,4...0,6 МДж/м²; HRC = 52.

Мартенситно-стареющие стали (03H18K9M5T, 04X11H9M2D2TЮ) превосходят по конструкционной прочности и технологичности среднеуглеродистые легированные стали. Они обладают малой чувствительностью к надрезам, высоким сопротивлением хрупкому разрушению и низким порогом хладноломкости при прочности около 2000 МПа.

Высокой прочностью этих сталей достигают при помощи простой термообработки. В закаленном состоянии мартенсит пластичен и может подвергаться деформации. При термической обработке не происходит обезуглероживание и изменение размеров, что в свою очередь позволяет из закаленных заготовок изготавливать практически готовые детали с небольшими припусками под чистовые размеры.

Одним из достоинств мартенситно-стареющих сталей является отсутствие ограничений по прокаливаемости металла в больших сечениях (более 500X500 мм) в результате полного мартенситного превращения, также в этих сталях присутствует повышенная сопротивляемость межкристаллитной коррозии под напряжением. Готовые изделия любой формы можно подвергать упрочнению (старению) ввиду отсутствия короблений и деформации. Присутствует возможность деформирования в холодном состоянии (прокатка, волочение, штамповка) до высоких степеней без промежуточных отжигов, поскольку такая сталь после закалки характеризуется высокой пластичностью (относительное удлинение 18—20%, относительное сужение поперечного сечения 70—80%, ударная вязкость 20—30 кДж/см²) и малым коэффициентом деформационного упрочнения.

Однако мартенситно-стареющим сталям присущи и недостатки:

1. Высокое содержание дорогостоящих легирующих элементов, прежде всего Co и Ni привело к созданию экономнелегированных сталей с повышенным содержанием углерода и пониженным содержания легирующих элементов.

2. Высокие показатели пластичности и вязкости, достигаемые применением лишь вакуумных способов выплавки.

3. Необходимо максимально уменьшать содержания вредных примесей (серы, фосфора, газов), если производить плавку под вакуумом и использовать чистые шихтовые материалы, что в свою очередь приводит к удорожанию самих сталей и их производства.

Мартенситно-стареющая сталь как конструкционный материал целесообразно, прежде всего, использовать для изготовления деталей отдельных узлов и конструкций, от которых требуется большая прочность при малой массе, т. е. высокая удельная прочность, а также высокая эксплуатационная надежность.

Легирование хромом придает мартенситно-стареющей стали антикоррозионные свойства.

Такую сталь можно использовать для изготовления деталей химической аппаратуры, а также изделий, которые длительное время находятся в атмосферных условиях или же в условиях повышенной влажности. Мартенситно-стареющую сталь можно применять в тех случаях, когда к конструкционным материалам предъявляют требования простоты вида упрочняющей обработки, хорошей прокаливаемости, свариваемости металла в больших сечениях и низкого порога хладноломкости.

Мартенситно-стареющая сталь обладает также высоким пределом упругости, превосходящим предел упругости наиболее распространенных пружинных сплавов (36ХНТЮ и др.). Эта сталь характеризуется также высоким сопротивлением ползучести при температурах до 300° С и поэтому ее целесообразно использовать для изготовления упругих чувствительных элементов, а также других деталей приборов и механизмов. Низкий порог хладноломкости мартенситно-стареющей стали (ниже –100° С) позволяет применять ее для изготовления холодильных аппаратов и установок, а также машин и механизмов, работающих в условиях крайнего севера. Также высокопрочные стали этого класса используются авиации, космонавтики, ракетостроении — областей техники, где соотношение общей массы конструкции и полезной грузоподъемности приобретает решающее значение.

УДК 669.14-156

Аморфные материалы в технике

Студентка гр. 104210 Чепаченко Ю.И.

Научный руководитель Пучков Э.П.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Аморфные металлы и сплавы – новый класс материалов, который отличается от обычных металлов тем, что у них отсутствует упорядоченность расположения атомов свойственных кристаллическим металлам и сплавам. Аморфная структура характеризуется отсутствием дальнего порядка в расположении атомов, благодаря чему в ней нет кристаллическая анизотропии, отсутствуют границы блоков, зерен и другие дефекты структуры. Аморфные металлические сплавы получают быстрой закалкой расплавов при скоростях охлаждения жидкого металла в интервале 10^4 – 10^6 град/с и при условии, что сплав содержит достаточное количество элементов, способствующих образованию аморфной структуры.

Если расплав охлаждать с большой скоростью, то жидкость затвердевает, так и не начав кристаллизоваться. Атомы просто не успевают выстроиться в решетку и сохраняют хаотическое расположение, свойственное жидкости. Однако это уже не жидкое, а твердое вещество. Его вязкость много больше, чем у жидкости, и близка к вязкости кристалла.

Нагрев аморфных сплавов сопровождается структурными изменениями, связанными с атомными перестройками без диффузии на значительные расстояния. Такая структурная релаксация сопровождается уплотнением аморфной матрицы, обусловленной аннигиляцией

избыточного свободного объема и снятием остаточных напряжений. Поэтому в результате нагрева аморфные сплавы постепенно теряют пластичность, то есть происходит их охрупчивание. Этот процесс начинается при температуре 200...300 °С. Температура охрупчивания выше в более тонкой ленте, полученной при высокой скорости закалки расплава, и она совпадает с температурным интервалом наиболее интенсивного уплотнения аморфного сплава. При еще более высокой температуре аморфный сплав кристаллизуется. Для большинства аморфных сплавов температура кристаллизации составляет (0,4–0,6) T_p температуры плавления и зависит от химического состава сплава. Современные промышленные аморфные сплавы имеют температуру кристаллизации более 500 °С.

Особенности структуры аморфных металлических сплавов приводит к формированию высоких механических, физических и химических свойств.

Следует отметить, что у аморфных сплавов присутствует высокая механическая прочность и твердость. У некоторых сплавов предел прочности на растяжение достигает 4000–5000 МПа. Большинство аморфных сплавов имеют высокую коррозионную стойкость, которая в ряде случаев превышает коррозионную стойкость (нержавеющих) сталей на несколько порядков.

Разработано большое количество методов получения аморфных сплавов в виде пленок, ленты, волокон. Для изготовления высокоэффективных экранов, трансформаторов, магнитных сердечников используют аморфную ленту. Толщина получаемой ленты обычно 20–40 мкм.

Наиболее эффективными способами промышленного производства аморфной ленты являются охлаждение струи жидкого металла на внешней (закалка на диске) или внутренней (центробежная закалка) поверхностях вращающихся барабанов или прокатка расплава между холодными валками, изготовленными из материалов с высокой теплопроводностью.

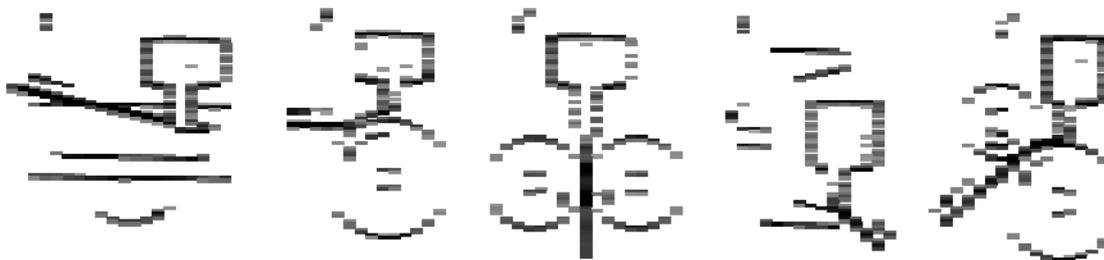


Рисунок 1 – Методы получения тонкой ленты путем закалки из расплава:
 а) – центробежная закалка; б) – закалка на диске; в) – прокатка расплава;
 г) – центробежная закалка; д) – планетарная закалка

Элементы: Cr, Mo, W, которые содержатся в аморфных высокоуглеродистых сплавах, обладают высоким сопротивлением разрушению и термической стабильностью, такие сплавы используются в высокопрочных композитах.

Аморфные материалы обладают высокими магнитными свойствами и почти не имеют магнитных потерь, поэтому они нашли широкое распространение в производстве сердечников трансформаторов, магнитных головок для звуко- и видеозаписи.

Сплав $Fe_{75}Si_{10}B_{15}$ обладают высокой прочностью, вязкостью. Применяются для производства проволоки, армирующих материалов, пружин и режущего инструмента.

Сплав $Fe_{81}B_{13}Si_4C_2$ обладает высокой магнитной индукцией насыщения. Применяются для изготовления сердечников трансформаторов, преобразователей, дросселей.

Благодаря однородности аморфного состояния и отсутствию в нем дефектов, собственных кристаллам, стекла обладают рядом исключительно важных свойств: прозрачностью в различных диапазонах электромагнитных колебаний, химической стойкостью, долговечностью. Такие стекла широко применяются в быту, строительстве, в производстве электронно-лучевых трубок, электроизоляторов для высоковольтных линий электропередачи, различных

стекловолокон, волоконной оптики, стеклосмазок. Современные технологии позволяют изготавливать магнитопроводы из аморфных сплавов больших размеров, до 1000 мм, при этом форма магнитопроводов может быть кольцевой, овальной, стержневой, П- и Ш-образной.

В настоящее время аморфные металлы нашли свое применение в технике, но их широкому распространению препятствует высокая себестоимость, малые размеры получаемых лент и низкая свариваемость.

УДК 621.914

Типы твёрдых и сверхтвёрдых сплавов

Студентки гр. 104210 Чепаченко Ю.И., Лущик М.Э.
Научный руководитель Вейник В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Твёрдые сплавы — твёрдые и износостойкие металлические материалы, способные сохранять эти свойства при 900-1150°C. Твердые сплавы известны человеку уже около 100 лет. В основном изготавливаются на основе карбидов вольфрама, титана, тантала, хрома при различном содержании кобальта или никеля. Различают спечённые и литые твёрдые сплавы. Основой всех твёрдых сплавов являются прочные карбиды металлов, не разлагающиеся и не растворяющиеся при высоких температурах. Особенно важны для твёрдых сплавов карбиды вольфрама, титана, хрома, частично марганца. Карбиды металлов слишком хрупки и часто тугоплавки, поэтому для образования твёрдого сплава зёрна карбидов связываются подходящим металлом; в качестве связки используются железо, никель, кобальт.

Спеченные твердые сплавы - композиционные материалы, состоящие из металлоподобного соединения, цементированного металлом или сплавом. Их основой чаще всего являются карбиды вольфрама или титана, сложные карбиды вольфрама и титана (часто также и тантала), карбонитрид титана, реже — другие карбиды, бориды и т.п. В качестве матрицы для удержания зерен твердого материала в изделии применяют металл или сплав. Обычно используют кобальт (кобальт является нейтральным элементом по отношению к углероду, он не образует карбиды и не разрушает карбиды других элементов), реже — никель, его сплав с молибденом (никель-молибденовая связка).

Литые твёрдые сплавы получают методом плавки и литья. Инструменты, оснащенные твердым сплавом, хорошо сопротивляются истиранию сходящей стружкой и материалом заготовки и не теряют своих режущих свойств при температуре нагрева до 750-1100 °С.

Сверхтвёрдые материалы — группа веществ, которая обладает высокой твердостью, к которой относят материалы, твердость и износоустойчивость которых превышает твердость и износоустойчивость твёрдых сплавов на основе карбидов вольфрама и титана с кобальтовой связкой карбидтитановых сплавов на никель-молибденовой связке. Широко применяемые сверхтвёрдые материалы: электрокорунд, оксид циркония, карбид кремния, карбид бора, боразон, диборид рения, алмаз. Сверхтвёрдые материалы часто применяются в качестве материалов для абразивной обработки.

Твердые сплавы состава WC-Co (WC-Ni) характеризуются сочетанием высоких значений прочности, модуля упругости, остаточной деформации с высокой тепло- и электропроводностью (стойкость этих сплавов к окислению и коррозии незначительна); твердые сплавы состава TiC-WC-Co в сравнении с первой группой сплавов обладают меньшей прочностью и модулем упругости, однако превосходят их по стойкости к окислению, твердости и жаропрочности; твердые сплавы состава TiC-TaC-WC-Co характеризуются высокой прочностью, вязкостью и твердостью; безвольфрамовые твердые сплавы обладают наибольшим коэффициентом термического расширения, наименьшей плотностью и теплопроводностью.

Из твердых и сверхтвёрдых сплавов изготавливают: вердосплавные кольца и втулки,

вставки для горного инструмента, дисковые и гильотинные ножи, пластины для дереворежущих фрез и пил, детали для штампов и пресс-форм.

УДК 621.785.542

Поверхностная газопламенная закалка. Сущность процесса и способы закалки

Студенты гр. 104210 Шевцов А.Ю., Савич А.Ю.
Научный руководитель Вейник В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Зачастую к поверхностному слою детали предъявляются требования отличные от требований предъявляемых детали в целом. Поверхностное упрочнение детали, повышение твердости и износостойкости может быть получено не только методами наплавки, но и с помощью поверхностной термической обработки - закалки.

С помощью поверхностной закалки улучшаются, как правило, стальные изделия. Принцип данной закалки заключается в нагреве определенного поверхностного слоя до температуры выше критической A_{C3} с последующим охлаждением его со скоростью большей, чем критическая скорость охлаждения металла обрабатываемой детали. Для достижения необходимой глубины закаленного слоя требуется его прогрев до температуры 820-900° С, в зависимости от состава стали, с последующим быстрым охлаждением струей воды, воздуха или водовоздушной смесью. Такой нагрев осуществляется либо индукционным нагревом токами высокой частоты, либо пламенем.

В качестве источника нагрева при газопламенной закалке используется в основном ацетилено-кислородное пламя, хотя могут применяться и заменители ацетилена. Степень нагрева поверхностного слоя регулируется мощностью пламени и длительностью его воздействия. Охлаждение производится водой или различными водными растворами.

Данному виду закалки могут подвергаться все углеродистые, низколегированные стали, и, кроме того, стали с малым содержанием углерода и чугуны.

Твердость поверхностного закаленного слоя при газопламенной закалке, как правило, выше твердости, получаемой при общей закалке, примерно на НВ 50 вследствие большей скорости охлаждения. Так, например, при поверхностной закалке углеродистой стали с 0,15% С твердость достигает НВ 250; при 0,3% С - НВ до 400; с 0,4-0,45% С - НВ 550 и с 0,65% С - НВ до 650-700.

Газопламенная закалка является термической обработкой, вследствие которой наблюдается повышение качества и срока службы таких изделий, как зубчатые колеса, прокатные валки, муфты, шестерни, шпиндели, направляющие станков, шкивы и др.

В зависимости от воздействия пламенного нагрева и охлаждения различают четыре способа газопламенной закалки (рисунок 1), характеризующиеся циклическими и непрерывными процессами.

Циклические процессы заключаются в нагреве сначала всего объема металла, подвергаемого закалке, и последующем охлаждении при выключенном или отведенном в сторону пламени. При циклическом процессе применяются два способа нагрева:

- стационарный - для закалки концов рельсов, зубьев цепных колес, клапанов
- быстрого вращения - для тел вращения с небольшой шириной закаливаемой части и при небольшом диаметре.

Непрерывные процессы характеризуются одновременным воздействием нагревателя и охлаждающей струи, причем охлаждение осуществляется с некоторым запаздыванием по сравнению с нагревом.

Непрерывные процессы закалки подразделяются на: непрерывно-последовательные и комбинированные способы.

Непрерывно-последовательный способ характеризуется перемещением пламени и охлаждающего устройства относительно обрабатываемого изделия. В данном случае происходит закалка полосы по ширине примерно равной ширине закалочной горелки и зоны подвергаемой воздействию охлаждающей струи. Комбинированный способ совмещает линейное перемещение пламени и охлаждающих струй и вращение закаливаемой детали.

Для крупных деталей этот способ закалки более рентабелен, чем закалка с нагревом ТВЧ. Газопламенную закалку также выгодно применять в единичном производстве и при ремонте различного оборудования.

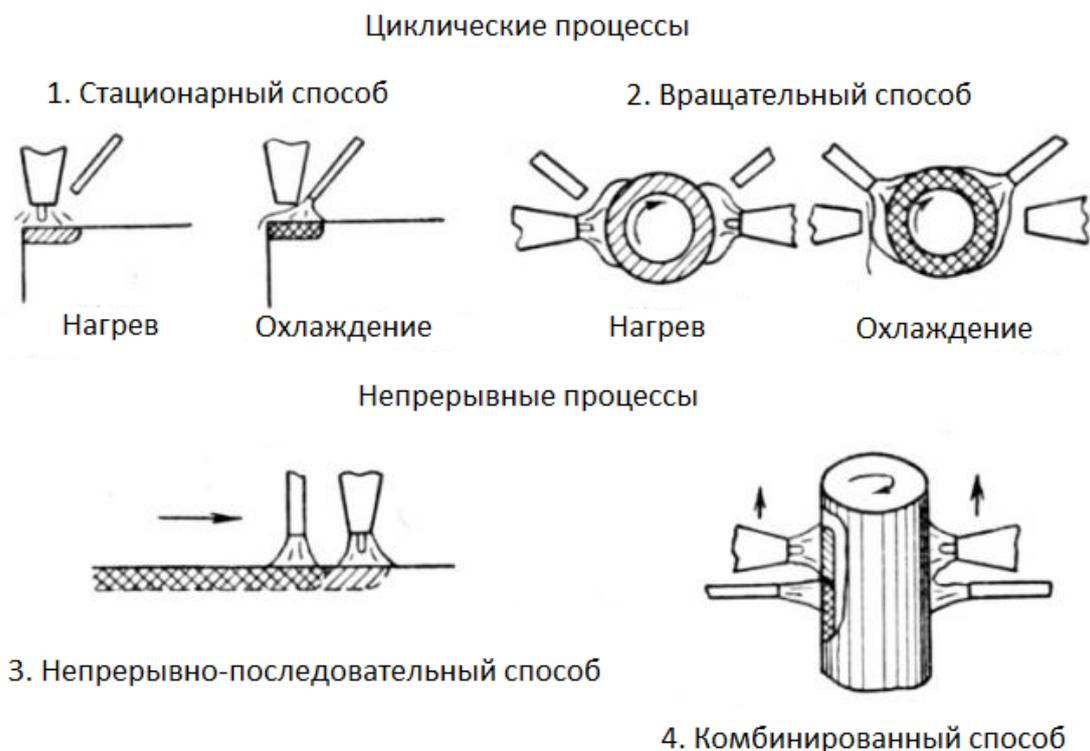


Рисунок 1. - Схемы основных способов газопламенной закалки.

УДК 621.785.542

Поверхностная газопламенная закалка. Закалочное оборудование и техника газопламенной закалки

Студент гр. 104210 Шевцов А.Ю.

Научный руководитель Вейник В.А.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Очень часто к поверхностному слою детали предъявляются иные требования, чем для всей детали в целом. Поверхностное упрочнение детали, повышение твердости, износостойкости может быть получено не только методами наплавки, но и посредством поверхностной термической обработки - закалки.

Закалочное оборудование включает в себя: закалочные горелки, охлаждающие устройства и станки, позволяющие механизировать перемещения горелки и охлаждающего устройства относительно закаливаемой детали.

Закалочные горелки представляют собой инжекторные горелки обычно со сменными наконечниками, позволяющими регулировать мощность пламени в достаточно широких пределах. Сменные наконечники присоединяются к рукоятке горелки с помощью накидной гайки.

Форма мундштуков закалочных горелок может быть различна, но должна соответствовать профилю закаливаемой детали. На рисунке 1 показаны горелки со сменными наконечниками для закалки плоских поверхностей и тел вращения, а также для закалки шестерен с различным модулем.

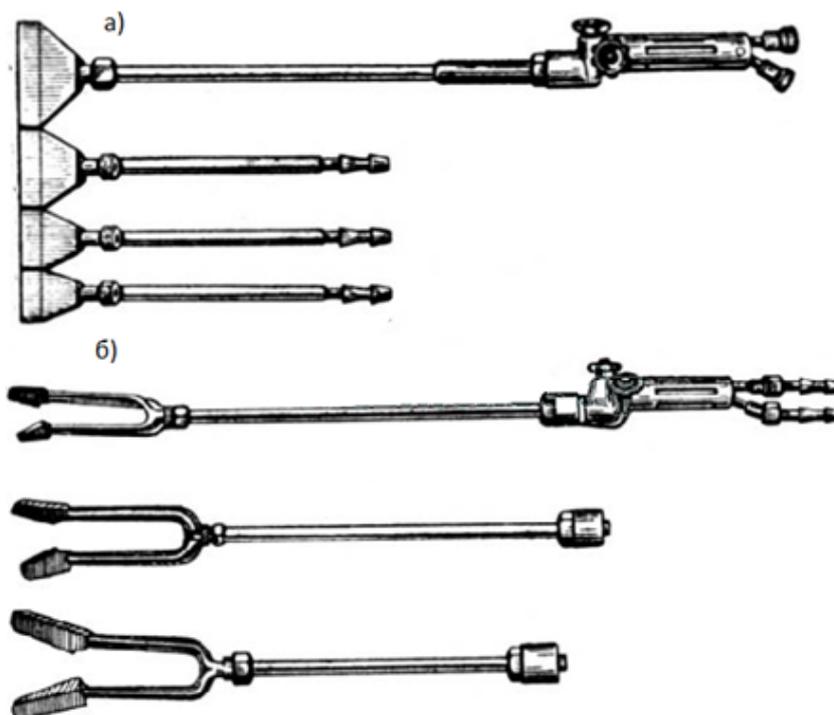


Рисунок 1. - Типы горелок для поверхностной закалки
а - горелка для закалки плоских поверхностей и тел вращения с различными номерами наконечников.
б - горелка для закалки зубьев шестерен с разным модулем

Мундштуки закалочных горелок могут быть многосопловыми или щелевого типа. Щелевые являются менее устойчивыми в работе. При многосопловых горелках для обеспечения достаточной равномерности прогрева поверхности закаливаемого изделия шаг сопел l_c в зависимости от диаметра сопла d_c должен быть равен $2,5d_c$.

Устройства для охлаждения конструируются многоструйными, и называются разбрызгивателями. Они изготавливаются либо отдельно от горелки, либо конструктивно представляют одно целое с мундштуком. В последнем случае закалочная жидкость одновременно служит и для охлаждения мундштука горелки. При обычных режимах закалки расход воды через разбрызгиватели составляет примерно $0,65-0,9$ л/см².

Техника выполнения газопламенной поверхностной закалки определяется выбором способа закалки, оборудования и режима закалки, зависящего от состава закаливаемой стали, формы и размеров обрабатываемого изделия.

Выбор режима закалки, в свою очередь, включает:

- 1) выбор мощности пламени;
- 2) выбор расстояния между мундштуком горелки и закаливаемой поверхностью;

3) выбор скорости относительного перемещения горелки и закаливаемой детали (или продолжительности нагрева при циклических процессах закалки);

4) выбор расстояния между средней зоной пламени и охлаждающей струей, а также подбор необходимой температуры и состава охлаждающей среды.

Для высокого качества закаливаемых деталей перед обработкой необходима тщательная очистка поверхности (щетками, пескоструйным или химическим способом). При этом на деталях не допускаются поверхностные дефекты, наличие окислов и краски. Острые углы на деталях, с целью избежания подплавления или образования трещин, должны предварительно заваливаться в виде фасок. Также при подборе режимов термической обработки проверяется и глубина закаленного слоя.

При правильном выполнении поверхностной закалки эксплуатационная стойкость деталей значительно повышается. Так, по данным сопоставления закаленных и незакаленных узлов и деталей стойкость закаленных повышается в два-пять раз.

УДК 621.745.669.13

Исследование возможности восстановления деталей с помощью лазерных наплавов на импульсно-периодическом лазере

Студентка гр. 10401112 Юркевич К.С.

Научный руководитель Вейник В.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Требования, предъявляемые к восстановлению деталей авиатехники, в ряде случаев значительно отличаются от требований в других отраслях. Восстановление размеров деталей традиционными методами: наплавками аргонодуговой, дуговой сваркой, размерным хромированием и т.д., не всегда приемлемо при восстановлении деталей авиатехники.

Лазерная наплавка и сварка позволяет производить:

- восстановление деталей, имеющих механические и коррозионные повреждения;
- восстановление изношенных поверхностей;
- ремонт и восстановление силовых деталей (в том числе испытывающих изгибающие нагрузки);
- выполнение сварки и наплавки без изменения физико-механических свойств основного металла;
- выполнение ремонта сваркой волноводов без повреждения внутреннего токопроводящего слоя;
- выполнение сварки и наплавки без последующей термообработки;
- выполнение ремонта сваркой деталей с легкоплавкими вставками без предварительной разборки;
- возможность ремонта деталей с хромовым покрытием без их предварительного хромирования;
- применение световодной приставки позволяет выполнять ремонт крупногабаритных конструкций на удалении от источника излучения.

Наплавки предпочтительно применять для ремонта локальных и точечных дефектов из-за невысокой скорости наплавки. Существует возможность получения наплавов без разупрочнения основного материала при применении импульсно-периодического лазера, так же показана возможность получения наплавов со структурой, такой же, как у основного материала. По результатам анализа метода лазерной наплавки и сварки с применением импульсно-периодического твердотельного лазера представляется возможным говорить об уникаль-

ности данного метода при ремонте и восстановлении деталей и узлов авиационной техники, возможности применения в области ремонта космической техники и вооружений.

В Республике Беларусь в промышленных масштабах наплавки производятся в ОАО «558 АРЗ», ГТУ им. Ф.Скорины.

УДК 621.745.669.13

Технология пластмассы

Студентка гр. 10401112 Юркевич К.С.

Научный руководитель Вейник В.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Применение полимерных материалов способствует совершенствованию конструкции машин и оборудования, повышению качества и снижению себестоимости продукции, обеспечивает рост производительности труда. Полимеры получают из низкомолекулярных веществ (мономеров) химической модификацией природных полимеров путем обработки природной целлюлозы, хлопка, древесины; химическим синтезом из низкомолекулярных веществ при проведении реакций полимеризации и поликонденсации*.

Исходными материалами для получения полимеров являются органические вещества: каменноугольные смолы, природный газ, нефть, нефтепродукты, сланцы, ацетилен, торф, древесина и т. д.

В зависимости от свойств полимеров при нагревании пластмассы подразделяют на термопластичные, имеющие линейное строение молекул, и на термореактивные с сетчатым и пространственным строением молекул.

Термопластичные пластмассы при нагреве размягчаются, при охлаждении затвердевают и при повторном нагреве вновь размягчаются.

Термореактивные пластмассы при нагреве до критической температуры (150...170° С), а в некоторых случаях и на холоде под влиянием катализатора теряют способность вторично размягчаться, плавиться и растворяться (т. е. процесс необратимый).

Термореактивные смолы — эпоксидная и полиэфирная относятся к числу самоотвердеющих смол. Они при комнатной температуре при введении в них небольшого количества отвердителя твердеют, а также при комнатной температуре затвердевает полимер — стиракрил.

Пластические массы имеют большое применение в различных отраслях народного хозяйства и особенно в машиностроении. Они служат конструкционным материалом, обладающим ценными техническими свойствами, которых нет у металлов. Их можно отнести к числу важнейших материалов, применяемых в современной технике.

Применение пластмассы, помимо всего прочего, выгодно экономически. Так, одна тонна пластмассы заменяет три тонны цветных металлов, к тому же детали из пластмассы в 9...10 раз дешевле бронзовых и примерно в 15 раз — баббитовых. Трудоемкость обработки пластмасс во много раз меньше, чем обработки металлов.

Термопластичные пластмассы. Получают их на основе полимеризационных смол. Наиболее распространены термопластичные пластмассы: полиэтилен, поливинилхлорид, фторопласт и др.

Полиэтилен широко применяется как электроизоляционный материал. Он имеет хорошие антикоррозионные и диэлектрические свойства, большую удельную прочность, стойкость к радиоактивным излучениям и т. д.

Полиэтилен применяется для изготовления пленок, труб, деталей машин, бутылей, резервуаров и др. Изделия из полиэтилена получают литьем под давлением, прессованием и другими способами.

Поливинилхлорид применяется для изготовления электрокабелей, аппаратов и труб в химической промышленности, искусственной кожи, линолеума и др.

Особо следует выделить винипласт, который обладает большой механической прочностью, высокой химической стойкостью и диэлектрическими свойствами.

Из винипласта изготавливают различные фасонные изделия. Листовой винипласт используют как облицовочный материал. Подавляющее большинство изделий из винипласта изготавливают сваркой.

Фторопласт обладает низким коэффициентом трения, поэтому идет на изготовление деталей машин, не требующих смазки. Из фторопласта изготавливают также трубки, пленки и др.

Наибольшее применение находит в промышленности фторопласт-4. Изделия из этого материала не теряют своих свойств при нагревании до 260° С. Из фторопласта-4 изготавливают электро- и радиотехнические изделия, краны, насосы, прокладки, сальниковые набивки и т.д.

Термореактивные пластмассы. Получают их на основе термореактивных полимеров. К ним относятся: фенопласты, аминопласты, эпоксипласты, эфиропласты, силикопласты и др. Эти пластмассы отличаются высокой прочностью, теплостойкостью, низкой ударной вязкостью. Остановимся на некоторых из них.

Фенопласты. Чаще всего их изготавливают на основе фенолформальдегидных смол. Из фенопластов с порошкообразным наполнителем (древесная мука, минераласбест, кварцевая мука) изготавливают корпуса приборов, детали электрорадиотехнической аппаратуры, некоторые детали машин.

Аминопласты. Их изготавливают на основе мочевино-формальдегидных и меламинформальдегидных смол. Аминопласты способны окрашиваться в любой цвет. Они обладают высокой водопоглощаемостью, пониженной теплостойкостью и некоторыми другими важными качествами. Используются аминопласты для изготовления разных выключателей.

К новым, внедренным в производство пластмассам, следует отнести гидропластмассу, пенопласты, капрон и др. Большой прочностью отличаются фенопласты с волокнистыми или слоистыми наполнителями. Из них изготавливают подшипники скольжения. К этим пластмассам относятся гетинакс (бумажный наполнитель), текстолит (наполнитель — хлопчатобумажная ткань), стеклотекстолит (наполнитель — стеклянная ткань) и др.

**Машины
и технология
литейного
производства**

Студент гр. 104327 Арапов А.Л.
Научный руководитель Одиночко В.Ф.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время наблюдается устойчивый рост объемов продаж отопительных радиаторов на экспорт за счет расширения номенклатуры конкурентоспособной продукции. Вместе с на Минском заводе отопительного оборудования время используются технологические процессы, которые тормозят разработку и изготовление изделий, соответствующих стандартам ведущих европейских стран.

Необходимо отметить также и высокий уровень износа машин и механизмов. Существующее оборудование и технология изготовления отливок радиаторов физически и морально устарело и не обеспечивают необходимого качества продукции по точности отливок и качеству поверхности.

В дипломном проекте для производства радиаторов предусматривается создание нового литейного цеха с установкой двух автоматических формовочных линии Disamatic – Disamatic 270C и Disamatic 230. Автоматическая формовочная линия Disamatic 270C предназначена для производства отливок радиаторов и включает в себя формовочный автомат, стержнеукладчик, заливочный конвейер, ленточных транспортер подачи залитых форм, барабан DISACOOЛ с автоматической подачей воды для охлаждения отливок и формовочной смеси.

В комплексе с формовочной линией так же предусматривается монтаж землеприготовительного оборудования и заливочного комплекса с вагранками закрытого типа. Для изготовления стержней предусматриваются автоматические стержневые линии по термошок–процессу. Предполагается, что при использовании Disamatic-270 C в одной форме будет заливаться по четыре отливки.

Внедрение Disamatic 270C даст возможность выпускать при трехсменной работе до 10000000 радиаторов в год. Также ожидается, что внедрение и эксплуатация данной линии не только снизит себестоимость отливок и повысит качество продукции, но и значительно сократит выбросы вредных веществ в атмосферу, что существенно улучшит условия труда рабочих.

Автоматическая формовочная линия Disamatic 230 предназначена для производства отливок высокопрочного чугуна и включает в себя формовочный автомат, стержнеукладчик, заливочный конвейер, ленточных транспортер подачи залитых форм, барабан DISACOOЛ с автоматической подачей воды для охлаждения отливок и формовочной смеси.

В комплексе с формовочной линией так же предусматривается монтаж землеприготовительного оборудования и заливочного комплекса с среднечастотными индукционными печами. Для изготовления стержней предусматриваются стержневые автоматы по Cold–Box–Amin процессу.

Студенты гр. 104212 Мудрый В.В., Батайчук А.В.
Научный руководитель Кукуй Д.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Литейное производство является основной заготовительной базой современного машино-, станко-, автомобиле-, тракторостроения. Сегодня трудно представить какие-либо отрасли, где отсутствовала бы необходимость в литых изделиях из различных сплавов. Поэтому неудивительно, что в вышеперечисленных отраслях промышленности доля литых изделий составляет 30...90%.

Формовочные материалы:

- основные — огнеупорная основа смеси (кварцевый песок и т. д.), связующие материалы (глина, различные смолы, другие связующие вещества);
- вспомогательные, например, различные добавки (уголь, древесная мука, торф и т. д.), придающие формовочной или стержневой смеси определенные свойства.

Формовочные смеси различают:

- по назначению (для отливок из стали, чугуна и т. д.);
- по составу (песчано-глинистые, керамические и др.);
- по применению при формовке (единые, облицовочные и др.).

Для получения качественных форм, стержней и годных отливок формовочные и стержневые смеси должны обладать технологическими свойствами, отвечающими определенным требованиям. Для хорошего уплотнения формовочной смеси в опоке большое значение имеет пластичность смеси.

Существуют такие понятия как прочность и сыпучесть смеси.

Прочность формовочной смеси зависит от зернистости песка, влажности, плотности и содержания глины в смеси. С увеличением плотности, уменьшением размера зерен песка, увеличением глиносодержания прочность смеси возрастает.

Сыпучесть смеси влияет на зависание ее в бункерах, заполнение и равномерность распределения смеси при засыпке в опоку, качество и длительность перемешивания смеси в смесителях. С сыпучестью связана комкуемость – способность смеси образовывать комки. Сыпучесть и комкуемость зависят от прочности связей песчинок в местах контакта.

Большое значение имеет поверхностная прочность – сопротивление поверхностного слоя формы или стержня истиранию. Поверхностная прочность характеризуется осыпаемостью.

В процессе заливки и охлаждения отливки стенки формы нагреваются металлом до высоких температур, равных практически температуре металла, поэтому формовочные материалы должны обладать высокой огнеупорностью.

Высокая прочность и газопроницаемость формовочной смеси обеспечиваются однородностью — равномерным распределением в формовочной смеси составляющих компонентов в результате тщательного перемешивания.

Основным содержанием научно-технической революции в области технологии производства литейной формы явилось быстрое развитие процессов изготовления стержней и форм из смесей, затвердевающих в оснастке. Применение этих смесей основано на использовании различных химических реакций отверждения связующих материалов, входящих в состав смесей. Конкурентами являются две группы смесей: с синтетическими смолами и неорганическими связующими (жидкое стекло, цемент и др.).

Необходимо отметить, что жидкое стекло является универсальным связующим материалом. Изменять физико-химические и технологические свойства формовочных материалов

и смесей возможно воздействием на них электрических, магнитных и ультразвуковых полей. Электронная технология применяется и для интенсификации сушки стержней, выбивки стержней и очистки отливок. От правильного выбора формовочных материалов и смесей зависит качество отливок, снижение процента брака.

Формовочные и стержневые смеси, формирующие качество поверхности отливки, должны обладать комплексом заранее заданных свойств, которые определяются следующими основными факторами:

- используемой технологией изготовления форм и стержней;
- условиями функционирования форм и стержней на всех этапах технологического процесса изготовления отливки (начиная от формовки и завершая выбивкой);
- экологическими, определяющими атмосферу как в литейном цехе, так и за его пределами;
- экономическими, определяющими будущую конкурентоспособность отливки.

Учитывая многообразие как стандартных свойств смесей и методов их испытаний, так и оригинальных, используемых в исследовательских целях, а также при проведении поисковых работ, основные свойства формовочных и стержневых смесей можно подразделить на две большие группы:

- определяемые при нормальной температуре и влияющие в первую очередь на качество изготавливаемых форм и стержней, производительность труда и трудоемкость этих операций;
- определяемые при высоких температурах и влияющие на формирование свойств и качество будущей отливки, а также на трудоемкость финишных операций (выбивка, обрубка, очистка).

Системы смесеприготовления.

Смесеприготовление представляет собой совокупность разнонаправленных деформаций, среди которых можно выделить:

- образование в массе смеси скользящих друг по другу слоев (плоскостей) — сдвиговые деформации (срезающее смешивание);
- перемешивание групп (микрообъемов) частиц — конвективное смешивание;
- перемена позиций отдельными частицами, переходящими из слоя в слой, — диффузионное смешивание;
- рассеяние частиц при соударении или ударах о стенки смесителя — ударное смешивание;
- деформация и растирание слоя смеси и отдельных частиц — измельчение, или разрушающие деформации.

Существующие разнообразные смесители можно классифицировать по виду воздействия рабочего органа на частицы перемешиваемого материала.

Высокая скорость вращения смешивающих элементов (в смесителе) и турбулентность потока смеси позволяют сокращать время, необходимое для придания смеси требуемых технологических свойств. Высокоскоростные вихревые (турбинные) смесители. В настоящее время они являются наиболее экономичными и высокоэффективными смешивающими агрегатами. Турбинные смесители являются надежными устройствами для получения высококачественной смеси с постоянными характеристиками.

Так же существуют вакуумируемые смесители. В них перемешивание компонентов осуществляется в вакуумируемом пространстве. Это позволяет не только интенсифицировать процесс смесеприготовления на 20...30%, но и повышать прочностные показатели смеси на 15...20%.

Студенты гр. 104312 Варивончик Э.В., Сасковец А.А., Сергиевич А.В.
Научный руководитель Кукуй Д.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Литейное производство является основной заготовительной базой современного машино-, станко-, автомобиле-, тракторостроения. Поэтому около 90% всех отливок, выпускаемых мировым литейным производством, изготавливается в разовых литейных формах, из различных смесей на базе основного наполнителя – кварцевого формовочного песка. Эти формы изготавливаются из литейных формовочных смесей, к которым предъявляются высокие требования. С помощью формовочной смеси, изготавливается литейная форма, которая в будущем формирует наружные поверхности отливки.

Формовочные глины являются наиболее широко используемым связующим материалом в составах песчано-глинистых (в основном формовочных) смесей. Литейные формовочные глины это минералы, состоящие из высокодисперсных частиц водных алюмосиликатов, которые обладают связующей способностью, термохимической устойчивостью, что позволяет использовать их в качестве связующего материала формовочных и стержневых смесей. Минералогический и химический состав глин: каолинит, монтмориллонит, гидрослюдистые глины, кварц, полевые шпаты, слюды, карбонаты, гипс, гетит, лимонит, пирит. Для комовых глин массовая доля глинистой составляющей должна быть не менее 65%.

Важными свойствами глин являются такие показатели как: влажность, зерновой состав, коллоидальность, набухание, воздушная усадка, прочность при сжатии во влажном состоянии, прочность при сжатии в сухом состоянии, долговечность.

По гранулометрическому составу и массовой доле влаги порошкообразные глины должны соответствовать следующим требованиям:

- на ситах с размером ячеек 0,4 и 0,16 мм остаток должен составлять не более 3,0 и 10% соответственно;

- массовая доля влаги должна быть не более 6,0...10,0%.

Формовочные глины представляют собой связующее (склеивающее) вещество, а так же основу формовочных и стержневых смесей, а значит, они оказывают прямое влияние, как на саму отливку, так и на качество литейной формы или стержня.

К формовочным смесям предъявляются очень высокие требования:

- не разрушаться и не плавиться при нагревании до температуры, превышающей температуру плавления металла на 200–250 °С;

- иметь высокую степень дисперсности, позволяющую получать чистые и гладкие поверхности изделия;

- жидкие пасты из огнеупорных смесей должны иметь хорошую жидкотекучесть, способность смачивать восковые модели, накладываться на них без образования воздушных полостей;

- обеспечивать прочность и целостность литейной формы, ее газопроницаемость во время литья;

- не оказывать какого-либо отрицательного действия на структуру или свойства материала отливки;

- обладать термическим расширением, способным компенсировать усадку отливки;

- быть безвредным для человека при работе с ними.

Студенты гр. 104312 Пупейко Е. В., Воронин Р. И., Базылев Н. В.

Научный руководитель Кукуй Д. М.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Наполнители представляют собой огнеупорную основу формовочных и стержневых смесей, а значит, они оказывают прямое влияние, как на саму отливку, так и на качество литейной формы или стержня. Следовательно, к наполнителям предъявляются очень высокие требования.

С помощью формовочной смеси, изготавливается литейная форма, которая в будущем формирует наружные поверхности отливки. Сам выбор состава формовочных смесей зависит от способа изготовления формы.

Широкое применение технологий формообразования и изготовления разовых стержней обусловлено относительной дешевизной и доступностью исходных компонентов, возможностью обеспечивать технологически необходимые свойства смесей при многократном использовании материалов, изготавливать широкую номенклатуру отливок как в единичном, так и массовом производстве.

В большинстве случаев именно материалы и технологии формообразования являются основными факторами, определяющими качественные показатели отливок: чистоту поверхности, отсутствие внутренних и внешних дефектов, геометрическую точность и др.

При изготовлении отливок, особенно отливок из легированных сталей в индивидуальном и мелкосерийном производствах, применяют смеси и противопопригарные покрытия на основе высокоогнеупорных и химически инертных наполнителей.

В литейном производстве, в качестве основных высокоогнеупорных формовочных материалов используется: магнезит металлургический, цирконовый песок, оливин и графит.

В качестве основных среднеогнеупорных наполнителей используются хромит, шамотный порошок, кварцевый песок, а также другие типы отложений песков, различающихся своими свойствами (морские, дельтовые, лагунно-континентальные, озерные, аллювиальные, ледниковые, элювиальные и эоловые и др.), а в качестве огнеупорных наполнителей – тальк и пирофиллит.

Предотвращение пригара на поверхности отливки, изготавливаемой в сырых песчано-глинистых формах, достигается путем введения в состав смесей специальных противопопригарных добавок.

Основной составляющей противопопригарных покрытий является наполнитель, который должен обладать такими свойствами как: достаточной высокой огнеупорностью, неспособностью смачиваться жидким расплавом, химической устойчивостью при высоких температурах и инертностью к расплаву и его оксидам.

Кроме того, в основном формовочные и стержневые материалы формируют экологическую ситуацию как в литейных цехах, так и за их пределами, что накладывает большую ответственность на их выбор и применение в составах смесей.

Поэтому изучение материалов, используемых для изготовления формовочных и стержневых смесей, а также теоретических основ формирования их свойств и взаимодействия с расплавом является основой обеспечения качества литых деталей.

Студент гр. 104319 Гутько А.Ю.
 Научный руководитель Соколов В.Ф.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

В настоящее время все большее количество цехов США контролируют содержание газов в алюминиевых сплавах перед разливкой. Очень широко применяется такой метод дегазации алюминиевых сплавов, как продувка инертным газом (аргоном или азотом) через вращающуюся насадку. Считается, что этот метод в 5...10 раз эффективнее по сравнению с обычными методами продувки через трубку или пористую пробку.

Установлено, что удаление водорода из расплава при продувке инертным газом определяется диффузией его в пузырек инертного газа. Причем, чем больше поверхность пузырьков инертного газа, тем эффективнее удаление водорода. При обычных методах продувки диаметр пузырька составляет около 1 дюйма (25,4 мм). Если уменьшить размер пузырька в 8 раз, то суммарная поверхность пузырьков (при том же количестве газа) увеличится в 64 раза. Следовательно, значительно возрастет эффективность дегазации. Метод продувки инертным газом с помощью вращающейся насадки позволяет получать в расплаве пузырьки инертного газа очень маленького размера. Кроме того, скорость всплывания маленьких пузырьков гораздо меньше, чем больших, а это способствует дополнительной очистке расплава от водорода.

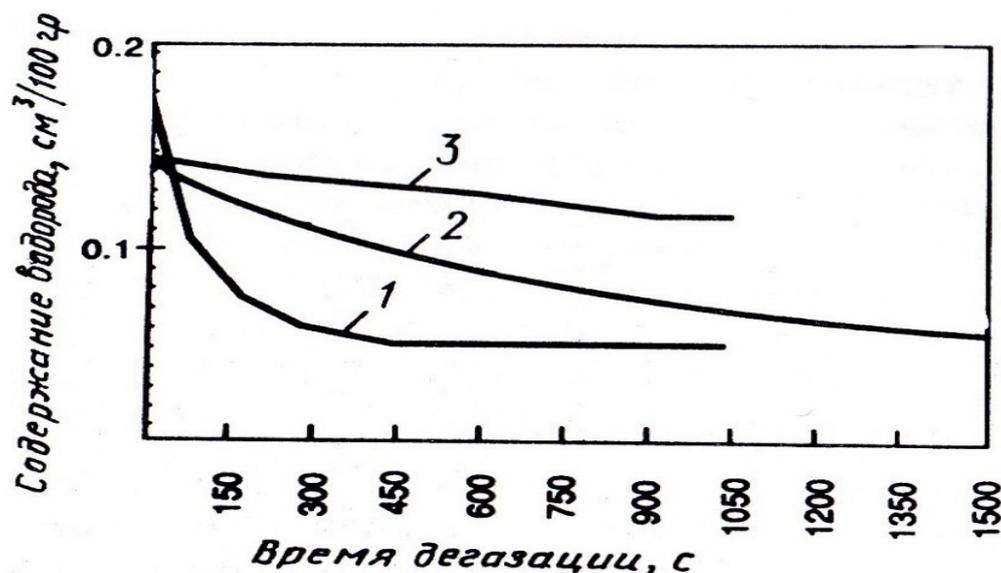


Рисунок 1 – Содержание водорода в алюминиевом расплаве в зависимости от времени продувки инертным газом через вращающуюся насадку (1), пористую пробку (2), обычную трубку (3)

Сравнивалась эффективность трех методов дегазации сплавов продувкой: через трубку, через пористую пробку и с помощью вращающейся насадки. Плавки проводились при одинаковых условиях в печи емкостью 200 кг. Установлено (см. рисунок), что продувка через обычную трубку малоэффективна, содержание газа составляло в исходном сплаве и после обработки соответственно 0,145 и 0,120 $\text{см}^3/100 \text{ г}$. Продувка через пористую пробку более эффективна: содержание водорода уменьшилось с 0,145 до 0,060 $\text{см}^3/100 \text{ г}$, но при этом потребовалось значительное время - около 25 мин. Такой же положительный результат дали

обработка расплава через вращающуюся насадку (уменьшение водорода с 0,175 до 0,055 см³/100 г), но за гораздо меньшее время продувки - 7 мин. Следовательно, в результате применения метода продувки алюминиевых сплавов с помощью вращающейся насадки снижаются расходы инертного газа на продувку и топлива на плавку, а также уменьшается время плавки и повышается производительность печи.

Сообщается, что количество шлаковых включений при обработке расплава через вращающуюся насадку образуется меньше, чем при других способах продувки.

УДК 621.745

Методика расчета литниковой системы для форм с вертикальной плоскостью разъема

Студент гр. 104310 Дейчик А.И.

Научный руководитель Скворцов А.В.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Расчет вертикальных напорных литниковых систем для автоматических формовочных линий с вертикальной плоскостью разъема сводится к определению площади сечения питателя, подводных литниковых каналов и выбору номера и размеров литниковой чаши. Площадь сечения питателя (F_n) находится по формуле

$$F_n = \frac{1036 \cdot G}{tm \sqrt{H_{расч.}}},$$

где G – масса отливки, кг;

t – время заполнения одной полости формы расплавом, с;

m – коэффициент трения;

$H_{расч.}$ – высота ферростатического давления, мм.

Время наполнения полости формы (t) необходимо выбирать на 4 с короче цикла работы формовочной машины, чтобы не задерживать процесс формообразования. Продолжительность цикла зависит от типа машины, производительности, толщины формы и наличия стержней, для каждого формовочного автомата она разная. Толщина формы, в свою очередь, зависит от максимальных высот моделей на плитах давления и противодействия и минимальной толщины слоя формовочной смеси между моделями, которая берется равной 70 мм и определяется из выражения

$$h_\phi = h_1 + h_2 + 70,$$

где h_1 – максимальная высота модели на плите противодействия, мм;

h_2 – максимальная высота модели на плите давления, мм.

Значения G , h_1 и h_2 выбираются на основании литейно-модельных указаний, нанесенных на чертеж детали.

Коэффициент потерь (μ) зависит от температуры заливки, геометрии литниковой системы, газового давления в полости формы и рекомендуется выбирать при толщине питателя до 3 мм - 0,4; 4 мм - 0,5 и 5 мм - 0,6.

Высота ферростатического давления металла в литниковой системе (H_p) зависит от расположения питателей от уровня металла в литниковой чаше. Для определения (H_p) составляется эскиз расположения моделей на подмодельных плитах с учетом необходимых

минимальных толщин формовочной смеси в верхней, нижней и боковых кромках формы, зависящих от толщины стенок отливки и тотальной высоты модели.

После нахождения площадей питателей (F_n) определяются площади сечений литниковых ходов ($F_{л.х.}$)

$$F_{л.х.} = \sum F_n \cdot 1,2,$$

где $\sum F_n$ – сумма площадей питателей, отходящих от литникового хода.

Литниковые ходы 1 и 2 можно делать ступенчатыми или коническими, постепенно уменьшая их сечение по мере снижения количества питаемых отливок.

Площадь сечения литникового хода 3, который подводит металл к литниковому ходу 1, определяется путем увеличения площади литникового хода 1 ($F^1_{л.х.}$) на 20%.

$$F^3_{л.х.} = F^1_{л.х.} \cdot 1,2.$$

Литниковый ход имеет трапециевидальное сечение с размерами: верхнее основание – a , нижнее основание – $2a$ и высота – $2a$.

По эскизу находят длину питателей, литниковых ходов и определяют массу литниковой системы

$$G_{л.с.} = G_{лит} + G_{л.х.},$$

где $G_{лит}$ – масса питателей, кг;

$G_{л.х.}$ – масса литниковых ходов, кг.

Масса питателей и литникового хода определяется как произведение их площади на длину и на плотность заливаемого сплава. Определяется массовая скорость заливки металла

в форму по формуле $m_\tau = \frac{G_\phi}{\tau}$, где G_ϕ – масса металла в форме. По таблице выбирается номер и размеры литниковой чаши.

На основании этого была рассчитана литниковая система для получения отливки детали «Корпус» на автоматической формовочной линии Дисаматик 2013МК5-А с размерами формы – ширина 600 мм, высота 480 мм. Материал детали СЧ20, масса детали – 10 кг. Было проведено моделирование. Моделирование литейных процессов проводили с использованием пакетов СКМ «Полигон», ESI ProCast, LVMFlow.

В результате моделирования установлено, что время затвердевания до температуры $T_{сол}$ составляет 700 с. Анализ усадочных дефектов в трех программных пакетах показал, что усадочные раковины образуются в теле отливки, глубина усадки 15-20 мм, а вероятность образования более 80%. Таким образом, разработанная на первом этапе конструкция литниковой системы не позволяет изготавливать годные отливки «Корпус» на автоматической формовочной линии Дисаматик 2013МК5-А.

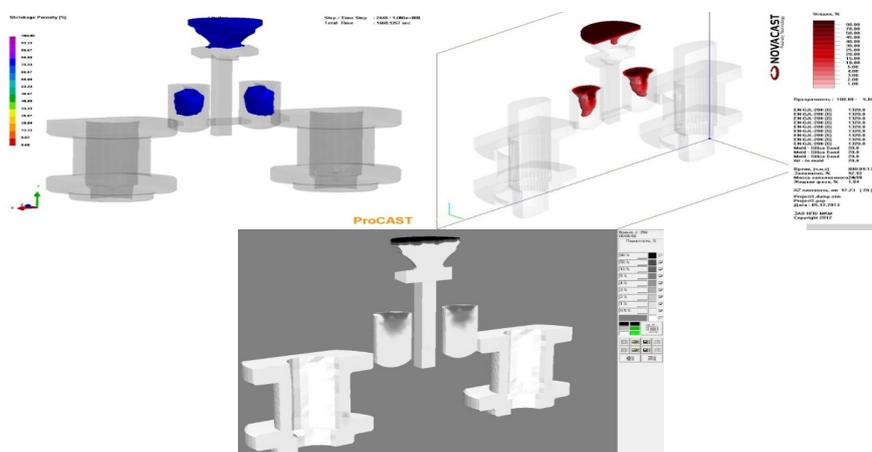


Рисунок 1 – Результаты моделирование в трех программных пакетах

Для устранения выявленных недостатков (усадочные дефекты в теле отливки «Корпус») необходимо предусмотреть в конструкции литниковой системы установку питающих бобышек. Для этого с учетом объема, образующейся усадочной раковины и необходимого объема питаемого узла, необходимо выполнить расчет геометрических размеров (определить форму и объем питающей бобышки) обеспечивающей изготовление бездефектной отливки «Корпус». Также необходимо с учетом предусмотренных питающих бобышек выполнить повторный расчет литниковой системы. После расчета литниковой системы было повторено моделирование с использованием пакетов СКМ «Полигон», ESI ProCast, LVMFlow.

В результате моделирования установлено, что время затвердевания до температуры $T_{\text{сол}}$ составляет 730 с. В последнюю очередь расплав кристаллизуется в питающих бобышках, что говорит о высокой эффективности рассчитанных бобышках, которые полностью выполняют функцию питания отливки расплавом. Анализ усадочных дефектов показал (рисунок 1), что усадочные раковины образуются в прибылях, глубина усадки составляет 35-40 мм, а вероятность образования более 80%.

УДК 621.745

Влияние толщины технологической пробы на механические свойства литой стали

Студент гр. 104319 Елак И.М.

Научный руководитель Соболев В.Ф.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Для экспериментальной проверки влияния толщины стенки на механические свойства стали используются клиновидные пробы толщиной 30(а), 60(б) и 100мм (с).

Пробы формовались вручную в самотвердеющей формовочной смеси, содержащей (в %): песок РТК 1 – 45,8; песок РТК 2 – 45,8; бентонит – 4,6; жидкое стекло – 3,4; 5%-й натриевый щелок – 0,4. Технологические свойства формовочной смеси: влажность – 3,2 – 4,2%; сырая прочность 35,3 – 43,1 кПа; прочность после отверждения 0,78 – 1,17 МПа; газопроницаемость – минимально 500 ед.

Пробы отливались из сталей I, II, III, IV (таблица 1) отливались по 9 проб: одновременно по три – толщиной 30, 60 и 100 мм в одной форме.

Таблица 1 – Химический состав различных проб

Символ и номер плавки		Химический состав								
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al
I	1	0,37	0,64	0,44	0,025	0,019	–	–	–	0,040
	2	0,36	0,62	0,45	0,025	0,017	0,32	–	–	0,135
	3	0,32	0,62	0,33	0,023	0,020	0,40	–	–	0,049
II	1	0,43	0,62	0,46	0,023	0,012	–	–	–	0,052
	2	0,44	0,58	0,37	0,019	0,015	–	–	–	0,072
	3	0,43	0,58	0,37	0,021	0,016	0,17	0,13	0,15	0,011
III	1	0,13	1,13	0,35	0,018	0,015	0,13	0,12	0,13	0,020
	2	0,14	1,11	0,45	0,013	0,011	0,22	0,13	0,18	0,042
	3	0,11	1,04	0,44	0,017	0,018	0,23	0,14	0,12	0,060
IV	1	0,53	0,63	0,59	0,021	0,021	0,65	0,40	–	0,036
	2	0,65	0,64	0,63	0,025	0,019	–	–	–	0,072
	3	0,56	0,65	0,66	0,027	0,017	–	–	–	0,070

Для сохранения равных условий заливки каждая группа из трех проб различной толщины заливалась через единую литниковую систему.

После отрезки литников все 36 проб подвергали термической обработке.

Режим термической обработки литых сталей I и II: отжиг при 950 ± 20 °C в течение 5 ч; охлаждение до 450 °C при выключенной вентиляции – в течении 3 ч; отпуск – повышение температуры до 680 – 700 °C и выдержка 3 ч; последующее охлаждение в печи, затем охлаждение на воздухе.

Режимы термической обработки литых сталей III и IV: отжиг при 950 ± 20 °C, выдержка – 5 ч; охлаждение в охлаждаемой части печи до температуры 450 °C в течение 3 ч, затем охлаждение на воздухе.

Из каждой пробы толщиной 30 мм вырезали две заготовки (А и В, рисунок 1) размером 30 × 30 мм, длиной 200 мм. Из технологических проб толщиной 60 мм – по три заготовки (Е, D, С, рисунок 1) размером 30 × 30 × 240 мм и из технических проб толщиной 100 мм – по три заготовки (J, I, H, рисунок 1) размером 30 × 30 × 260 мм.

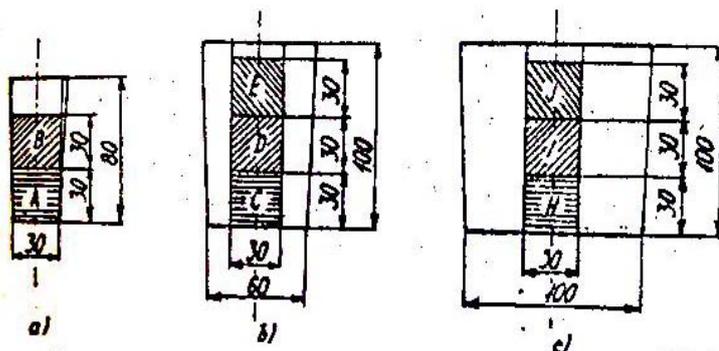


Рисунок 1 – Схемы изготовления образцов

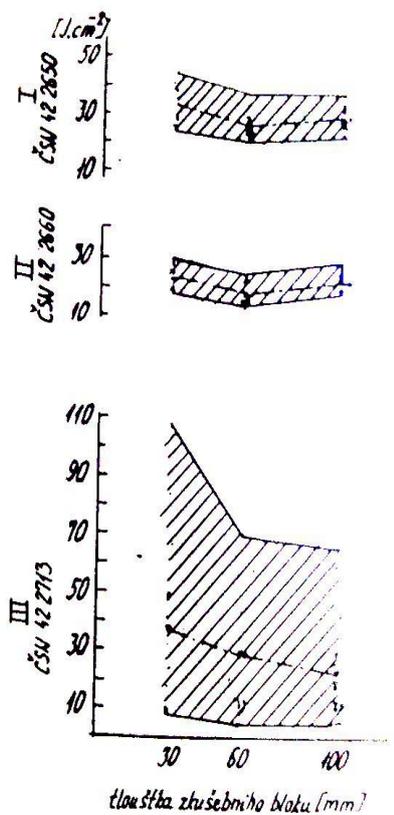


Рисунок 2

На рисунке 1 показаны схемы вырезки заготовок из проб, где а – из пробы толщиной 30 мм, б – из пробы толщиной 60 мм, с – из пробы толщиной 100 мм. Из полученных заготовок вырезались образцы для определения механических свойств; образцы для испытания ударной вязкости вырезались из концевых частей заготовок, которые шлифовались с помощью магнитного шлифовального устройства; V – обратный надрез выполняется специальной фрезой.

На рисунке 2 показано изменение ударной вязкости [Дж/см²] от толщины [мм] пробы, где I, II, III – обозначения исследованных литых сталей.

С увеличением толщины пробы от 30 до 60 мм у деталей I и II наблюдается снижение ударной вязкости, а при дальнейшем увеличении толщины – некоторое ее повышение. В стали III обнаруживается только снижение этой характеристики с увеличением толщины технологической пробы. Снижение механических свойств объясняется укреплением размера зерна металлической матрицы.

Некоторое повышение механических свойств при увеличении толщины стенки пробы с 60 до 100 мм проявлялось только у сталей I и II.

Очевидно в этих сталях в заключительной фазе затвердевания имела место фильтрация расплава че-

рез дендритный скелет в области тепловой оси. Чем дольше продолжается фильтрация маточного раствора, тем более надежно предупреждается образование осевой пористости.

Полученные результаты в известной мере дискуссионны, так как следует принимать во внимание общую литниковую систему и относительно плотное расположение отливок в форме, что вызывает взаимное тепловое влияние отдельных технологических проб друг на друга через тонкую прослойку формовочной смеси. При этом положение тепловой оси в отдельных технологических пробах не совпадает с геометрической осью. Оси образцов, вырезанных из таких технологических проб, не совпадают с тепловыми осями, в связи с чем и наблюдаются некоторые отклонения механических свойств.

УДК 621.745

Смоляные связующие материалы, их структура и свойства

Студенты гр. 104112 Захаркевич Е.Н., Иович С.М., Русакевич А.В.

Научный руководитель Кукуй Д.М.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

С появлением большого количества типов литейных крепителей, разработками нового оборудования в литейной отрасли, являющейся традиционно сложной и противоречивой, стало невозможно дать четкие рекомендации или готовые решения по проблеме выбора наиболее подходящих крепителей.

Выбор литейных крепителей во многом определяется необходимой производительностью и размерами формы и/или стержня.

Один их часто используемых крепителей – смола. Смола – собирательное название аморфных веществ, относительно твёрдых при нормальных условиях и размягчающихся или теряющих форму при нагревании. Среди них как сложные по химическому составу органические вещества, например, природные смолы, так и химически относительно простые соединения.

Наиболее распространенные смолы, используемые в формовке с применением ХТС, можно разделить на три группы:

- первая группа включает в себя смолы, катализируемые кислотой;
- вторая группа включает в себя изоцианаты;
- третью группу смол начали применять совсем недавно, и она включает в себя щелочные (основные) фенольные смолы

Литейные смолы являются органическими соединениями, обычно жидкими по консистенции. Главным образом, молекулы смолы, состоят из атомов углерода, кислорода, водорода и азота. Эти молекулы, или мономеры, являются простыми молекулами, которые можно сравнить с кольцами. При изготовлении смол, под действием тепла и катализатора формируются активные центры, и молекулы объединяются в длинные, как правило, плоские цепочки. В стадии применения эта реакция продолжается благодаря добавлению второго катализатора, и происходит быстрое образование объёмной цепочки молекул. В результате получается жесткий и плотный каркас.

Образованные таким образом макромолекулы имеют очень высокий молекулярный вес и называются полимерами (если они формируются из идентичных молекул) или сополимерами (если они формируются из молекул более чем одного типа). Их конфигурация порождает ретикуляцию.

Когда данная реакция происходит в смеси, образованный каркас удерживает частицы смеси вместе таким образом, что формируется жесткий скелет.

Описанная выше реакция образования цепочки мономерами называется полимеризацией.

Процесс полимеризации начинается, когда смола смешивается с песком. Сначала полимеризация идет медленно, а затем непрерывно ускоряется до тех пор, пока реакция не завершится. Самым очевидным показателем полимеризации является повышение вязкости смолы. Изменения, происходящие по мере полимеризации смолы, необратимы.

Единообразие характеристик смол, безусловно, важно для обеспечения качества производства и производительности. Поэтому необходимо установить, какие проверки следует проводить, а также их периодичность. Также необходимо договориться с поставщиком о методах и допустимых колебаниях результатов испытаний, чтобы добиться соответствующего уровня качества. Это необходимо, если принимать во внимание разнообразие продукции, ее различное применение, а также разницу в используемых аналитических методах. Поэтому проводятся как физические, так и химические испытания, а некоторые из них требуют специального оборудования и имеют сложные методики.

УДК 621.745

Расчет горизонтальной литниковой системы

Студент гр. 104310 Заяц И.А.

Научный руководитель Скворцов В.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Расчет горизонтальной литниковой системы сводится к определению площади наименьшего сечения литниковой системы (стояка или питателя) с последующим определением (по соотношениям) площадей сечения остальных элементов системы.

Для сужающихся литниковых систем площадь наименьшего сечения F_n находят по формуле Озанна-Диттерта.

$$F_n = \frac{G}{\rho \cdot \tau \cdot \mu \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}},$$

где G – масса отливки с литниковой системой, кг; ρ – плотность заливаемого расплава, кг/м³; τ – продолжительность заливки формы, с; μ – коэффициент расхода расплава, учитывающий потери на трение, повороты в литниковой системе; g – ускорение свободного падения, м/с²; H_p – расчетный статический напор, м.

Продолжительность заливки формы (τ) определяют по формулам, полученных в результате обобщения опыта работы различных литейных цехов

$$\tau = S\sqrt{G},$$

где S – коэффициент, зависящий от толщины стенки отливки; при толщине стенок 2,5-3,5; 3,5-6,0 и 8-15 мм соответственно равен 1,66, 1,85 и 2,2.

Расчетный статический напор H_p зависит от типа литниковой системы, положения отливки в форме, способа заливки и других факторов и определяется из соотношения

$$H_p = H_0 - \frac{P^2}{2C},$$

где H_0 – высота стояка от уровня металла в литниковой воронке или чаше до места подвода металла в форму, м; P – расстояние от верхней точки отливки до уровня подвода расплава в форму, м; C – высота отливки в форме, с.

Значение коэффициента расхода литниковой системы (μ) определяют по справочным таблицам. Для чугуна при заливке в сырую форму применяют $\mu = 0,35 - 0,50$; в сухую – $0,41 - 0,60$; для стали, соответственно $0,25 - 0,42$ и $0,30 - 0,50$.

Площади сечений других элементов литниковой системы для отливок из серого чугуна рассчитывают из соотношений

$$F_n : F_{шл} : F_{ст} = 1 : 1,2 : 1,4,$$

где $F_{шл}$ – площадь сечения шлакоуловителя;

$F_{ст}$ – площадь сечения стояка в самом узком месте.

Зная площади сечений основных элементов литниковой системы, можно определить остальные их размеры. Питатели и шлакоуловители имеют, как правило, трапециевидное поперечное сечение.

В случае подвода расплава к отливке несколькими питателями рассчитанная площадь сечения питателя (F_n) является суммарной.

После расчета сечений питателя, шлакоуловителя и стояка литниковой системы определяем их массу ($G_{л.с.}$)

$$G_{л.с.} = G_n + G_{шл} + G_{ст} + G_{л.ч.},$$

где G_n – масса питателей, кг;

$G_{шл}$ – масса шлакоуловителей, кг;

$G_{ст}$ – масса стояка, кг;

$G_{л.ч.}$ – масса литниковой чаши (воронки), кг.

Определив массу литниковой системы, уточняем время заливки (τ) и площади сечений элементов литниковой системы $F_n', F_{шл}', F_{ст}'$:

$$\tau' = S \sqrt{G + G_{л.с.}},$$

$$F_n' = \frac{G + G}{\rho \cdot \tau' \cdot \mu \sqrt{2g \cdot H_p}},$$

По полученным значениям определяем уточненную массу литниковой системы ($G_{л.с.}'$).

Расчеты повторяются до тех пор, пока разница между последующим определением значения $G + G_{л.с.}$ и предыдущим не будет превышать 3%.

В качестве примера были рассчитаны размеры горизонтальной литниковой системы для изготовления отливки детали «Сектор» массой 0,95 кг из серого чугуна СЧ20 на автоматической формовочной линии HWS с размерами опок в «свету» $700 \times 550 \times 250$ мм. Максимальное расположение отливок в опоке 12.

Моделирование процессов кристаллизации расплава выполнено с помощью программы ProCAST. При расчете процессов кристаллизации использованы данные о распределении температуры в литейной форме и отливках, полученные при моделировании процесса заполнения. В результате чего было выявлено ряд дефектов.

После пересчета горизонтальной литниковой системы с установленными прибылями, уточнено время заполнения формы и масса литниковой системы. Проведен повторный расчет процесса кристаллизации. Установлено, время затвердевания расплава до температуры $T_{сол}$ составляет 294 с. В последнюю очередь расплав кристаллизуется в прибылях, что говорит о высокой эффективности рассчитанных прибылей, которые полностью выполняют функцию питания отливки расплавом.

В результате выполнения проекта промоделирована технология изготовления отливки «Сектор», которая предусматривает ее изготовление на автоматической линии HWS. При выполнении проекта рассчитана литниково–питающая система, построены 3D модели отливок, литниково – питающей системы, формы в сборе. Промоделированы процессы заполнения формы. Результаты моделирования представлены на рисунке 1.

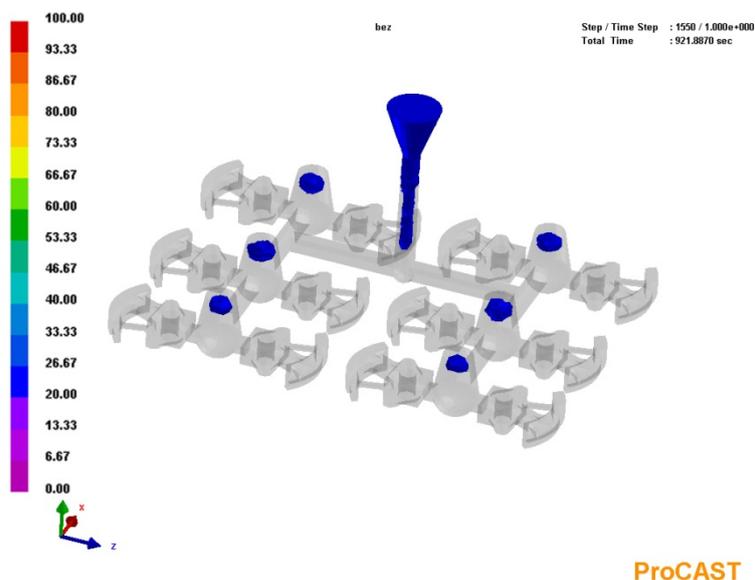


Рисунок 1 – Результаты моделирования

УДК 681.128

Оптимальные параметры модифицирования алюминиево-кремниевых сплавов стронцием

Студенты гр. 104319 Кононович Е. А., Биченков П. Г.
 Научный руководитель Соболев В. Ф.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

В последние годы все большее распространение получает модифицирование стронцием. Стронций может быть введен в расплав в виде чистых солей (SrCl_2 , SrF_2 или SrBr_2), смеси солей ($\text{SrCl}_2 + \text{MgCl}_2$ или $\text{SrCl}_2 + \text{SrF}_2$) и в виде стронций содержащих лигатур (AlSr_3 , AlSr_{10} , $\text{AlSi}_{15}\text{Sr}_{10}$ и AlSr_{90}).

Наибольшее применение нашли и соли и лигатуры.

Изучалась растворимость лигатур AlSr_{10} (9 – 11% Sr), $\text{AlSi}_{14}\text{Sr}_{10}$ (9 – 11% Sr) и AlSr_{90} (88 – 92% Sr) в алюминиевом сплаве G- AlSi_7Mg при пяти различных режимах обработки. Необходимо отметить, что в лигатуре $\text{AlSi}_{14}\text{Sr}_{10}$ содержится значительное количество примесей железа (1,5%) и кальция (0,2%). Предварительно все три лигатуры расплавлялись и из них отливались цилиндрические заготовки в кокиль, подогретый до 300°C . Причем, из сплавов AlSr_{10} и $\text{AlSi}_{14}\text{Sr}_{10}$ изготавливались образцы диаметром 12,5 и высотой 40 мм, а из сплава AlSr_{90} соответственно 6,25 и 15 мм.

Рабочие плавки проводились газовой печи, где в тигле из карбида кремния расплавлялось около 10 кг сплава G- AlSi_7Mg . Расплав в течение 15 минут продувался газом (азот и 5% фреона) с помощью графитовой трубки и насадки. В кусочек лигатуры вставлялась термопара, которая крепилась к специальному держателю и вводилась в расплав на глубину 100 мм. Температура расплава замерялась с помощью другой термопары (NiCr-Ni). Эксперименты

проводились при температурах расплава 700 и 750 °С. Во время ввода и растворения лигатуры через равные промежутки времени из расплава отбирались пробы для определения содержания стронция. Через 15 минут держатель лигатуры удалялся из расплава.

Результаты экспериментов показали, что введение лигатуры $\text{AlSi}_{14}\text{Sr}_{10}$ при температуре 700 °С в расплав $\text{G-AlSi}_7\text{Mg}$ практически не приводит к растворению стронция в жидком металле; его содержание через 20 минут составляет 0,0005 – 0,001%. Присадка этой же лигатуры при температуре 750 °С способствует более быстрому растворению стронция, содержание которого через 3 минуты составляет около 0,002%, а через 15 минут – 0,01%. В то же время необходимо отметить, что в обоих случаях значительное количество лигатуры не растворялось и удалялось из расплава вместе с держателем.

Опыты с лигатурой AlSr_{10} показали, что растворение данного сплава происходит более интенсивно. Так, при температуре 700 °С через 15 минут содержание стронция в расплаве повышается до 0,002%, а при 750 °С лигатура полностью растворяется и содержание стронция возрастает до 0,028%. При введении исследуемых лигатур в расплавы они быстро прогревались на держателе до температуры жидкого металла.

Введение лигатуры AlSr_{90} в жидкий металл при температуре 700 °С приводит к повышению температуры до 730 °С в районе присадки лигатуры, т.е. имеет место экзотермическая реакция. Однако уже через 15 с температура выравнивается до первоначальной (700 °С). Такое явление не отмечено при введении этой лигатуры в расплав при температуре 750 °С. В обоих случаях присадка лигатуры AlSr_{90} растворялась полностью менее чем за 30с. Экзотермическая реакция способствует быстрому растворению стронция в расплаве при температуре 700 °С. Уже через 3 минуты содержание стронция в металле увеличилось до максимального значения – 0,024%. В то же время в расплаве, имеющем температуру 750 °С, через 3 минуты концентрация стронция достигла 0,01% и лишь через 10 – 12 минут составляла 0,02%.

Можно сделать вывод, что растворимость лигатур $\text{AlSi}_{14}\text{Sr}_{10}$ и AlSr_{10} увеличивается с повышением температуры расплава. Прием более высокая усвояемость стронция (из этих двух лигатур) наблюдается при введении лигатуры AlSr_{10} при температуре 750 °С. Применение сплава AlSr_{90} дает хорошие результаты при введении его в расплав с температурой 700 °С.

Последующее исследование проводилось с целью изучения влияния технологии плавки на качество расплава $\text{G-AlSi}_7\text{Mg}$ (7.1% Si; 0.2% Fe; 0.35% Mg; 0.14% Ti; остальное – Al). В расплаве массой 5 кг при температуре 750 °С вводился стронций в виде тех же лигатур из расчета 0,04%. Дегазацию жидкого металла проводили с помощью таблеток гексахлорэтана. В качестве флюса использовалась смесь солей: $\text{NaCl} + \text{KCl} + \text{Na}_2\text{SiF}_6$. С расплавленным металлом проводились три операции: дегазация, внесение флюса и присадка стронция. Причем порядок этих операций менялся, в результате чего получилось 5 различных плавок. Затем расплав выдерживался 40 мин и при температуре 720 °С отливались образцы в кокиль. После чего они подвергались термообработке: нагрев до 530 °С, выдержка 10 ч, закалка в воде, отпуск – нагрев до 160 °С, выдержка 10 ч. Затем вытачивались образцы диаметром 15 мм, которые испытывались на разрывной машине.

Результаты замера плотности сплавов показали, что модифицирование тройной лигатурой снижает плотность немодифицированного сплава с 2,677...2,682 до 2,670...2,680 г/см³, а применение двойных лигатур практически не изменяет ее. Оказалось, что при порядке выполнения операций – дегазация, нанесение флюса и присадка стронция – происходит наилучшее усвоение стронция расплавом (0,017...0,019%) и имеется наивысшее содержание водорода в расплаве (при использовании тройной лигатуры и двойных лигатур соответственно 0,78 и 0,39 см³/100 г). Последующая дегазация способствовала снижению водорода до первоначального значения (0,30 см³/100 г, как у немодифицированного сплава).

Проведение механических испытаний показало, что пределы прочности (310 МПа) и текучести (240 МПа) почти не изменяются при введении стронция в расплав. Удлинение также остается практически постоянным при модифицировании тройной лигатурой. В то же

время удлинение повышается приблизительно на 50% (с 9 до 14%), если в качестве модификатора применяют двойные алюминий-стронциевые лигатуры.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование тройной лигатуры $AlSi_{14}Sr_{10}$ в качестве модификатора нецелесообразно, т.к. механические свойства практически не изменяются, а содержание водорода в расплаве может увеличиться в 2 раза. Применение двойных лигатур $AlSr_{10}$ и $AlSr_{90}$ способствует хорошему усвоению стронция расплавом и увеличению в 1,5 раза пластичности отливок, полученных литьем в кокиль.

УДК 004.(07.07)

Новое в Microsoft Office Access 2013

Студенты гр. 104113 Мануленко Д.Н., Павлович В.С.
Научный руководитель Одиночко В.Ф.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Программный продукт Microsoft Access 2013 - интерактивная реляционная СУБД в новой версии. Его отличие от предыдущих версий в улучшенной логике программирования, поддержке интеграции с веб-базами, наиболее часто используемыми каталогами бизнес-данных (BusinessDataCatalog, BDC), всевозможными готовыми шаблонами и иными эффективно действующими средствами, которые предназначены для обработки больших объёмов данных.

В новой версии реализована возможность создания безупречной базы данных посредством веб-приложения Access 2013 при использовании веб-браузера. Осуществление этого требует только определения типа данных, таких как: задачи, контакты, проекты и др. Приложение позволяет создать структуру базы данных, в которой будет осуществляться представление имеющихся данных для редактирования и внесение новых. Веб-приложением пользователь может пользоваться тут же после его создания, так как программа содержит все нужные команды и средства навигации.

Обновленные возможности программы Microsoft Access 2013 включают в себя:

- сохранение целостности данных и максимум производительности при использовании сервера SQL Server;
- трехуровневый доступ при контроле совместной работы нескольких пользователей в веб-приложении в SharePoint;
- широкий спектр использования заготовленных шаблонов;
- интеграционный обмен данными между базами данных Access, файлами из MicrosoftExcel, различными источниками данных ODBC, списками SharePoint и текстовыми файлами;
- возможность автоматического изменения интерфейса внесением новых элементов посредством встроенных инструментов навигации;
- упрощенные и измененные представления (возможность перетаскивания элементов управления);
- значительно упрощенная возможность работы со связанными данными.
- более простой интерфейс, который напоминает Metro UI из Windows 8 и интегрирован с облачным хранилищем SkyDrive. В хранилище сохраняются все созданные документы Office.
- поддержка протокола ExchangeActiveSync (EAS) для синхронизации почты, контактов, задач (ранее протокол EAS поддерживался только в мобильных клиентах, а Outlook для синхронизации использовал MAPI);
- работа с файлами PDF, в том числе и редактирование;
- наличие вкладки «Дизайн», позволяющей настраивать стиль для всего документа;

- возможность вставки онлайн-видео.

Новым также является возможность сохранения файлов и общий доступ к ним в облаке. Облачное хранилище доступно в любое время при наличии подключения к Интернету. Теперь можно легко сохранять файлы Office в службе SkyDrive или на сайте организации, где можно работать с документами Word, электронными таблицами Excel, другими файлами Office и предоставлять к ним доступ другим пользователям. Можно даже работать над файлом одновременно с коллегами. Возможно присоединение к собраниям по сети и использование слайдов PowerPoint, документов Word, электронных таблиц Excel и заметок OneNote совместно.

В MS Office Access 2013 имеется больше вариантов начала работы. Вместо пустого файла возможно выбрать последний файл или любимый шаблон. OneNote позволяет входить и открывать записные книжки из Интернета или с компьютера. Открытие файлов и сохранение стало гораздо удобнее. Теперь не нужно долго просматривать и прокручивать диалоговые окна. Свои самые используемые папки можно увидеть сразу. Можно также закрепить расположение, чтобы оно всегда было доступно.

MS Access 2013 создаёт структуру базы данных с представлениями, позволяющими добавлять и редактировать данные. Средства навигации и основные команды уже встроены, поэтому можно сразу начать использовать свое веб-приложение. Интерфейс для таких приложений будет формироваться автоматически, на основе модели данных и с максимальным использованием стандартных структур и элементов управления (хотя при желании и умении многое можно модифицировать).

УДК 681.128

Особенности морфологии вермикулярного графита

Студенты гр. 104319 Левковский Д.А., Михалков А.Ф.
Научный руководитель Соболев В.Ф.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Термин «вермикулярный» графит (Wurm-graphit), т. е. червеобразный графит, был предложен для обозначения специфической формы графита в чугунах – на поверхности (срезах) шлифа наблюдаются округлые, утолщенные и в основном неразветвленные короткие изогнутые графитные включения. Возьмем для примера обозначения ВГф5 и ВГф6 в стандарте СССР «Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры» ГОСТ 3443–87.

Для формы ВГф5 (червеобразная извилистая) характерны равномерное расположение включений, небольшая разница в размерах и схожесть внешнего вида. Эта форма графита образуется в основном в чугунах с преимущественно ферритной структурой металлической основы. Червеобразная утолщенная форма графита ВГф6 кристаллизуется чаще всего в низколегированном чугунах с перлитной матрицей и отличается большим разнообразием размеров и внешнего вида.

Включения вермикулярного графита на срезе шлифа представляют собой агрегаты, состоящие из набора кристаллитов, в которых кристаллографическая ориентировка плоскостей роста различна. Одни из кристаллитов являются как бы фрагментами сферолитного графита со слоисто-концентрически расположенными плоскостями роста или приближающимися к концентрическому расположению, другие – слоистыми пластинами с преобладанием роста вдоль плоскостей базиса.

При рассмотрении в поляризованном свете включения вермикулярного графита сходны с шаровидными, так как в отдельных участках обнаруживаются одновременное затемнение и посветление различных составляющих кристаллитов. Для выявления пространственной

формы вермикулярного графита был использован метод последовательных сошлифовок, который показал, что в пределах одной колонии видимые на плоскости шлифа изолированные включения вермикулярного графита в пространстве связаны между собой. Последующее исследование на растровом электронном микроскопе вермикулярного графита, отделенного от окружающей металлической основы в результате глубокого электролитического растравливания полированной поверхности шлифа, подтвердило это предположение и дало возможность более полно установить схожесть и различие между пластинчатым и вермикулярным графитом.

Особенностью структуры металлической основы ЧВГ, полученного описанными методами, является наличие значительного (60 – 90%) количества феррита. Изменение химического состава в сторону понижения степени эвтектичности и дополнительное легирование ЧВГ стабилизирующими перлит элементами (Cu, V, Sb и др.) полностью не подавляют выделение феррита и не позволяют получать в литой структуре более 70% перлита. Обычная нормализация нелегированного ЧВГ перлитизирует металлическую основу до 80 – 90%, хотя полностью и не устраняет феррит. В зарубежной практике для увеличения количества перлита в литой структуре, и, соответственно повышения прочностных свойств, обычно легируют ЧВГ медью в количестве 0,6–1,0%, получая до 80% перлита в матрице. Таким образом, отличительная особенность обычного нелегированного ЧВГ – повышенная склонность к ферритообразованию, слабо подавляемая даже дополнительным легированием чугуна перлитизирующими (Cu, Sb) элементами.

Для ЧВГ характерно также присутствие в структуре небольшого количества (до 20% от площади графита) шаровидного графита. Иногда встречается графит компактной и звездообразной формы — ВГф10 и ВГф11 по ГОСТ 3443—87. Наличие в структуре больших скопленных звездообразного графита может привести к снижению прочностных свойств.

УДК 621.745

Технологии регенерации формовочных песков и смесей

Студенты гр. 104322 Тонкович А. А., Ярмалицкий В. И., Деревянко С. А.

Научный руководитель Кукуй Д.М.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Отработанные формовочные и стержневые смеси подвергают специальной обработке – регенерации с целью восстановления первоначальных свойств песка для его повторного использования, что позволяет значительно сократить расход свежих формовочных материалов.

При этом различают регенерацию песков и регенерацию смесей.

Операции, которым подвергаются регенерируемые смеси при регенерации песков, делятся на три основных вида:

- подготовка регенерируемой смеси;
- отделение поверхностных пленок от зерен песка;
- удаление пылевидных фракций из зерновой основы песка, т.е. сепарация.

Под регенерацией смесей понимается совокупность операций, направленных на сохранение активности поверхностных пленок наполнителя.

Регенерация формовочного песка в отличие от регенерации смеси предполагает полное удаление поверхностных пленок и получение в результате этого высококондиционного формовочного песка.

Основные методы регенерации подразделяются на:

- механическую;

- термическую;
- гидравлическую;
- естественную;
- комбинированную, включающую различные комбинации вышеперечисленных методов.

Основными процессами при подготовке смеси к регенерации являются ее дробление и удаление металлических включений (всплески, каркасы, крючки и т.д.).

Просев смеси (первичная сепарация) производится с помощью полигональных сит и вибрационных грохотов.

Магнитная сепарация основана на способности различных минералов по-разному притягиваться магнитом.

Магнитные зерна, включающие соединения железа, отклоняются в сторону магнита, в то время как чистые зерна песка, не обладающие магнитными свойствами, ссыпаются вниз.

Процесс разрыхления формовочной смеси применяется для обеспечения ее высокой газопроницаемостью и однородностью уплотнения смеси в формах. Формовочную смесь разрыхляют в специальных устройствах – дезинтеграторах.

Влажность оказывает большое влияние на свойства смеси. Недостаток влаги приводит к снижению прочности смеси и к получению дефектов у отливок из-за осыпаемости стенок формы; избыток влаги приводит к снижению прочности формы и снижению ее газопроницаемости. Поэтому к формовочным смесям применяется способ усреднения по влажности.

Отделение пленки связующего при механической регенерации формовочного песка осуществляется: механическим перетиранием, механическим ударом и пневмоударом.

Термическая регенерация применяется для удаления с поверхности зерен песка пленок органических связующих материалов путем нагрева смесей в окислительной среде при температуре 750-950 °С.

Принципиальным преимуществом гидравлической регенерации перед “сухими” методами является более высокое сопротивление сред гравитационному осаждению в воде по сравнению с воздухом, создающее благоприятные условия для разделения частиц. Кроме того, данный процесс обладает значительной производительностью, отличается хорошими санитарно-гигиеническими показателями.

Естественная регенерация – выдерживание песка в естественных условиях.

Сложность составов стержневых и формовочных смесей, применяемых в литейном производстве, и недостаточная эффективность описанных методов заставляет применять системы комбинированной регенерации.

УДК 621.745

Скорость кристаллизации и охлаждения и ее влияние на твердость и структуру отливок из чугуна с шаровидным графитом

Студенты гр. 104319 Крох А.Н., Шилак Н.А.

Научный руководитель Соболев В.Ф.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

При внедрении высокопроизводительных формовочных линий для производства отливок из чугуна с шаровидным графитом (ЧШГ), необходимо знать ход процесса их кристаллизации и охлаждения в литейной форме, чтобы определить оптимальное время прохождения форм до выбиоки.

Время кристаллизации и время охлаждения после затвердевания оказывают основное влияние на повышение твердости, механических свойств и обрабатываемости отливок. Кро-

ме того, время кристаллизации необходимо знать, чтобы исключить преждевременную выбивку форм.

На первом этапе снимали кривые кристаллизации плит 300x300 толщиной 25,50 и 100 мм, отливаемых в сырые песчано-глинистые формы. Хромо-алюмелевую термопару устанавливали в тепловом центре плиты. Чугун, выплавленный в индукционной печи, обрабатывали Fe-SI-Mg-лига турой (5% Mg) непосредственно в литейной форме.

На втором этапе исследовали ход кристаллизации и охлаждения пяти отливок-представителей. При этом термопару устанавливали в наиболее массивной стенке отливки. В каждой отливке затем исследовали микроструктуру и определяли твердость в месте установки термопары. В ходе кривых, относящихся к плитам толщиной 25 и 50 мм, выявляются по две точки остановки температуры: первая при температуре 1135°C соответствует эвтектоидному превращению аустенита. У 100-мм плиты за период опыта точка эвтектоидного превращения не фиксировалась.

Эти данные могут быть использованы для прогнозирования ожидаемого времени затвердевания подобных отливок. При этом можно пользоваться известной формулой Хворина, которая время затвердевания отливки представляет как функцию отношения ее объема к поверхности:

$$t = k(V / A)^2$$

где k – константа;

V – объем;

A – поверхность отливки.

Для отлитых плит толщиной 25,50 и 100 мм, константа k оказалась соответственно равной 9,6, 8,3 и 7,44 мин/см².

У этих отливок установлено три точки задержки при изменении температуры: первая при температуре кристаллизации около 1135°C. Вторая в начале и третья в конце эвтектоидного превращения.

Из кривой охлаждения можно сделать ряд заключений. Если такие детали как ручка тормоза, подшипник и башмак выбить из литейной формы уже через 30 мин после заливки, то эффект повышения - твердости (закалка) не проявляется, так как они в это время уже пройдут эвтектоидное превращение, а рычаг управления еще находится в этой области. Массивный же кривошип в течение 30 мин после заливки имеет температуру около 870°C и, если его извлечь в это время из формы, то это приведет к повышению твердости.

После пребывания в форме в течение 60 мин четыре детали уже пройдут полностью эвтектоидное превращение и только кривошип будет еще находиться в этой области.

В структуре всех отливок графит имел шаровидную форму, а относительная доля феррита и перлита являлась функцией скорости охлаждения отливки и коррелировала с твердостью. Так, например, металлическая основа быстро охлаждаемой тонкостенной ручки тормоза была почти полностью перлитная с НВ = 255, в то время как толстостенная отливка кривошип имела преимущественно ферритную матрицу с твердостью 179НВ.

УДК 621.745

Вакуумно-плёночная технология изготовления крупных отливок

Студенты гр. 104311 Шут Е.А., Кравчук А.Е.

Научный руководитель Кукуй Д.М.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Вакуумно-пленочная формовка является относительно «молодым» методом формования. Сегодня применение этого метода постоянно расширяется, особенно при изготов-

лении крупных ответственных отливок из различных сплавов, в том числе чугуна и стали небольшими и средними сериями. В последнее десятилетие V-процесс признан эффективным процессом формовки для тонкостенных крупногабаритных отливок типа чугунных ванн (толщина стенки 4 мм); сложных развернутых плит станков; стальных отливок для железной дороги "рама боковая" и «балка наддресорная»; вентиляей и задвижек из чугуна и стали для нефтяной и газовой промышленности, стрелок и крестовин для рельсовых путей, задних мостов грузовиков и тракторов, литых опок и многих других отливок с минимальным отношением металл\форма, в мелкосерийном и серийном производствах.

Важные моменты:

1) разница внешнего и внутреннего давления на форме обеспечивает необходимую жесткость и прочность изделия, а также точное соответствие изделия выпуклостям и полостям формы;

2) при подсоединении вакуумного насоса, труба для откачки воздуха, оборудованная специальным фильтром, должна устанавливаться в соответствующее место верхней и нижней опоки еще до начала заполнения их песком, но после помещения туда модели и литейных стержней, а также после накладки на опоки пленок для уплотнения заполнителя.

Одной из разновидностей V-процесса является получение отливок в вакуумируемые формы по газифицируемым (выжигаемым) моделям. Это позволяет изготавливать отливки сложной конфигурации, без ограничений по высоте и в одной опоке – вакуумируемом ящике.

Технология вакуумно-пленочной формовки (ВПФ) имеет следующие преимущества:

- самая низкая себестоимость отливок, на 25...30% дешевле отливок, полученных в песчаной форме, и в разы дешевле аналогичных отливок в формах из ХТС;
- нет традиционной системы смесеприготовления, достаточно транспортных операций с сухим песком (иногда только обеспыливание и охлаждение песка);
- превосходное качество поверхности отливок без доводок;
- долгий срок службы моделей, низкий износ моделей, изготовленных обычно из пластмассы или дерева; нет контакта модели с песком (только с пленкой, что исключает износ);
- минимальный расход заливаемых материалов, меньше прибыли и т.д.;
- форма обеспечивает минимальную температуру заливки металла за счет высокой заполняемости и теплоемкости;
- V-процесс соответствует всем не только самым современным, но и самым перспективным экологическим требованиям.

Однако, основным недостатком данной технологии является ее энергоемкость на этапе формообразования, когда основная доля потребления электроэнергии приходится на вакуумные насосы. В практике изготовления литейных форм методом ВПФ, нередки случаи преждевременного их разрушения, как на этапе формообразования, так и на этапе заливки форм расплавом.

В отличие от отливок, изготавливаемых по традиционным технологиям, при V-процессе можно, по крайней мере, частично отказаться от уклона модели. Благодаря реверсивному переключению вакуума в процессе производства песчаных форм, например при отрыве полужформы от модели, между моделью и пленкой практически не возникает сопротивления трения; таким образом, модель легко извлекается и при уклоне формы 0°.

Чистота поверхности вакуумных отливок настолько высока, что применяемая в обычных случаях для удаления остатков формовочных материалов струйная обработка может даже оказать негативное воздействие, т.к. после такой обработки отливка будет иметь более шероховатую поверхность, чем сразу после выбивки.

Подкорковый слой вакуумной отливки также обладает примечательными качествами. Пригара в привычном понимании не возникает, т.к., с одной стороны, полная покраска формы предотвращает реакцию между металлом и формовочным материалом, а с другой сторо-

ны, эффект термоудара в сухом формовочном материале существенно ниже, чем при литье в сырую форму.

V-процесс предлагает множество возможностей сэкономить материал и таким образом удовлетворить требованиям, предъявляемым к тонкостенному литью. Жесткие рамки допуска разрешают соответствующее уменьшение толщины стенки несущего поперечного сечения. Далее, по сравнению с другими способами формовки, например, с песчано-глинистой формовкой, благодаря нанесению на пленку слоя краски, заполняемость формы металлом улучшается на 30%, что, помимо прочего, обусловлено тем, что во время процесса заливки при помощи вакуумной системы из формы удаляется как воздух, так и литейные газы.

**Машины
и технология
обработки
металлов давлением**

Композиционный двухслойный материал с порошковым антифрикционным слоем для подшипников скольжения

Студенты гр. 104410 Змушко С.Е., Воронюк А.А.
Научный руководитель Белый А.Н.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В машиностроении используется большое количество антифрикционных изделий – подшипников скольжения, направляющих, втулок, вкладышей, применяемых в различных узлах трения машин и механизмов. Основными требованиями, предъявляемыми к подшипникам скольжения, является минимальный коэффициент трения и высокая износостойкость. Эти свойства определяют минимум потерь энергии в узлах трения и их максимальный срок службы.

В настоящее время широкое применение нашли следующие антифрикционные материалы:

1) бронзовые литые (широко используют при средних скоростях и больших нагрузках. Наилучшими антифрикционными свойствами обладают оловянные бронзы (БрОФ 10 – 1, Бр05Ц5С5 и др.).

2) подшипники с баббитовой заливкой применяют для ответственных пар трения при тяжелых и средних режимах работы (дизели, компрессоры и др.).

3) чугунные вкладыши без заливки применяют в неответственных тихоходных механизмах. Наибольшее применение получили антифрикционные чугуны АЧС-1

4) неметаллические материалы (применяют антифрикционные пластмассы (АСП), древеснослоистые материалы, твердые породы дерева, резину и т.д.).

Однако перечисленные материалы имеют следующие недостатки: в процессе работы требуют постоянного контроля из-за высоких требований к смазыванию и опасности перегрева; перерыв в подаче смазочного материала ведет к выходу из строя подшипника; имеют сравнительно большие осевые размеры; значительные потери на трение в период пуска и при несовершенной смазке; большой расход смазочного материала.

Для устранения этих недостатков разрабатываются порошковые материалы на железной основе с твердыми смазками (рисунок 1). Кроме того, технология порошковой металлургии позволяет получать композитные высокопрочные и дешевые изделия, состоящие из компактной стали и порошкового антифрикционного слоя, обладающие способностью самосмазывания.

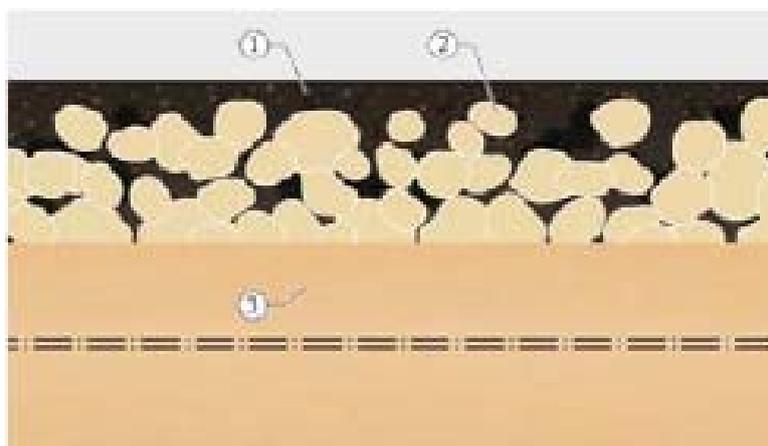


Рисунок 1– Порошковые материалы на железной основе с твердыми смазками:
1 – смазка; 2 – порошковый антифрикционный слой; 3 – стальное несущее основание

Трудностью получения таких антифрикционных изделий является малая толщина стальной основы (1,5-3 мм) и слоя бронзового порошка (1-1,5 мм), а также существенная разница в температурах плавления материалов композиции. Для получения двухслойного материала использовали пластины из листовой компактной стали Ст3 толщиной 2 мм. В качестве антифрикционного слоя применяли бронзовый порошок марки БрОФ 10-1, получаемый распылением, фракции 0,3 – 0,4 мм. Перед нанесением порошкового слоя стальные пластины подвергались очистке металлической щеткой и наждачной бумагой для устранения оксидной пленки.

Антифрикционный порошковый слой на пластину наносили свободной насыпкой на специальном приспособлении для получения равномерного по толщине слоя (рис. 2). После чего пластины с антифрикционным порошковым слоем подвергали термической обработке (спеканию) в защитно-восстановительной атмосфере эндогаза при температуре 750-780 °С, в течение 50-60 мин.



Рисунок 2 – Микроструктура композиционного двухслойного материала с порошковым антифрикционным слоем

В результате выполнения работы был произведен анализ способов и материалов, применяемых для получения подшипников скольжения, который показал, что наиболее перспективным направлением является спекание с последующей прокаткой композиции Сталь 3 (толщина 1 – 3 мм) и БрОФ 10-1 (сферический порошок, фракция 0,3 – 0,4 и 0,4 – 0,63 мм). Были оптимизированы режимы спекания (оптимальной температурой является 770 – 790 °С, время спекания 50 – 55 мин, заготовка нагревается и остывает в печи с применением восстановительной атмосферы).

Проведены микроструктурные исследования полученных образцов, которые показали, что присутствуют диффузионные процессы между металлами (наличие контакта).

УДК 621.771

Исследование прокатки биметаллических материалов

Студент гр. 104410 Земянцев А.О.
Научный руководитель Белявин К.Е.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Биметалл — композиционный материал, состоящий из двух или более различных металлических слоев металлов или их сплавов.

Биметаллы применяются во многих отраслях промышленности: коррозионностойкий биметалл используется для изготовления корпусов нефтехимического и атомноэнергетиче-

ского оборудования; антифрикционные биметаллы — при изготовлении подшипников скольжения; биметаллы с особыми свойствами — при изготовлении узлов ракетно-космической техники.

В настоящее время существует большое количество различных методов получения биметаллов, что объясняется большим разнообразием биметаллов по их видам и свойствам, а также стремлением найти самый рациональный метод получения для каждого вида. В патентной литературе уже зарегистрировано несколько тысяч патентов на способы получения различных видов биметаллов. Естественно, что на технологию производства биметаллов накладывает отпечаток и состав оборудования завода, на котором организовано его производство.

Несмотря на разнообразие методов получения различных биметаллов, нашедших применение в промышленности, их можно разделить на три группы: а) получение заливкой; б) получение совместной пластической деформацией; в) получение наплавкой, электросваркой или другим методом соединения, не требующим обязательной пластической деформации для создания прочного соединения.

Рассмотрим биметаллы, применяемые для получения изделий антифрикционного назначения. Основным требованием к таким материалам является минимальный коэффициент трения и возможность самосмазывания трущихся поверхностей, без применения дополнительных приспособлений. Таким условиям отвечают биметаллы из порошкового антифрикционного материала на стальной основе. Сохранить сквозную пористость антифрикционного слоя, позволяющую аккумулировать смазку, возможно только путем совместной пластической деформации материалов, а именно прокаткой.

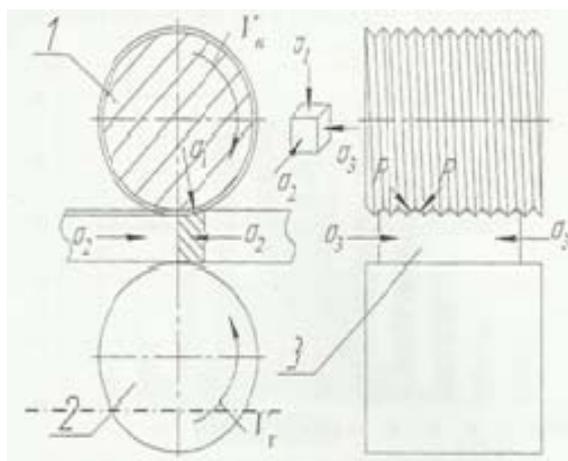


Рисунок 1 – Схема напряженного состояния при обработке рифленным валком:

1 – валок рифленный; 2 – валок гладкий;
3 – лист стальной.

Для получения двухслойного антифрикционного материала использовали пластины из листовой компактной стали Ст3 толщиной 1 – 2 мм и сферический бронзовый порошок марки БрОФ 10-1, фракции 0,3 – 0,4 и 0,4 – 0,63 мм.

Для повышения прочности сцепления порошкового антифрикционного слоя со стальной основой предварительно проводили пластическую деформацию стальной пластины, для получения сетки с зубом наклоном 45°, глубиной 0,2 – 0,5 мм, что позволяло увеличить площадь контакта материалов композиции. Были рассмотрены несколько вариантов нанесения рельефа, но наилучшие результаты достигнуты методом, представленным на рисунке 1.

При анализе влияния на процесс соединения металлов состояния контактных поверхностей следует также принимать во внимание и то, что поверхностные слои металла по своему строе-

нию и свойствам могут значительно отличаться. Во многом это вызывается предшествующей обработкой металла.

Например, любой вид механической обработки (резание, шлифование, полирование и др.) приводит к искажению кристаллической структуры поверхностного слоя, увеличению числа вакансий и плотности дислокаций в нем.

Прокатка и другие методы обработки давлением приводят к наклепу и появлению текстуры деформации. Все эти явления, несомненно, оказывают влияние на процесс схватывания металлов.

Для проведения пластической деформации использовали прокатный стан СПП – 180 (диаметр бочки валков – 150 мм, скорость вращения – 6 об/мин, наибольшее давление металла на валки – 600 кН, мощность электропривода – 14 кВт), с рельефными валками.

Также наносили гальваническим методом медное покрытие толщиной 0,1 мм.

Антифрикционный порошковый слой на пластину наносили методом свободной насыпки и подвергали спеканию в защитно-восстановительной атмосфере эндогаза при температуре 750-780 °С, в течение 50-60 мин, после этого проводили прокатку на прокатном стане Kaltmag (диаметр бочки валков – 200 мм, скорость вращения – 3 об/мин, наибольшее давление металла на валки – 600 кН, мощность электропривода – 14 кВт) (Германия).

Обжатие при прокатке со степенью 35 – 45 % позволяет получить пористость антифрикционного слоя 12 – 15 % (рис. 2), обеспечивающую максимальные триботехнические свойства за счет оптимального заполнения смазкой пористого антифрикционного слоя.

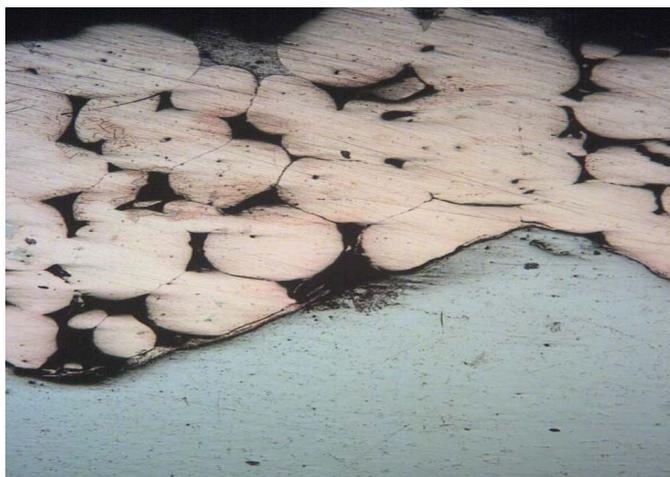


Рисунок 2 – Микроструктура двухслойного материала после пластической деформации

Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию параметров процесса получения композиционного материала.

УДК 622.731

Движение частиц измельчаемого материала в ускорителе центробежно-ударной дробилки

Студент гр. ТОСП 31 Богушевич В.Ю.
Научный руководитель Гавриленя А.К.
Барановичский государственный университет
г. Барановичи

В настоящее время наиболее эффективными машинами для тонкого помола сыпучих материалов являются измельчители, реализующие высокоскоростное ударное нагружение. К машинам такого рода относятся центробежно-ударные дробилки.

Принцип действия центробежно-ударной дробилки основывается на разгоне в поле действия центробежных сил частиц материала в ускорителе и их вылете в камеру измельчения с большой скоростью, существенно превышающей критическую скорость разрушения материала, где происходит удар разогнанных частиц об отбойное кольцо либо о частицы материала в карманах камеры измельчения, образующих футеровку дробилки.

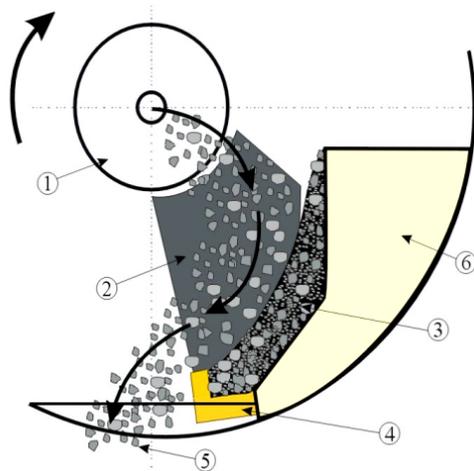


Рисунок 1 – Схема движения частиц в ускорителе с самофутеровкой:
 1 – рассекатель; 2 – подкладной лист; 3 – самофутерующийся карман;
 4 – твердосплавная лопатка; 5 – сход материала с ускорителя; 6 – корпус ускорителя

На рисунке 1 показана схема движения частиц в ускорителе (вид сверху, без крышки ускорителя). Материал подается во вращающийся ускоритель по центру и падает на конус 1, с которого отлетает в горизонтальном направлении в каналы ускорителя (условно показан только один канал). Чтобы не было износа верхней и нижней плоскостей ускорителя используются подкладные листы 2. Куски материала футеруют карман самофутеровки 3, образованный корпусом ускорителя 6 (пустотелый) и лопаткой 4. Движение материала по материалу, лежащему в кармане, существенно сокращает износ. Разогнанный материал 5 вылетает в камеру измельчения.

При движении лопастным ротором частица участвует в двух движениях:

- а) окружном (переносном) вместе с лопастным колесом;
- б) относительном (относительно лопасти).

Скорость вылета частиц измельчаемого материала из ускорителя определяется, прежде всего, окружной скоростью концов лопастей, которая определяется по формуле

$$v_{л} = \frac{\pi n R}{30},$$

где n – частота вращения ротора, об/мин; R – радиус окружности, описываемой концом лопасти, м.

Однако при одинаковой окружной скорости величина скорости вылета зависит от конструкции ротора (формы и расположения разгонных лопастей) и коэффициента трения материала при его движении по разгонной поверхности.

Установлено [3], что теоретическая скорость вылета $v_{в}$ частиц из ротора без учета сил трения в m раз больше окружной скорости концов лопастей $v_{л}$, то есть

$$v_{в} = m \cdot v_{л},$$

где $m = 1,2...1,6$. Параметр m принимает меньшие значения при увеличении сил трения, которые препятствуют перемещению материала по лопасти.

При движении по лопасти частицы не только скользят, но и перекатываются. Частицы, движущиеся первыми, «убегают» от последующих, то есть с удалением частиц от центра вращения расстояние между ними увеличивается.

На выходе из ротора частица движется прямолинейно по направлению геометрической суммы окружной и относительной скоростей. Точки вылета частиц из ротора являются точками пересечения абсолютной траектории их движения и окружности концов лопастей. При изменении длины лопасти и коэффициента трения наблюдается перемещение «зон вылета» частиц из ротора, и следовательно, «зон удара».

Недостатком таких мельниц является то, что при высокой производительности материал будет перемещаться по диску в несколько слоев, тогда верхние слои материала будут иметь скорость меньше, чем у нижнего слоя, что ухудшает процесс дробления.

УДК 631.7/9.016

Поверхностная пластическая обработка малолистовых рессор с использованием локального очага деформации

Студенты гр. 104410 Петрусевич М.А., Урбан А.С.
Аспирант Баранов Д.А.
Научный руководитель Иваницкий Д.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Упрочняющая обработка рессоры включает нагрев до температуры закалки, прокатку, формообразование, закалку, отпуск и дробную деформацию поверхности с целью ее упрочнения. На заключительной стадии прокатку осуществляют в режиме дробной деформации поверхности рессоры путем создания в ее поверхностном слое деформированной структуры, образованной нанесением сферических впадин периодического характера (рисунок 1).

Схема для осуществления способа упрочнения рессоры содержит индукционную установку для нагрева рессоры, прокатный стан, выполненный в виде двухвалковой клетки, штамп для формообразования рессоры, закалочную ванну и отпускную печь, а так же двухвалковый прокатный стан для поверхностного упрочнения.

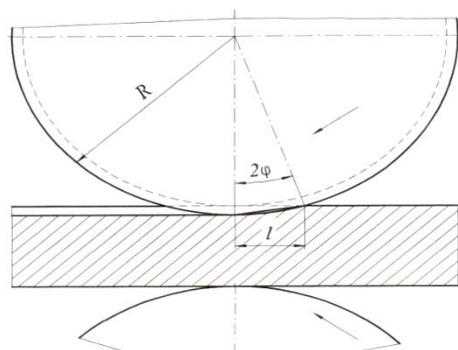


Рисунок 1 – Схема процесса прокатки

На прокатном стане в двухвалковой клетке осуществляет продольную прокатку рессоры при температуре закалки. Непосредственно после прокатки производят формообразование рессорного листа штампкой-гибкой в штампе, сохраняя при этом временной режим температуры закалки. После формообразования рессору подвергают закалке в ванне и отпуску в печи.

В прокатном стане для поверхностного упрочнения установлены рабочие валки с периодическим профилем в виде сферических выступов выполненных на бочке в виде сепаратора с шариками, расположенными в шахматном порядке. Валковая клетка содержит пару профилированный валок – профилированный валок.

Данная технологическая схема обработки рессорных листов позволяет заменить дробеструйную обработку поверхности, обладающую существенными недостатками, на процесс поверхностного пластического упрочнения посредством продольной прокатки в профилированных валках.

При теоретическом анализе формирования рельефа на листовом материале будем оценивать по разработанной ранее методике, и рассматривать как процесс заполнения впадин деформирующего инструмента деформируемым металлом. Приближенная схема решения, основанная на усреднении напряжений в сечениях деформируемого металла и принятии упрощенного уравнения пластичности, соответствует реальному процессу для случаев малых

значений коэффициента контактного трения на границе металла со стенками впадин и небольших углах уклона впадин.

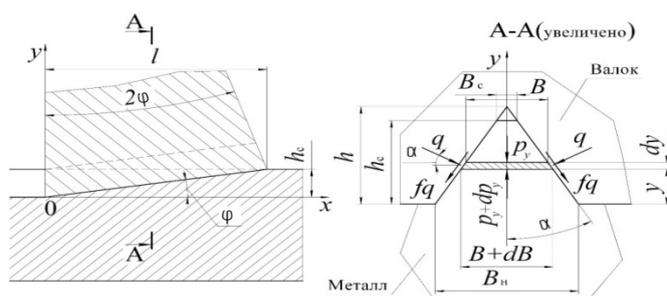


Рисунок 2 – Схема формообразования рельефной поверхности

В данном случае также заменим профиль контакта (рисунок 1) металла с валком хордой. Выделим этот участок для одного ряда сферических выступов. С целью получения решения профиль впадины на валке представим в виде треугольника (рисунок 2). Уравнение равновесия выделенного элемента единичной

длины в деформируемом металле для произвольного поперечного сечения впадины запишем в таком же виде, как и в используемой методике

$$(p_y + dp_y)(B + dB) - p_y B - 2q(dy/\cos\alpha)\sin\alpha - 2fq(dy/\cos\alpha)\cos\alpha = 0, \quad (1)$$

где p_y - напряжение, действующее в вертикальном направлении в выделенном элементарном сечении;

B - ширина выделенного элементарного сечения;

q - напряжение, действующее на контакте между стенкой впадины и металлом в выделенном элементарном сечении;

f - коэффициент контактного трения;

α - угол наклона стенки канавки.

Аналогично будем считать деформацию в зоне затекания металла во впадину двумерной, поскольку при поверхностно-пластической деформации вытяжка вдоль листа практически отсутствует. Далее принимаем, что главные оси напряжений в рассматриваемом элементе соответствуют вертикальным и горизонтальным осям. Тогда запишем уравнение пластичности

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \beta\sigma_T, \quad (2)$$

где $\sigma_1 = (q(dy/\cos\alpha)\cos\alpha - fq(dy/\cos\alpha)\sin\alpha)/dy$;

β - параметр Лодэ;

σ_T - предел текучести материала рессоры.

Далее, опуская все математические выводы, запишем выражение

$$p_y = \beta\sigma_T \left\{ (1 + (1/\delta)) \left[(B/B_C)^\delta - 1 \right] \right\}. \quad (3)$$

Для определения усилия деформирования, приходящегося на единицу длины очага деформации в произвольном сечении очага деформации, выражение (3) проинтегрировано в пределах изменения самой функции

$$P_{ед} = \beta\sigma_T \left\{ (1 + (1/\delta)) (\delta + 1) \left[(B_N^{\delta+1}/B_C^\delta) - B_C \right] - B_N + B_C \right\}. \quad (4)$$

Из уравнения следует, что с уменьшением величины BC растет и усилие, приходящееся на единицу длины очага деформации.

Далее определим усилие деформирования при заполнении впадины на длине l (см. рисунок 2) проекции хорды, наклоненной к оси x под углом φ .

Используем проинтегрированное выражение (4), где $B_c = 2ax$.

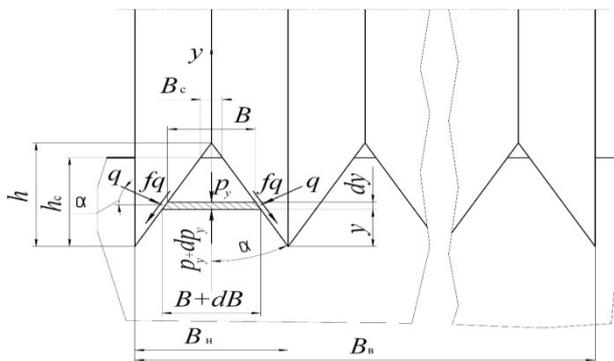
$$P = \beta\sigma_T \left\{ \left(1 + \frac{1}{\delta}\right)(\delta + 1) \times \left[\frac{B_H^{\delta+1}}{2a(1-\delta)} (2al)^{1-\delta} - al^2 \right] - B_H l + al^2 \right\} \quad (5)$$

Для определения полного усилия нужно учесть количество выступов на бочке вала, которые внедряются в металл (рисунок 3) $n = \frac{B_B}{B_H}$,

где B_B – ширина бочки вала, равная ширине обрабатываемого рессорного листа.

В этом случае выражение (5) для определения полного усилия имеет следующий вид:

$$P_{II} = Pn = \frac{\beta\sigma_T B_B}{B_H} \left\{ \left(1 + \frac{1}{\delta}\right)(\delta + 1) \left[\frac{B_H^{\delta+1}}{2a(1-\delta)} (2al)^{1-\delta} - al^2 \right] - B_H l + al^2 \right\} \quad (6)$$



При расчетах также учитываем упрочнение металла, которое характеризуется напряжением текучести σ_s для любого момента деформации. Напряжение текучести определим по формуле С.И. Губкина

Рисунок 3 – Схема для определения полного усилия

$$\sigma_{S_1} = \sigma_T + \left(\left(\frac{\sigma_B}{1 - \psi_{III}} \right) - \sigma_T \right) \left(\frac{\psi}{\psi_{III}} \right)^{\frac{\sigma_B \cdot \psi_{III}}{(1 - \psi_{III}) [\sigma_B - \sigma_T (1 - \psi_{III})]}} \quad (7)$$

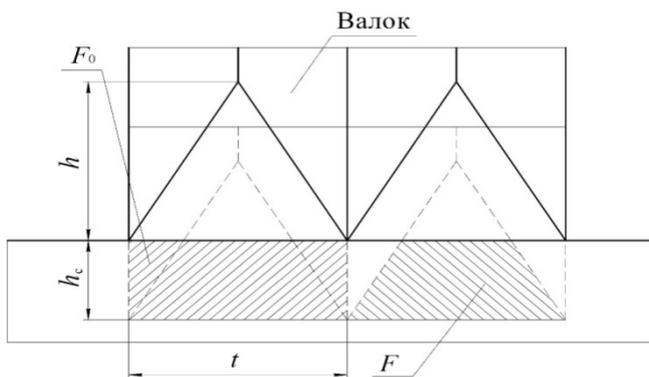


Рисунок 4 – Схема для определения относительного уменьшения площади сечения

где σ_T – предел текучести для рессорной стали при твердости 42-46 HRC, равный 1324 МПа; σ_B – предел прочности исходного материала для рессорной стали при твердости 42-46 HRC, равный 1422 МПа; ψ_{III} – относительное изменение площади поперечного сечения образца в момент начала образования шейки, для рессорной стали принимаемый равным предельному значению $\psi = 35\%$ в момент разрушения образца (будем считать, что у закаленной стали эта величина не изменяется с момента начала образования шейки до разрушения); ψ – относительное уменьшение площади поперечного сечения (рисунок 4).

В теоретических расчетах используем среднее значение напряжения текучести, которое определяется по формуле

$$\sigma_s^* = (\sigma_s + \sigma_{s_1}) / 2,$$

где σ_s – напряжение текучести стали в исходном состоянии, равное 1324 МПа.

Относительное уменьшение площади сечения определим по формуле (рисунок 5)

$$\psi = (F_0 - F) / F_0, \quad (8)$$

где F_0 – площадь сечения канавок на валке;

F – площадь сечения, заполненная металлом после деформирования.

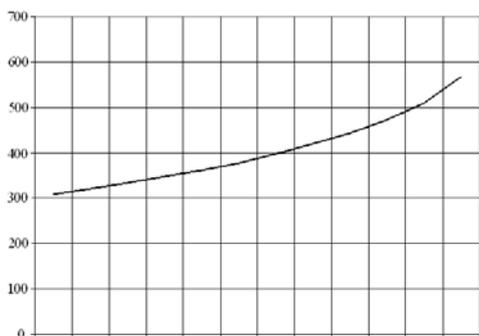


Рисунок 5 – Зависимость усилия деформирования P_n от глубины внедрения h_c деформирующего инструмента

По полученным ранее выражениям находим составляющие параметры и по выражению (6) определим полное усилие деформирования P_n в зависимости от глубины внедрения h_c деформирующего инструмента. График этой зависимости представлен на рисунке 5.

Как видно из графика, с увеличением глубины внедрения валка в металл растет усилие деформирования и наиболее интенсивно начиная с глубины 0,7 мм. Это объясняется существенным упрочнением металла. Полное усилие деформирования необходимо знать для того, чтобы подобрать механизм поджима инструмента, который обеспечивал бы постоянное по значению усилие поджатия верхнего валка к рессорному листу переменной по длине толщины и необходимую глубину внедрения валка в деформируемый металл.

УДК 621.771.63

Устранение уширения полосы переменной толщины в процессе прокатки

Студенты гр. 104410 Нестерович М.Л., Сегень Д.А., Червяк В.В.

Научный руководитель Исаевич Л.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Уширение при прокатке полосы в большинстве случаев является отрицательным фактором, так как требует увеличения суммарного обжатия в процессе уменьшения поперечного сечения полосы. Продольная прокатка периодических профилей, являясь нестационарным процессом, характеризуется изменяющимися по длине проката размерами и формой поперечного сечения, т.е. длиной и шириной.

При прокатке полос переменной толщины, используемых в качестве заготовок для малолистовых рессор, вследствие интенсивного обжатия на концах полосы и потери жесткого конца (внешних зон) существенно увеличивается уширение на этих участках по сравнению с центральной частью заготовки. Это приводит к получению заготовок с концевым дефектом типа «лапа» (рисунок 1), и как следствие, к увеличению потерь металла в обрезку.

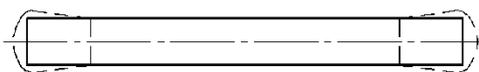


Рисунок 1 – Уширение при прокатке полосовой заготовки переменной толщины

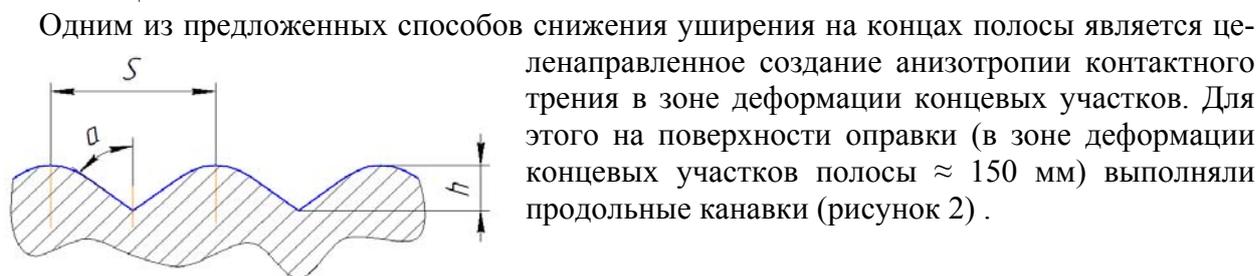
Наиболее простым способом регулирования уширения полосовых заготовок является применение различных ограничительных устройств и приспособлений для придания необходимой ширины прокатанной заготовке. Повышение точности размеров можно достичь за

счет уменьшения смещенного объема в поперечном направлении, непрерывно возрастающего по мере увеличения степени деформации. При постоянной ширине исходной заготовки практически легко это реализовать посредством уменьшения ширины концевых участков на величину объема металла, расходуемого на уширение. После анализа всей необходимой литературы, были сделаны выводы и предложены новые способы снижения уширения при прокатке на профилированной оправке полос переменной толщины, причем была поставлена задача: разработать способы снижения уширения на концах полосы, не препятствующие образованию закругленного контура боковых поверхностей прокатываемых полос. При этом было предложено три способа снижения уширения концевых частей полосы за счет:

Изменения геометрии исходного бокового профиля полосы путем пластического деформирования (обжатия концов полосы по ширине).

Создания условий анизотропии контактного трения в зоне деформации концевых участков полосовой заготовки при прокатке на оправке

Применения в первом проходе ручьевых калибров с обжатием кромок полосы до конечной толщины.



Одним из предложенных способов снижения уширения на концах полосы является целенаправленное создание анизотропии контактного трения в зоне деформации концевых участков. Для этого на поверхности оправки (в зоне деформации концевых участков полосы ≈ 150 мм) выполняли продольные канавки (рисунок 2).

Рисунок 2 – Профиль продольных канавок, выполненных на поверхности оправки

После проведенных экспериментов, варьируя параметры профиля продольных канавок было выяснено, что прокатывая полосовую заготовку на оправке с продольными канавками, можно снизить величину уширения до 30% по сравнению с прокаткой на гладкой оправке.

В другом случае, с целью снижения уширения на концевых участках полосовых заготовок было предложено заготовку прокатывать в 2 прохода: в первом проходе прокатывать в трапецевидном калибре валков с интенсивным обжатием кромок полосы до конечной толщины; второй проход осуществляли в гладких валках на гладкой оправке, с обжатием заготовки до конечной толщины (рисунок 3).

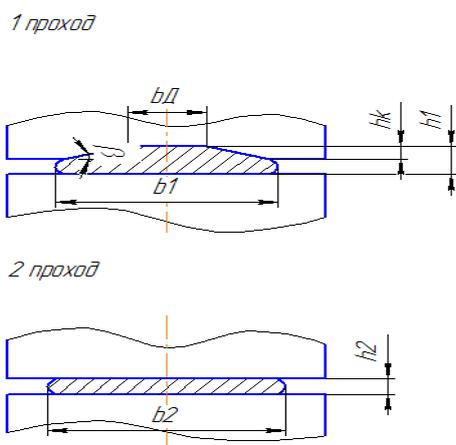


Рисунок 3 – Прокатка рессорной заготовки в два прохода

Проведя ряд экспериментов выяснили, что данным способом можно снизить уширение на концах полосы на 80% по сравнению с прокаткой на гладких валках. Для изменения геометрии исходного бокового профиля полосы путем пластического деформирования (обжатия

концов полосы по ширине) был разработан специальный обжимной штамп. В данном штампе обжимались заготовки различных профилей (рисунок 4).

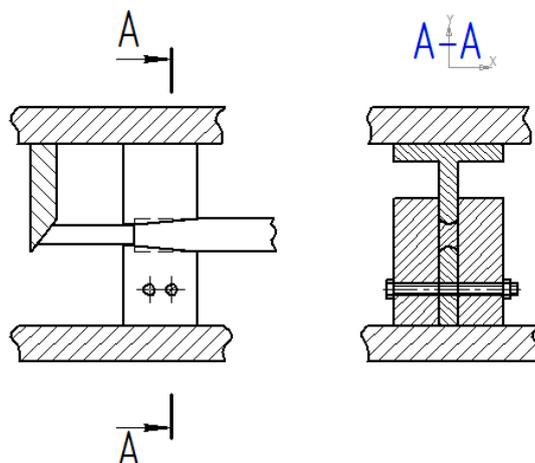


Рисунок 4 – Штамп для обжатия концов полосы

Проведенные испытания показали, что данный способ наиболее эффективный и в то же самое время наиболее энергозатратный.

УДК 621.338

Технологический процесс горячей штамповки зубчатых колёс с оформлением зубьев

Студенты гр. 104410 Лешкович А.А., Кашаед Я. Н.
Научный руководитель Карпицкий В.С.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Изготовлению зубчатых колёс горячей штамповкой с оформлением зубьев уделяется большое внимание. Этим методом могут быть получены конические, эллиптические и цилиндрические зубчатые колёса и зубчатые секторы с прямыми, косыми и спиральными зубьями.

Цилиндрические зубчатые колёса изготавливать штамповкой с оформлением зубьев труднее, чем конические, из-за худших условий заполнения формы штампа. Условия их изготовления несколько улучшаются с увеличением модуля и уменьшением длины зуба.

Штамповку конических шестерён в зависимости от сложности формы и глубины полостей осуществляют по следующим вариантам:

1. Осадка, предварительная штамповка без оформления зубьев, окончательная штамповка с оформлением зубьев, причем по этому варианту зубья оформляются в верхней ручьевой вставке.

2. Осадка, предварительная штамповка с оформлением зубьев. По этому варианту предварительное оформление зубьев производится в верхней половине ручьевой вставки, а в третьем переходе поковку поворачивают зубьями вниз и окончательное оформление поковки производят в нижней ручьевой вставке.

При штамповке по первому варианту упрощается изготовление штамповочного инструмента второго перехода и повышается его стойкость, однако при этом увеличивается нагрузка на нижнюю вставку окончательного ручья.

Для штамповки шестерен с зубьями применяют заготовки из сортового проката с точность по массе $\pm(1,0 - 1,5)\%$.

Применение обработки резанием для окончательной отделки поверхности обуславливается требованиями к точности размеров и чистоте поверхности зубьев. Так, конические зубчатые колеса 8–9-й степеней точности, работающие в тихоходных передачах, штампуют-

ся с окончательным оформлением рабочих поверхностей зубьев. Увеличение точности до 6–7-й степени, как правило, вынуждает вводить чистовую механическую обработку по зубу и, следовательно, штамповать поковки с припуском по этим поверхностям.

Изготовление зубчатых колёс со штампованным зубом позволяет, как правило, не только сократить расход металла и снизить трудоёмкость, но и уменьшить общие затраты по сравнению с обработкой резанием.

Прочность зубчатых колёс, отштампованных с оформлением зубьев, выше прочности фрезерованных примерно на 48 %. По износоустойчивости зубчатые колеса со штампованным зубом превосходят зубчатые колеса с фрезерованным зубом на 20–30%.

В заключение следует отметить, что при определении экономической целесообразности изготовления зубчатых колёс со штампованным зубом необходимо учитывать более высокие эксплуатационные качества таких зубчатых колёс по сравнению с фрезерованными. Это обусловлено тем, что при зубообразовании путём штамповки имеют место более благоприятное расположение волокон и лучшая структура.

УДК 621.77.04

Технология торцевой раскатки цилиндрических деталей

Студенты гр.104410 Костюченко Ю.А., Кайрис Ю.Ю., Соловьёв В.С.
Научный руководитель Кудин М.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Технология торцевой раскатки цилиндрических деталей основана на локализации очага деформации за счет наклона одного из вращающихся инструментов на определенный угол, с подачей за каждый оборот.

При использовании данной технологии обработки материалов давлением, коэффициент использования металла приближен к единице, в то время, как точность изготовления детали сравнима с операциями при токарной обработке.

Основными преимуществами использования технологии торцевой раскатки цилиндрических деталей является то, что наравне с высокой точностью, а также высоким коэффициентом использования материала, формируется уплотнённая макроструктура будущей детали, что, в конечном счете, существенно повышает эксплуатационные свойства изготавливаемого изделия.

Технология торцевой раскатки цилиндрических деталей подразумевает под собой использование ряда стандартного оборудования, отличающегося компактными размерами, и не требует от рабочего высокой квалификации, а сама технология может быть легко внедрена, и при этом останется эффективной как в серийном, так и в массовом производстве.

Для обеспечения нормального технологического процесса торцевой раскатки цилиндрических деталей, необходимо наличие гидравлического пресса и раскатного штампа. Наклонный пуансон, закрепленный в раскатной головке (РГ), вращается по орбитальной круговой траектории вокруг вертикальной оси пресса и локально деформирует круглую в плане заготовку, расположенную в полости матрицы нижнего штампа. Для обжима следующего слоя, РГ с пуансоном должна быть смещена по направлению к деформируемой заготовке. Схема этого процесса эквивалентна многоцикловой разгонке. Замечено, что при набегании пуансона на выступ следующего слоя металла смазочный материал отжимается по направлению вращения на свободную поверхность. В результате происходит непрерывное смазывание торца заготовки и стабилизация условий трения. Наиболее благоприятные условия для осадки способом торцевой раскатки наблюдаются при определенных соотношениях раскатываемой поверхности заготовки, находящейся под воздействием пуансона, ко всей поверх-

ности торца. При необходимости, заготовка может быть предварительно подвергнута нагреву для уменьшения усилия деформирования.

Методом торцевой раскатки цилиндрических деталей можно получать различные осесимметричные изделия типа колец, фланцев, втулок, ступиц и т.п., что соответственно применяется практически в любом типе машиностроительного производства.

УДК 621.7.044

Технология получения биметаллических деталей штамповой оснастки методом скоростного горячего выдавливания

Студент гр. 104410 Шумак Е.А.

Научный руководитель Ленкевич С.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Анализ существующих в настоящее время способов и технологий, изготовления деталей штамповой оснастки показывает, что они являются неэкономичными, т.к. характеризуется низким коэффициентом использования дорогостоящих инструментальных сталей и значительными припусками на механическую обработку.

Несмотря на известные успехи в разработке и создании новых сталей и сплавов, стойкость штампового инструмента остается относительно невысокой.

В этой связи использование скоростных процессов объемного формоизменения, особенно в части изготовления формообразующих биметаллических деталей штамповой оснастки, следует считать перспективным направлением современной металлообработки.

Благодаря ряду преимуществ (благоприятное действие сил инерции, снижение сил контактного трения, адиабатные условия деформации), процессы скоростного формоизменения, особенно скоростного горячего выдавливания (СГВ), создают благоприятные условия для обработки малопластичных и труднодеформируемых материалов, широко используемых в инструментальном производстве.

Цель настоящей работы – исследование возможности получения биметаллического инструмента, основой которого служат конструкционные стали (сталь 40Х), а рабочую часть выполняют из высоколегированных инструментальных сталей (стали Х12МФ и Р6М5) с экономией последних до 70%.

Для экспериментального исследования процесса и отработки технологии использовался вертикальный копер с массой падающих частей $m = 70$ кг, развивающий начальную скорость удара 10 м/с.

Для получения биметаллического соединения и полости формообразующего штампового инструмента, необходимо использовать схему с комбинированным выдавливанием (обратное и радиальное). Вид разъемной матрицы для реализации комбинированного выдавливания приведен на рисунке 1а.

Заготовку выполняют составной из двух частей, при этом нижнюю часть изготавливают из легированной конструкционной стали с выполнением на ней конуса с углом при вершине 120° , а верхнюю – из высоколегированной штамповой стали и в нижней торцевой части ее выполняют коническую полость с углом при вершине 120° и соединяют по переходной посадке (рисунок 1б).

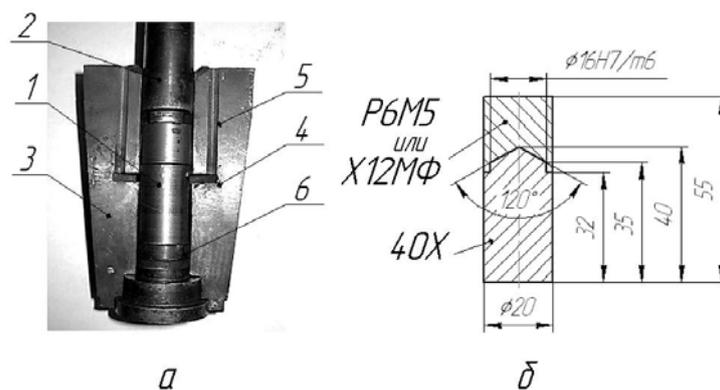


Рисунок 1 – Штамповая оснастка и составная заготовка для комбинированного выдавливания:

1 – составная заготовка; 2 – мастер-пуансон; 3 – полуматрица; 4 – кольцевая проточка; 5 – канал для отвода газа и смазки; 6 – набор прокладок для регулировки линии раздела составной заготовки относительно кольцевой проточки

Образцы изготавливались резанием на токарном станке из прутков одной поставки. Контактные поверхности подвергались травлению 2 % спиртовым раствором азотной кислоты, протирке этиловым спиртом и зачистке металлическими щетками. После чего образцы нагревали в камерной печи СНОЛ-2УМ. Для предотвращения окалинообразования образцы засыпались порошкообразным древесным углем. В процессе нагрева температура в рабочем пространстве печи контролировалась с помощью платино-родиевой термпары ТПРТ 01.01-000-ВЗ-Н-К799-4-320, соединенной с микропроцессорным измеритель-регулятором ТРМ-101 и составляла в основном $T_{\text{пн}} = 1200^{\circ}\text{C}$. Время выдержки образцов в печи выбиралось из расчета полного прогрева по сечению и составляло 1 мин на 1 мм диаметра заготовки.

На рисунке 2 показан вид биметаллических образцов полученных скоростным горячим выдавливанием по данной схеме. Продеформированные составные заготовки имеют четкую линию раздела двух металлов, полученную за счёт совместного затекания в кольцевую проточку. В области соединения двух металлов от центра к периферии наблюдается равномерный шов до областей, обозначенных А, где образовалось скопление вытесненных окислов с контактной поверхности частей составной заготовки.

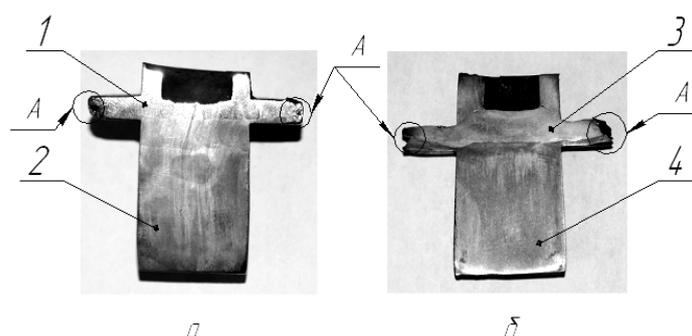


Рисунок 2 – Вид биметаллических образцов полученных скоростным горячим выдавливанием:

а – сталь 40X + X12MF при $T_0 = 1150^{\circ}\text{C}$ (1 – рабочая часть образца (сталь X12MF); 2 – основа образца (сталь 40X)); б – сталь 40X + P6M5 $T_0 = 1150^{\circ}\text{C}$ (3 – рабочая часть образца (сталь P6M5); 4 – основа образца (сталь 40X)); А – области скопления вытесненных окислов

В результате экспериментальных исследований установлена возможность получения качественного биметаллического соединения при деформировании со скоростью $v_d = 10$ м/с

и температуре составной заготовки $T = 1150^{\circ}\text{C}$, которое формируется при совместном пластическом течении на поверхности контакта двух частей заготовки с удалением поверхностных оксидных пленок.

УДК 621.983

Чистовая вырубка ступенчатым пуансоном

Студенты гр. 104410 Кутас Д.П., Новик Д.В.

Научный руководитель Логачев М. В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Обычная вырубка и пробивка листового материала дают неровную, слегка криволинейную и шероховатую поверхность среза. В ряде случаев изготовления штампованных деталей повышенной точности (4, 3 и 2-го класса) требуется гладкая и перпендикулярная поверхность среза с шероховатостью поверхности до 8-го класса по ГОСТ 2789—73. Зачастую это достигается последующей доработкой на фрезерных, шлифовальных и доводочных станках, что малопроизводительно и дорого. В этом случае более эффективно применять способы чистовой вырубки и пробивки, имеющие значительные преимущества по сравнению с механической обработкой резанием и дающие гладкую полированную поверхность среза, перпендикулярную к плоскости изделия, при повышенной точности изготовления.

Сущность способов чистовой вырубки заключается в создании высокого давления на заготовку и изменении схемы напряженного состояния металла в зоне резания. В результате весьма высокого поверхностного давления на заготовку в зоне резания возникает напряженное состояние объемного сжатия, которое способствует устойчивости пластической деформации и пластическому течению металла. Вследствие этого в процессе вырубки скалывающиеся трещины не возникают, а срез получается чистым по всей толщине заготовки. Этот способ применяется для изготовления деталей точного приборостроения толщиной от 1,5 до 15 мм. Шероховатость поверхности среза соответствует 8-му классу по ГОСТ 2789—73. Величина одностороннего зазора берется в пределах 0,005–0,01 мм. Режущие грани матрицы притуплены или закруглены радиусом $r = 0,1 \dots 0,2$ мм.

Основная трудность при изготовлении штампов для чистовой вырубки заключается в получении равномерного по контуру почти нулевого зазора. Имеются различные указания по величине зазора при чистовой вырубке: ряд швейцарских фирм («Есса») рекомендуют зазоры независимо от толщины материала в пределах 0,005—0,01 мм на сторону. Фирма «Аида» и др. рекомендуют зазоры для тонкого материала 0,005—0,0075 мм, а для толстого материала 0,01—0,02 мм.

В связи с высокой стоимостью специальных гидравлических прессов тройного действия, применение их в мелкосерийном производстве или при ограниченном количестве деталей, изготавливаемых чистовой вырубкой, экономически не эффективно. Это вызвало стремление как у нас, так и за рубежом освоить чистовую вырубку на обычных кривошипных прессах. С этой целью разработаны и экспериментально освоены способы чистовой вырубки на стандартных двустоечных прессах путем оснащения их гидравлическим и буферными устройствами для прижима и противодействия.

Предложен и экспериментально освоен способ чистовой вырубки ступенчатым пуансоном на прессах простого действия или на гидравлических прессах (рисунок 1, а). Сущность этого способа заключается в том, что вырубной пуансон имеет уступ высотой меньше глубины вдавливания пуансона, до образования скола ($\Delta h > h_n$). Для материалов толщиной $S = 3 \dots 6$ мм $\Delta h = 0,5 \dots 0,6$ мм.

Следовательно, при вдавливании уступа d_{II}'' в заготовку скалывающихся трещин не возникает. Диаметр уступа меньше диаметра матрицы на зазор $2z = 0,06 \dots 0,14$ мм. Диаметр верхней части пуансона больше диаметра матрицы на $2z' = 0,14 \dots 0,4$ мм.

Таким образом, при рабочем ходе пуансона происходит вырубка пуансоном d'_n большим размера матрицы. Вследствие этого очаг деформации значительно увеличивается, происходит выдавливание металла в радиальном направлении и возникновение напряжений радиального сжатия, предотвращающих образование скалывающихся трещин.

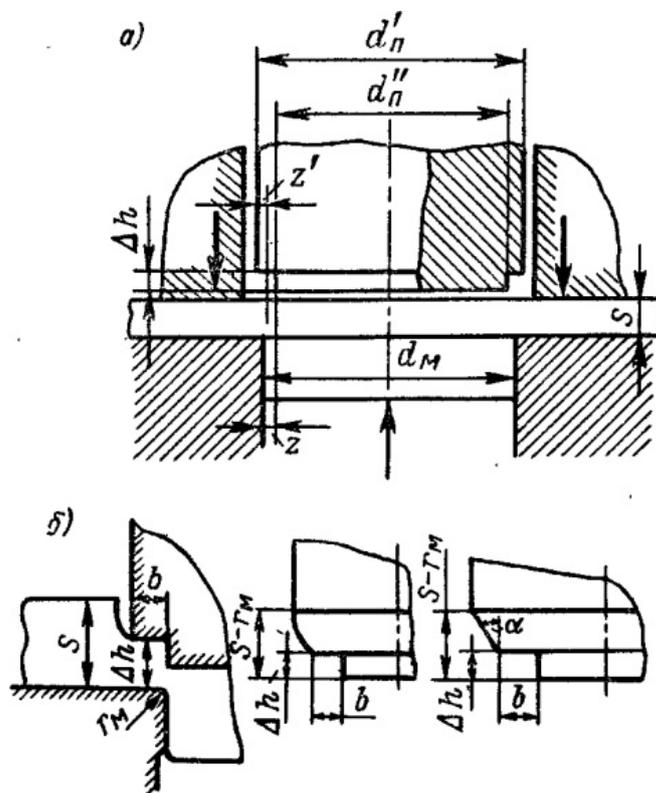


Рисунок 1 – Способ чистовой вырубки ступенчатым пуансоном:
а – схема штампа; б – уточненные профили пуансонов

Недостатком данного способа является необходимость точной регулировки прессы повышенной жесткости. Другой недостаток — увеличенные заусенцы. На рисунке 1,б показано дальнейшее развитие способа чистовой вырубки ступенчатым пуансоном и уточненные профили пуансона. Для стали рекомендуются следующие величины:

$$\Delta h = 0,3S; b = (0,4 \dots 0,5)S; r_M = 0,1S.$$

Усилие чистовой вырубки ступенчатым пуансоном небольших деталей ($d = 20$ мм) определяется по формуле

$$P = (2,5 \dots 2,8) LS\sigma_B.$$

УДК 621.983

Чистовая вырубка толстолистовых деталей в нагретом состоянии

Студенты гр. 104410 Новик Д.В., Кутас Д.П.

Научный руководитель Логачев М. В.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

В настоящее время освоен процесс чистовой вырубки и пробивки толстолистовых деталей (10—30 мм) в нагретом состоянии. Обычная пробивка–вырубка деталей такой тол-

щины сопровождается крайне низким качеством поверхности среза, зачастую требующим применения механической обработки контура на металлорежущих станках. Чистовая вырубка на гидравлических прессах тройного действия в данном случае не применима из-за большой толщины материала и больших затрат. Способ чистовой вырубке в нагретом состоянии позволяет получить высокое качество поверхности среза 6–7-го класса шероховатости по всей толщине детали, не требует последующей механической обработки контура и снижает рабочее усилие пресса в 5–6 раз. Экспериментально установлено: что для получения чистого среза по всей толщине детали величина одностороннего зазора должна находиться в пределах 0,5–1% S , а температура нагрева заготовки от 750 до 900° С.

а)

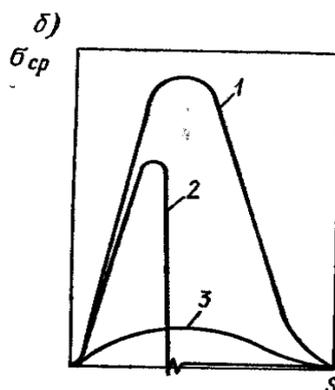
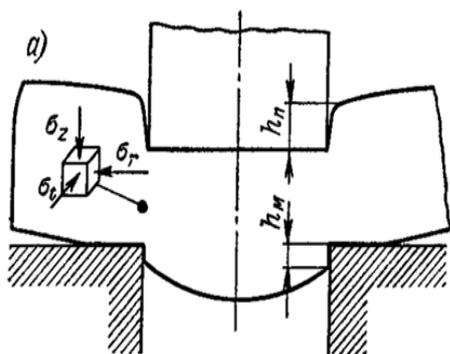


Рисунок 1а – схема внедрении пуансона при чистовой вырубке–пробивке в нагретой заготовке; 1 б – кривые сравнения сопротивления срезу при чистовой вырубке (1), обычной вырубке на кривошипном прессе (2) и чистовой вырубке с нагревом заготовки (3)

На рисунке 1а видно, что глубина внедрения пуансона h_n больше высоты h_m выдавленного в матрицу металла, что свидетельствует о вытеснении металла из под пуансона в радиальном направлении. В результате этого в зоне резания возникают напряжения радиального сжатия, исключая образование скалывающихся трещин.

Кривые на рис. 1,б построены по установленному автором соотношению:

$$\sigma_{ср1} = (1,3- 1,5) \sigma_{ср2} = (7-8)\sigma_{ср3}.$$

На рисунке 2 представлена диаграмма зависимости отношения $\sigma_{ср}/\sigma_T$ от относительной толщины S/d при чистовой вырубке с нагревом. Величина σ_T означает предел текучести стали Ст3 при соответствующей температуре: при 700—750° С $\sigma_T \approx 0,18\sigma_B$; при 850—900° С $\sigma_T \approx 0,12\sigma_B$ (σ_B предел прочности стали в холодном состоянии). Рабочие части вырубных и пробивных штампов рекомендуется изготавливать из быстрорежущих сталей, обеспечивающих стойкость в несколько тысяч ударов.

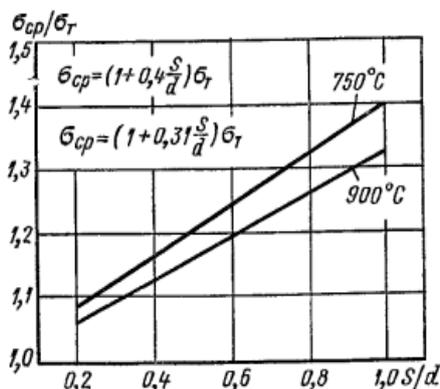


Рисунок 2 – Зависимость $\sigma_{ср}/\sigma_T$ от относительной толщины при чистовой вырубке с нагревом

При изготовлении рабочих частей штампа для чистовой вырубки с нагревом необходимо учитывать усадку металла при охлаждении, которая для различных марок стали составляет от 1 до 1,2% на рабочий размер. Одновременно с чистовой вырубкой наружного контура отверстие на отходе получается такой же степени шероховатости поверхности (6–7-й класс).

УДК 621.983.321/324

Совершенствование технологии изготовления полых тонкостенных двухслойных изделий комбинированной вытяжкой из составных заготовок

Студенты гр. 104410 Артюхов А.Ю., Сорокин А.И.
Научный руководитель Любимов В.И.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

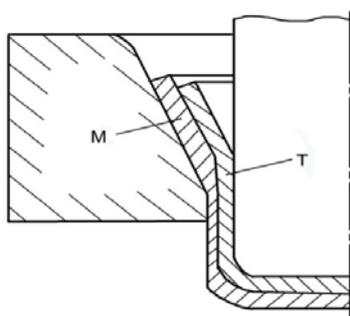


Рисунок 1 – Схема комбинированной вытяжки

В современной технике все более широкое применение получают различные композиционные материалы, к числу которых относятся и биметаллы. Их применение позволяет получать изделия с таким сочетанием свойств, которое не может быть достигнуто при использовании традиционных однокомпонентных материалов. Использование многослойных материалов позволяет сократить расход дорогостоящих и дефицитных металлов и сплавов. Существенное место в технологии производства деталей из биметаллов занимают процессы обработки давлением, в том числе и листовая штамповка, являющаяся не только высокопроизводительным, но и экономичным методом изготовления самых разнообразных по форме и размерам деталей, зачастую не требующих никакой дополни-

тельной обработки.

В качестве исходного материала для изготовления полых слоистых изделий применяют биметаллический прокат (листы, трубы). Наличие металлической связи между слоями изделия не всегда является обязательным. В этом случае для изготовления полых двухслойных изделий вместо биметаллических заготовок может быть использован обычный листовой прокат. Такой подход создает существенно более широкие возможности для изготовления полых многослойных изделий, так как позволяет получать изделия практически с любым требуемым сочетанием материалов слоев и соотношением их толщин в готовом изделии, что невозможно в случае использования биметаллического проката из-за его ограниченной номенклатуры. В частности, для изготовления полых многослойных изделий из однослойных листовых заготовок успешно может использоваться комбинированная вытяжка (рисунок 1). Проведенные исследования показали, что двухслойные изделия, получаемые комбинированной вытяжкой из составных заготовок, характеризуются неравномерной толщиной слоев. Это объясняется тем, что при совместном деформировании составной двухслойной заготовки большее утонение получает слой из материала с меньшим напряжением текучести. В процессе вытяжки соотношение напряжений текучести компонентов пакета изменяется вследствие различной интенсивности деформационного упрочнения. В результате изделия получают с неравномерной толщиной слоев по длине стенки: толщина слоя с большей интенсивностью упрочнения увеличивается по направлению к верхней кромке изделия, а толщина слоя с меньшей интенсивностью упрочнения уменьшается в этом направлении (рисунок 2). Неравномерность деформации и разнотолщинность слоев не только ухудшает каче-

ство изделий, но и снижает производительность процесса и увеличивает расход материалов.

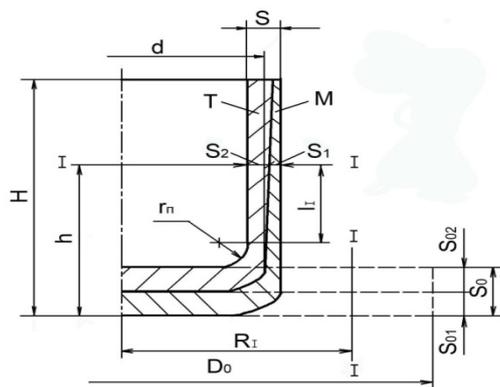
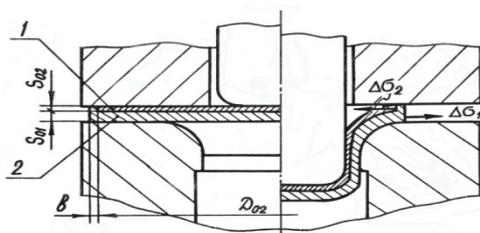


Рисунок 2 – Изменение соотношения толщин мягкого (М) и твердого (Т) слоев по высоте стенки двухслойного изделия

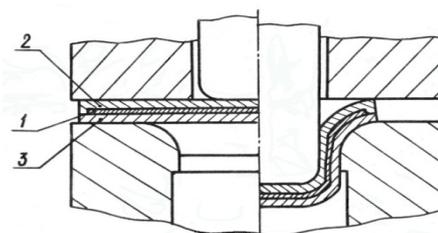
С увеличением различия механических свойств материалов слоев неравномерность послойных деформаций возрастает. Наибольшие трудности возникают при вытяжке двухслойных изделий с большой разницей механических свойств материалов слоев и малой толщиной мягкого слоя. При вытяжке таких изделий может происходить полное передавливание мягкого слоя твердым слоем либо в самом начале процесса вытяжки, либо на его промежуточной стадии.

Для получения изделий с равномерной толщиной слоев, как по длине стенки изделия, так и по его периметру, а также с заданным их соотношением, разработаны технология и штамповая оснастка для послойной комбинированной вытяжки.

Предложенные технологические схемы позволяют реализовать процесс послойной вытяжки двухслойных изделий, обеспечивающий равномерную толщину слоев в изделии, как с наружным, так и внутренним расположением мягкого слоя.



а)



б)

Рисунок 3 – Схема комбинированной вытяжки изделий с торцевым подпором мягкого слоя: а – полых двухслойных; б – трехслойных составной заготовки

Для получения двухслойных изделий с весьма малой толщиной мягкого слоя целесообразно осуществлять совместную вытяжку обоих слоев. Для предотвращения преимущественной деформации мягкого слоя на периферийной части заготовки твердого слоя выполняют бурт. Бурт воспринимает давление со стороны мягкого слоя и создает торцевой подпор, ограничивая пластическое течение мягкого слоя в меридиональном направлении, противоположном направлению вытяжки. Толщина бурта определяется его прочностью на срез. По такой схеме можно производить вытяжку как двухслойных (рисунок 3,а), так и трехслойных (рисунок 3,б) полых изделий с равномерной толщиной слоев по длине изделия.

Студенты гр. 104410 Марухин А.В., Михайловский А.Н.

Научный руководитель Шиманович О.А.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Целью данной работы является изучение и исследование технологии и оборудования для накатывания профильных элементов.

Новые методы обработки металлов давлением тесно связаны с развитием мирового машиностроения. Одним из важнейших путей развития машиностроения является отказ от обработки металлов резанием в пользу обработки металлов давлением в холодном состоянии. Это приводит к улучшению механических свойств, повышению точности изготовления, повышению производительности труда и чистоты поверхности обрабатываемых деталей.

Для накатывания профильных элементов применяют автоматы и полуавтоматы двух-роликовые профиленакатные. Применяться они могут как самостоятельные, так и в составе автоматических линий и автоматизированных комплексов. Они предназначены для накатки в холодном состоянии различных профилей, точных метрических, трапециидальных и других резьб, мелко модульных червяков, обкатывания цилиндрических и сферических деталей с целью упрочнения с ручной и автоматизированной подачей заготовок.

Технология накатывания профильных элементов заключается в следующем: накатываемый профиль на заготовке образуется в результате вдавливания выступов накатных роликов в цилиндрическую заготовку при принудительном одностороннем вращении роликов и радиальном перемещении одного из них под действием силы, развиваемой гидроприводом.

При этом заготовка будет вращаться, находясь между роликами, за счет сил трения, возникающих при соприкосновении с ней роликов и возрастающих по мере внедрения профиля роликов в заготовку и образования на ней профиля.

Технологический процесс накатки закрепил наличие в составе автомата двух основных рабочих механизмов: обеспечение вращения роликов с регулируемой скоростью, а также силовой гидропривод, обеспечивающий регулируемое по величине и скорости перемещение правого ролика, а также создающий силу, которая необходима для пластической деформации заготовки.

В состав автоматов также входят электроприводы, устройство для опоры деталей в процессе накатки и устройство для автоматизированной выгрузки и загрузки заготовок из рабочей зоны. Основными преимуществами данного технологического процесса является то, что применяется технология холодного формообразования, что в свою очередь обеспечивает улучшение механических характеристик, повышение твердости, повышение прочности, сокращение время обработки изделия, экономию материала в связи с отсутствием отходов. В связи с тем, что процесс накатывания экономичен, его широко применяют в автомобильной промышленности, производстве нормалей, гидроаппаратуры, насосов, труб, станкостроении и др.

Металлургические технологии

Студент гр. 10405312 Васильев С.Н.
Научный руководитель Трусова И.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Электрическая печь сопротивления (ЭПС) — электротермическая установка, в которой тепло выделяется за счет протекания тока по проводнику. Установки такого типа по способу выделения тепла делятся на две группы: косвенного действия (тепло выделяется в нагревательных элементах) и прямого действия (тепло выделяется в нагреваемом изделии).

Очевидно, что любой нагреватель в электропечах сопротивления должен быть жаростойким, жаропрочным, обладать высоким удельным сопротивлением, постоянством электрических свойств и достаточной обрабатываемостью. Немалое значение имеет бюджетная доступность прецизионных материалов для нагревателей. Такому комплексу требований отвечают сплавы на основе железа, хрома, никеля и алюминия, в первую очередь хромоникелевые и железохромоникелевые соединения.

В электрических печах сопротивления преобразование электрической энергии в тепловую происходит в нагревательных элементах (нагревателях). Работа нагревателя обычно происходит в тяжелых условиях, часто при предельно допустимых для материала, из которого он выполнен, температурах. Как правило, срок службы нагревателя определяет время работы всей печи до ремонта, поэтому увеличение срока службы нагревателей ЭПС является важной задачей как с технической, так и с экономической точки зрения.

Материалы, предназначенные для изготовления нагревательных элементов, должны удовлетворять следующим требованиям:

- иметь достаточную жаропрочность;
- иметь большое удельное электрическое;
- иметь малый температурный коэффициент сопротивления;
- обладать постоянством электрических свойств во времени.

Нагреватели бывают:

- Проволочные спиральные нагреватели;
- Проволочные зигзагообразные нагреватели;
- Ленточные зигзагообразные нагреватели;
- Карборундовые электронагреватели (КЭН);
- Нагреватели из дисилицида молибдена;
- Нагреватели из тугоплавких металлов.

Проволочные спиральные нагреватели, как правило, располагаются на керамических полочках, в керамических плитах с пазами или на керамических трубках. При конструировании таких нагревателей следует учесть, что отношение шага спирали t к диаметру проволоки d должно быть не менее 2. При изготовлении спиральных нагревателей необходимо тщательно следить за равномерностью навивки, т. к. в местах сгущения витков будут значительные перегревы нагревателя, что ведет к снижению срока его службы.

Проволочные зигзагообразные нагреватели рекомендуют крепить в специальных керамических плитках (при $d = 47$ мм) либо подвешивать на металлических жароупорных или керамических крючках (штырях), если $d > 7$ мм.

Ленточные зигзагообразные нагреватели могут крепиться как и проволочные зигзагообразные, либо свободно лежать на опорах на своде и на поду. Отношение расстояния между осями зигзагообразного нагревателя e к ширине ленты b должно быть не менее 0,9.

Карборундовые электронагреватели (КЭН). Карборунд – это материал на основе карбида кремния, способный работать в качестве нагревателя в окислительной среде при температуре до 1500 С. При более высоких температурах срок его службы резко снижается. Большое влияние на срок службы оказывает режим работы нагревателей. Резкие колебания температуры значительно сказываются на их долговечности.

Из карбида кремния изготавливают еще один материал – силит. Он отличается от карборунда большей дисперсностью фазы SiC, из-за чего рекомендуемая и максимально допустимая температуры нагревателей из силита ниже, чем для нагревателей из карборунда.

Карборундовые и силитовые нагреватели изготавливают в виде стержней постоянного либо переменного сечения, а также в виде труб со спиральной нарезкой. Во всех печах, где применяются такие нагреватели, необходимо предусмотреть возможность их свободного удлинения при нагревании.

Карборундовые нагреватели из-за низкого сопротивления работают при больших токах, поэтому к токоподводу следует предъявлять достаточно жесткие требования: он должен обеспечить низкое контактное сопротивление.

Нагреватели из дисилицид молибдена (ДМ). Нагреватели из дисилицида молибдена предназначены для работы в окислительной атмосфере при максимально допустимой температуре 1700 С. При более высокой температуре ДМ быстро разлагается. Однако пределом их рациональной эксплуатации следует считать диапазон температур 1450–1680 С. Нагреватели из ДМ хорошо работают в атмосфере оксида углерода, аргона, азота, углеводородов. Атмосферы, содержащие сернистые соединения и галогены, недопустимы. Дисилицид молибдена не работает при высоком вакууме. Нагреватели из ДМ в основном имеют U-образную форму.

Нагреватели из тугоплавких металлов. Для ЭПС, работающих в инертных средах и под вакуумом, используют нагревательные элементы из тугоплавких металлов: вольфрама, молибдена, тантала и ниобия. Для работы в окислительных атмосферах эти нагреватели непригодны.

Электрические печи сопротивления получили широкое распространение в различных областях промышленности благодаря своим практически полезным качествам. На данный момент это один из самых популярных вариантов печей, которые используются повсеместно от гончарных мастерских до крупных металлургических заводов.

УДК 621.745.669.13

Аналитический обзор мирового рынка чугуна

Студент гр. 104150 Евтух А.Л.
Научный руководитель Трусова И.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В работе выполнен анализ мирового рынка производства чугуна.

Мировое производство чугуна за май 2013 г. составило 100,057 млн тонн, по сравнению с 95,896 млн тонн в мае 2012 г.

Мировым лидером по выпуску чугуна по-прежнему остается Китай. Стальные компании КНР в мае 2013 г. выпустили 61,132 млн тонн. В первую десятку мировых производителей чугуна также входят Япония – 7,219 млн. тонн; Россия – 4,344 млн тонн; Индия – 4,12 млн тонн; Южная Корея – 3,286 млн тонн; Германия – 2,285 млн тонн; США – 2,6 млн тонн; Украина – 2,43 млн тонн; Бразилия – 2,246 млн тонн и Тайвань – 1,190 млн тонн.

Основными способами производства чугуна является доменный процесс, также применяют прогрессивные способы литья чугуна: под давлением, центробежным способом в оболочковые формы.

Хорошие литейные свойства чугуна, простота и невысокая стоимость изготовления изделий из него, износостойкость, надежная работа в условиях повышенных температур и знакопеременных нагрузок позволяют широко использовать чугун в качестве конструкционного материала. Однако выпускаемые в настоящее время чугуны характеризуются пониженной свариваемостью, обусловленной повышенной склонностью к образованию трещин из-за низкой его прочности и пластичности и образования хрупких структур при сварке в металле шва и околошовной зоны при повышенных скоростях охлаждения. Трещины в металле сварного соединения могут возникнуть от неравномерного нагрева и охлаждения, которые характерны для термического цикла сварки, литейной усадки металла шва, жесткости свариваемых изделий. Наиболее широко распространены и хорошо разработаны процессы сварки деталей из серного чугуна.

К разновидностям чугуна относят:

- а) белый (поршневые кольца);
- б) половинчатый (прокатные валки);
- в) серый (блоки цилиндров, картеры сцепления, картеры коробки передач, газопроводы и другие корпусные *детали*);
- г) высокопрочный (зубчатые колеса, коленчатые валы);
- д) ковкий (фитинги).

В 2009 г. российский рынок чугуна показывал снижение по всем основным показателям. За этот период производство чугуна в стране снизилось на 15,9%, экспорт уменьшился на 23,3%, а импорт упал до нулевой отметки. Продажи чугуна на внутреннем рынке в 2009 г. снизились до 40,5 млн т.

Стоит отметить, что Россия является одним из крупнейших экспортеров чугуна в мире, занимая долю примерно в 30% от всего объема экспорта на мировом рынке.

В 2010 г. российский рынок чугуна начал постепенно выходить из кризиса: продажи выросли на 3,7 млн т по сравнению с предыдущим годом. В 2011-2015 гг., по оценкам, рост продаж продолжится, однако с каждым годом будет наблюдаться все меньший прирост. В целом за весь период продажи увеличатся на 14,1% по отношению к показателям 2010 г.

Мировой рынок товарного чугуна последние годы не отличается высокой активностью. Потребление чугуна остается низким на всех основных рынках, а производителям приходится сокращать объем выпуска.

Спад на рынке товарного чугуна выглядит практически неизбежным. Для повышения цен нет ни одной серьезной причины, придать рынку новую динамику может только увеличение спроса, но его сейчас никто не ожидает. В то же время, чугун будет опускаться под влиянием не только низкой покупательской активности, но и вследствие удешевления сырья. Цены на металлолом в последнее время сокращаются как в Средиземноморье, так и в Восточной Азии, кроме того падают котировки на железную руду и коксующий уголь.

УДК 621.745: 669.13

Воздействие металлургической пыли на организм человека

Студент гр. 104140 Заноско О. А.
Научный руководитель Кабишов С.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Металлургическое и машиностроительное производство является одним из основных источников образования пылегазовых выбросов. Пыль в производственных помещениях образуется большей частью через сырьевые промежуточные материалы и готовую продукцию, при их перегрузке и выпуске продуктов плавки и других технологических процессов переработки и обработки металла.

Выбор метода очистки, типа аппаратов, их количества на промышленных предприятиях определяется не только объемом выбросов, но и свойствами пылегазовых выбросов, закономерностями их движения, взаимодействия отдельных частиц между собой, а также в первую очередь степенью воздействия выбросов на окружающую среду и человека.

Рассмотрены аспекты воздействия пылей на организм человека, приведены характеристики веществ, оказывающих наиболее токсическое воздействие на человека, определены последствия такого воздействия.

Степень воздействия пыли на организм зависит от физико-химических свойств, токсичности, дисперсности и концентрации. Показано, что определяющее значение при воздействии на человека имеет фракционный состав пыли. Наиболее вредными для организма человека является пыль с размерами частиц от 0,1 до 10,0 мкм. Распределение частиц по размерам является также одним из важнейших параметров, позволяющим проводить оценку эффективности пылеулавливающего аппарата.

Рассмотрены физические и физико-механические свойства аэрозолей, позволяющие оценить возможность очистки газов от дисперсной фазы:

- сопротивление среды движению частиц;
- молекулярно-кинетические свойства аэродисперсных систем;
- электризация аэрозолей (зарядка частиц в электрическом поле, диффузионная зарядка).

Основным направлением в комплексе мероприятий по борьбе с пылью является замена сухих материалов влажными, пастообразными, растворами, и обработку их необходимо вести влажным способом.

В настоящее время известно несколько сотен различных конструкций аппаратов для очистки газов от пыли. Наличие большого числа очистных аппаратов, весьма отличающихся друг от друга как по конструкции, так и по принципу действия, затрудняет их точную классификацию. Поэтому классификацию осуществляют по способу очистки на три основные группы: сухая очистка; мокрая очистка газов; электрическая очистка. В свою очередь, сухие пылеуловители подразделяются на механические и фильтрующие, мокрые – на промыватели и жидко-пленочные. В связи с этим рассмотрены основные типовые аппараты для очистки от пыли указанных групп, принципы их действия, область применения, преимущества и недостатки.

В металлургическом и машиностроительном производстве используют различные типы пылеочистного оборудования. Наибольшее внимание при рассмотрении оборудования уделено процессам очистки уходящих газов в сталеплавильном производстве.

В настоящее время в основном в сталелитейных и сталеплавильных цехах используют электропечи. Электропечи небольшой емкости применяют в сталелитейных цехах. Для улавливания запыленных газов над электропечью устанавливают зонты или используют бортовые отсосы. В электросталеплавильных цехах металлургических заводов действуют в основном большегрузные печи. От них запыленный газ удаляют через патрубок в свод печи. Кроме того, в новых цехах улавливают и подвергают очистке так называемые неорганизованные выбросы, т. е. газы, которые попали в цех в период заливки чугуна, заливки шихты и выпуска стали.

Очистку газов от электросталеплавильных печей осуществляют мокрым способом в скоростных пылеуловителях с высоконапорными трубами Вентури. Также очистку газов от электросталеплавильных печей осуществляют сухим способом в пластинчатых многопольных электрофильтрах или тканевых рукавных фильтрах. Предпочтение отдают очистке газов в электрофильтре как наиболее эффективному способу с наименьшими эксплуатационными расходами.

Рукавные тканевые фильтры применяются для очистки больших объемов воздуха со значительной концентрацией пыли. Фильтрующими элементами в этих аппаратах являются рукава из специальной фильтровальной ткани.

Рукавные фильтры обеспечивают тонкую очистку воздуха от пылевых частиц, имеющих размер менее 1 мкм. Наряду с циклонами рукавные фильтры являются одним из основных видов пылеулавливающего оборудования и широко применяются на предприятиях черной и цветной металлургии.

УДК 621.745.669.13

Использование кислорода в металлургии

Студент гр. 104140 Кобрин П. В.
Научный руководитель Кабишов С.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В черной металлургии кислород используют по двум направлениям:

- технологическое;
- в качестве интенсификатора процесса.

Использование кислорода по второму направлению позволяет интенсифицировать процессы восстановления, снизить расход основного топлива, повысить эффективность тепловой работы металлургической печи.

При обогащении дутья кислородом в доменном процессе значительно снижается перепад давления между горном и колошником, что позволяет увеличить количество сжигаемого в единицу времени углерода. При обогащении дутья кислородом повышается температура газов в горне, следовательно, можно выплавлять высокопроцентный ферросилиций, феррохром, шлак типа портландцемента или глиноземистого цемента, а также ферромарганец на весьма основных тугоплавких шлаках с извлечением марганца до 95%. Кислородное дутье, кроме повышения температуры газов в горне, также уменьшает количества добавляемого кокса.

Использование кислорода в мартеновской плавке (сжигание топлива с использованием обогащенного кислородом воздуха при подаче кислорода в факел) повышает эффективность тепловой работы печи. При этом повышается температура факела, так как при замене части воздуха кислородом уменьшается количество продуктов горения. Подача кислорода в факел способствует также росту скорости окисления углерода в периоде плавления в 1,5–2 раза и на 20–50 % в периоде доводки.

В ваграночной плавке с применением кислорода расход топлива снижается почти наполовину, почти настолько же снижается содержание вредной примеси — серы, почти вдвое увеличивается производительность и значительно повышается температура литья.

Использование кислорода в методических и камерных печах, нагревательных колодцах, а также на стендах разогрева сталеразливочных ковшей в качестве окислителя показало следующие результаты: удельные расходы топлива на нагрев металла составляют часто около 37 кг у.т/т металла и даже 32 кг у.т/т, выбросы оксидов азота снижаются в несколько раз, уменьшается угар металла. Физические основы эффективности применения кислорода включают такие параметры, как: высокая температура горения; высокая концентрация тепловой мощности в единице объема факела; небольшой по сравнению с горением с воздухом объем продуктов сгорания топлива, следовательно, меньший вынос тепла с уходящими газами при одинаковой температуре; турбулизация потока продуктов горения, что увеличивает теплоотдачу конвекцией; увеличение теплового потока к металлу (кладке) вследствие повышения концентрации в продуктах горения излучающих трехатомных газов; рекомбинация диссоциированных продуктов сгорания на нагреваемой поверхности с передачей ей значительной части скрытой теплоты рекомбинации в технологиях прямого нагрева металла газокислородным пламенем.

Мировое производство стали

Студент гр. 104150 Коршук М.С.
Научный руководитель Корнеев С.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Основной продукцией черной металлургии является сталь.

За последние десятилетия объемы производства стали в мире росли из года в год. При этом в 2008-2009 гг. под влиянием сложившейся экономической ситуации произошло сокращение выпуска, однако уже в 2010 году производство стали не только увеличилось, но и превысило показатели предыдущих лет и составило 1413,6 млн тонн. В 2012 году мировой выпуск стали преодолел отметку 1,5 млрд тонн (1510 млн тонн), в 2013 году объем производства стали составил 1607 млн тонн.

Топ-10 стран-мировых производителей стали за 2013 год: Китай, Япония, США, Индия, Россия, Южная Корея, Германия, Турция, Бразилия, Украина. Среди этой десятки выделяются, прежде всего, четыре страны – Китай, Индия, Корея и Турция, которые за 2012 год увеличили производство стали на 3,8%.

В настоящее время разливку стали ведут преимущественно в изложницы или на установках непрерывной разливки (МНЛЗ).

По разным оценкам в 2003 г. примерно 850 – 860 млн т стали было разлито на более, чем 1800 МНЛЗ. В большинстве стран мира доля стали, разливаемой на МНЛЗ, превышает 90 – 95%.

Ожидается, что практически полное оснащение предприятий черной металлургии машинами непрерывной разливки стали произойдет примерно к 2020 г.

Мировое производство непрерывнолитых блюмов оценивается на уровне 130 – 135 млн т в год. В настоящее время около 60 % отливаемых непрерывным литьем заготовок разливается на слябовых МНЛЗ.

Основными производителями непрерывнолитых слябов в мире являются Япония, США, КНР, Германия, Корея и Россия. На их долю приходится более двух третей мирового объема производства слябов. Сейчас (2013 г.) в мире насчитывается чуть более 500 слябовых МНЛЗ с общим числом ручьев свыше 700 единиц.

Модернизация металлургии, обновление металлургического оборудования, металлургических печей, вопросы эффективности, экономики и промышленной безопасности мирового металлургического производства

Студент гр. 104140 Макаревич А.Н.
Научный руководитель Ратников П.Э.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В современных условиях существования и развития металлургии, появляется ряд проблем, таких как усовершенствование и модернизация процессов и оборудования металлургического производства, повышение эффективности промышленной безопасности, рациональное использование топливных ресурсов и другие проблемы. Для решения данных вопросов используются различные способы и направления развития технического парка, внедрение современных и усовершенствованных технологий, использование новейших разработок, ввод новых ресурсов и усовершенствованных мер промышленной безопасности. Среди ос-

новых направлений технического развития комплекса по-прежнему ведущее место занимают и, по-видимому, сохранят свою роль в перспективе малоотходные ресурсосберегающие технологии, непрерывные производства, технологии комплексной переработки природного сырья, компактные металлургические мини-заводы, развитие автоматизированных систем управления и контроля технологических процессов.

В последние десятилетия в промышленно развитых странах существенно изменился подход к проблемам обеспечения промышленной безопасности, охраны труда и модернизации. Не только повысились требования общества и государства в отношении предотвращения воздействия опасных и вредных факторов на персонал, население и окружающую среду, но и среди предпринимателей укоренилось понимание первостепенной значимости обеспечения безопасности и сохранения здоровья для успешного развития бизнеса. Следствием этого стала модернизация систем управления промышленной безопасностью и охраной труда на основе разработки национальных и международных стандартов, модернизация производящего оборудование, определяющих цели, структуру и критерии эффективности таких систем, а также расширения практики их независимого аудита и сертификации.

Наряду с этим, особую остроту приобретает проблема сырьевого обеспечения вследствие растущего дефицита сырья и повышения цен на все виды минерального сырья.

С развитием цветной металлургии ведущих стран связано качественное совершенствование продукции традиционных, а также становление и развитие отраслей наукоемкого сектора. Традиционно основные предприятия первичных переделов сосредотачивались в районах залегания минеральных ресурсов, расположенных в основном на территории развивающихся стран. До последнего времени это обеспечивало ведущим мировым компаниям - основным потребителям цветных металлов, экономию ресурсов, капитальных, эксплуатационных, экологических затрат, трудовых издержек в результате облагораживания импорта готовых полуфабрикатов для последующей обработки. В последние годы ситуация изменилась существенным образом: в связи с резким ростом мировых цен на сырье ведущие компании Бразилии, Австралии, ЮАР определяют ситуацию на мировых рынках.

Благодаря быстрому росту развития технологий, а также оперативному их применению на практике, появляются возможности для повышения уровня и качества выпускаемой продукции.

Практическим примером оперативной реализации программы в сфере автомобильных инноваций является проект InCar компании Thyssen Krupp Steel, включающий целый комплекс инновационных решений. В рамках проекта InCar специалисты компании предложили решения в области материалов и технологии производства для всех элементов конструкции современного автомобиля: кузова, ходовой части, трансмиссии. Эти решения открывают возможности значительного прогресса в отношении снижения массы, экономии издержек и повышения эксплуатационных характеристик автомобиля. В процессе разработок удалось создать новую сталь TPN-W (Three Phase mit Nano-Ausscheidung - трехфазная сталь с нанодисперсионным твердением). Преимущество этих сталей заключается в сбалансированном сочетании механических свойств, что обеспечивает, в частности, равномерное упрочнение при высокой степени пластического деформирования. При этом особая микроструктура этих сталей способствует уменьшению возникающего при обработке давлением упругого восстановления. Это позволяет изготавливать конструктивные элементы сложной конфигурации. Серийное использование этой стали в производстве автомобилей позволило на 12% сократить издержки и на 19% массу машины по сравнению с традиционными материалами и технологиями.

Наряду с этим направлением сохраняют значение технологические и конструктивные совершенствования, направленные на повышения эффективности путем снижения трудозатрат, материало- и энергоемкости, как важнейшие факторы повышения ценовой конкурентоспособности металлопродукции.

В ходе изучения вопроса был выполнен мониторинг и сравнительный анализ модернизации металлургических предприятий Белоруссии, России, Украины, Китая, Индия и других стран. Рассмотрены вопросы об эффективности использовании различных видов топлива (в том числе альтернативных) в металлургии с учетом изменения цен и прогнозов на мировом рынке.

Проведена оценка эффективности модернизации, примеры ее успешного проведения, рассмотрены новейшие разработки, внедрение которых в будущем позволит значительно шагнуть вперед в развитии металлургии.

В заключении можно сделать вывод, что вопросы модернизации производства, внедрения новых технологий и применения альтернативных топлив в металлургии наряду с мероприятиями промышленной безопасности являются актуальными и их исследованию должно уделяться большое внимание, так как без досконального и глубокого изучения этих проблем, совершенствование и рост металлургии как отрасли трудно представить.

УДК 621.745: 669.13

Система управления охраной труда и промышленной безопасностью в металлургии

Студент гр. 104140 Мигаленя Т. М.
Научный руководитель Ратников П.Э.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Металлургическое предприятие является промышленно опасным объектом, поэтому одним из важнейших аспектов его деятельности является разработка и совершенствование системы управления охраной труда и промышленной безопасностью.

Система управления охраной труда (СУОТ) — это часть общей системы управления, которая способствует управлению рисками в области охраны труда, связанными с деятельностью организации. Она включает организационную структуру, планирование, ответственность, практическую деятельность, процедуры, процессы и ресурсы для разработки, внедрения, осуществления, анализа и поддержания в рабочем состоянии политики организации в области охраны труда.

В Республике Беларусь разработка систем управления охраной труда (СУОТ) осуществляется, начиная с 2000 года. В настоящее время разработаны СУОТ для более чем 380 организаций (предприятий), в т.ч. таких как ОАО «Белорусский металлургический завод», ОАО «Нафтан», ОАО «Полимир», РУП «ПО «Беларуськалий», ОАО «Спартак», ОАО «Гефест», ПО «Беларусьнефть» и многие др., сертифицировано 80 организаций, в том числе БМЗ.

На примере Белорусского металлургического завода рассмотрены принципы системы управления охраной труда, основные нормативно-правовые документы, регламентирующие деятельность. Существующая на предприятии система управления охраной труда и промышленной безопасностью сертифицирована требованиям OHSAS 18001:1999.

Экологическая политика базируется на принципе постоянного развития и тесно связана с технологией и материалами, используемыми в процессе производства. Приоритетным направлением экологической политики является снижение влияния металлургического производства на окружающую среду.

Показана эффективность политики предприятия в области промышленной безопасности, осуществляемая в последние годы. Так, результаты увеличения инвестиций в охрану труда на БМЗ (в 2012 году инвестиции составили более 1 млн долл.) привели к снижению травматизма за последние 7 лет в два раза. В целом план обеспечения безопасности и улучшения условий труда включает около 100 различных мероприятий.

С 2013 г. вопросы промышленной безопасности обсуждаются в рамках ежегодной международной научно-технической конференции, проводимой на БМЗ.

УДК 621.745: 669.13

Экологическая безопасность при выплавке стали

Студентка гр. 104140 Мицкевич Е. И.
Научный руководитель Румянцева Г. А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время дуговые сталеплавильные печи получают все большее распространение в металлургической промышленности. Доля выплавляемой электростали в настоящее время в мире составляет более 29%, и в перспективе будет увеличиваться.

Наряду с рядом преимуществ, дуговые сталеплавильные печи имеют и недостатки, основными из которых являются с экологической точки зрения значительное количество продуктов горения и шума во время работы.

Выбросы электродуговых печей состоят из токсической и нетоксической пыли, содержащей оксиды железа, цинка, меди, свинца, диоксида хрома, оксиды и диоксида кремния, а также газов (оксиды углерода, диоксида серы и азота). Величина этих выбросов (включая неорганизованные выбросы) зависит от применяемого сырья, технологического режима плавки, использования интенсификаторов и способа отвода газов от печи. Высокий уровень выбросов в атмосферу вызывает у работников предприятий заболевания дыхательных путей, накопление в организме тяжелых металлов. Кроме того, достаточно ощутимы негативные последствия на жителей прилегающих территорий и рабочих завода. Рассмотрены также характеристики сточных вод сталеплавильного производства.

На основе мирового опыта эксплуатации печей проанализированы существующие системы очистки отходящих газов дуговых сталеплавильных печей, их преимущества и недостатки, а также принципы выбора очистного оборудования для печей различной производительности в зависимости от используемой технологии, исходных шихтовых материалов, способов интенсификации процессов выплавки.

Рассмотрены источник и уровень шума в процессе выплавки стали в ДСП, а также первичные (организация технологии выплавки) и вторичные (предотвращение его распространения и отрицательного воздействия на обслуживающий персонал и окружающую среду) мероприятия по снижению шума.

УДК 621.745: 669.13

Вредные и опасные факторы в машиностроительном производстве

Студентка гр. 104140 Панкова Ю. И.
Научный руководитель Румянцева Г. А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В данной работе рассматриваются вопросы воздействия опасных и вредных производственных факторов на работника предприятия машиностроения, вопросы обеспечения безопасных условий труда в различных производственных цехах машиностроительного производства, а также мероприятия по пожаробезопасности, оптимизации параметров микроклимата и проектирование освещения.

Опасным производственным фактором (называется такой производственный фактор, воздействие которого приводит к травме или к другому внезапному, резкому ухудшению здоровья), вредный производственный фактор (называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводит к заболеванию работающего или снижению трудоспособности).

Произведен анализ сущности и видов производственных структур. В зависимости от формы специализации производственные подразделения предприятия организуются по следующим принципам:

1. технологическому (на выполнении отдельной операции или вида работ),
2. предметному (на изготовлении отдельного вида продукции или ее составной части),
3. смешанному (предметно-технологическому).

Так же в данной работе рассмотрено оборудование, технологические особенности, основные опасные производственные факторы основных цехов (литейный, ремонтный, сборочный).

К Основным опасным производственным факторам относятся: производственный шум, пыль различного происхождения, локальная вибрация, повышенная температура. Для уменьшения воздействия опасных производственных факторов разрабатываются различные мероприятия, учитывающие особенности каждого из них, а именно:

Для воздействия от шума:

- устранение причин возникновения шума или снижение его в источнике;
- ослабление шума на путях передачи;
- непосредственная защита работающих.

Для защиты от удара электричеством:

- защита от источника излучения;
- обеспечение оптимального воздухообмена;
- механизация тяжелых работ;
- применение индивидуальных средств защиты

Меры защиты от воздействия электрического тока.

- Изолирование и ограждение токоведущих частей электрооборудования
- Применение блокировок
- Переносные заземлители
- Защитная изоляция
- Применение малых напряжений
- Контроль, профилактика изоляции, обнаружение её повреждений, защита от замыканий на землю
- Защитное заземление
- Двойная изоляция
- Зануление
- Защитное отключение

В данной работе выявлено основное мероприятие по борьбе с вредными факторами: безукоризненное использование СИЗ (средств индивидуальной защиты) и непосредственный контроль ИТР.

УДК 621.745: 669.13

Тенденции развития цветной металлургии в мире

Студент гр. 104150 Рагель А.В.

Научный руководитель Менделев Д.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Цветная металлургия – отрасль тяжелой промышленности, связанная с добычей и переработкой цветных металлов. В мире насчитывается около 70 видов цветных металлов, среди которых можно выделить пять «грандов»: алюминий, медь, цинк, никель, свинец.

Проанализирована динамика выпуска основных видов цветных металлов за последние 7 лет. Выявлены основные мировые производители цветных металлов, динамика производства. Анализ мирового рынка цветных металлов показал, что в 2013 году рынок оставался преимущественно избыточным, при этом дефицит наблюдался только для меди и олова. Существенно увеличилось производство цветных металлов в Китае, при этом суммарный объем выпуска 10 видов цветных металлов в 2013 г увеличился почти на 10%.

Рассмотрены основные технологические схемы для производства меди и алюминия и сплавов из них, технические характеристики плавильного оборудования, их достоинства и недостатки.

На данном этапе в металлургической промышленности Беларуси отсутствуют предприятия по добыче руд черных и цветных металлов, а также по выплавке металлов из природной руды. Технологические процессы основаны на металлургическом переделе – в качестве исходного сырья используются местный и привозной металлолом, чугуны и стальные заготовки.

Наиболее распространенными видами металлопроката из цветных металлов и сплавов являются:

- Медный прокат (листы, ленты, прутки, трубы, проволока, шины);
- Бронзовый прокат (прутки, втулки, лента проволока);
- Латунный прокат (листы, ленты, прутки, шестигранники, трубы, проволока);
- Алюминиевый прокат (проволока сварочная, листы, прутки, трубы, плиты, профиль, уголки).

Рассмотрено основное технологическое оборудование для указанных видов производства металлопроката.

УДК 621.78.012.5

Нагрев электромагнитными источниками: индукционный нагрев

Студент гр. 104150 Цыкунов П.Ю.

Научный руководитель Менделев Д.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Электромагнитные источники можно использовать гораздо более эффективно и более направленным образом, чем соперничающие с ними источники энергии. Электрические нагревательные системы характеризуются высокой эффективностью и, несмотря на более высокую стоимость электроэнергии по сравнению с природными видами топлива, высокой рентабельностью в результате более низких эксплуатационных издержек и затрат на сырье.

Процессы электронагрева отличаются большой гибкостью и дают возможность высокого уровня автоматизации.

Применение электромагнитной термообработки позволяет получать желаемый нагрев, который легко и точно воспроизводится. Это значит, что можно задавать определенные свойства материала, чтобы улучшить технические характеристики полуфабрикатов или готовой продукции. При электрическом нагреве высокая скорость нагревания, точное регулирование температуры и обеспечивают высокую эффективность и позволяют заметно экономить сырье, например, вследствие низких потерь на сгорание. Это особенно заметно в процессах индукционного, контактного, диэлектрического и СВЧ нагрева, где тепло генерируется в самой детали.

Методы индукционного нагрева традиционно используют, в основном, для поверхностной закалки и смягчающего локального термоотпуска. В последние годы все большее распространение стали получать процессы объемного скоростного термоупрочнения. К таким процессам следует отнести комплексную скоростную термоэлектрическую обработку (КСЭТО)

с использованием индукционного нагрева под закалку и отпуск. Применение КСЭТО открывает пути снижения металлоемкости изделий за счет уменьшения рабочих сечений, замены дорогостоящих и дефицитных легированных сталей на менее легированные и углеродистые, отмены дополнительных упрочняющих операций при сохранении заданной конструктивной прочности и др.

Одним из недостатков прямого индукционного нагрева является зависимость электрических параметров индукционных установок от геометрии загружаемых деталей и от величины воздушного зазора между индуктором и загрузкой. Реализовать преимущества индукционного нагрева деталей или металлических конструкций сложной формы возможно, применив метод косвенного индукционного нагрева. Данный метод заключается в прямом индукционном нагреве токопроводящего каркаса с размещением внутри его загрузки. Нагрев загрузки происходит за счет излучения от нагретого каркаса. К таким комплексам относятся камерные индукционные печи.

Как правило современные индукционные установки проектируются таким образом, чтобы постоянное рабочее место находилось за пределами зоны, в которой параметры электромагнитного поля превышают предельно допустимый уровень. Практика показала, что значительно легче уменьшить электрическое поле, применив, например, металлический корпус, чем магнитное поле, которое, как правило, является определяющим для индуктирующих систем, с большими токами. В то же время применение специального магнитопровода позволяет существенно уменьшить влияние магнитного поля.

УДК 621.745.669.13

Аналитический обзор мирового рынка стали

Студентка гр. 104150 Явид Д. А.
Научный руководитель Трусова И. А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В работе выполнен анализ мирового рынка производства стали.

За последние десятилетия объемы производства стали в мире росли из года в год. При этом в 2008-2009 гг. под влиянием сложившейся экономической ситуации произошло сокращение выпуска, и в 2009 году в мире было выпущено 1 231 млн. тонн стали. Затем объемы производства стали увеличивались, и в 2013 г. было произведено более 1,6 млрд т стали.

Лидером по объемам производства стали в мире является Китай, доля которого составила в 2010 году - 44%, в 2011 году - 45,4%, а в 2012 году - 46,3% от всего мирового производства, в 2013 г. достигла рекордной цифры 48,5%, что в абсолютном выражении составило 779 млн т.

Десятка 10 стран-мировых производителей стали на протяжении последних пяти лет не изменилась: Китай, Япония, США, Индия, Россия, Южная Корея, Германия, Турция, Бразилия, Украина.

На сегодняшний день основными способами производства стали являются: кислородно-конвертерный, в мартеновских печах и электротермический.

КНР производит более 50% конвертерной стали в мире, а 5 ведущих стран-производителей конвертерной стали обеспечивают более чем три четверти, 10 ведущих производителей – свыше пяти шестых ее мирового производства.

Мировое производство электростали в 2011 году превысило 400 млн т, относительно спада производства 2008, 09, 10 годов. Доля электростали в общем объеме произведенной стали составляет чуть более 29% (440 млн т).

Доля мартеновского производства по итогам 2008 года в мире составляла 2,2%. Мартеновское производство сосредоточено в основном в странах СНГ (23,4% от общего производ-

ства стали по итогам 2008 года). В связи с закрытием избыточных и малоэффективных производств на фоне мирового финансового кризиса доля мартеновского производства по итогам 2009 года значительно сократилась.

В дальнейшем из стали получают различные виды металлопроката.

В современном производстве металлопрокат и продукция из него имеет очень большую популярность и пользуется высоким спросом. Широкий спектр изделий из металлопроката позволяет использовать его в самых различных направлениях промышленной индустрии. Металлопрокат позволяет значительно повысить эффективность конструктивов, упрощает их изготовление, не уменьшая при этом прочности изделия. По виду используемого металла для изготовления продукции металлопроката он подразделяется на черный и цветной металлопрокат.

Виды металлопроката:

- сортовой металлопрокат (балки различного профиля, круг (прут металлический), арматура);
- трубный (трубы различного назначения);
- фасонный (тавр, двутавровый профиль, швеллер, профиль-уголок);
- листовой (листы металлические, оцинкованные, профнастил самых различных профилей, металлочерепица);
- нержавеющей (проволока-катанка, листы, трубы).

В российском сталепрокатном секторе металлургии динамика производства в 2012 году была положительной. Производство стали выросло относительно 2011 года на 3,3% до 70,4 млн тонн. Вместе с тем объем производства готового проката был рекордным и составил 61,8 млн тонн, что на 4,0% выше, чем в 2011 году. Производство стальных труб в России в 2012 году сократилось по сравнению с 2011 годом на 3,3% до 9657 тыс. тонн.

Основными странами-производителями металлопроката являются: Россия, Италия, Индия, Китай, Тайвань, Чехия, Корея.

Мировое производство металлопроката в последнее время идет на спад. Особенно в середине 2013 года наблюдается резкое уменьшение производства.

Мировое производство оцинкованного проката в 2010 году составило 117,4 млн т. Основными странами-производителями являются: Китай, Япония, США, Южная Корея, Германия.

Выполнен также анализ тенденций развития металлургии, прогнозные показатели по производству стали и готового металлопроката.

**Порошковые
и композиционные
материалы,
покрытия
и сварка**

Студент гр. 104610 Гедревич А.Е.

Научный руководитель Черняк И.Н.

Государственное научное учреждение «Институт порошковой металлургии»

г. Минск

Использование пористых порошковых материалов для изготовления огнепреградителей основано на возможности гашения пламени при прохождении узких капилляров. При этом гашение пламени в канале, заполненном горючей смесью, происходит лишь при некоторой минимальной величине диаметра канала, определяемой химическим составом и давлением горючей смеси. Согласно теории пределов распространения пламени, гашение его в узких каналах обусловлено тепловыми потерями из зоны реакции к стенкам канала. Пламягасящая способность огнепреградителя зависит в основном от диаметра гасящих каналов и слабо зависит от его длины.

Пламягасительную способность огнепреградителя на практике можно оценить через безразмерный параметр Пекле Pe :

$$Pe = \frac{U_n \delta c_p p}{RT_0 \lambda_0}, \quad (1)$$

где U_n – нормальная скорость распространения пламени;

δ – диаметр каналов для гашения пламени;

c_p – теплоемкость горючей смеси;

R – газовая постоянная;

T_0 – температура исходной смеси;

λ_0 – теплопроводность исходной смеси;

p – давление смеси.

Результаты большого числа исследований, в которых при значительных изменениях условий гашения соблюдалось постоянство давления при подходе пламени к насадке, показали, что критическая величина критерия Пекле, примерно равная 65, является постоянной: если найденное по формуле (1) значение меньше 65, огнепреградитель задержит распространение пламени. При этом, запас надежности η огнепреградителя, который находят из отношения $Pe_{кр}$ к вычисленному значению Pe , должно составлять не менее 2:

$$\eta = \frac{Pe_{кр}}{Pe} = \frac{65}{Pe} \geq 2,0 \quad (2)$$

Например, необходимо разработать огнепреградитель из порошка титана марки ТПП-6 для водородно-воздушной смеси при концентрации горючего 42,2% ($U_n = 280$ см/сек, $\lambda = 175,79$ Дж/(см·сек·град), $c_p = 28,84$ Дж/(моль·град)), температуре смеси 293 К и избыточном давлении 0,02 МПа. Расход смеси по условиям эксплуатации составлял 10 л/мин при перепаде давления 1000 мм в. ст. Геометрические размеры огнепреградителя определены конструкцией прибора, для которого они предназначены: стаканчик с доньшком с наружным диаметром 10 мм, высотой 12 мм и толщиной стенки и доньшка 1,5 мм.

Первоначально оценивается пропускная способность разрабатываемого изделия путем определения коэффициента проницаемости из закона Дарси:

$$Q = k \frac{\Delta p S}{\mu h}, \quad (3)$$

где Q – расход фильтруемой среды в единицу времени;

k – коэффициент проницаемости;

Δp – перепад давления на огнепреградителе;

S – площадь фильтрации;

μ – динамическая вязкость фильтруемой среды;

h – толщина стенок предохранителя.

Выделив из выражения (3) коэффициент проницаемости и подставив все данные, получим, что $k = 21 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2$. Исследование взаимосвязи между свойствами ППМ, изготовленных из порошка ТПП-6 в состоянии поставки, позволило установить, что этому значению соответствует максимальная величина пор 50 мкм.

Подставив все исходные данные в выражение (1), получим $Pe = 1,88$ и, соответственно, большое значение запаса надежности $\eta = 34,6$.



Рисунок 4 – Огнепреградители

УДК 669.539.5

Синтез высокоэнергетических алюминиево-кремниевых материалов

Магистрант Жарикова К.В.

Научный руководитель Ушеренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Создание высокоэнергетических металлических материалов предполагает достижение высокой плотности энергии – на уровне более чем 10 Дж/м и реализация в этих условиях синтеза метастабильных соединений и элементов. Достижение высокой плотности энергии возможно или за счет кумуляции разных типов энергии в локальных зонах структурных элементов, или при уменьшении времени процесса закачки энергии в единичный объем.

Повышение плотности энергии за счет роста температур ограничено скоростью теплопередачи, так как скорость теплопередачи для макрообъектов является величиной постоянной. Для металлов и их сплавов скорость массопереноса и передачи энергии

ограничена скоростью ударной волны, т.е. 5000 – 6000 м/с. Соответственно процесс кумуляции энергии в условиях ударно-волнового нагружения определяется градиентами плотности в этих материалах.

Чем больше градиенты плотности в структуре сплава, тем больше вероятности фокусировки высокого давления в локальных зонах. При прохождении ударной волны от высокоплотного материала к менее плотному материалу ударная волна практически не встречает сопротивление. Если ударная волна идет от малоплотного к высокоплотному материалу, тогда на границе их раздела наблюдается отраженная ударная волна, которая движется от более плотной фазы к менее плотной фазы. В случае использования литых разноплотностных сплавов возможна фокусировки ударных волн и локальные скачки давления свыше 10^{11} Н/м².

В случае использования нетрадиционной технологии порошковой металлургии, когда физическим инструментом является струя порошков, а конструкционным материалом является, например, литой компактный материал возникают дополнительные волновые возмущения в твердом металлическом теле. Поскольку сплав Al + 12%Si является композиционным материалом, то он армирован иголками кремния.

Движение сгустков порошковых частиц в режиме сверхглубокого проникания через композиционный материал за счет наличия градиентов плотности этого сплава приводит к направленной пульсации поля давления и дроблению упрочняющих армирующих элементов. Как результат пластичность алюминиевого сплава после нагружения в режиме сверхглубокого проникания (СГП) увеличивается в 5-10 раз. Структурные исследования показали, что такое дробление кремниевых игл видно при увеличениях от $\times 40\ 000$. При этом особенностью структуры является дробление игл в поперечном направлении без сдвига относительно оси, через 100 нм.

УДК 621.745.669.13

Технологический процесс сварки опоры шарнира 2661.01.02.200-В форвардера Амкодор 2661

Студент гр. 104819 Жилунов И.Ю.

Научный руководитель Голубцова Е.С.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Вертикальная опора шарнира 2661.01.02.200 служит для соединения передней и задней полурам транспортного средства, используемого для лесозаготовительных работ, (далее “форвардер”) и позволяет им поворачиваться друг относительно друга. На данный узел прилагается большая нагрузка. Поэтому данный узел является очень ответственной частью производства данного транспортного средства, предполагающий запас прочности достаточный, для надежной работы.

Для этого требуется подобрать способ сварки и рассчитать его режимы, которые помогут обеспечить прочные сварные соединения с необходимым комплексом свойств. Именно это и явилось целью настоящей работы.

Опора шарнира выполняется из стали 08Г2С. Применяется механизированный способ сварки в среде углекислого газа.

Сварка в среде защитных газов имеет следующие достоинства:

- экономичность;
- обеспечение достаточно высокого качества швов;
- требуется более низкая квалификация сварщика, по сравнению с РДС;
- позволяет производить сварку в различных пространственных положениях и труднодоступных местах.

Для сварки целесообразно применить газовую смесь НП-3 (Helishield H101): Это смесь 38% гелия, 60% аргона, 2% двуокиси углерода. Придает стабильность дуге, что обеспечивает низкий уровень разбрызгивания и снижает вероятность появления дефектов шва. Газовая смесь НП-3 рекомендуется для сварки материалов толщиной свыше 9 мм.

Преимущество защитных газовых смесей:

- небольшое разбрызгивание металла;
- превосходная глубина проплавления;
- незначительность деформации (искривления) металла при сварке;
- меньшее потребление сварочной проволоки;
- высокая степень скорости сварки;
- наибольшая эффективность с точки зрения уменьшения общих затрат на сварку.

Содержащийся в данной смеси гелий повышает температуру сварочной дуги, что улучшает проплавление, увеличивая производительность. Повышение производительности сварочных работ при применении газовых смесей составляет не менее 30–50%. Так же не требуется последующая зачистка сварного шва и околошовной зоны от брызг. Форма и чистота сварного шва получаются вполне пригодными для дальнейшей покраски. Это обеспечивает значительное повышение производительности труда при последующих работах со сваренными изделиями на предприятии. Из-за больших толщин свариваемых деталей следует взять проволоку диаметром 1,6 мм. Далее необходимо определить величину сварочного тока, которая, с одной стороны, зависит от требуемой глубины проплавления, с другой - от диаметра электрода. Требуемая глубина проплавления, в свою очередь, зависит от толщины металла и условий сварки. Для стыковых односторонних швов глубина проплавления h равна толщине свариваемого металла, $h = \delta$, для двухсторонних швов $h = 0,5\delta$. Для угловых швов глубину проплавления можно принять $h = 0,6\delta$.

$$I_{св} = \frac{h}{k_n} \cdot 100 = \frac{0,6 \cdot 10}{1,55} \cdot 100 \approx 390 \text{ A},$$

где k_n – коэффициент пропорциональности, зависящий от условий сварки ($k_n = 1,55$).

После вычисления силы сварочного тока следует уточнить диаметр сварочной проволоки по формуле

$$d_3 = 1,13 \sqrt{\frac{I_{св}}{j}}, = 1,13 \sqrt{\frac{390}{200}} \approx 1,6 \text{ мм},$$

где j - допустимая плотность тока, А/мм²; $j = 200$ А/мм².

Напряжение на дуге устанавливают в зависимости от способа сварки, а также от марки и диаметра электрода. Для сварки в смеси Ar + CO₂ имеем

$$U_2 = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_3^{0,5}} I_{св} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,2^{0,5}} \cdot 150 = 28 \text{ В}.$$

Скорость сварки вычислялась по формуле

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{\gamma \cdot F_n \cdot 100} = \frac{14 \cdot 390}{7,8 \cdot 21,6 \cdot 10^{-2} \cdot 100} = 32 \text{ м / ч},$$

где α_n – коэффициент наплавки, г/А·час; $\alpha_n = 14$ г/А·час;

$I_{св}$ – сила сварочного тока, А;

γ – плотность металла, г/см³; $\gamma = 7,8$ г/см³;

F_n – площадь поперечного сечения наплавленного металла за один проход, см².

Площадь наплавленного металла зависит от типа сварного соединения. Для угловых швов она определяется как площадь треугольника, умноженная на коэффициент a , учитывающий форму шва:

$$F_n = \frac{K^2}{2} a \sin \alpha = \frac{6^2}{2} \cdot 1,2 \sin 90^\circ \approx 21,6 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2,$$

где a – коэффициент формы шва; $a = 1,2$; α – угол, под которым свариваются детали.

Скорость подачи сварочной проволоки вычислялась по формуле

$$V_{н.п.р.} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{\gamma \cdot F_э \cdot 100} = \frac{14 \cdot 390}{7,8 \cdot 20,96 \cdot 10^{-3} \cdot 100} = 334 \text{ м / ч},$$

где $F_э$ – площадь сечения электрода, см².

$$F_э = \frac{\pi d_э^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (1,6 \cdot 10^{-2})^2}{4} = 20,96 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2.$$

Таким образом, в настоящей работе для механизированной сварки опоры шарнира была обоснована выбрана защитная смесь НП-3 (38% He, 60% аAr, 2% CO₂) и рассчитаны сила сварочного тока, диаметр сварочной проволоки, напряжение на дуге, скорость сварки, скорость подачи сварочной проволоки.

УДК 621.791.052:621.791.65

Технологический процесс сборки и сварки заднего борта самосвала МАЗ модели 5550В5

Студент гр. 104819 Жук Д.А.

Научный руководитель Голубцова Е.С.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

В ходе работы осуществляется сборка и сварка элементов заднего борта самосвала МАЗ. Для выполнения поставленных задач необходимо подобрать способ сварки, рассчитать режимы, заменить устаревшее оборудование, что позволит обеспечить качественный рост показателей сварных соединений.

Элементы заднего борта выполняется из сталей 09Г2С, 09Г2С-6-12, 08ПС-5-3. В настоящее время для сварки заднего борта автомобиля МАЗ применяется механизированная сварка в среде углекислого газа. Учитывая современные тенденции в области сварочного производства и преимущества, целесообразно заменить защитную среду (CO₂) на смесь Ar + 18% CO₂.

Сварка в смеси обладает преимуществами по сравнению со сваркой в CO₂:

– обеспечение более стабильного процесса и мелкокапельного переноса металла за счёт уменьшения поверхностного натяжения капель расплавленного металла под действием кислорода, что значительно снижает разбрызгивание и экономит расход сварочной проволоки и улучшает внешний вид и формирование сварного шва;

– по сравнению с чистым аргоном наличие окислительной среды тормозит образование пор путём уменьшения растворимости водорода в металле сварочной ванны и в результате «кипения» сварочной ванны (интенсивного выделения при высоких температурах из расплавленного металла CO) из неё лучше удаляются азот и водород;

– улучшение показателей пластичности сварного шва (угол загиба, ударная вязкость), что особенно важно при эксплуатации сварных конструкций в условиях переменных и ударных нагрузок.

Несмотря на то, то смесь Ar + 18% CO₂ дороже чистого CO₂, при выборе рациональной схемы снабжения предприятия смесью и с учётом затрат на зачистку от брызг основного металла, сварных швов и сопел горелок, т. е. увеличения производительности сварочных работ сварка в смеси Ar + CO₂ оказывается дешевле сварки в CO₂.

Зачистку металла перед и после сварки по технологическому процессу выполняем стальной плоской металлической щеткой, для уменьшения времени и лучшей подготовки металла зачистку будем осуществлять шлифовальной машинкой.

Расчет параметров режима сварки ведется в зависимости от заданного способа сварки. Основными параметрами режима являются: сила сварочного тока $I_{св}$, напряжение на дуге U_d , скорость подачи сварочной проволоки $v_{п.пр}$, диаметр проволоки d_s , скорость сварки $v_{св}$.

Значение диаметра проволоки зависит от толщины свариваемого металла и способа сварки. Согласно рекомендациям была выбрана проволока диаметром 1,0 мм.

Далее необходимо определить величину сварочного тока, которая, с одной стороны, зависит от требуемой глубины проплавления, с другой – от диаметра электрода. Требуемая глубина проплавления, в свою очередь, зависит от толщины металла и условий сварки. Для угловых швов глубину проплавления можно принять $h = 0,6\delta$.

Поскольку средой для сварки узлов платформы самосвала была выбрана защитная смесь (Ar + CO₂), то сила сварочного тока определялась по формуле

$$I_{св} = \frac{h}{k_n} \cdot 100 = \frac{0,6 \cdot (2 \dots 4)}{1,75} \cdot 100 = 70 \dots 140 \text{ А},$$

где k_n – коэффициент пропорциональности, зависящий от условий сварки ($k_n = 1,75$).

После вычисления силы сварочного тока следует уточнить диаметр сварочной проволоки по формуле

$$d_s = 1,13 \sqrt{\frac{I_{св}}{j}}, = 1,13 \sqrt{\frac{(70 \dots 140)}{120}} \approx 1,0 \text{ мм},$$

где j – допустимая плотность тока, А/мм²; $j = 120 \text{ А/мм}^2$.

Напряжение на дуге устанавливают в зависимости от способа сварки, а также от марки и диаметра электрода. Для сварки в смеси Ar + CO₂ имеем

$$U_2 = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_s^{0,5}} I_{св} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,2^{0,5}} \cdot 150 = 28 \text{ В}.$$

Скорость сварки вычислялась по формуле

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{\gamma \cdot F_n \cdot 100} = \frac{14 \cdot (70 \dots 140)}{7,8 \cdot 10 \cdot 10^{-2} \cdot 100} = 13 \dots 27 \text{ м / ч},$$

где α_n – коэффициент наплавки, г/А.час; $\alpha_n = 14 \text{ г/А.час}$;

$I_{св}$ – сила сварочного тока, А;

γ – плотность металла, г/см³; $\gamma = 7,8$ г/см³;

F_n – площадь поперечного сечения наплавленного металла за один проход, см².

Площадь наплавленного металла зависит от типа сварного соединения. Для угловых швов она определяется как площадь треугольника, умноженная на коэффициент a , учитывающий форму шва:

$$F_n = \frac{K^2}{2} a \sin \alpha = \frac{4^2}{2} \cdot 1,2 \sin 90^\circ \approx 10 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2,$$

где a – коэффициент формы шва; $a = 1,2$;

α – угол, под которым свариваются детали.

Скорость подачи сварочной проволоки вычислялась по формуле

$$V_{\text{п.п.р.}} = \frac{a_n \cdot I_{\text{св}}}{\gamma \cdot F_3 \cdot 100} = \frac{14 \cdot (70 \dots 140)}{7,8 \cdot 11 \cdot 10^{-3} \cdot 100} = 114 \dots 244 \text{ м / ч},$$

где F_3 – площадь сечения электрода, см².

$$F_3 = \frac{\pi d_3^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (1,2 \cdot 10^{-2})^2}{4} = 11 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$$

Таким образом, в настоящей работе для механизированной сварки заднего борта самосвала МАЗ был обоснован выбор защитной смеси (Ar + CO₂) и рассчитаны сила сварочного тока, диаметр сварочной проволоки, напряжение на дуге, скорость сварки, скорость подачи сварочной проволоки.

УДК 621.745.669.13

Влияние высокотемпературного окисления на микроструктуру и фазовый состав порошкового сплава Fe₃Al

Студент гр. 104619 Казаченко М.А.

Научные руководители Лецко А.И., Керженцева Л.Ф.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Разработка технологии синтеза композиционных материалов и сплавов на основе интерметаллида типа Fe₃Al с целью их практической эксплуатации при высоких температурах и в агрессивных средах является чрезвычайно актуальной задачей. Возможность использования подобных материалов в качестве нагревательных элементов, пористых газометаллических фильтров, каталитических подложек, компонентов для работы с растворами солей и т.д. обусловлена уникальным комплексом свойств, присущих соединению Fe₃Al. К ним относятся высокая стойкость к окислению и коррозии, высокое электросопротивление и низкая плотность материала.

Высокотемпературная коррозионная стойкость Fe₃Al обусловлена возможностью формирования на его поверхности термодинамически стабильного, сплошного слоя оксида алюминия α -Al₂O₃. Процесс роста защитного оксидного слоя на поверхности сплава во много определяется его составом и особенностями микроструктуры. Одним из способов синтеза Fe₃Al с повышенной плотностью является метод горячего изостатического прессования (ГИП) при высоком давлении.

Целью работы являлось изучение влияния исходной микроструктуры образцов Fe₃Al, синтезированных методом горячего изостатического прессования на кинетику формирования

слоя оксида алюминия в результате высокотемпературного окисления в условиях контролируемой атмосферы при температурах 900 °С, 1000 °С и 1100 °С.

Синтез образцов Fe₃Al осуществлялся из порошков железа марки ПЖРВ (75 ат. %) и алюминия марки АСД-1 (25 ат. %) методом горячего изостатического прессования под высоким давлением (P = 1850 Бар, T = 1100 °С). С целью гомогенизации, смесь порошков предварительно перемешивалась в течение 6 часов в четырехбаночном смесителе, а затем подвергалась механоактивации в аттриторе в течение 4,5 часов.

Высокотемпературное окисление высокоплотных образцов Fe₃Al полученных методом ГИП проводилось при температурах 900 °С, 1000 °С и 1100 °С в течение 24 часов в искусственной атмосфере, содержащей 20 % кислорода и 80 % азота.

Микроструктура и элементный состав порошков после механоактивации, а также высокоплотных образцов Fe₃Al до и после высокотемпературного окисления изучался методом сканирующей электронной микроскопии в режиме обратного рассеяния электронов (СЭМ) на установке JEOL JSM-4510 LV, совмещенной с энергодисперсионным анализатором (ЭДА).

Фазовые превращения в образцах до и после высокотемпературного окисления были исследованы методом рентгеновской дифракции на установках Bruker AXS D8 ADVANCE и D-5005 в θ -2 θ и скользящей геометриях (угол наклона пучка составлял 8°).

Для изучения микроструктуры и шероховатости поверхности оксидного слоя на высокоплотных образцах Fe₃Al до и после высокотемпературного окисления использовался метод атомно-силовой микроскопии (АСМ) на приборе «Нанотоп». Шероховатость оценивалась по среднеквадратичному отклонению высоты вдоль поверхности (R_q).

Проведенные исследования показали, что методом горячего изостатического прессования при высоком давлении (P = 1850 Бар, T = 1100 °С) механоактивированных порошков состава Fe-25 ат. % Al, может быть синтезирован практически монофазный алюминид железа Fe₃Al. Установлено, что данный алюминид имеет lamellarную микроструктуру, что, очевидно, является результатом предварительной механоактивации порошков железа и алюминия, предшествующей процессу синтезу. Исследование микроструктуры и фазового состава поверхности, высокоплотных образцов Fe₃Al после высокотемпературного окисления позволило установить, что определяющими факторами их трансформации являются именно lamellarная структура и неоднородность химического состава lamелей исходного материала.

Формирование поверхностного слоя оксида алюминия при 900 °С носит характер островкового наращивания промежуточных модификаций оксидов алюминия (гексагонального, орторомбического и ромбоэдрического Al₂O₃), преимущественно происходящего в областях повышенной концентрации дефектов структуры (пор и границ зерен) и содержания алюминия. Повышение температуры до 1000 °С и 1100 °С приводит к началу преципитации стабильной мелкодисперсной фазы α -Al₂O₃ и постепенному увеличению ее вклада, соответственно.

УДК 621.745.669.13

Создание пористых тел прошивкой сплава АК12 сгустками порошковых частиц

Студент гр. 104619 Шарецкий А.В.

Научный руководитель Ушеренко С.М.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В рамках традиционной порошковой металлургии, создание проницаемых пористых тел достигается за счет операции спекания порошковых материалов. При этом в качестве инструментальных материалов используют высокопрочные инструментальные компактные материалы, а в качестве конструкционных применяют порошковые материалы разного состава

и фракций. В этом технологическом варианте удастся получать сквозные поры с размерами от 2 мкм. К недостаткам такого подхода следует отнести энергоемкость процесса спекания и пониженная прочность пронизываемого тела.

Понижение прочности конструкционных материалов требуют уменьшения уровня давления при фильтрации жидкостей или газов. Соответственно уменьшается производительность процесса фильтрации. Особое значение этих недостатков проявляется при тонкой фильтрации жидких и газовых сред.

Поэтому при создании высокопрочных пористых материалов и изделий на их основе стараются использовать новые физико-химические эффекты, что позволяет рассмотреть особенности нетрадиционной порошковой металлургии. К таким особенностям в частности относятся физические эффекты, когда в качестве рабочего инструмента используют сгустки порошковых частиц, а в качестве конструкционного материала служат литые и кованные компактные материалы.

Известно, что в околоземном пространстве существуют пылевые частицы, которые называют космическим мусором. Фракция такого мусора в основном составляет 1- 100 мкм. Пылевые частицы движутся со скоростями около 7800 м/с. Наличие большой массы таких частиц приводит к тому, что уровень вакуума в околоземном пространстве достигает 10^{-4} атм.

Известно, что сгустки пылевых частиц соударяются с макрообъектами и прошивают их на глубины в десятки и сотни миллиметров. Эффекты проникания пылевых частиц на аномально большие глубины называют сверхглубоким прониканием (СГП). Частицы в рамках этого эффекта пронизывают компактные материалы, как бы не встречая сопротивления. Качественным отличием такого соударения от макроудара является то, что в преграде не формируется усредненного поля давления.

В объеме преграды возникают длинномерные «солитоны», давление в которых на несколько порядков превышает фоновое давление. В этих зонах реализуется динамический фазовый переход, во время протекания которого сопротивление движущимся частицам резко падает. Материал этих зон имеет только ближние связи, а его свойства характерны для плотной плазмы. Поскольку взаимодействие порошковых частиц и литейного сплава алюминия и кремния (до 12%) происходит в области интенсивных импульсных (пульсирующих) давлений со средним уровнем 5 ГПа, то в результате синтеза формируются метастабильные соединения физико-химические свойства, которых не удастся прогнозировать на основе известных диаграмм концентрация – температура для этих элементов.

Поэтому оказалось неожиданным, что при введении в этот сплав частиц карбида кремния формируются длинномерные зоны, которые при электрохимическом травлении интенсивно растравливаются и образуются сквозные поры. В варианте технологии с введением частиц свинца формируются зоны с высокой коррозионной стойкостью.

Исходный матричный материал имеет уровень коррозионной стойкости существенно выше, чем у армированного частицами карбида кремния, но ниже, чем у армированного свинцовыми частицами. Благодаря этому удалось получить сплав алюминия и кремния с зонами сквозной пористости толщиной до 2 мм. В результате такой фильтр может работать при давлении до 10 атм, что позволяет существенно повысить производительность процесса фильтрации жидкостей.

Контактная точечная сварка разнородных материалов с использованием биметаллических переходников

Студент гр. 104819 Каранкевич И.А.
Научный руководитель Демченко Е.Б.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время для получения переходников сварных соединений разнородных материалов находят применение разнообразные способы сварки. Наибольшее распространение получили: холодная сварка, диффузионная сварка, сварка трением и взрывом, различные виды контактной сварки.

Наиболее подходящим из возможных способов получения переходников из разнородных материалов для изготовления заготовок типа «алюминий–переходник–сталь» считается сварка взрывом.

При сварке взрывом происходит образование металлических связей по дислокационному механизму. Активация процесса образования металлических связей связана с интенсивностью совместной пластической деформации поверхностных слоёв свариваемых металлов, которая определяется скоростью распространения пластической деформации и её величиной, а также величиной давления, развивающегося в зоне соударения. Импульсные давления при взрыве могут достигать значений $P = 5 \times 10^5$ МПа, а скорости детонации $v_{дет} = (6...7) \times 10^3$ м/с, поэтому металл приобретает совершенно особые свойства текучести, во многом уподобляясь жидкости.

Следует отметить, что любая пластическая деформация сильно увеличивает количество микродефектов. Поэтому сварные соединения, получаемые сваркой взрывом, имеют разный, ярко выраженный структурный характер. Свариваемая поверхность пересыщена закреплёнными дислокациями. Более глубинные микроскопические слои при таком пластическом деформировании, наоборот, становятся близкими к бездефектному кристаллическому строению, т.к. подавляющее большинство точечных макродефектов залечивается, а дислокации в значительной мере аннигилируют, восстанавливая идеальное строение.

Прочностные свойства соединения возрастают за счёт сверхвысоких ударных давлений, способных ещё больше увеличить прочность. Так твердость отожженной малоуглеродистой стали можно увеличить в четыре раза, а предел текучести в шесть раз, что не идёт ни в какое сравнение с методами диффузионной и холодной сварки. Качество сварных соединений обеспечивается правильно подобранным режимом сварки. Сварные соединения в дальнейшем выдерживают любую механическую и термическую обработку.

Анализ существующих способов изготовления сварных соединений из разнородных материалов на основе алюминий - сталь подтвердил, что лучшим способом для изготовления переходников для сварки заготовок из разнородных материалов типа «алюминий–переходник–сталь» является сварка взрывом. Она имеет следующие преимущества перед другими способами сварки:

– сварное соединение образуется мгновенно за счёт образования металлических связей при совместном пластическом деформировании свариваемых поверхностей металлов при полном отсутствии диффузионных процессов, что позволяет сваривать металлы без образования хрупких интерметаллидов, ухудшающих качество сварных соединений;

– соединения типа «алюминий–переходник–сталь» приобретают весьма высокие физико-механические и эксплуатационные свойства.

Лазерная сварка – сварка будущего

Студенты гр. 10403112 Кецко А.Н., Ивко Я.В.
Научный руководитель Голубцова Е.С.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Цель данной работы – показать преимущества перед другими видами сварки и перспективы её применения в других областях.

Лазерная сварка – способ сварки плавлением, при котором в качестве источника тепловой энергии используют энергию лазера. При лазерной сварке металлов источником нагрева служит лазерный луч. Лазерный луч по сравнению с обычным световым лучом обладает рядом свойств .

1) Направленностью. Благодаря направленности лазерного луча его энергия концентрируется на сравнительно небольшом участке.

2) Монохроматичностью. Если обычный «белый» свет состоит из лучей с различными частотами, то лазерный луч является монохроматичным – имеет определенную частоту и длину волны. За счет этого он отлично фокусируется оптическими линзами, поскольку угол преломления луча в линзе постоянен.

3) Когерентностью. Когерентность – это согласованное протекание во времени нескольких волновых процессов. некогерентные колебания светового луча обладают различными фазами, в результате чего могут погасить друг друга. Когерентные же колебания вызывают резонанс, который усиливает мощность излучения.

Благодаря вышеперечисленным свойствам достигается большая концентрация тепловой энергии, высокая скорость лазерной сварки по сравнению с дуговыми способами и незначительное тепловое воздействие на околошовную зону вследствие высоких скоростей нагрева и охлаждения металла существенно повышают сопротивляемость большинства конструкционных материалов образованию горячих и холодных трещин. Это обеспечивает высокое качество сварных соединений из материалов, плохо свариваемых другими способами сварки.

Для лазерной сварки обычно используются следующие типы лазеров:

- твердотельные
- газовые

Сварка с использованием твердотельного лазера: осуществляется таким способом сварка изделий небольшой толщины (чаще всего изделия микроэлектроники). Например: проволока 0,01–0,1 мм.

Сварка с использованием газового лазера: такие установки применяются для сварки изделий толщиной до 35мм. со скоростью порядка 200 м в час.

При лазерной сварке необходимо защищать от взаимодействия с окружающим воздухом поверхность нагретого материала и сварочную ванну. Кроме того, при сварке с использованием мощных лазеров необходимо принимать меры для предотвращения значительного образования плазмы. Основными сварочными газами для сварки с использованием лазера является гелий и смеси гелия с аргоном. Гелий должен являться компонентом смеси, так как он предотвращает образование плазмы. Также в некоторых случаях допустимо использование смесей на основе аргона.

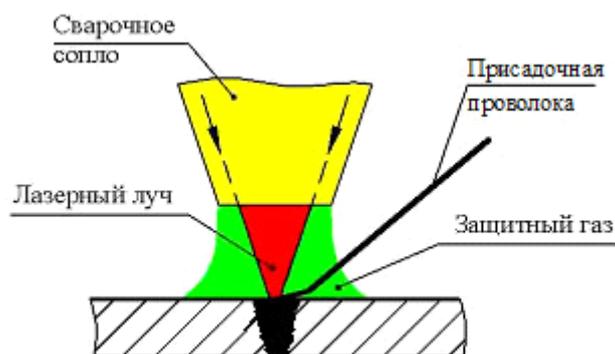
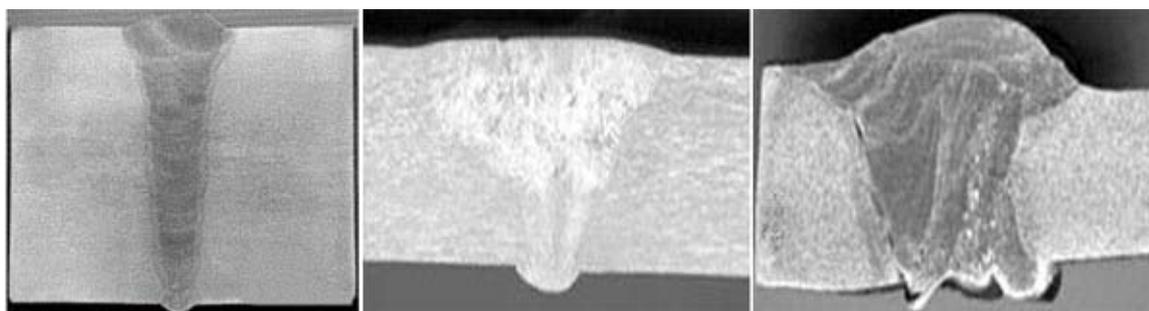


Рисунок 1 – Схема сварки

Таким образом, можно сделать вывод, что лазерная сварка имеет ряд преимуществ перед другими видами сварки:



а

б

в

Рисунок 2 – Зона термического влияния при различных видах сварки:

а – лазерная сварка; б – плазменная сварка;

в – ручная аргодуговая сварка неплавящимся электродом

- Узкая зона термического влияния, за счет большой скорости сварки;
- Прочность лазерного сварного соединения сравнима с прочностью основного металла;
- Низкая деформация сварных изделий или полное её отсутствие;
- Сварные швы с глубоким проплавлением (с отношением глубины проплавления к ширине шва меньше или равно 1);
- Возможность подачи в зону сварки защитного газа и легирующих элементов (проволоки, ленты и т.д.);
- Отсутствие пористости в сварных соединениях.

Недостатками являются:

- высокая сложность оборудования;
- высокая стоимость оборудования.

Лазерная сварка – будущее сварочного производства. Эта сварка может сваривать как металлы, пластмассы, так и человеческие ткани (рассечения тканей и остановки или предупреждения кровотечений при разрезании тканей и сосудов - электрохирургия). Лазерная сварка применяется в случаях, когда традиционные способы не дают необходимого результата или не могут быть применены.

Но на сегодняшний день – сварка мало где распространена из-за высокой стоимости оборудования, размеров оборудования, ремонта. Но мы сейчас живем в мире быстро развивающихся технологий и по этому, возможно, в будущем этот вид сварки будет распространён во всех сферах производства.

Исследование дисперсных параметров порошковых ультрадисперсных материалов на лазерном анализаторе «Mastersizer»

Студентка гр. 104619 Колодинская Н.С.
Научный руководитель Боровик Д.И.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Практическое использование нанотехнологий, являющихся технологиями целенаправленного получения и использования частиц материалов нанометрового размера с заданными структурой и свойствами, представляется перспективным и планируется во многих отраслях хозяйственной деятельности – промышленности, сельском хозяйстве, медицине и др. Поскольку многие физические и химические свойства наночастиц, в отличие от объемных материалов, сильно зависят от их размера, в последние годы проявляется значительный интерес к методам измерения размеров наночастиц. Одним из относительно новых методов исследований в области нанотехнологии является применение лазерных анализаторов гранулометрического состава порошковых материалов.

Лазерные дифракционные анализаторы позволяют решать множество фундаментальных и прикладных задач определения размеров частиц в различных отраслях науки и промышленности. Область применения очень широка: контроль технологических процессов и качества продукции в химической, пищевой, фармацевтической, горнодобывающей промышленности, порошковой металлургии; при производстве абразивов, керамики, цемента, мела и других строительных материалов, пигментов, порошковых красок и т.д., а также при проведении исследований в биологии, медицине, экологии и др. областях науки.

Первыми устройствами, с помощью которых стало возможным наблюдать за нанообъектами, стали сканирующие электронные микроскопы. Для исследования образца под микроскопом требуется менее 1 мг вещества. Такая малая проба не всегда может считаться представительной. В соответствии со статистическими данными число измеряемых частиц должно составлять по крайней мере 300 – 500.

Представительность пробы можно повысить, если увеличить число частиц примерно до 3000, что значительно увеличивает длительность анализа. Кроме того, сканирующий электронный микроскоп требует дополнительной пробоподготовки образцов, которая может внести частичную погрешность при определении размеров частиц. Использование лазерных анализаторов позволяет существенно сократить время анализа, увеличить достоверность измерений за счет большого статистического набора частиц и не требует специальной пробоподготовки.

В связи с этим целью данной работы является исследование дисперсных параметров (размеров частиц и функций распределения частиц по размерам) порошковых ультрадисперсных материалов на лазерном анализаторе «Mastersizer».

Лазерные анализаторы размеров частиц предназначены для измерения дисперсных параметров (размеров частиц и функций распределения частиц по размерам) суспензий, эмульсий и порошкообразных материалов.

В качестве материала исследования был взят следующий порошковый ультрадисперсный материал:

- смесь порошков на основе соединений свинца, титана, железа, никеля с маркировкой «исходный»

Исследование дисперсных параметров (размеров частиц и функций распределения частиц по размерам) проводили на лазерном анализаторе «Mastersizer». Измерение проводилось при постоянной циркуляции водной суспензии исследуемого порошка через измерительную ячейку. Количество повторных измерений для каждого образца составляло 5 циклов. Усред-

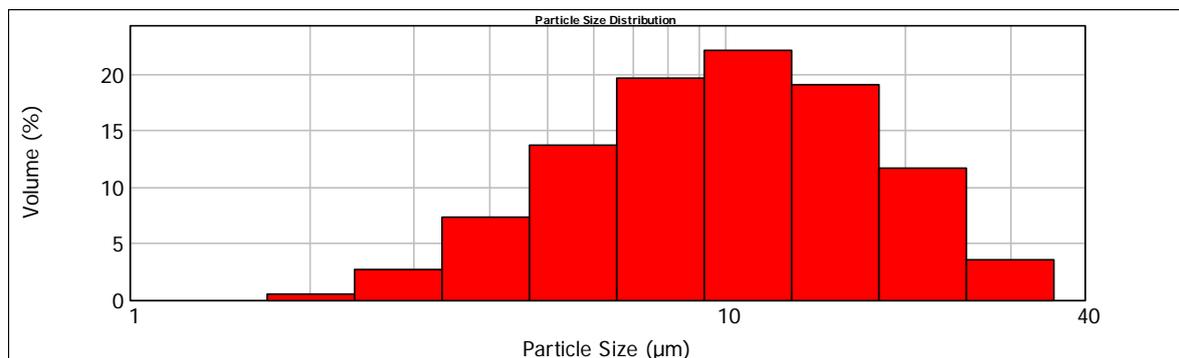
ненные результаты измерений представлялись в виде таблиц и распределения частиц по размерам в виде интегральных кривых (графиков) и дифференциальных гистограмм.

Измерения образцов проводили при различной степени затемнении лазера. Степень затемнения лазера определяется количеством исследуемого образца при анализе (чем выше концентрация, тем больше степень затемнение лазера).

Для контроля получаемых результатов и оценки точности работы лазерного анализатора «Mastersizer» дополнительно проводили съемку образцов на сканирующем (растровом) электронном микроскопе (СЭМ) высокого разрешения «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия).

Как следует из полученных данных при измерении частиц порошка на сканирующем (растровом) электронном микроскопе (СЭМ) высокого разрешения «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия), размер частиц колеблется от 0,2 до 1,2 мкм. Для получения достоверных результатов о гранулометрическом составе необходимо провести съемку исследуемого образца неоднократно и при большом увеличении. Наиболее точную и объективную информацию получаем при исследовании данного образца на лазерном анализаторе «Mastersizer».

Полученные на лазерном анализаторе данные свидетельствуют о том, что с увеличением концентрации образца (увеличение степени затемнения лазера) размеры частиц, которые составляют 10 % от общего количества частиц, уменьшаются с 4,6 мкм до 3,5 мкм. Аналогично и для частиц, которые составляют 50 % от общего количества частиц: их размеры уменьшаются с 10,1 мкм до 8,6 мкм. В то же время при степени затемнения лазера 5,7 % размеры частиц, количество которых составляет 90 % от общего количества, увеличивается с 20,5 мкм до 26,6 мкм. При исследовании гистограмм (рисунок 1) также видно, что наблюдается большой разброс частиц по размерам. Трудно выделить основную фракцию. Можно только с уверенностью утверждать, что примерно 60 % частиц имеют размер от 6,5 мкм до 18 мкм.



Size (µm)	Volume In %
1.700	0.49
2.384	2.74
3.342	7.27
4.686	

Size (µm)	Volume In %
4.686	13.65
6.570	19.65
9.212	22.07
12.916	

Size (µm)	Volume In %
12.916	18.98
18.109	11.68
25.391	3.47
35.600	

Рисунок 1 – Распределение частиц порошка с маркировкой «исходный» по размерам (степень затемнения лазера 1,1 %)

Обоснование выбора защитной среды и расчет режимов сварки шкворневой балки трамвая модели АКСМ84300М

Студент гр. 104819 Кондратенко М.Н.
 Научный руководитель Голубцова Е.С.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Шкворневая балка является важнейшей конструктивной составляющей трамвая АКСМ84300М, которая представлена на рисунке 1.

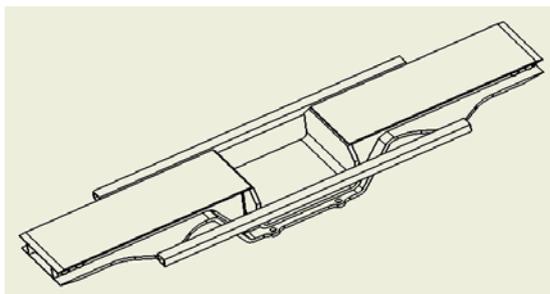


Рисунок 1 – Конструкция шкворневой балки трамвая АКСМ84300М

Шкворневая балка коробчатой конструкции служит для размещения на ней шкворневого устройства, необходимого для соединения кузова с тележкой, и боковых скользунов, на которые кузов опирается. Через шкворневое устройство от тележки на кузов передаются усилия тяги и торможения, а силы трения, возникающие боковых скользунах при вписывании тележки в кривые пути, снижают величину так называемых рамных сил. Для обеспечения данного комплекса требований необходимо в процессе производства обеспечить надёжную сборку и сварку шкворневой балки, что будет гарантировать безотказную и безопасную работу трамвая. Для выполнения поставленных задач необходимо подобрать способ сварки, рассчитать режимы, которые обеспечат необходимый комплекс свойств сварных соединений платформы, что и явилось целью настоящей работы.

Шкворневая балка выполняется из стали 10ХСНД. В настоящее время для сварки шкворневой балки трамвая применяется механизированная сварка в среде углекислого газа. Учитывая современные тенденции в области сварочного производства и преимущества, целесообразно заменить защитную среду (CO_2) на смесь К2 ($Ar + 18\%CO_2$). Схема сварки представлена на рисунок 2.

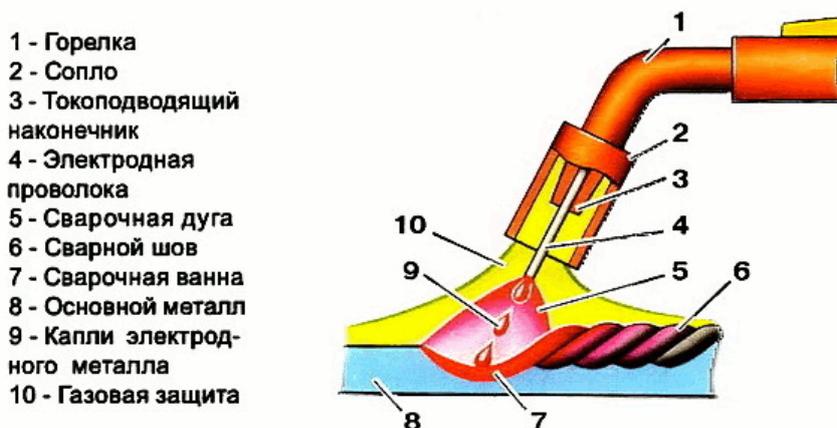


Рисунок 2 – Схема сварки в среде углекислого газа

Сварка в среде защитных газов имеет следующие достоинства: экономичность; обеспечение достаточно высокого качества швов; требуется более низкая квалификация сварщика, по сравнению с ручной дуговой сваркой; позволяет производить сварку в различных пространственных положениях и труднодоступных местах.

Сварка в смеси K2 обладает преимуществами по сравнению со сваркой в CO_2 : обеспечение более стабильного процесса и мелкокапельного переноса металла за счёт уменьшения поверхностного натяжения капель расплавленного металла под действием кислорода, что значительно снижает разбрызгивание и экономит расход сварочной проволоки и улучшает внешний вид и формирование сварного шва; по сравнению с чистым аргонем наличие окислительной среды тормозит образование пор путём уменьшения растворимости водорода в металле сварочной ванны и в результате «кипения» сварочной ванны (интенсивного выделения при высоких температурах из расплавленного металла CO) из неё лучше удаляются азот и водород; улучшение показателей пластичности сварного шва (угол загиба, ударная вязкость), что особенно важно при эксплуатации сварных конструкций в условиях переменных и ударных нагрузок.

Несмотря на то, то смесь K2 дороже чистого CO_2 , при выборе рациональной схемы снабжения предприятия смесью и с учётом затрат на зачистку от брызг основного металла, сварных швов и сопел горелок, т. е. увеличения производительности сварочных работ сварка в смеси $\text{Ar} + \text{CO}_2$ оказывается дешевле сварки в CO_2 .

Расчет параметров режима сварки ведется в зависимости от заданного способа сварки. Основными параметрами режима являются: сила сварочного тока $I_{\text{св}}$, напряжение на дуге $U_{\text{д}}$, скорость подачи сварочной проволоки $v_{\text{п.пр}}$, диаметр электрода или проволоки $d_{\text{э}}$, скорость сварки $v_{\text{св}}$. Первоначально следует задаться диаметром проволоки. Его значение зависит от толщины свариваемого металла и способа сварки. Согласно рекомендациям была выбрана проволока диаметром 1,2 мм. Далее необходимо определить величину сварочного тока, которая, с одной стороны, зависит от требуемой глубины проплавления, с другой - от диаметра электрода. Требуемая глубина проплавления, в свою очередь, зависит от толщины металла и условий сварки. Для стыковых односторонних швов глубина проплавления h равна толщине свариваемого металла, $h = \delta$, для двухсторонних швов $h = 0,5\delta$. Для угловых швов глубину проплавления можно принять $h = 0,6\delta$.

Таким образом, в настоящей работе для механизированной сварки шкворневой балки трамвая была обоснована выбрана защитная смесь K2 ($\text{Ar} + \text{CO}_2$) и рассчитаны сила сварочного тока, диаметр сварочной проволоки, напряжение на дуге, скорость сварки, скорость подачи сварочной проволоки.

УДК 621.791.052:621.791.65

Изучение некоторых технологических особенностей и их оптимизации при сварке плавлением стали 40X на примере тяги трактора Беларусь 1224.4

Студент гр. 104829 Снарский А.А.
Научный руководитель Голубцова Е.С.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Тяги для тракторов Беларусь применяются в различных моделях и имеют множество разновидностей. Они служат для крепления грузов и последующей помощи для их транспортировки. Тяга 1220-4605730 устанавливается в 2-х экземплярах, симметрично на трактор Беларусь 1224.4 и рассчитана на среднюю нагрузку.

Материалом для данной тяги является сталь 40X. Сварку данной конструкционной легированной хромистой стали нужно проводить так, чтобы обеспечивать создание требуемого

уровня механических свойств металла сварного соединения, и предотвращение образования нежелательных структурно-фазовых превращений в зоне термического влияния (ЗТВ).

Сталь 40Х трудносвариваема, флокеночувствительна и имеет склонность к отпускной хрупкости, а также как и среднеуглеродистые стали имеет повышенное содержание углерода, который является причиной образования кристаллизационных трещин при сварке, малопластичных закалочных структур, трещин в зоне термического влияния. Это говорит о том, что получение качественного сварного соединения при участии данного материала потребует дополнительные операции:

- подогрев до 200-300 град. при сварке;
- термообработка после сварки – отжиг.

Так же следует применять отпуск сварных конструкций, который снимает остаточные сварочные напряжения, улучшает структуру и свойства металла шва, снижает твердость закаленных зон сварного соединения и устраняет опасность образования холодных трещин со временем. А для повышения стойкости металла шва против образования кристаллизационных трещин следует понизить количество углерода в металле шва путем применением электродов или сварочной проволоки с пониженным содержанием углерода, а также уменьшением доли участия основного металла в металле шва.

Помимо перечисленных выше особенностей, характерных для стали 40Х, следует отметить еще ряд свойств, считающихся очень важными для всех схожих материалов, используемых в машиностроении, а именно:

- достаточно высокий предел выносливости;
- возможность обработки путем сваривания (после нагрева), под давлением и резанием;
- при термовоздействии обладают стойкостью к короблению и обезуглероживанию.

На Минском тракторном заводе для сварки данной тяги применяют дуговую сварку в углекислом газе сплошной проволокой с помощью Мастер-501 ПОЛУАВТОМАТ в три прохода. В связи с особенностями данной стали требуется применение подогрева при сварке до 200 градусов, а так же последующая термическая обработка. Для доступа ко всем зонам сварки используется специальное сварочное приспособление и контователь. Данный способ сварки не всегда дает нам нужное и стабильное качество сварных соединений, так как присутствует подогрев, термообработка и человеческий фактор, поэтому для улучшения и оптимизации данных параметров, а так же времени и уменьшении экономических затрат оптимально применять РТК.

Для сварки данной тяги отлично подходит Nordica Sterling РТК ДС. Используя данный комплекс, мы можем четко контролировать время и параметры сварки, тем самым подбирать оптимальные значения и избавляться от обязательного применения подогрева с последующей термообработкой. Так же, используя данный РТК, мы оптимизируем экономические параметры и избавляемся от человеческого фактора. Благодаря внедрению данного комплекса мы сможем получать качественные, стабильные сварные соединения с уменьшением экономических затрат и времени на сварку.

УДК 61:620.22-022.532

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез нанокomпозиционных порошков интерметаллид/оксид

Студент гр. 104610 Щербо А.С.
Научные руководители Лецко А.И., Керженцева Л.Ф.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время существует повышенный интерес к проблеме получения нанокристаллических материалов, предназначенных для различных областей техники. Это обуслов-

лено тем, что такие материалы проявляют необычные по сравнению с традиционными материалами физические, химические и механические свойства.

Однако технологии получения объемных полуфабрикатов из наноматериалов, используемые в настоящее время, достаточно сложны и имеют существенные ограничения по размерам изделий. Поэтому по-прежнему актуальной остается задача разработки более экономичных технологий, позволяющих получать крупногабаритные изделия.

Одним из перспективных методов получения порошков является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Специфические преимущества СВС-процесса заключаются в отсутствии или существенном снижении энергозатрат за счет использования экзотермического эффекта реакций, высокой скорости синтеза, простоте специального оборудования.

Благодаря особенностям процесса: высокой температуре, превышающей в большинстве случаев температуру плавления хотя бы одного из реагентов, кратковременностью химических и физических процессов; высокой скоростью внутреннего саморазогрева, протеканием реакций в условиях резкого градиента температур метод позволяет формировать материалы с повышенными свойствами, а в ряде случаев удается синтезировать композиции, получение которых другими известными способами требует больших затрат и/или сложного дорогостоящего оборудования, либо вообще невозможно.

Для получения наноструктур при СВС необходимо обеспечить формирование наноразмерных реакционных ячеек и оптимизировать условия теплопередачи и теплоотвода таким образом, чтобы обеспечить образование мелких первичных зерен продукта по всему объему реакционной среды и подавить процессы рекристаллизации и роста зерен. Это обеспечивается проведением процесса при пониженных температурах в условиях активируемых реакций.

Наиболее эффективным способом, обеспечивающим выполнение указанных выше условий, является метод механоактивируемого самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (МАСВС), представляющий собой двухстадийный процесс. На первом этапе реакционную шихту для синтеза материалов обрабатывают в энергонапряженных мельницах до некоторого критического времени, чтобы сформировать механически активированную смесь.

Такая механически активированная смесь подвергается последующему СВС. Использование в качестве реакционной смеси для СВС механохимически синтезируемых прекурсоров позволяет получить наноструктурный продукт синтеза и сохранить морфологию механоактивированной шихты в синтезированных материалах.

В данной работе в качестве прекурсоров для СВС использовали нанокпозиционные порошки, полученные в результате обработки реакционной шихты в шаровых планетарных мельницах с водяным охлаждением АГО-2 (объем барабана 250 см³, диаметр шаров 5 мм, загрузка шаров 200 г, навеска образца 10 г, скорость вращения барабанов вокруг общей оси ~1000 об/мин, активация проводилась в атмосфере аргона).

После активации шихту прессовали при давлении 4-6 т в прессформе диаметром 17 мм и высотой ~ 25 мм до прочности, достаточной, чтобы перенести образец в реактор. Синтез осуществляли в атмосфере аргона, образец поджигали вольфрамовой спиралью, нагреваемой пропусканием электрического тока.

Исследовали процесс синтеза в следующих системах:

- 1) $\text{Fe} + \text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{FeAl} + \text{Al}_2\text{O}_3$;
- 2) $\text{Fe} + \text{Al} + \text{Cr}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{FeAl}(\text{Cr}) + \text{Al}_2\text{O}_3$

Состав реакционной шихты был взят из расчета на последующее образование интерметаллида FeAl, где Al 40 ат.%, и Al₂O₃.

Ожидаемое содержание оксида алюминия, рассчитанное из уравнений реакции, составляет, соответственно 8 и 5,5 масс.%.

Для двух исследованных систем в продуктах синтеза полностью сохраняется морфология слоев и дисперсоидов механоактивированных нанокомпозитов, несмотря на то, что в процессе СВС протекает реакция образования моноалюминида железа. Дифрактограммы продуктов синтеза (рисунок 1) содержат линии только этого интерметаллида, хотя при реализации классического варианта СВС при рассматриваемом соотношении железа и алюминия формируется смесь фаз, а в нашем случае материал дополнительно разбавлен некоторым количеством оксидов.

Отсутствие отражений Al_2O_3 на дифрактограммах, очевидно, обусловлено их малым размером.

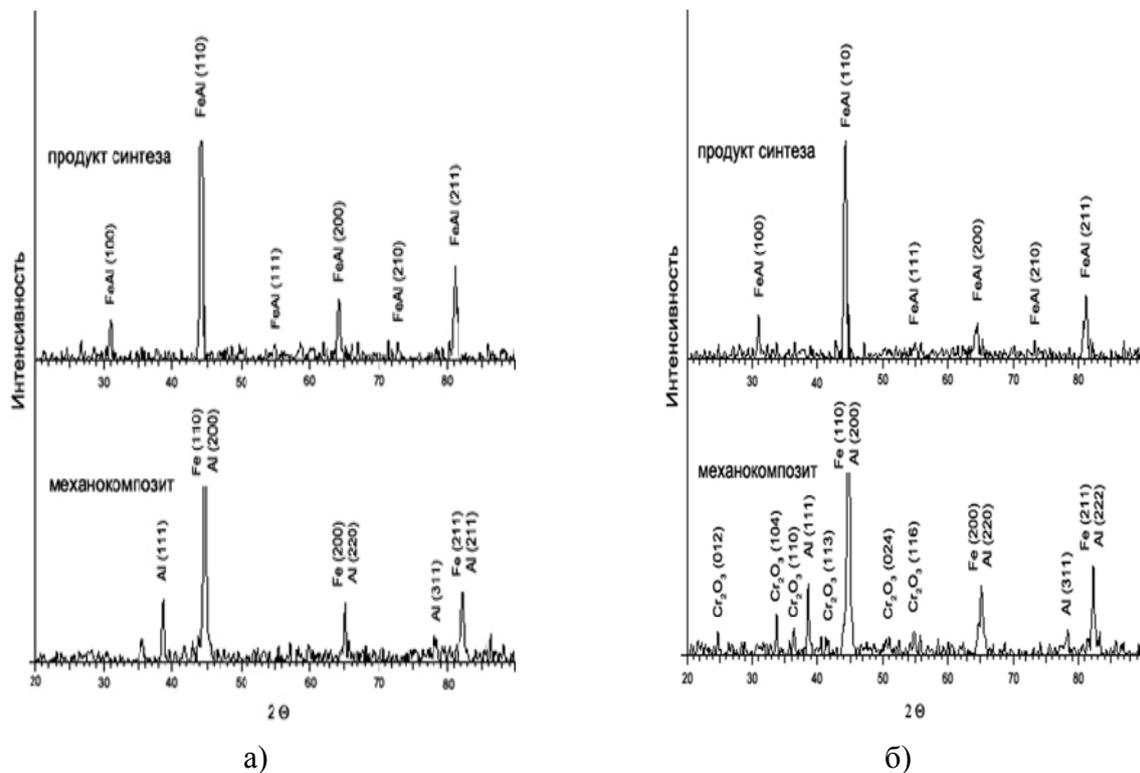


Рисунок 1 – Дифрактограмма продуктов синтеза СВС системы:
а) – $\text{Fe} + \text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3$; б) – $\text{Fe} + \text{Al} + \text{Cr}_2\text{O}_3$

Следует отметить, что рентгенограммы продуктов синтеза для обеих систем очень близки. Самостоятельных рефлексов, характерных для соединений хрома, на рентгенограммах продукта СВС системы $\text{Fe} + \text{Al} + \text{Cr}_2\text{O}_3$ не обнаружено, что может свидетельствовать о растворении хрома в решетке моноалюминида железа в процессе синтеза.

Таким образом, использование в качестве прекурсоров для самораспространяющегося высокотемпературного синтеза механохимически полученных нанокомпозитов, существенно расширяет возможности формирования материалов методом СВС, позволяет синтезировать наноструктурные композиции с заданной структурной морфологией и повышенной межфазной прочностью, а также получать СВС-порошки с уникальными свойствами.

Курсант гр. 115031-13 Голешов И.М.

Научный руководитель Горохов В.А.

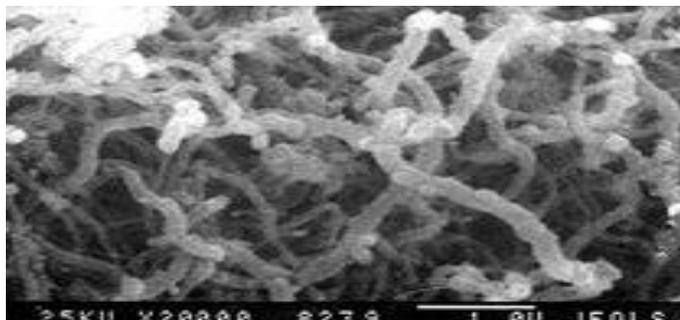
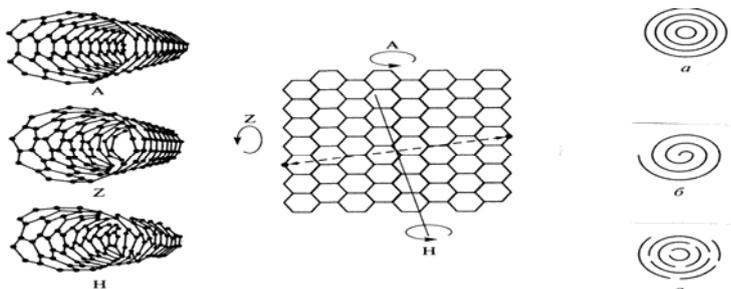
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Рисунок 1 – Нанотрубки увеличенные в 20000 раз

Углерод в природе находится в форме графита и алмаза. Открытие советскими учёными в 1952 году Л.В. Радушкевичем и В.М. Лукьяновичем новой модификации углерода в виде нанотрубок выявило совершенно новые свойства углерода в этом состоянии, в том числе прозрачности, высокой прочности и твёрдости, тепло- и электропроводности, износостойкости, гибкости и упругости.

Под действием механических напряжений, превышающих критические, трубки не «рвутся», не «ломаются», а просто перестраиваются. Нанотрубки при своих наноразмерах (измеряемых нанометрами) имеют прочность в 30-100 раз больше чем у стали и в 6 раз меньшую плотность. Они на 50% легче кевлара.



Нанотрубки классифицируются по способу сворачивания графитовой плоскости на однослойные и многослойные. Этот способ сворачивания определяется линиями, задающими разложение направления сворачивания на вектора трансляции графитовой решётки. По назначению различают на прямые (ахиральные) и спиральные (хиральные). Как представлено на рисунке 1, схемы свёртывания однослойных нанотрубок могут иметь вид гофра (А), зиг-зага (Z) и хиральный (Н). Схемы свёртывания многослойных трубок могут иметь вид «русской матрёшки» (а), свитка (б) и папье-маше (в).

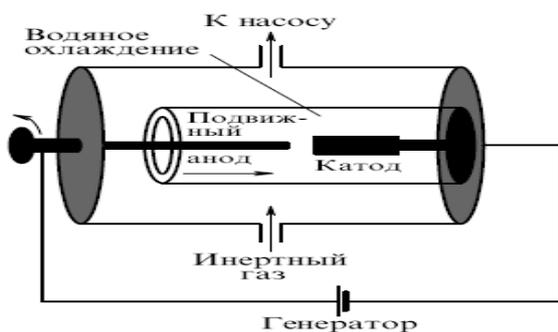


Рисунок 3 – Схема установки для получения нанотрубок в граммовых количествах электродуговым способом

Наиболее широко распространен метод получения нанотрубок, использующий термическое распыление графитового электрода в плазме дугового разряда, горячей в атмосфере гелия. В дуговом разряде между анодом и катодом при напряжении 20–25 В стабилизированном постоянном токе дуги 50–100 А, межэлектродном расстоянии 0,5–2 мм и давлении гелия 13–65 кПа, происходит интенсивное распыление материала анода. Часть продуктов распыления, содержащая графит, сажу, и фуллерены осаждается на охлаждаемых стенках камеры, часть, содержащая графит и многослойные углеродные нанотрубки, осаждается на поверхности катода.

Наиболее важным фактором выхода нанотрубок является давление гелия в реакционной камере, которое в оптимальных условиях составляет 65 кПа, а не 13–20 кПа, как в случае фул-

леренов. Другим не менее важным фактором является ток дуги: максимальный выход нанотрубок наблюдается при минимально возможном токе дуги, необходимым для ее стабильного горения. Эффективное охлаждение стенок камеры и электродов также важно для избежания растрескивания анода и его равномерного испарения, что влияет на содержание нанотрубок в катодном депозите. Использование автоматического устройства поддержания межэлектродного расстояния на фиксированном уровне способствует увеличению стабильности параметров дугового разряда и обогащению материала катодного депозита.

Что касается применения углеродистых нанотрубок с использованием их механических свойств, то на данный момент удаётся получать не только сверхпрочные нити, но и ткань толщиной до 50 нм, плотностью 30 мг/м², удельной прочностью 120–140 МПа / (г/см³, удельным сопротивлением около 500 Ом/см². Так же углеродистые нанотрубки нашли применение и в микроэлектронике (транзисторы, нанопровода, топливные элементы, прозрачные проводящие слои, нанодатчики, дисплеи, светодиоды), нейрокомпьютерные разработки (связь между биологическими нейронами и электронными устройствами), возможно создание генераторов энергии. Усиленные разработки ведутся в области медицины (наноиглы, искусственная мышечная ткань), в военной сфере (бронежилеты, бронекостюмы). Теоретически возможно создание космического лифта, так как небольшая углеродистая нанонить диаметром в 1 мм может выдерживать груз в 20 тонн, что в несколько сотен миллиардов раз больше её собственной массы. Капиллярные свойства позволяют нанотрубкам выступать в роли фильтров, опреснителей воды, ёмкостей для хранения газов, металлов и т.п. Проводятся эксперименты по обволакиванию наноматериалом паутины и многое другое.

Это ещё далеко не границы применения такого уникального материала. На данный момент существуют такие проблемы для использования в широких масштабах как управление хиральностью нанотрубок и создание установок которые способны производить углеродистые нанотрубки в больших количествах. Однако учёные ищут решения для этих проблем.

Охрана труда и промышленная безопасность

Студенты гр. 106210 Булавко А.Н., Можджер К.Р.
Научный руководитель Мордик Е.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Надежность работы атомных станций определяется ее составом оборудования, где ядерный реактор и его безопасность занимают центральную позицию. Безопасность ядерного реактора базируется на определенных требованиях, предъявляемых еще до ввода в постоянную эксплуатацию, а именно:

- обеспечение высокого качества проектирования, изготовления и монтажа оборудования;
- обеспечения технологического и схемного исключений опасных последствий любых единичных нарушений;
- ограничения последствий возможных аварийных ситуаций.

Для последних двух требований предусмотрены четыре категории устройств, обеспечивающих безопасность АЭС:

- устройства нормальной эксплуатации,
- защитные устройства,
- локализирующие устройства,
- систему аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ).

На устройства обеспечения безопасности работы требуется 25–30% общих затрат на сооружение АЭС, причем значительная часть этих затрат связана с отводом так называемого «остаточного тепловыделения», под которым понимается выделение теплоты от остановленного реактора из-за продолжающегося длительного радиоактивного распада продуктов деления урана, которое, даже после 100 суток составляет до 0,5% номинальной мощности.

Аварии на Чернобыльской АЭС, АЭС Фукусима отражают актуальность вопросов, связанных с защитой от радиации, ввиду строительства атомной станции в нашей стране. Защитой от радиации называется любая среда, располагаемая между источником и зоной размещения персонала или оборудования для ослабления потоков ионизирующих излучений. Особое внимание следует уделить техническим средствам защиты:

- защита временем: проведение работ, связанных с облучением, в течение минимального времени (принцип ограничения времени пребывания в зоне действия ионизирующих излучений).
- защита расстоянием: обеспечение во время работ с источниками ионизирующих излучений максимального расстояния от источника до человека (принцип ослабления излучения по мере увеличения расстояния от источника).
- защита экранами: уменьшение интенсивности излучения при помощи экранов (конструктивно-технологический принцип).

Методы защиты от радиации можно разделить на две группы:

- методы коллективной защиты,
- методы индивидуальной защиты.

Методы коллективной защиты включают средства и мероприятия, позволяющие обеспечить снижение уровней воздействия ионизирующих излучений на целые группы лиц из числа персонала и населения. К коллективным средствам защиты от ионизирующих излучений относятся:

- стационарные и передвижные защитные экраны;
- дезактивация;
- вентиляция, очистка, канализация;

- система сбора и удаления радиоактивных отходов;
- дистанционное оборудование;
- защитные боксы;
- пылеподавление.

Способы защиты от радиации следующие:

- использование принципов защиты, применяемых при работе с источниками излучения в закрытом виде;
- герметизация производственного оборудования;
- специальная планировка помещений;
- применение санитарно-гигиенических устройств и оборудования;
- использование средств индивидуальной защиты персонала;
- выполнение правил личной гигиены.

Следует понимать, что соблюдение допустимых пределов радиационного влияния на население, персонал и окружающую природную среду, установленных нормами, правилами и стандартами по безопасности есть соблюдение радиационной безопасности и защиты людей.

УДК 331.443

Воздействие звуковых колебаний с частотой ниже и выше диапазона слышимости на организм человека

Студенты гр. 106110 Рудак М.С.
 Научный руководитель Мордик Е.В.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Инfrasound представляет собой механические колебания упругой среды одинаковой с шумом физической природы.

Инfrasound в производственных условиях чаще всего возникает при работе тихоходных крупногабаритных машин и механизмов.

В настоящее время инфрасound – наименее изученный вредный и опасный фактор загрязнения окружающей среды.

Согласно медицинским исследованиям инфрасoundовые колебания вызывают у человека чувство глубокой подавленности и необъяснимого страха.

Более того, инфрасound средней силы может вызвать слепоту.

Первостепенное значение в борьбе с инфрасoundом имеют методы, снижающие его возникновение и ослабление в источнике, так как методы, использующие звукоизоляцию и звукопоглощение малоэффективны.

Согласно опытам французского профессора Гавро, мощный инфрасound частотой 7 Гц смертелен для организма.

Следует отметить низкую эффективность звукоизоляции и звукопоглощения при защите от инфрасoundа.

Ультрасound – это механические колебания упругой среды, по частоте превышающие верхний порог слышимости.

Длительное воздействие ультразвука на человека вызывает быструю утомляемость, головную боль, раздражение, боль в ушах, бессонницу.

Низкочастотные ультразвуковые колебания распространяются воздушным и контактным путем, высокочастотные – контактным путем.

На производстве для защиты от ультразвука оптимизируют режим труда и отдыха, проводят предварительные и периодические медицинские осмотры работающих.

Малые дозы – уровень звука 80 – 90 дБ – дают стимулирующий эффект-массаж, ускорение обменных процессов, ускоряет регенеративные процессы, улучшает трофику тканей.

Так как ультразвук полностью отражается от тончайших прослоек воздуха, к телу его подводят через безвоздушные контактные среды.

УДК 575.1

Воздействие ультразвука на ДНК человека. Удар по геному

Студентка гр. 113530 Ермачкова А.А.

Научный руководитель Науменко А.М.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Ультразвук, обладая рядом полезных и уникальных свойств, получил широкое применение в различных отраслях деятельности.

На производстве ультразвук применяют для дефектоскопии, при измельчении твердых веществ в жидкостях, для очистки и обезжиривания деталей, гомогенизации молока, резания, сварки металла, дробления, сверления хрупких материалов, ускорения брожения при изготовлении вин. В медицине ультразвуковые волны используют для диагностики и лечения многих заболеваний позвоночника, суставов, периферической нервной системы и т.п.

Воздействие малых доз ультразвука на человеческий организм дает положительный эффект (микромассаж, ускорение обменных процессов), а больших доз – поражающий.

Люди довольно часто обращаются к ультразвуковому исследованию (УЗИ) с целью предупредить болезнь или определить пол ребенка. Данный метод исследования считают абсолютно безвредным, поэтому его широко применяют для диагностики. Широко известно, что животные используют ультразвук как оружие: дельфины глушат им рыбу, кашалоты – кальмаров. А человек, заботясь о своем здоровье, постоянно делает УЗИ своих органов.

История медицинских исследований уже имеет плачевный опыт. Ранее считалось, что рентгеновские лучи безопасны. Потом оказалось, что они могут стать причиной лейкемии и других раковых заболеваний у новорожденных. Поэтому, если сегодня данные о безвредности применения ультразвука сомнительны, есть ли основания подвергать себя необоснованному риску? Ультразвук может негативно воздействовать на генетический аппарат человека и сейчас трудно даже представить себе последствия этого. Такого рода воздействие вызывает не только механические, но и полевые искажения ДНК. Это приводит к тому, что в наследственной программе может происходить сбой: искаженные поля будут формировать поврежденные ткани и из них не сможет развиваться здоровый организм. Ученые пришли к выводу: в результате воздействия ультразвука в наследственной программе может происходить сбой.

Считается, что человек не воспринимает звук используемой частоты, однако дети, находящиеся в утробе матери, бурно реагируют на ультразвуковое обследование, отвечая на него интенсивным движением. При длительном воздействии ультразвук вызывает быструю утомляемость, головную боль, раздражение, боль в ушах, бессонницу, различные профессиональные заболевания. После длительной работы с низкочастотными ультразвуковыми установками могут произойти функциональные изменения центральной и периферической нервной системы, нарушения в работе слухового и вестибулярного аппарата, сердечно-сосудистой системы. Даже люди, работающие на УЗ-аппаратах, отмечают возникновения покалывания в пальцах рук.

Поэтому по поводу УЗИ сейчас нет единой точки зрения: большая часть считает, что это безвредная процедура и ее можно проводить много раз безо всякого ущерба для здоровья. Но при этом последние годы часто появляются и другие мнения: так, в США Национальный институт здоровья не одобрил обязательное УЗИ всех беременных. В Японии ультразвуковое исследование проводится только после серьезного обоснования необходимости

данного исследования. Страны с высоким уровнем медицинского обслуживания все-таки ограничивают использование данного метода. Использование ультразвука должно быть прежде всего разумным.

Изучение и анализ современных исследований и заключений в данной области позволят решить, стоит ли подвергать свой организм необоснованному риску. Нужно очень хорошо подумать, прежде чем идти на ультразвуковое обследование. Да и с диагностикой детей с помощью УЗИ стоит повременить. Ведь не случайно в последнее время рождается много детей с различными отклонениями от нормы. Необходимо с осторожностью работать с ультразвуковыми аппаратами, используя современные методы защиты от их негативных воздействий. Перед тем как провести исследование с применением ультразвуковых волн, стоит подумать, какие последствия могут быть, какие знания это дает и как использовать эту информацию дальше.

УДК 331.45

Входные каналы человек - оператор

Студентка гр. 113510 Гулько Е.Н.
Научный руководитель Журавков Н.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Любая деятельность человека связана с приемом и переработкой информации и организм постоянно получает сигналы из внешней среды, что характерно для всех живых систем. Эта информация не всегда достигает сферы сознания, но она необходима для нормального функционирования организма. Для определения возможностей деятельности человека, функционирующего как канал связи, необходимо знать принципы построения и работы «входных каналов» человека – оператора».

С инженерной точки зрения человек как приемник и передатчик информации довольно несовершенное устройство. Он обладает узким диапазоном восприятия посредством сенсорных систем изменений физического мира, низкой пропускной способностью, которая легко исчерпывается как при приеме, так и при передаче информации. Моторные выходы человека обладают невысоким быстродействием. Его силовые возможности ограничены.

Человек как вычислительная система, напротив превосходит все существующие технические системы по возможностям параллельной обработки информации и способности решать задачи методом логической индукции. Многие свойства и возможности техники человека не реализованы в технических системах по настоящее время (в том числе сознание и интеллект) несмотря на постоянно проводимые в этом направлении исследования.

Человек как управляющее устройство характеризуется очень высокими способностями к адаптации при решении сенсомоторных и других задач, не выходящих за ограничение его памяти, сенсорных и двигательных систем. Входными каналами информации у человека служат органы чувств – системы органов, осуществляющие связь с окружающей средой.

По роду воспринимаемых сигналов различают зрительный, слуховой, тактильный (осязательный) и другие анализаторы. Сигналы воспринимаются живыми датчиками-рецепторами и затем по проводящим путям-нервам попадают в головной мозг человека, где происходит различение поступившего сигнала. Таким образом, источник информации – вне организма, рецептор (воспринимающий элемент) выступает в роли преобразователя сигнала, нерв – канал связи, мозг – получатель информации. Система такого рода называется анализатором. Принцип работы всех анализаторов заключается в перекодировании информации. Различные по своей природе физические агенты (сигналы) преобразуются в рецепторе в биопотенциалы, которые и представляют собой код нервной системы. Функции приема и

переработки информации возложены на нервную систему (центральную – головной и спинной мозг, и периферическую – нервы и рецепторы).

Различают 3 вида элементов нервной системы (нейронов).

- 1) чувствительные (центростремительные), получающие сигналы от рецепторов;
- 2) двигательные (центробежные), генерирующие сигналы для исполнительных органов;
- 3) ассоциативные (связующие).

Чем выше уровень организации живого вещества, тем больше у него ассоциативных нейронов (у человека их 2/3 массы всех нейронов).

Таким образом, любое изменение среды преобразуется в двоичный код биопотенциалов, одинаковых по амплитуде, но разных по частоте. Нейроны имеют 585 тысяч часов надежности. Сигналы внешней среды (звук, свет, давление) перекодируются в биопотенциалы, которые передаются в виде двоичного кода в мозг, где сигналы декодируются в соответствующий образ, т.е. в мозге осуществляется психический процесс – построение предмета или явления.

Рецепторы имеют релейную характеристику срабатывания, т.е. возбуждение есть только в том случае, если сигнал превышает определенный порог.

Рецепторы обладают свойством адаптации, т.е. реагируют не на величину сигнала, а на ее изменение.

Известно, что любое звено в управлении как канал связи характеризуется тремя свойствами:

- полосой пропускания – диапазоном величин сигналов, которые могут быть приняты и переданы;

- разрешающей (различительной) способностью, показывающей дискретность в отношении приема близких по характеристикам сигналов;

- пропускной способностью, или минимальным количеством сигналов, которые могут быть переданы в единицу времени.

Именно последний пункт не превышает пропускной способности ее самого медленного звена, которым часто является человек.

Рассмотренные характеристики и устройства анализаторов позволяют сформировать общие требования к сигналам-раздражителям, адресованные оператору:

1) интенсивность сигналов должна соответствовать средним значениям диапазона чувствительности анализаторов, которая обеспечивает оптимальные условия для приема и переработки информации;

2) различие между сигналами должно обеспечивать превышение оперативного порога различения. Чтобы оператор мог следить за изменением сигналов, сравнивать их между собой по интенсивности длительности и пространственному положению;

3) перепады между сигналами не должны значительно превышать оперативный порог, так как при больших перепадах возникает утомление, следовательно, существуют пороги и зоны, в которых различение сигналов осуществляется с наименьшей точностью;

4) наиболее важные и ответственные сигналы следует располагать в тех зонах сенсорного (чувствующего) поля, которые соответствуют участкам рецепторной поверхности с наибольшей чувствительностью;

5) при конструировании индикаторных устройств необходимо правильно выбрать вид сигнала (в соответствии с возможностями анализатора – зрительного, слухового, тактильного).

Студенты гр. 106510 Юрашевич О.В., Бакунович И.С.
 Научный руководитель Винерский С.Н.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Нами произведена сравнительная оценка условий труда и безопасности работы машинистов котлов в котлотурбинных цехах БелГРЭС и Оршанской ТЭЦ.

Функции машиниста котлов заключаются в контроле за работающим оборудованием по показаниям контрольно-измерительных приборов и приборов автоматики, оценке работоспособности предохранительных клапанов и осмотре оборудования во время регулярных обходов. Зоны обслуживания и баланс оперативного времени при работе машинистов котлов на БелГРЭС и Оршанской ТЭЦ разные, но состояние воздушной среды и другие санитарно-гигиенические факторы в рабочей зоне (шум, температура воздуха и интенсивность теплового облучения) иногда близки друг к другу (таблица 1).

Таблица 1 – Баланс оперативного времени при работе машинистов котлов

Оршанская ТЭЦ		Бел ГРЭС	
Рабочая зона (точки обслуживания)	Процент времени смены	Рабочая зона (точки обслуживания)	Процент времени смены
1. Центральный щит управления	70,0	1. Тепловой щит управления в КТЦ	70,8
2. Мазутный, газовый и питательный узлы котла (отметка 6,6 м)	10,0	2. Площадка обслуживания форсунок котла (отметка 6,75 м)	10,0
3. Нулевая отметка	5,0	3. Нулевая отметка	5,0
4. Отметка обслуживания барабана котла (отметка 18,0 м)	10,0	4. Площадка у барабана котла	5,0
		5. Дымососная площадка	5,0

Загазованность воздуха рабочей зоны дана в таблицах 2 – 4.

Таблица 2 – а) по диоксиду азота (ПДК = 2 мг/м³)

Оршанская ТЭЦ		Бел ГРЭС	
Место замера	Концентрация, мг/м ³	Место замера	Концентрация, мг/м ³
1. Центральный щит управления	1,0	1. Тепловой щит управления	1,15
2. Мазутный, газовый и питательный узлы котла	1,6	2. Площадка обслуживания форсунок котла	1,41
3. Нулевая отметка	0,8	3. Нулевая отметка	0,7
4. Отметка обслуживания барабана котла	4,2	4. Площадка у барабана котла	1,65
		5. Дымососная площадка	3,94

Таблица 3 – б) по ангидриду сернистому (ПДК = 10 мг/м³)

Оршанская ТЭЦ		Бел ГРЭС	
Место замера	Концентрация, мг/м ³	Место замера	Концентрация, мг/м ³
1. Центральный щит управления	0,9	1. Тепловой щит управления	1,05
2. Мазутный, газовый и питательный узлы котла	1,4	2. Площадка обслуживания форсунок котла	1,21
3. Нулевая отметка	0,7	3. Нулевая отметка	0,65
4. Отметка обслуживания барабана котла	1,8	4. Площадка у барабана котла	1,5
		5. Дымососная площадка	1,7

Таблица 4 – в) по оксиду углерода (ПДК = 20 мг/м³)

Оршанская ТЭЦ		Бел ГРЭС	
Место замера	Концентрация, мг/м ³	Место замера	Концентрация, мг/м ³
1. Центральный щит управления	10,0	1. Тепловой щит управления	10,7
2. Мазутный, газовый и питательный узлы котла	15,8	2. Площадка обслуживания форсунок котла	13,9
3. Нулевая отметка	8,6	3. Нулевая отметка	6,8
4. Отметка обслуживания барабана котла	21,2	4. Площадка у барабана котла	16,9
		5. Дымососная площадка	24,5

Анализ состояния воздушной среды в зонах обслуживания показывает, что работа машиниста котлов выполняется во вредных условиях при постоянном присутствии в воздухе рабочей зоны оксидов азота, углерода, сернистого ангидрида, причем цифры, определяющие содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны, близки между собой.

УДК 331.45

Идентификация опасностей. Оценка профессиональных рисков

Студенты гр. 107310 Таугер В.М., Кравченко В.В.
 Научный руководитель Яганова А.А.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Вредные и опасные факторы производственной среды и трудового процесса весьма многообразны и классифицируются по различным критериям. По природе влияния на здоровье человека они подразделяются на физические, химические, биологические, психофизиологические.

Определенную ориентацию в выявлении вредных и опасных факторов производственной среды и трудового процесса дает содержащийся в акте о несчастном случае на производстве (форма Н-1) Классификатор видов происшествий и причин, приведших к несчастным случаям на производстве.

Опасности и связанные с ними риски при выполнении работы обуславливают:

- производственное оборудование;
- материалы и вещества, используемые в производственном процессе;
- технологические особенности производственных процессов;

- состояние производственной среды;
- ненадежные средства защиты работника;
- снижение уровня безопасности средств производства вследствие их износа в процессе эксплуатации.

Опасности на производстве и связанные с ними риски обуславливают также «человеческие» (личностные) факторы: уровень исполнительности работника, степень соблюдения им правил и норм безопасности труда, правил технической эксплуатации производственного оборудования, регламентов технологических процессов и т.п.

Как опасности и связанные с ними риски следует рассматривать:

- не выполняющиеся работниками требования охраны труда;
- опасности, вызвавшие микротравмы;
- «мелкие» нарушения технологии производства работ, поломки и простои оборудования из-за неисправностей, т.е. любые опасные ситуации, которые могли привести к травме или другим нежелательным последствиям, например, игнорирование средств защиты, работа в обход устройств безопасности, чистка, смазка машины во время работы, перегрузка оборудования, курение в пожарных местах и др.

Опасности и риски также обуславливают не только деятельность самой организации, но и так называемые «привнесенные» опасности и риски. Это, прежде всего, опасности и риски, связанные с деятельностью подрядной организации, продукцией и услугами, поставляемыми другими организациями.

Идентификация опасностей и оценка связанных с ними рисков является основой национальных стандартов и является отправной точкой для планирования и осуществления всех видов деятельности, связанных с обеспечением безопасности и гигиены труда на производстве.

Согласно СТБ 18001-2009 «Система управления охраной труда. Требования» профессиональный риск – вероятность повреждения здоровья или утраты трудоспособности либо смерти работающего в результате воздействия вредных и/или опасных производственных факторов. Профессиональный риск или иной риск, связанный с осуществлением трудовой деятельности, оценивается на основании производственной идентификации опасностей.

В свою очередь, под опасностью подразумевается источник потенциального вреда или ситуация с потенциальной возможностью нанесения вреда. Опасность снизить нельзя. Например, никакими мерами нельзя изменить природу радиоактивного или иного вреда для здоровья излучения, вредоносные свойства электрического тока, токсичных либо канцерогенных химических веществ. Работника можно защитить от опасности принятием соответствующих мер, т.е. снизить риск повреждения здоровья от проявления рассматриваемой опасности.

Идентификация опасностей и оценка рисков являются профилактическими мероприятиями и предшествуют введению новых видов деятельности либо изменению порядка проведения работ. Выявление опасных и вредных факторов производственной среды и трудового процесса осуществляется с целью выявления тех из них, которые в условиях данного конкретного рабочего места влияют на условия и безопасность труда и при определенных условиях могут стать причиной повреждения здоровья работника.

Риск – опасность, имеющая количественную характеристику. По ней можно определить значимость этой опасности с точки зрения возможного нанесения ущерба, повреждения здоровья и т.д.

Оценка риска производится по разработанной Методике оценки рисков. Результаты оценки рисков заносятся в Реестр опасностей и рисков на рабочем месте. Составляются также реестры опасностей и рисков по подразделению и реестры предельных рисков в структурных подразделениях и организации с последующей разработкой мероприятий по управлению рисками, их выполнением в установленном порядке.

Организация должна документально оформлять и обновлять результаты идентификации опасностей, оценки рисков и установленных мер управления.

Управление риском означает действия, осуществляемые для выполнения решений в рамках воздействия на риск, которые включают: оценку риска: снижение риска. Управление риском так же может включать мониторинг осуществления мер по снижению риска, переоценивание риска, действия, направленные на обеспечение соответствия риска принятым решениям.

Для снижения риска повреждения здоровья применяются предупредительные и защитные меры.

Предупреждающие меры снижают наступления нежелательного события, но не могут повлиять на тяжесть последствий.

Защитные меры снижают тяжесть последствий нежелательного события, не влияя на вероятность его наступления.

Комплексное использование как предупреждающих, так и защитных мер способствует снижению вероятности и тяжести последствий нежелательного события и поэтому является наиболее эффективным.

УДК 614.84(075.8)

К вопросу противопожарной защиты Национальной библиотеки Республики Беларусь

Студентка гр. 111118 Семенова Е.И.

Научный руководитель Ушакова И.Н.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Процесс противопожарной защиты – это сложный многоступенчатый процесс взаимодействия не только сил МЧС и технических средств противопожарной защиты (ТС ППЗ) с дежурным, оперативным персоналом объекта, но и с инженерными системами жизнеобеспечения объекта, от состояния которых зависит эффективность применения средств пожарной автоматики при ликвидации чрезвычайных ситуаций. Библиотека является уникальным объектом. Для уникального объекта был сформирован набор оригинальных тактико-технических требований, значительно превосходящий общепринятый набор требований пожарных и строительных норм.

Разработаны специализированные шкафы автоматики для уменьшения количества пожарных приборов, снижения ожидаемых затрат и реализации объектно-ориентированных алгоритмов взаимодействия ТС ППЗ.

Для противопожарной защиты применяется универсальный пульт дистанционного управления и специальный информационный щит. На единственном в своем роде мнемотабло, размером 1200 x 4000 применено около 1600 световых индикаторов, которые запрограммированы на индикацию состояний и режимов работы установок, приборов, согласно требованиям норм пожарной безопасности.

Эвакуация людей, попавших в коридорную развилку, запланирована через предусмотренные объемно-планировочные решения: незадымляемые лестничные клетки, сообщающиеся с воздушной зоной в стволе здания. Здесь можно подождать усмирения огненной стихии и запуска системы дымоудаления, экстренной помощи или продолжить самостоятельную эвакуацию.

Попасть в эти лестничные клетки с этажа хранилища можно через тамбур, двери в которых оборудованы устройства для самооткрывания. Они имеют уплотнения в притворах. Дым не может проникнуть в лестничные клетки. Вдобавок к тому, что клетки выходят непосредственно на улицу, они оснащены системой принудительного подпора воздуха. Дополнительно к наружным клеткам запроектирована и незадымляемая лестница в ядре кристалла,

проходящая через весь высотный объем и оборудованная теми же системами противопожарной защиты.

Грузопассажирские лифты (их в библиотеке 19) также имеют уплотненные затворы, принудительный воздушный приток, а при срабатывании пожарной сигнализации автоматически спускаются на 1-й этаж.

Во всем здании в режиме непрерывного функционирования работает централизованное освещение коридоров, над дверями эвакуационных выходов лестничных клеток горят световые таблоориентиры. При наступлении чрезвычайной ситуации включается эвакуационное освещение. Бесперебойность его работы достигается благодаря наличию основного и резервного питания.

Энергоснабжение может осуществляться и от независимых источников – 3 дизельных подстанции. В них, кстати, имеется своя система пожаротушения – порошковая. В случае, если основное питание библиотеки отключится для выработки электроэнергии, на поддержание работоспособности всей инженерной оснастки запускается ряд аварийных дизельных генераторов. Предусмотрено достаточно много автоматизированных устройств-дубликатов.

В систему противопожарной защиты здания библиотеки входят и традиционные пожарные краны, огнетушители, в основном, порошковые и углекислотные. Согласно расчету, они установлены по периметру здания в пожарных шкафах.

Стержнем всей противопожарной защиты библиотеки, является автоматизированная адресная система пожарной сигнализации. Она осуществляет управление и контроль над всей инженерией здания – от приема и обработки сигнала дымового извещателя до запуска-блокировки всех инженерных систем и технологических процессов.

Обработанный сигнал с места возгорания поступает в диспетчерскую на пульт дежурного оператора, круглосуточно координирующего работу пожарной автоматики. Сигнал дублируется на пульт службы пожарной охраны. В связке с пожарной сигнализацией срабатывают другие противопожарные системы: пожаротушения – газового или водяного, дымоудаления, голосовой системы оповещения, контроля управления дверями, блокировки приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования и т.д.

Стекла, которые установлены на библиотеке – противопожарные СПМ-Е1 предназначены для установки в окна, двери, витражи, светопрозрачные перегородки. Стекла противопожарные обеспечивают сохранение целостности (класс Е) и сохранение теплоизолирующей способности (класс I).

Стекла противопожарные представляют собой многослойную конструкцию, состоящую из листов закаленного полированного стекла, промежутки между которыми заполнены прозрачным водосодержащим морозостойким нетекучим гелем сложного состава, преобразующимся при нагревании в термостойкую мелкопористую углекерамическую пену, предотвращающую распространение тепла от пожара к тыльной стороне стекла.

Дополнительно предприняты и так называемые экстенсивные меры противопожарной защиты. Для 23-этажного сооружения приобретена 70-метровая пожарная лестница.

Вся противопожарная защита внедрена на основании нормативных правовых актов ТКП 45-2.02-92, ТКП 45-2.02-142, ТКП 45-3.02-209 и др. При проектировании противопожарной защиты такого уникального здания авторы пересмотрели традиционные методы проектирования высотных зданий и внедрили ряд новых инженерных решений.

Студенты гр. 106330 Анищенко Д.И., Волчкевич Е.А.
Научный руководитель Филянович Л.П.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Монтаж и эксплуатация электрических сетей и электрооборудования, используемых на строительных площадках, в строящихся и временных зданиях и сооружениях должны отвечать требованиям ПУЭ, строительных норм и правил.

Назначенные лица, ответственные за противопожарное состояние электросетей и электрооборудования обязаны: следить за правильностью выбора, применения, прокладки и установки электросетей, двигателей, светильников и другого электрооборудования в зависимости от класса пожаро- и взрывоопасных зон по ПУЭ и условий окружающей среды; систематически контролировать исправность электрооборудования с целью предупреждения возникновения в нем аварийных режимов работы (короткого замыкания, перегрузки, больших переходных сопротивлений и других аварийных режимов) в соответствии с паспортными и другими данными на них; проводить плановые и профилактические осмотры электросетей и электрооборудования, осуществлять проверку наличия и исправности аппаратов защиты и немедленно принимать необходимые меры к устранению недостатков; не допускать к монтажу, ремонту и обслуживанию электросетей и электрооборудования лиц, не имеющих соответствующей квалификации и группы допуска.

Все электросети и электрооборудование должны иметь исправные аппараты защиты от аварийных режимов работы (короткого замыкания, перенапряжения, перегрузки). Характеристики аппаратов защиты должны соответствовать режимам эксплуатации электросетей и электрооборудования. В качестве нулевых защитных проводников должны использоваться только специально предназначенные для этого проводники.

Магистральи заземления должны быть присоединены к заземлителям не менее чем в двух разных местах и, по возможности, с противоположных сторон. Не допускается в качестве заземления использовать трубопроводы с горючими и взрывоопасными жидкостями и газами и др. Переносные светильники должны применяться только при наличии исправных защитных стеклянных колпаков и металлических сеток.

Для этих светильников и другого переносного (передвижного) электрооборудования следует применять гибкие кабели с медными жилами в резиновой изоляции, стойкой к воздействию окружающей среды. Подключение переносных светильников следует предусматривать от ответвительных коробок со штепсельными розетками. К монтажу и эксплуатации допускается электрооборудование, которое по своему типу и исполнению соответствует классу зоны по ПУЭ, а также характеристике окружающей среды. Не допускается эксплуатировать в пожароопасных и взрывоопасных зонах электрооборудование, изготовленное неспециализированными организациями.

Монтаж, ремонт и замену электрооборудования во взрывозащищенном и закрытом исполнении необходимо производить только при снятом напряжении. Вводы кабелей и проводов во взрывозащищенное электрооборудование должны выполняться с уплотнениями, предусмотренными его конструкцией, и периодически проверяться на герметичность. В складских помещениях с пожароопасными зонами не допускается использование устройств с разъемными контактными соединениями.

Расстояние от светильников до горючих материалов должно быть не менее 0,5 м, а от светильников до строительных конструкций классов пожарной опасности К2 – К3 – не менее 0,2 м. Во временных зданиях и сооружениях не допускается применение светильников открытого исполнения. Распределительные электрощиты и пускорегулирующие аппараты пе-

риодически осматриваются и очищены от горючей пыли или отложений. Периодичность очистки должна устанавливаться в инструкциях о мерах пожарной безопасности. Доступ к электрощитам, электродвигателям и другому электрооборудованию должен быть свободным.

Неисправные электросети и электрооборудование необходимо немедленно отключать до устранения неисправностей и приведения их в пожаробезопасное состояние. Соединение и ответвление жил проводов и кабелей следует выполнять с помощью опрессовки, сварки, пайки или специальных зажимов. Периодически (согласно технологическому регламенту и нормативным требованиям) специализированной организацией должен производиться замер сопротивления изоляции проводов и кабелей.

Осветительные прожекторы на территории строительной площадки не допускается устанавливать на кровлях, выполненных из материалов групп горючести Г3 – Г4 и ограждающих конструкциях классов пожарной опасности К2 – К3. Не допускается прокладывать электропровода и кабели (за исключением прокладываемых в стальных трубах) непосредственно по металлическим панелям с применением теплоизоляционных материалов групп горючести Г3 – Г4, а также устанавливать электрощиты и подобное электрооборудование ближе 1 м от указанных конструкций.

Прокладка электрических сетей через ограждающие конструкции должна выполняться в металлических гильзах с уплотнением негорючими материалами. Тросы для подвески к ним проводов, кабелей или их пучков при воздушной прокладке должны быть надежно закреплены.

При эксплуатации электроустановок не допускается:

- использовать кабели и провода с поврежденной или потерявшей защитные свойства изоляцией; применять для отопления, сушки и приготовления пищи нагревательные электроприборы не заводского изготовления;

- оставлять без присмотра находящееся под напряжением электрооборудование, в том числе бытовые электроприборы, а также оголенные концы электрических проводов и кабелей; допускать соприкосновение электрических проводов с металлическими конструкциями и инженерными коммуникациями;

- прокладывать воздушные линии электропередачи и наружные электропроводки над(по) кровлям с применением материалов групп горючести Г3 – Г4, навесами, штабелями лесоматериалов, складами для хранения горючих материалов; транзитная прокладка электрических проводов и кабелей через складские помещения, в которых хранятся горючие материалы; применять стационарные светильники в качестве ручных переносных ламп;

- пользоваться поврежденными (неисправными) розетками, выключателями, ответвительными коробками, рубильниками и другими электроустановочными изделиями; завязывать и скручивать электропровода в кабели; подвешивать светильники непосредственно на электрических проводах; оклеивать и окрашивать электропровода и кабели;

- использовать электроустановочные изделия (розетки, рубильники и другие виды изделий) для подвешивания одежды и других предметов; обертывать электрические лампы бумагой, тканью и другими горючими материалами;

- применять в качестве электрической защиты некалиброванные предохранители, предохранители, не соответствующие номинальному току, а также не промышленного (не заводского) изготовления; прокладывать электропровода и кабели внутри ограждающих конструкций классов пожарной опасности К2 – К3, под отделочными материалами групп горючести Г3 – Г4 без дополнительной их защиты согласно ПУЭ;

- заменять либо отключать предусмотренные предприятием-изготовителем либо проектной документацией аппараты защиты (автоматические выключатели, заземляющие проводники, предохранители и другие средства защиты) электрооборудования другими видами защиты или аппаратами защиты с другими номинальными параметрами, не соответствующими для данного оборудования; подключать электрооборудование сверх расчетных пара-

метров электросети; эксплуатировать открытые распределительные электрощиты и пускорегулирующие аппараты; хранить в(на) электрощитах горючие материалы.

По окончании работ все электрические сети, электрооборудование и другие электропотребителистроек, в том числе временных зданий и сооружений (за исключением жилых зданий и сооружений, эксплуатируемых при вахтенном методе строительства и прожекторов, используемых для освещения стройплощадки в нерабочее время), должны обесточиваться. Отключение электроэнергии должно быть централизованным.

УДК 331.45

Меры безопасности, применяемые при проведении строительномонтажных работ методами промышленного альпинизма

Студент гр. 112220 Вишневский М.Ч.
Научный руководитель Батыновская И.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Промышленный альпинизм - технология выполнения высотных работ с использованием альпинистских методов передвижения и страховки. Промышленный альпинизм часто применяется в следующих видах строительноремонтных работ: ремонт фасадов, ремонт кровли, очистка кровли от снега и льда, антикоррозийная обработка металлоконструкций, герметизация межпанельных швов панельных зданий.

Использование методов промышленного альпинизма при строительномонтажных работах имеет свои преимущества: отсутствует необходимость монтажа строительных лесов и использования подъемников; возможность работать в стесненных условиях и труднодоступных местах; в случае работы на очень большой высоте или над водой — промышленный альпинизм является единственным возможным вариантом для проведения покрасочных и реставрационных работ. Однако промышленный альпинизм имеет и ряд недостатков: высокая опасность; высокая физическая и психическая нагрузка на работников; требует от работника соответствующей физической подготовки.

Требования по охране труда при выполнении строительномонтажных и других работ с использованием методов промышленного альпинизма установлены Межотраслевыми правилами по охране труда при выполнении работ с использованием методов промышленного альпинизма, утвержденные постановлением Минтруда и соцзащиты от 27.12.2007, № 184.

Для организации безопасного проведения работ с использованием методов промышленного альпинизма приказом руководителя организации назначаются лица, ответственные за безопасное производство работ с использованием методов промышленного альпинизма, из числа руководителей и специалистов, прошедших медосмотр, обучение специальной технологии выполнения работ с использованием методов промышленного альпинизма либо профессии промышленный альпинист, проверку знаний.

Работы с использованием методов промышленного альпинизма должны выполняться группой (бригадой) исполнителей работ, численностью не менее двух человек, один из которых — наиболее опытный (бригадир) назначается приказом (распоряжением) ответственным исполнителем работ. Требования безопасности к организации производства строительномонтажных, ремонтностроительных и других работ устанавливаются в текстовой части проектов производства работ, технологических карт.

Работы с использованием методов промышленного альпинизма проводятся по нарядудопуску. К нарядудопуску могут при необходимости прилагаться эскизы защитных устройств и приспособлений, установки знаков и плакатов безопасности и тому подобное.

К выполнению работ с использованием методов промышленного альпинизма допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр, подготовку по профессии

промышленный альпинист либо обученные безопасным приемам работ с использованием методов промышленного альпинизма, имеющие соответствующие профессии (должности) по видам выполняемых работ, прошедшие инструктаж, стажировку и проверку знаний по вопросам охраны труда.

Перед допуском исполнителей работ к выполнению работ на объекте лицо, ответственное за безопасное производство работ с использованием методов промышленного альпинизма проверяет:

- выполнение мероприятий по обеспечению безопасности труда, предусмотренных проектом производства работ, технологической картой, нарядом-допуском. Проверка проводится совместно с ответственным исполнителем работ;

- у исполнителей работ наличие документов, подтверждающих их квалификацию, прохождение медицинского осмотра, проверку знаний по охране труда;

- комплектность, техническое состояние и исправность специальной оснастки и страховочных средств, средств индивидуальной защиты, которые будут применяться в зависимости от вида и условий выполнения предстоящей работы. На объекте должен быть аварийный комплект специальной оснастки и страховочных средств;

- наличие на объекте средств связи, пожаротушения (при необходимости), их комплектность и исправность, аптек первой медицинской помощи.

Также лицо, ответственное за безопасное производство работ с использованием методов промышленного альпинизма определяет с участием ответственного исполнителя работ на объекте точки крепления страховочных и несущих веревок (канатов).

Перед началом работы на объекте лицо, ответственное за безопасное производство работ выполняет следующие действия: знакомит исполнителей работ с проектом производства работ, технологической картой под роспись; проводит с исполнителями работ целевой инструктаж; определяет вид связи между работающими (голосом, знаками, по радио); назначает (при необходимости) сигнальщиков (наблюдателей) и определяет их местонахождение на объекте; расставляет в местах крепления веревок (канатов) (при отсутствии ограждения опасной зоны) сигнальщиков (наблюдателей).

Ответственный исполнитель работ совместно с работниками, выполняющими работы проверяет комплектность и исправность специального снаряжения; осматривает точки крепления основных и вспомогательных веревок (канатов), организует их защиту от перетирания и (или) защемления; проверяет и при отсутствии обеспечивает ограждение опасной зоны; проверяет наличие, исправность аварийного комплекта специального снаряжения; проверяет прочность закрепления инструмента, проводов, кабелей и других приспособлений; проверяет у всех исполнителей работ наличие индивидуальных средств защиты, их исправность и соответствие виду предстоящей работы.

При проведении работ должны быть установлены границы опасных зон. Границы зон постоянно действующих опасных производственных факторов должны иметь защитные ограждения, границы зон потенциально действующих опасных производственных факторов - сигнальные ограждения, знаки безопасности и предупредительную надпись: «Опасная зона! Вход запрещен». Пребывание посторонних лиц в этой зоне не допускается.

При организации страховки должны соблюдаться следующие требования: количество петель для страховки, карабинов, перил на площадке, откуда производится спуск или подъем, должно быть достаточным для всех одновременно работающих на этом участке исполнителей работ; для организации пунктов страховки и само страховки используются петли из отрезков основной веревки; точки для страховки должны быть выбраны с учетом направления предполагаемого рывка; обеспечение страховки материалов, оборудования, инструмента от возможного падения.

При нахождении и перемещении исполнителя работ на высоте не должно быть момента, когда бы он оставался без страховки или само страховки. При транспортировке грузов с применением специальной оснастки запрещается нахождение людей под под-

нимаемым грузом. Количество поднимаемого груза и его суммарная масса должны соответствовать техническим характеристикам используемой специальной оснастки. Для транспортировки грузов должны использоваться вспомогательные веревки (канаты), имеющие отличительную маркировку.

Работы с использованием методов промышленного альпинизма запрещается производить (должны быть прекращены, если они были начаты ранее) при недостаточном освещении рабочего места (фронта работы), при грозе, дожде, снегопаде, скорости ветра 10 м/с и более.

УДК 628.517

Нестандартное решение защиты от шума

Студенты гр. 112150 Половинко А.С., Новик А.Н.
Научный руководитель Вершеня Е.Г.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

То, что шум вреден для здоровья, ни для кого не новость и давно научно доказано. Недаром вдоль автострад и железнодорожных путей за немалые деньги принято возводить шумозащитные экраны с тем, чтобы обеспечить мало-мальски сносное существование окрестным жителям. Но это – сооружения стационарные.

А как быть с временными источниками шума стройплощадок? Здесь ситуация до самого недавнего времени представлялась практически безвыходной. Немецкий ученый Шев-Рам Мехра (Schew-Ram Mehra), профессор Института строительной физики при Штутгартском университете, предложил огораживать временные источники шума особыми надувными экранами. На эту мысль ученого навела его узкая специализация – акустика жилых зданий.

Работая в области звукоизоляции жилых помещений, профессор Мехра не раз сталкивался с неразрешимой проблемой – грохотом, доносившимся с ближайшей стройки. Проблемой тем более насущной, так как стройплощадки часто возникают посреди жилого квартала и потом месяцами, если не годами, отравляют жизнь всей округе.

Идея ученого, по сути дела, сводилась к тому, чтобы использовать огромные надувные матрасы, монтаж и демонтаж которых не составлял бы особого труда и не занимал бы много времени.

Матрац состоит из прямоугольных надувных камер и удерживается в вертикальном положении прочными веревками, привязанными к деревьям. Натурные испытания на ближайшей стройплощадке показали, что такой матрац снижает уровень шума более чем на 20 децибел – при том, что для традиционных массивных экранов из бетона, металла или древесины этот показатель составляет от 12 до 14 децибел.

Компания «Сено-Тес» из Гревена в Вестфалии, производящая тканые материалы специального назначения, продает теперь штутгартские надувные матрасы под лозунгом «Легкое решение против временного шума».

Новейшие разработки по обеспечению пожарной безопасности на строительных площадках

Студенты гр. 112150 Жоль О.Т., Астафьев А.А.
Научный руководитель Вершения Е.Г.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

При современных объемах и темпах строительства все актуальнее становится тема обеспечения пожарной безопасности на объектах капитального строительства, поскольку они, представляют наибольшую угрозу в плане возникновения пожара и воздействия опасных факторов пожара на людей, уничтожению материальных ценностей, так как на территории строительной площадки сосредоточена наибольшая пожарная нагрузка – бытовые вагончики строителей, горючие строительные материалы и отходы строительного производства, оборудование и др.

В нашей работе мы хотим уделить внимание автоматическим системам пожаротушения. Что они из себя представляют? Все пожарное оборудование необходимо для тушения и локализации очагов пожара, а также сохранения жизни людей и имущества. Самым отработанным и надежным способом решения данных задач являются системы, приводящиеся в действие специальной автоматикой по точным показателям и обеспечивающие оперативное тушение пожара без участия человека, в отличие от систем ручного тушения и систем, запускаемых в действие и контролируемых оператором.

В Беларуси на республиканском конкурсе инновационных проектов была представлена работа, касающаяся усовершенствования автоматических систем пожаротушения. Идеей инновационного проекта является проектирование, производство и продажа многосекционных узлов управления к установкам автоматического пожаротушения, повышающей современный мировой научно-технический уровень их проектирования и производства.

Повышение эффективности и экономичности систем автоматического пожаротушения достигается путем технико-экономических усовершенствований, обеспечивающих 100 % надежность работоспособности узлов установки автоматического пожаротушения, превышение над зарубежными технологиями по эффективности и экономичности для всех видов систем автоматического пожаротушения, увеличение нормативной площади пожаротушения, сопровождающееся сокращением площади станций пожаротушения, материалоемкости (металлоемкости) монтажных и эксплуатационных трудозатрат.

Применение многосекционных узлов управления к установкам автоматического пожаротушения повышает их экономичность за счет уменьшения металлоемкости пускового сигнального клапана, магистральных и тупиковых трубопроводов (не менее 200 %), сокращает площади под станции пожаротушения (не менее 50 %), уменьшает трудозатраты по монтажу и техническому обслуживанию систем автоматического пожаротушения. Делает систему более надежной, долговечной, быстро действующей за счет применения инновационных изделий, повышающих скорость работы и устраняющих гидроудары в системах автоматического пожаротушения.

Многосекционный узел управления к установке автоматического пожаротушения содержит многосекционный клапан сигнальный (спринклерно-дренчерный) пусковой, выполняющий новый вид автоматического пожаротушения – и спринклерный, и дренчерный от одного узла управления, а также клапан предохранительный системный, исключающий гидроудары и ложные срабатывания, клапан воздушно-вакуумный пусковой (КВВзП), делающий систему автоматического пожаротушения безинерционной, помехозащищенной.

Особенности опасного и вредного воздействия инфразвука на современном этапе развития общества

Студент гр. 113530 Логвиненко А.М.
Научный руководитель Науменко А.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Развитие техники и транспортных средств, совершенствование технологических процессов и оборудования сопровождаются увеличением мощности и габаритов машин, что обуславливает тенденцию появления инфразвука, который является не полностью изученным фактором производственной среды.

Инфразвук представляет собой механические колебания упругой среды, распространяющиеся с частотами менее 20 Гц. Этот частотный диапазон лежит ниже порога слышимости и человеческое ухо не способно воспринимать колебания указанных частот.

Большая длина волны позволяет инфразвуку распространяться в атмосфере на значительные расстояния.

Инфразвук возникает при землетрясениях, ударах молний, при сильном ветре во время бурь и ураганов. Низкочастотные звуковые колебания являются причиной появления над океаном быстро возникающего и также быстро исчезающего густого тумана. Феномен Бермудского треугольника объясняют инфразвуком. Большинство мелодий рок-музыки основаны на влиянии инфразвука на человека.

В производственных условиях инфразвук образуется главным образом при работе тихоходных и крупногабаритных машин и механизмов, совершающих вращательное или возвратно-поступательное движения с повторением цикла менее 20 раз в секунду. Существуют приборы, называемые инфразвуковыми аппаратами, которые применяются для работы в жидких средах.

Для организации защиты от инфразвука необходимо использовать комплексный подход, включающий конструктивные решения, организационные, медицинские меры профилактики и средства индивидуальной защиты.

К основным мероприятиям по борьбе с инфразвуком относятся:

- для снижения инфразвука аэродинамического происхождения – осуществление ограничения скоростей движения транспорта, скоростей истечения жидкостей;
- снижение инфразвука в источнике возникновения: повышение быстроходности машин; устранение низкочастотных колебаний; повышение жесткости конструкций больших размеров; введение в технологические цепочки специальных демпфирующих устройств, перераспределяющих спектральный состав колебаний в область более высоких частот; изоляция объектов, являющихся источниками инфразвука;
- использование кабин наблюдения с дистанционным управлением технологическим процессом;
- применение глушителей инфразвука с механическим преобразованием частоты волны – интерференционного типа;
- использование средств индивидуальной защиты от инфразвука;
- введение 20-минутных перерывов через каждые 2 часа работы.

Особенности инфразвука в том, что из-за малой частоты и большой длины волны его волны могут распространяться на значительные расстояния по всему технологическому объему без значительной потери энергии.

Применение инфразвука обусловлено высокой проникающей способностью. В частности такие воздействия на среду больших объемов ускоряют электрохимическую и окислительно-восстановительную реакции (повышают интенсивность процессов в 2 – 4 раза). Такое

применение инфразвука позволяет уменьшить металлоемкость и энергоемкость аппаратов. Еще одно применение инфразвука – это обработка жидкостей прямо при транспортировании ее в трубопроводах.

В инфразвуковых аппаратах реализованы такие физические эффекты как кавитация. Так же есть дегазация жидкости, образование множества газовых пузырьков под действие инфразвука, сдвиг фаз колебаний между взвешенными частицами и самой жидкостью.

Инфразвук используется для исследования океанического дна.

Инфразвуковые шумы воспринимаются человеком, главным образом, как физическая нагрузка: возникает утомление, головная боль, головокружение. Инфразвук с уровнем звукового давления свыше 150 дБ совершенно непереносим человеком; при 180 – 190 дБ наступает смерть. Совпадение частот приводит к возникновению резонанса, что может сопровождаться сильнейшими болевыми ощущениями.

Специфическое воздействие инфразвука на человека стало основанием для создания инфразвукового оружия. Один из вариантов – это сооружение мобильных инфразвуковых «прожекторов», которые будут создавать в атмосфере акустические волны. Воздействие мощных инфразвуковых излучений может приводить к летальным исходам.

Особенности работы направлены на актуализацию знаний об особенностях инфразвука и поиск способов защиты от его опасного и вредного воздействия.

УДК 658.345

Особенности регулирования труда молодежи

Студент гр. 113510 Фенчук Д.А.

Научный руководитель Яганова А.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Охрана труда молодежи требует должного внимания со стороны законодателей. Глава 20 Трудового кодекса Республики Беларусь регламентирует труд лиц, не достигших 18 лет, согласно которой не допускается заключение трудового договора с лицами моложе шестнадцати лет.

С письменного согласия одного из родителей (усыновителей, попечителей) трудовой договор может быть заключен с лицом, достигшим четырнадцати лет, для выполнения легкой работы, которая:

- 1) не является вредной для его здоровья и развития;
- 2) не наносит ущерба посещаемости общеобразовательного учреждения и учреждения, обеспечивающего получение профессионально-технического образования.

Перечень легких видов работ, которые могут выполнять лица в возрасте от четырнадцати до шестнадцати лет, утвержден постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь.

Несовершеннолетние (лица, не достигшие восемнадцати лет) в трудовых правоотношениях приравниваются в правах к совершеннолетним, а в области охраны труда, рабочего времени, отпусков и некоторых других условий труда пользуются льготами, установленными законодательством, коллективными договорами, соглашениями. Несовершеннолетним работникам не устанавливается испытание при приеме на работу, с ними не заключаются договора о полной материальной ответственности, ежегодный отпуск предоставляется до истечения шести месяцев непрерывной работы в летнее время или, по их желанию, в любое другое время года продолжительностью не менее одного календарного месяца.

Лица моложе восемнадцати лет принимаются на работу лишь после предварительного медицинского осмотра и в дальнейшем, до достижения восемнадцати лет, ежегодно подле-

жат обязательному медицинскому осмотру. Обязательные медицинские осмотры несовершеннолетних работников проводятся в рабочее время с сохранением среднего заработка.

Запрещается применение труда лиц моложе восемнадцати лет на тяжелых работах и на работах с вредными и(или) опасными условиями труда, на подземных и горных работах.

Список работ, на которых запрещается применение труда лиц моложе восемнадцати лет, утвержден постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь. При прохождении производственной практики (производственного обучения) лица, не достигшие 18-летнего возраста, обучающиеся в общеобразовательных, профессионально-технических и средних специальных учебных заведениях, могут находиться на работах, предусмотренных в Списке, не более 4 часов в день.

Запрещаются подъем и перемещение несовершеннолетними тяжестей вручную, превышающих установленные для них предельные нормы.

Запрещается привлекать работников моложе восемнадцати лет к ночным и сверхурочным работам, работам в государственные праздники и праздничные дни, работам в выходные дни.

Особая забота проявляется государством о трудоустройстве лиц, указанной категории. Местными исполнительными и распорядительными органами организациям устанавливается броня приема на работу и профессиональное обучение на производстве для лиц, впервые ищущих работу, в возрасте до 21 года, лиц из числа детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей.

ТК РБ гарантируется предоставление первого рабочего места:

- выпускникам государственных учреждений, обеспечивающих получение профессионально-технического, среднего специального и высшего образования в дневной форме получения образования за счет средств республиканского и(или) местного бюджетов;
- лицам с особенностями психофизического развития, освоившим учебные программы в общеобразовательных учреждениях общего типа;
- лицам с особенностями психофизического развития, освоившим учебные программы в общеобразовательных учреждениях общего типа;
- лицам с особенностями психофизического развития, освоившим специальные учебные программы;
- военнослужащим срочной военной службы, уволенным из Вооруженных Сил, других войск и воинских формирований Республики Беларусь.

Выпускники государственных учреждений образования, обучающихся за счет средств республиканского и(или) местного бюджетов по дневной форме обучения, обеспечиваются работой по специальности, полученной в учебном заведении. Данное право обеспечивается возложением на учреждения образования обязанности распределять выпускников, окончивших эти учреждения, на работу. О направлении на работу выпускнику выдается свидетельство, которое является основанием, согласно которому наниматель обязан принять на работу прибывшего выпускника.

Законодательством о труде предусмотрены дополнительные гарантии работника моложе 18 лет при расторжении трудового договора по инициативе нанимателя. Согласно статье 283 ТК РБ расторжение трудового договора с ними по основаниям, предусмотренным пунктами 1, 2, 3 и 6 статьи 42 ТК РБ, допускается помимо соблюдения общего порядка, только с согласия, а по основаниям, предусмотренным пунктами 4, 5, 7 – 9 статьи 42 и пунктами 1 – 3 статьи 444 ТК РБ – после предварительного, не менее чем за две недели, уведомления районной (городской) комиссии по делам несовершеннолетних.

Охрана атмосферного воздуха, водных ресурсов и порядок обращения с отходами на Белорусском металлургическом заводе

Студент гр. 106510 Шевчук И.В.
Научный руководитель Винерский С.Н.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Потенциально опасное воздействие работающего Белорусского металлургического завода на окружающую среду оказывают выбросы загрязняющих веществ в воздух рабочей зоны и атмосферный воздух, сброс загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты, загрязнение подземных вод, поступление нефтепродуктов, опасных и загрязняющих веществ в почву, сверхнормативное образование отходов.

Поэтому на БМЗ существует система мониторинга, измерений и контроля всей производственно-хозяйственной, в том числе и природоохранной, деятельности предприятия.

Мониторинг источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (их на территории холдинга «БМК» - 678) показывает, что на БМЗ образуются следующие основные вещества, выбрасываемые в атмосферу: оксид углерода, азота диоксид, серы диоксид, углеводороды, летучие органические соединения, твердые вещества (пыль неорганическая, MnO, CaO, Fe₂O₃, Al₂O₃, пыль древесная, соединения кремния, стеарат натрия и др.).

Анализируя показатели выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, следует отметить, что валовый выброс их в атмосферу в 2013 г. уменьшился по сравнению с 2012 г. на 13,3 %, что обусловлено прежде всего уменьшением времени работы технологического оборудования.

Забор воды для технических нужд осуществляется из реки Днепр и составляет 0,12 % речного стока. Для рационального использования водных ресурсов на заводе реализована оборотная система водоснабжения основных потребителей (технологического оборудования), а вода из реки Днепр используется для возмещения безвозвратных потерь в систему охлаждения оборудования.

Завод является крупнейшим потребителем воды. В основном, вода используется для охлаждения технологического оборудования: дуговых электросталеплавильных печей, машин непрерывного литья, заготовок, термических нагревательных печей, прокатных станов. Оборотная система водоснабжения требует более 290 млн м³ воды в год.

Образующиеся в результате производственной деятельности завода технологические сточные воды проходят очистку и переработку в существующих очистных сооружениях и возвращаются в производство.

Промышленно-бытовые стоки завода отводятся на очистные сооружения г. Жлобина.

Существующая технология производства металлопродукции неизбежно связана с образованием отходов различных видов и классов опасности. Это один из самых серьезных аспектов, приводящих к загрязнению окружающей среды. Завод строго соблюдает все требования, связанные с обращением и размещением отходов, и стремится к их повторному использованию и утилизации.

В зависимости от степени опасности отходов, их физических свойств на заводе определен строгий порядок на всех этапах обращения с отходами производства: образование, сбор, перевозка, хранение, использование и обезвреживание.

Приведенные данные подтверждают необходимость соблюдения требований нормативных актов по охране атмосферного воздуха, водных ресурсов и порядок обращения с отходами производства на Белорусском металлургическом заводе.

Студенты гр. 106210 Алуф Г.В., Ермакова Н.О.
Научный руководитель Мордик Е.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В 2013 году в организациях, входящих в состав ГПО «Белэнерго», произошло 28 несчастных случаев, в которых пострадало 35 работников, в том числе 7 со смертельным исходом и 21 с тяжелыми последствиями.

В сравнении с 2012 годом количество несчастных случаев увеличилось на 1, количество потерпевших в результате несчастных случаев увеличилось на 8 (с 27 до 35), количество потерпевших со смертельным исходом увеличилось на 4 (с 3 до 7), количество потерпевших с тяжелыми последствиями увеличилось на 9 (с 12 до 21). Основными причинами произошедших в 2013 году несчастных случаев явились невыполнение руководителями и специалистами обязанностей по охране труда (11 случаев), а также нарушение потерпевшими требования локальных нормативных правовых актов по охране труда (8 случаев).

В 2013 году в организациях произошло 6 пожаров. Количество пожаров по сравнению с 2012 годом уменьшилось на 4. Причинами пожаров явились: неосторожное обращение с огнем посторонних лиц (3 случая), отказ в работе оборудования (2 случая), недостатки в конструкции оборудования (1 случай).

По видам происшествий несчастные случаи классифицированы как: падение потерпевшего 7 случаев, в том числе падение с высоты – 2), поражение электрическим током (6 случаев), ДТП на транспорте организации (5 случаев), воздействие движущихся и разлетающихся предметов (3 случая), падение предметов (2 случая), обрушение конструкции (3 случая), взрыв (1 случай) и обрушение грунта (1 случай).

По видам происшествий в 2013 году по сравнению с 2012 годом увеличилось количество несчастных случаев, произошедших в результате ДТП на транспорте организации (с 1 до 5), от воздействия электрического тока (с 5 до 6) и обрушения конструкций (с 1 до 4).

В целом по Минэнерго количество несчастных случаев за 2013 год сократилось на 5% (41 случай в 2012 году и 39 случаев в 2013 году), а количество потерпевших при несчастных случаях со смертельным исходом осталось на уровне 2012 года и составило 7 человек. Общее количество потерпевших при несчастных случаях на производстве за 2013 год в целом по Минскэнерго выросло на 16% и составило 50 человек, в то время как в 2012 году травмы на производстве получили 43 человека. Рост количества потерпевших допущен в результате шести групповых несчастных случаев (из которых 4 случая составляют дорожно-транспортные происшествия), в которых пострадали 17 человек или 34 % от всех потерпевших при несчастных случаях на производстве.

Основная работа по охране труда проводилась в соответствии с Отраслевой целевой программой по улучшению условий и охраны труда Министерства энергетики Республики Беларусь на 2011 – 2015 годы, утвержденной постановлением Министерства энергетики Республики Беларусь от 24 сентября 2010 г. № 55, в рамках которой была продолжена работа по совершенствованию системы управления охраной труда.

По итогам расследования несчастных случаев со смертельным исходом по ГПО «Белэнерго» в 2013 году были проведены 4 семинара-совещания с анализом обстоятельств и причин этих несчастных случаев и разработкой мероприятий по их дальнейшему недопущению. Также Министерством энергетики был разработан приказ, содержащий указания и требования к организациям энергетической отрасли, в том числе ужесточение контроля по соблюдению и выполнению персоналом требований Директивы Президента Республики Беларусь от 11 марта 2004 г. № 1 «О мерах по укреплению общественной безопасности и производствен-

ной дисциплины». В целях повышения эффективности проводимой работы по вопросам охраны труда Министерством энергетики разработан и утвержден 1 июля 2013 г. заместителем Министра комплекс дополнительных мер, направленных на активизацию применения социально-экономических методов управления охраной труда, повышение персональной ответственности руководителей и должностных лиц за соблюдение требований по охране труда, повышение коллективной заинтересованности (бригада, смена, служба, цех) и усиление зависимости размеров оплаты труда от выполнения указанных требований.

Комплекс первоочередных мер по профилактике производственного травматизма в организациях, входящих в состав ГПО «Белэнерго», на 2014 год, утвержденный 22 января 2014 г. включает различные мероприятия, в том числе:

- совершенствование системы управления охраной труда и ее повторная сертификация на соответствие требованиям СТБ 18001-2009 (OHSAS 18001-2007), контроль выполнения программ по снижению уровня значимых рисков (в течение 2014 года);
- проведение внеочередной проверки знаний по вопросам охраны труда руководителей и специалистов, допустивших несчастные случаи на производстве со смертельным исходом или тяжелыми последствиями, а также грубые нарушения требований охраны труда и пожарной безопасности (в течение 10-и дней после расследования несчастного случая);
- проведение мониторинга соблюдения требований законодательства об охране труда с выдачей предписаний на устранение выявленных недостатков (постоянно);
- организация и проведение Дней (Недель) и Месячников по охране труда;
- организация и проведение смотров-конкурсов на лучшую организацию работы по вопросам охраны труда среди организаций объединения.

УДК 331.453

Охрана труда при проведении лазерной резки

Студент гр. 113110 Сафонов В.В.
Научный руководитель Автушко Г.Л.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Принципиальная основа всех лазерных технологий базируется на использовании уникального свойства когерентного источника света – лазера и систем управления лазерным лучом для воздействия на твёрдые, жидкие и газообразные среды с целью кардинального изменения их свойств. Лазерное импульсное или непрерывное излучение позволяет сфокусировать в небольших объёмах энергию с удельной плотностью мощности до 10 ГВт/кв см, что превосходит другие известные источники энергии (плазма, электрический разряд и т.д.). Использование мощного лазерного излучения позволяет осуществлять плавление, испарение или термораскалывание конструкционных материалов, что применяется в современном производстве для изготовления и восстановления изношенных деталей и узлов, а также улучшения их эксплуатационных характеристик. Лазерная технология, несомненно, относится к разряду новых технологий, что видно как из фактов её расширяющихся применений, так и из её очевидных преимуществ.

Мировые тенденции развития научно-технического прогресса обуславливают насыщение лазерной техникой и технологиями её применения в первую очередь всех приборостроительных предприятий современной промышленности. В Республике Беларусь также имеется серьёзный опыт в развитии этого направления.

Рассмотрим, например, лазерную резку. Современные технологии точного лазерного раскроя рекомендуются для сталей толщиной до 20 мм, далее более перспективной является узкоструйная плазменная резка, а для гранита, мрамора и других твёрдых материалов весьма эффективна водноабразивная струя высокого давления.

Технология лазерной резки уже нашла применение при производстве разбрасывателей удобрений («Бобруйскагромаш»), корпусных деталей («Опытный механический завод Белбыта»), рекламных щитов («Славнефть-старт») и др.

Она может эффективно использоваться для фасонной резки труб, изготовления штампов и прес-форм для производства картонной упаковки и т.п.

В физико-техническом институте НАН Беларуси разработан и изготовлен ряд технологического оборудования для осуществления лазерной резки.

Несомненными достоинствами лазерной резки являются:

- минимальное механическое воздействие, оказываемое на обрабатываемый материал;
- широкий диапазон разрезаемых материалов – дерево, стекло, асбест, керамика, металлы и т.д., - твёрдость разрезаемого материала при этом не является критичной характеристикой;
- возможность осуществления резки по сложному контуру при минимальной ширине и высокой чистоте разреза, что приводит к значительной экономии разрезаемого материала.

Технология лазерной резки в отличие от других методов может использоваться как финишная операция при изготовлении деталей из листовых материалов, при этом шероховатость поверхности реза Rz может достигать не менее 50 мкм, точность раскроя составлять не более 0,1 мм на метр разреза.

Применения лазерных технологий требуют неукоснительного соблюдения правил техники безопасности и производственной санитарии.

На дверях помещения должна быть надпись «Не входить» и знак лазерной опасности с надписью «Осторожно, излучение лазера».

К работе на лазерных установках допускаются лица не моложе 18-ти лет, с законченным высшим и средним образованием, имеющие удостоверение о прохождении курса специального обучения, изучившие техническую документацию, инструкцию по правилам эксплуатации, охране труда при работе установки, умеющие оказать первую доврачебную помощь при несчастном случае, прошедшие инструктаж непосредственно на рабочем месте, имеющие квалификационную группу по электробезопасности не ниже 3-й.

Персонал, работающий с лазерными установками, обязан пользоваться необходимыми средствами индивидуальной защиты – масками, очками со специальными светофильтрами.

В помещении, где расположена установка, запрещается использовать приборы и предметы с зеркальными поверхностями. Рабочий инструмент должен иметь матовую поверхность.

Должны соблюдаться правила пожарной безопасности. Загромождение проходов, захламление помещения категорически не допускается.

Установка, её конструкция должны исключать возможность прикосновения обслуживающего персонала к источнику питания во включённом состоянии. В установке должны быть предусмотрены сигнализация и блокировка, обеспечивающие безопасность обслуживающему персоналу.

В помещениях с лазерными установками, где возможны образование озона, окислов азота и других вредных газов, пылей и аэрозолей, должна быть предусмотрена принудительная приточно-вытяжная вентиляция, обеспечивающая снижение содержания их в воздухе до концентрации допустимой санитарными нормами. Относительная влажность в помещении должна соответствовать оптимальным параметрам.

Источником опасности являются:

- переменное напряжение 220 В в цепях питания блока управления источника питания лазера;
- напряжение свыше 1 кВ в высоковольтном разъёме;
- лазерное излучение.

При работе с лазерным излучением запрещается смотреть навстречу первичному и зеркально отражённому лучу, оставлять бесконтрольным пространство, в котором проводится лазерный тех. процесс, проводить ремонтные и наладочные работы при подключённой уста-

новки к сети, производить расстыковку высоковольтного разъёма ранее, чем через 2 минуты после отключения источника питания лазера от сети. Перед началом работы необходимо присоединить заземляющий провод к излучателю, а при демонтаже лазера из установки – отсоединить его.

После окончания работы необходимо обесточить установку в обратной последовательности включению, провести обслуживание согласно эксплуатационной и технической документации.

УДК 351.777.6

Оценка параметров выбросов загрязняющих веществ при работе котельной, расположенной в г. Минске, ул. Героев 120 дивизии

Студенты гр. 106510 Орлюк К.С., Жук В.Ю.
Научный руководитель Винерский С.Н.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Нами проводился расчет и анализ выбросов вредных веществ при работе котельной в микрорайоне Уручье, г. Минск, ул. Героев 120 дивизии.

В котельной размещены водогрейные котлы ВА-3000 и ВА-2000, выбросы вредных веществ, от работы которых осуществляются через кирпичную дымовую трубу высотой 26 м, диаметром 1600 мм через боров, от проектируемых котлов КВ-7,0 – в стальную изолированную дымовую трубу высотой 30 м, диаметром 1500 мм. Данная дымовая труба имеет в нижней части смотровой люк и патрубок для отвода конденсата.

В связи с тем, что на расстоянии 25 м от источников выбросов располагается здание общежития, для определения влияния на окружающую среду проектируемых котлоагрегатов был произведен расчет рассеивания вредных веществ в атмосфере с учетом данных по фоновым загрязнениям атмосферы в районе размещения котельной и существующих источников выбросов с учетом застройки.

Согласно разрешению на выброс загрязняющих веществ в атмосферу, валовый выброс для данной котельной составляет 6,15 т/год, в том числе:

- углерода оксид – 3,15 т/год;
- азота диоксид – 2,58 т/год;
- азота оксиды – 0,42 т/год;
- бенз(а)пирен – $1,11 \cdot 10^{-6}$ т/год.

Анализ приведенных данных показывает, что работа котельной экологически безопасна для микрорайона Уручье.

УДК 621.181

Параметры шума на рабочем месте оператора котельной

Студент гр. 106510 Тимохова А.Ю., Голубец Н.С.
Научный руководитель Винерский С.Н.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Оператор котельной осуществляет контроль за работающим оборудованием по показаниям КИП и приборов автоматики, опробирование работоспособности предохранительных клапанов, осмотр работающего оборудования с целью своевременного выявления нарушений в его работе во время регулярных обходов оборудования.

Баланс его рабочего (оперативного) времени включает, в основном, нахождение его на главном щите управления, у мазутного, газового и питательного узла, до 10 % времени он проводит на нулевой отметке котла и у барабана котла.

Уровни шума, создаваемого в точках обслуживания котла, составили:

а) на Оршанской ТЭЦ у мазутного, газового и питательного узла котла – 87 дБА, на отметке обслуживания барабана котла – 84 дБА;

б) на БелГРЭС: на площадке обслуживания форсунок котла – 85 дБА, на площадке у барабана котла – 91 дБА, на дымососной площадке – 89 дБА.

Эти данные свидетельствуют о превышении предельно допустимого уровня шума (80 дБА), установленного Санитарными нормами, правилами и гигиеническими нормативами «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых зданий и на территории жилой застройки», утвержденными постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 16 ноября 2011 г. № 115.

Превышение уровня шума характерно и при нахождении оператора котельной на центральном щите управления на Оршанской ТЭЦ (он составляет 67 дБА), и на тепловом щите управления на БелГРЭС (он составляет 79 дБА) при предельно допустимом уровне шума (нормативном значении) 65 дБА.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что работа оператора котельной происходит в условиях повышенного уровня во всех зонах обслуживания.

УДК 621.31.002.5

Предотвращение пожаров в электроустановках

Студенты гр. 106330 Зеленский Н.А., Кондаурова М.Д.

Научный руководитель Филянович Л.П.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Пожарная безопасность электроустановок достигается системами предотвращения пожара и пожарной защиты, которые должны обеспечивать:

- предотвращение образования горючей среды (снижение пожарной нагрузки, использование веществ, материалов, оборудования пониженной горючести, разделение пожарной нагрузки на отдельные секции и т.п.);

- предотвращение образования в горючей среде или внесения в нее источников зажигания (исключение аварийных режимов; соответствие исполнения, применения и режима эксплуатации помещения или наружной установки, группе и категории взрывоопасной смеси; регламентация максимально допустимой температуры нагрева поверхностей токоведущих и несущих частей электроустановок; соблюдение пожарного режима и т.п.);

- предотвращение распространения пожара за пределы очага (устройство противопожарных преград; устройство аварийного отключения, наличие аварийного слива масла; предотвращение разлива и растекания масла при пожаре, применение средств пожаротушения; пожарной сигнализации и извещения о пожаре и т.п.);

- предотвращение выхода из строя электроустановок при пожаре (применение конструкций с регламентированными пределами огнестойкости и горючести; система тепловой защиты; использование соответствующих средств пожаротушения и т.п.);

- предотвращение гибели людей при пожаре (конструктивно-планировочные решения; система противопожарной защиты; применение средств коллективной и индивидуальной защиты людей; эвакуация людей и т.п.).

Весь этот комплекс организационных и технических мероприятий должен обеспечивать вероятность возникновения пожара в электроустановках, равную не более 0,000001 в год в расчете на отдельную пожароопасную электроустановку или пожароопасный узел

электроустановки, а в случае возникновения пожара в электроустановке – вероятность воздействия опасных факторов пожара на людей, равную не более 0,000001 в год в расчете на отдельного человека.

В связи с тем что электроустановки существенно отличаются друг от друга как по уровню, так и по качественной структуре пожарной опасности, то мероприятия по предотвращению пожаров для каждой электроустановки строго индивидуальны.

Электроустановки, особенно крупные, как правило, насыщены элементами из пластмасс, а некоторые имеют большое количество минерального масла или работают с использованием нефти, мазута, природного газа. 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. Так, при горении нефти образуется дым, содержащий акролеин и древесно-ацетальдегид. При сгорании 1 кг ПВХ выделяется 0,7 кг (примерно 350 л при обычных условиях) хлора. Среди множества газообразных вредных продуктов горения следует отметить такие, как углекислый газ CO_2 , угарный газ CO , хлористый водород HCl , бензол C_6H_6 , цианистый водород HCN , сероводород H_2S , аммиак NH_3 и др. По физиологическому воздействию они могут быть разбиты на четыре 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.

УДК 621.731

Производственная санитария в сварочном производстве

Студент гр. 104819 Балев В.В.

Научный руководитель Данилко Б.М.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Для сварочного производства характерны следующие вредные производственные факторы – вредные вещества, шум, вибрация, инфракрасное (тепловое) излучение, ультрафиолетовое излучение.

Вредные вещества. При различных способах сварки плавлением выделяются сварочные аэрозоли, в состав которых входят марганец, оксиды азота, оксиды кремния, оксид углерода, дижелезотриоксид, озон, фтористый водород, оксиды никеля, оксиды хрома. Согласно Санитарным нормам, правилам и гигиеническим нормативам «Перечень регламентированных в воздухе рабочей зоны вредных веществ», утвержденным Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 240 от 31.12.2008 ПДК мг/м^3 $\text{Mn} - 0,2$; $\text{NO}_2 - 5$; $\text{SiO}_2 - 2$; $\text{CO}_2 - 20$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 6$; $\text{HF} - 0,1$; $\text{NiO} - 0,05$; $\text{CrO}_3 - 1,0$; озон – 0,1. При оптимальных режимах сварки фактическая концентрация указанных вредных веществ не превышает ПДК. При форсированных режимах сварки концентрация Mn может превышать ПДК в 1,3 – 2,2 раза, при газовой резке концентрация FeO_3 может превышать в 1,5 раза и CO в 1,2 – 1,3 раза.

Инфракрасное (тепловое) излучение. Согласно Санитарным нормам, правилам и гигиеническому нормативу «Показатели микроклимата производственных и офисных помещений», утвержденным Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 33 от 30.04.2013 при облучении не более 25 % поверхности тела работающих от источников излучения, нагретых до красного и белого свечения (раскаленный или расплавленный металл, пламя) допустимые величины интенсивности теплового излучения не должны пре-

вышать 140 Вт/м^2 . Фактически интенсивность излучения при электросварке покрытыми электродами и сварке в CO_2 равна $180 - 200 \text{ Вт/м}^2$, при газовой сварке – $150 - 160 \text{ Вт/м}^2$, при газовой резке – $240 - 300 \text{ Вт/м}^2$.

Шум. Источниками шума при сварке и газовой резке являются процессы сварки или резки и сварочное оборудование. Согласно Санитарным нормам, правилам и гигиеническим нормативам «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки», утвержденным Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 115 от 16.11.2011 г. при выполнении работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях предельно допустимый уровень звука для непостоянного шума равен 80 дБА. Фактический уровень звука при электросварке покрытыми электродами равен 72 – 80 дБА, при механизированной сварке с CO_2 и смеси $\text{CO}_2 + \text{аргон}$ – 82 - 85 дБА, при газовой сварке 68 – 72 дБА, при газовой резке – 84 – 88 дБА.

Вибрация. Источником производственной вибрации при сварке является сварочное оборудование (общая технологическая вибрация категории 3а) и сварочный инструмент (локальная вибрация). Согласно Санитарным нормам, правилам и гигиеническому нормативу «Требования к производственной вибрации», «Предельно допустимые и допустимые уровни нормируемых параметров при работах с источниками производственной вибрации», утвержденным Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 132 от 26.12.2013 г. предельно допустимое значение уровня виброускорения технологической вибрации категории 3а – 50 дБ, локальной – 76 дБ. На практике фактические уровни виброускорения при сварке не превышают допустимые.

Ультрафиолетовое излучение. Источниками ультрафиолетового излучения является электрическая дуга при электросварке и пламя при газовой сварке и резке. Согласно Санитарным нормам, правилам «Требования к обеспечению безопасности и безвредности воздействия на работников производственных источников ультрафиолетового излучения», Гигиеническому нормативу «Допустимые значения показателей ультрафиолетового излучения производственных источников», утвержденным Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 198 от 14.12.2012 г. допустимая интенсивность ультрафиолетового излучения при проведении сварочных работ в области УФА (длина волны – 315 – 400 нм) не должна превышать $10,0 \text{ Вт/м}^2$, в области УФВ (длина волны 280 – 315 нм) и области УФС (длина волны 280 – 200 нм) суммарно не должна превышать $1,0 \text{ Вт/м}^2$. Фактические при электросварке интенсивность излучения в области УФА равна $10,8 - 12,0 \text{ Вт/м}^2$, в области УФВ – $2,8 - 4,0 \text{ Вт/м}^2$, в области УФС – $0,18 - 1,0 \text{ Вт/м}^2$. При газосварочных работах и газовой резке фактическая интенсивность ультрафиолетового излучения не превышает допустимой интенсивности.

УДК 331.4

«Синдром менеджера» как болезнь 21 века

Студент гр. 105021 Тарасик А.С.

Научный руководитель Заволокина А.Н.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Проблема профессиональных заболеваний является важным вопросом в законодательстве об охране труда каждого государства. По статистическим данным, выявленным Международной организации труда, из 100 смертельных случаев на рабочем месте только 13 приходится на несчастные случаи на производстве, а остальные 87 смертей связаны с различного вида профессиональными заболеваниями.

Это свидетельствует о том, что профилактика профессиональных заболеваний несовершенна, либо не выполняется предприятиями в должной степени. Более 30% населения работают в таких условиях, которые не соответствуют гигиеническим нормативам. Важно отметить и то, что с течением времени изменяется ритм жизни, экологическая обстановка, выявляются новые факторы, которые негативно воздействуют на здоровье населения. Комплексное влияние всех факторов ведет не только к учащению случаев заболеваний, но к появлению у работающих новых, более тяжелых или специфических профессиональных заболеваний.

Подтверждением возникновения новых профессиональных заболеваний является и то, что при проведении анализа перечня профзаболеваний, указанных в Постановления Министерства здравоохранения и Министерства социальной защиты РБ от 24.03.2009 № 29/42 и от 29.05.2001г. № 40/б, в пункте 3.2 было обнаружено новое заболевание – астеническое расстройство.

Одним из видов астенических расстройств является синдром хронической усталости или СХУ. До недавнего времени СХУ не выделялся в Международной классификации болезней как отдельное заболевание. Появление такого диагноза связано в первую очередь с очень быстрыми темпами развития общества, постоянными изменениями, к которым необходимо адаптироваться современному человеку, что подтверждает актуальность данной проблемы. Все большую долю в жизни общества начал занимать именно умственный труд. А, следовательно, значительно увеличилась умственная и психологическая нагрузка, с которой приходится справляться.

СХУ или, иначе, синдром "выгорания", также называемый сегодня и синдромом менеджера как эпидемия распространился в современном обществе. В первую очередь данное заболевание связано с постоянным воздействием стресса на человека. Постоянное напряжение приводит к нервному истощению, истощению психо-эмоционального состояния человека.

Основными психофизическими симптомами являются: постоянное чувство усталости, которое не покидает человека даже после полноценного отдыха и сна; эмоциональное и физическое истощение; частые головные боли; расстройства пищеварения; снижение активности и энергии; бессонница; происходят заметные изменения чувствительности: ухудшение обоняния и осязания, зрения, слуха.

Симптомами социально-психологического характера являются: раздражительность на любые события, даже незначительные; депрессивное состояние и чувство подавленности; нервные срывы; непрекращающееся чувство беспокойства, безысходности и другие.

Для человека становится все сложнее выполнять свои обязанности по работе, он начинает испытывать отвращение к своей профессии. Появляется ощущение безысходности, человек теряет интерес к жизни и всему тому, что его раньше радовало (например, семья, хобби и др.).

В последнее время во многих развитых странах все чаще люди сталкиваются с проявлением постоянного «профессионального» стресса. СХУ или «выгорание» застигает врасплох не только менеджеров или так называемых руководителей, но и людей других профессий. С этим заболеванием может столкнуться каждый в результате накопления отрицательных эмоций, усталости, отсутствия отдыха, постоянных переживаний и стресса без последующей «разрядки» от них.

Наиболее часто подвергаются этому заболеванию следующие категории работников:

- те, кому приходится очень много работать и взаимодействовать с другими людьми: медицинские и социальные работники, преподаватели, полицейские, а также столь распространенные в современном обществе менеджеры, руководители, консультанты.

- те, кто испытывает стресс из-за постоянной потребности доказывать свою профпригодность в условиях жесткой конкуренции, а также женщины, которым приходится постоянно выбирать между работой и семьей.

- те, кто находится в страхе потерять работу из-за нестабильности: люди специфических профессий; приближение пенсионного возраста;

Важно отметить, что в крупных городах, мегаполисах жители чаще подвержены этому синдрому. Это связано, прежде всего, с очень быстрым ритмом жизни. Реже страдают данным видом заболевания люди, которые целенаправленно занимаются спортом, ведут здоровый образ жизни. Также необходимо отметить, что СХУ в меньшей мере касается людей, которые умеют преодолевать стрессовые ситуации, способны меняться и приспосабливаться к тяжелым условиям и изменениям. Следовательно, в целях уменьшения количества случаев заболевания СХУ необходимо предупреждать это заболевание и проводить его профилактику.

Прежде всего, человек должен постараться изменить свое отношение к работе, научиться не думать о проблемах во время законного отдыха. Здоровый и полноценный сон, который должен составлять не менее 8 часов, является важной составляющей эмоционального здоровья. Очень эффективным способом профилактики СХУ является занятие любыми видами спорта, активный отдых, общение с родными и близкими, на что у современного человека редко находится время. Важную роль играет и полноценный режим питания, борьба со стрессами.

Что касается самих предприятий, то в целях профилактики СХУ работникам могут быть предоставлены абонементы в бассейн или спорткомплексы, обеспечение санаторными путевками, возможность полноценного питания в течение рабочего дня, проведение развлекательных мероприятий, поощрение за достигнутые результаты. Если не бороться с данным недугом, то в значительной мере снижается производительность труда, растет нагрузка на социальное обеспечение. Исключение СХУ из списка профзаболеваний необходимо и по причине больших затрат на компенсацию за рабочие дни, выпавшие на лечения или досрочные пенсии. Следовательно, профилактика, которая является более эффективной и менее затратной, чем лечение или реабилитация, должна занимать первостепенное место в борьбе с новым современным заболеванием.

УДК 331.45

Специфические особенности условий труда в строительной отрасли

Студент гр. 112210 Заневский А.В.
Научный руководитель Батяновская И.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Несмотря на механизацию, в строительстве по-прежнему активно используется ручной труд, и профессиональные риски, которым подвергаются работники данной отрасли, являются одними из самых значительных.

Из-за особенностей работы на строительной площадке условия труда на рабочих местах очень часто меняются соответственно и профессиональные риски. Работа в подобных условиях может служить источником стресса, увеличивать риск возникновения психосоциальных проблем, что повышает вероятность несчастных случаев и заболеваний. При этом следует отметить, что в строительных работах так или иначе задействовано большое количество людей: заказчики, подрядчики, сами работники, архитекторы, дизайнеры, клиенты, поставщики оборудования и др.

Все эти факторы в совокупности делают очень важными эффективное обсуждение и совместную деятельность всех заинтересованных сторон для достижения и поддержания высоких стандартов обеспечения безопасности труда и сохранения здоровья работников строительной отрасли.

Риски получения травм в строительной отрасли, прежде всего, связаны со спецификой работы (высотные работы – падение с крыш, строительных лесов, лестниц и т.д.; земляные работы – обрушение траншей, эксплуатация землеройно-транспортных машин; применение подъемных механизмов – кранов и строительных лебедок, использование электрооборудования, ручных инструментов и транспортных средств).

Ситуация усугубляется тем, что на строительных площадках часто царит беспорядок, они сильно загромождены, что способствует возникновению аварийных ситуаций. При этом, не всегда возможно объективное использование статистических данных о профзаболеваемости.

Это зачастую связано с тем, что воздействие многих факторов риска (опасных химических и других веществ, высоких уровней шума и вибрации и т.д.) может иметь отдаленные последствия для здоровья работников и не проявляться в течение нескольких месяцев или даже лет.

Здоровье работающих в строительной отрасли подвержено таким факторам риска, как воздействие опасных веществ (асбестосодержащая пыль, кварц и др.), перемещение тяжелых и громоздких грузов вручную; влияние высокого уровня шума и вибрации, источниками которых служат как ручные инструменты, так и строительные машины и технологическое оборудование.

Клинические проявления большинства профессиональных заболеваний не имеют строго специфических признаков, поэтому зачастую только сведения об условиях труда заболевшего работника позволяют (с достаточной степенью достоверности установить этиологическую роль того или иного вредного производственного фактора (совокупности факторов) в развитии выявленной патологии).

Как правило, профессиональные заболевания, получившие распространение в строительной отрасли являются результатом воздействия на организм работающего той или иной производственной вредности.

Однако необходимо иметь в виду, что картина профессиональной заболеваемости (например, профпатологии обусловленные воздействием нескольких вредных и (или) опасных производственных факторов (групп факторов) явно носит полиэтиологический характер).

Поэтому имеющаяся статистика несколько искажает реальную картину профзаболеваемости. Это связано с тем, что при формировании статистических данных, основанных на группировке нозологических форм по этиологическому принципу, не учитывается совокупное действие производственных факторов при развитии тех или иных профессиональных заболеваний.

Химические соединения могут не только вызывать профессиональные заболевания, но и способствовать развитию и утяжелению течения полиэтиологических общесоматических заболеваний.

Их влияние выражается в увеличении уровня заболеваемости с временной утратой трудоспособности, частоты случаев хронической патологии, инвалидности, смертности, в преждевременном старении и др.

К профессиональным заболеваниям, получившим распространение на предприятиях строительной отрасли и обусловленным воздействием промышленных аэрозолей, относят:

- пневмокониозы (силикоз, силикатоз, антракосиликоз, асбестоз, карбокониозы и иные пневмокониозы, связанные с воздействием слабофиброгенной пыли);
- бериллиоз и иные виды экзогенного аллергического альвеолита; хронический бронхит.

Воздействие асбеста является особым фактором риска для строительной промышленности. Несмотря на то, что его применение было запрещено в целом ряде стран, многие здания все еще содержат асбест, и строительные работники рискуют подвергнуться его воздействию во время работ по реконструкции или демонтажу зданий.

Силикоз и силикатоз широко распространены среди строительных рабочих во всем мире – это наиболее тяжкие формы пневмокониоза, развивающиеся при вдыхании пыли, содержащей свободный кремнезем и кремнезем в связанном с другими элементами состоянии. Профилактика этих заболеваний должна стать отдельной важной задачей, поскольку уровень загрязнения воздуха рабочей зоны строительных объектов промышленными аэрозолями остается высоким.

Высокие уровни профзаболеваемости, обусловленной вредным действием промышленных аэрозолей, регистрируются также на предприятиях по производству строительных материалов.

Анализ профессиональных заболеваний по этиологическим факторам показывает, что 42,3% случаев вызваны воздействием промышленных аэрозолей, при этом основной причиной профессиональных заболеваний является кремнийсодержащая пыль – составляет 58,5%.

Состояние вредных факторов производственной среды в строительной отрасли при расследовании профессиональных заболеваний показывает, что основными причинами возникновения профессиональных заболеваний являются: несовершенство технологических процессов (65,6% случаев), несовершенство рабочих мест (48,9%), неисправность и неприменение средств индивидуальной защиты (9,4%), конструктивные недостатки машин и оборудования (2,1%), прочие (19,8%).

Анализ условий труда и профессиональной заболеваемости в строительстве показывает, что несоответствие рабочих мест санитарно-гигиеническим требованиям и неблагоприятные условия труда влекут за собой ухудшение состояния здоровья работающих, выявление новых случаев профессиональных заболеваний и требуют принятия своевременных мер по улучшению условий труда работающих.

УДК 621.74:658.382

Исследования условий труда работающих в цехах специального литья

Студенты гр. 104319 Кобяков К.В., Амелянов М.А.
Научный руководитель Лазаренков А.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Комплексная оценка условий труда работающих в цехах (на участках) специального литья проводилась по результатам проведенных исследований параметров производственной среды и показателей тяжести и напряженности трудового процесса.

Исследования проведены в цехах (на участках) цветного литья, кокильного литья, литья по выплавляемым и газифицируемым моделям, участке изготовления отливок на многопозиционных карусельных автоматах.

Учитывая, что в литейном производстве используется значительное количество технологических процессов подготовки исходных материалов, приготовления стержневых смесей, изготовления стержней, подготовки кокилей, выплавки металла, заливки металла в кокили, выбивки отливок из кокилей, заливки металла в центробежные машины, изготовление отливок на машинах для литья под давлением, обработки отливок и другие, в таблице 1 указаны усредненные классы условий труда.

Поэтому на практике необходимо учитывать применяемые технологические процессы и производственное оборудование, характер производства и другие факторы, определяющие каждый отдельно взятый литейный цех или участок.

Если при производстве отливок применяются стержни, то стерженщик изготавливает их вручную или на стержневых машинах.

В комплекс производственных факторов, определяющих условий труда стерженщика, входит уровень шума (в основном класс 3.1, при изготовлении стержней вручную с ис-

пользовании пневматической трамбовки – класс 3.2), уровень вибрации (в основном класс 2, при использовании пневматической трамбовки – класс 3.1), запыленность воздуха рабочей зоны (в основном класс 3.1), содержание в воздухе рабочей зоны вредных веществ (как правило класс 2, а при изготовлении стержней на автоматах по нагреваемой оснастке – класс 3.1), микроклимат (в основном класс 2, при изготовлении стержней на автоматах по нагреваемой оснастке по интенсивности теплового излучения – класс 3.1).

По тяжести трудового процесса профессия стерженщика оцениваются классом 3.1, а по напряженности трудового процесса классом 2.

Общая оценка условий труда определяется классом 3.2, который дает работающим данной профессии право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда по списку № 2.

В комплекс производственных факторов, определяющих условий труда земледела, входит уровень шума (класс 3.1), уровень вибрации (класс 2), запыленность воздуха рабочей зоны (в основном класс 3.1, но возможен класс 3.2), содержание в воздухе рабочей зоны вредных веществ (класс 2), микроклимат (класс 2).

По тяжести трудового процесса профессия земледела оцениваются классом 3.1, а по напряженности трудового процесса классом 2.

Общая оценка условий труда определяется классом 3.2, который дает работающим данной профессии право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда по списку № 2.

На плавно-заливочном участке литейного цеха основными профессиями работающих являются плавильщик металла и сплавов и заливщик металла.

В комплекс производственных факторов, определяющих условий труда этих профессий, входит уровень шума (в основном класс 3.1, на рабочем месте плавильщика в зависимости от применяемого плавильного оборудования возможен класс 3.2), запыленность воздуха рабочей зоны (в основном класс 3.1), содержание в воздухе рабочей зоны вредных веществ (как правило класс 3.1 в зависимости от применяемого технологического процесса литья), температура воздуха (как правило класс 3.2 за счет значительного количества источников тепла), интенсивность тепловых излучений (класс 3.2, а при выполнении операций дозагрузки шихты, по наполнению ковшей жидким металлом, снятия шлака с зеркала жидкого металла – класс 3.3).

По тяжести трудового процесса вышеуказанные профессии оцениваются классом 3.1. По напряженности трудового процесса вышеуказанные профессии оцениваются классом 2. Общая оценка условий труда названных профессий плавно-заливочных участков определяется классом 3.3, который дает данным работающим право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда по списку № 1.

На рабочем месте литейщика на машинах для литья под давлением в комплекс производственных факторов, определяющих условий труда этой профессии, входит уровень шума (в основном класс 3.1, в зависимости от применяемого типа машин – классом 3.2), запыленность воздуха рабочей зоны (в основном класс 2, возможен и класс 3.1 при использовании ряда противопопригарных покрытий пресс-форм), содержание в воздухе рабочей зоны вредных веществ (класс 2), температура воздуха (класс 3.1, при нахождении на участке нескольких машин возможна оценка классом 3.2), интенсивность тепловых излучений (класс 3.2 за счет выполнения операций по наполнению ручных ковшей жидким металлом, снятия шлака с зеркала жидкого металла).

По тяжести трудового процесса вышеуказанные профессии оцениваются классом 3.1. По напряженности трудового процесса вышеуказанные профессии оцениваются классом 2. Общая оценка условий труда литейщика на машинах для литья под давлением определяется классом 3.2 (возможна оценка классом 3.3 при наиболее неблагоприятном сочетании производственных факторов), который дает данным работающим право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда по списку № 2 (или по списку № 1).

Таблица 1 – Классификация рабочих мест по условиям труда в цехах цветного литья

Профессии работающих	Класс условий труда на рабочих местах (с учетом времени воздействия)								
	производственные факторы						тяжесть трудового процесса	напряженность трудового процесса	общая оценка
	шум	вибрация	пыль	вредные вещества	инфракрасные излучения	температура воздуха			
стерженщик	3.1 (3.2)	(3.1)	3.1	(3.1)	(3.1)	2	3.1	2	3.2
земледел	3.1	2	3.2 (3.1)	2	2	2	3.1	2	3.2
плавильщик металла и сплавов	3.1 (3.2)	2	3.1	3.1	3.2 (3.3)	3.2	3.1	2	3.3
заливщик металла	3.1	2	3.1	3.1	3.2 (3.3)	3.2	3.1	2	3.3
литейщик на машинах для литья под давлением	3.1 (3.2)	2	3.1	2	3.2	3.1 (3.2)	3.1	2	3.2 (3.3)
литейщик вакуумного, центробежновакуумного и центробежного литья	3.2	2	3.2 (3.1)	2	3.1	3.1	3.1	2	3.2
наждачник	3.2	3.2 (3.1)	3.2 (3.1)	2	-	2	3.1	2	3.3
транспортровщик в литейном производстве	3.1	2	3.1 (2)	2	2	3.1 (2)	3.1	2	3.2 (3.1)
слесарь-ремонтник	3.1	2	3.1 (2)	2	3.1 (2)	3.1	3.1	2	3.2
слесарь-электрик по ремонту электрооборудования	3.1	2	3.1 (2)	2	3.1 (2)	3.1	3.1	2	3.2
подсобный рабочий	3.1	2	3.1 (2)	2	3.1 (2)	3.1	3.1	2	3.2
уборщик в литейных цехах	3.1	2	3.1 (2)	2	3.1 (2)	3.1	3.1	2	3.2
контролер в литейном производстве	3.1	2	3.1 (2)	2	2	3.1 (2)	2	2	3.2 (3.1)
мастер участка	3.1 (2)	2	3.1 (2)	2 (3.1)	3.1 (2)	3.1	2	2	3.2 (3.1)
механик цеха, энергетик цеха	3.1 (2)	2	2	2	2 (3.1)	2 (3.1)	2	2	3.1
начальник цеха	3.1 (2)	2	2	2	2 (3.1)	2 (3.1)	2	2	3.1
инженер-технолог	3.1	2	2 (3.1)	2	2 (3.1)	2 (3.1)	2	2	3.1 (3.2)

Условия труда на рабочем месте литейщика вакуумного, центробежновакуумного и центробежного литья (работа на центробежных машинах) определяются комплексом производственных факторов, таких как уровень шума (в основном класс 3.2), запыленность воздуха рабочей зоны (в основном класс 2, возможен и класс 3.1 при использовании противопопригарных покрытий изложниц), содержание в воздухе рабочей зоны вредных

веществ (класс 2), температура воздуха и интенсивность тепловых излучений (как правило класс 3.1). По тяжести трудового процесса вышеуказанные профессии оцениваются классом 3.1. По напряженности трудового процесса вышеуказанные профессии оцениваются классом 2. Общая оценка условий труда данной профессии определяется классом 3.2, который дает работающим право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда по списку № 2.

Рабочее место наждачника оценивается комплексом производственных факторов, определяющих условий труда на обрубочно-очистном участке, в который входят уровень шума (в основном – класс 3.2, а при использовании наждачных станков и шлифовальных машинок – класс 3.3), уровень общей технологической вибрация (находится в пределах допустимой – класс 2), уровень локальной вибрации на рабочем месте наждачника оценивается классом 3.2, при использовании автоматизированного оборудования – классом 3.1 и даже классом 2), запыленность воздуха на рабочем месте наждачника оценивается классом 3.2 или – классом 3.1, содержание в воздухе рабочей зоны вредных веществ (как правило класс 2), температура воздуха на рабочих местах указанных профессий находится в пределах допустимых значений. По тяжести трудового процесса вышеуказанные профессии оцениваются классом 3.1, а по напряженности трудового процесса – классом 2. Общая оценка условий труда на рабочем месте наждачника оценивается классом 3.3, который дает работающим право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда по списку № 1. При аттестации этих профессий также следует особенно тщательно проводить фотохронометражные наблюдения рабочего времени на отдельных технологических операциях при использовании различного оборудования, т.к. абсолютные значения вышеуказанных производственных факторов будут иметь разные величины.

В комплекс производственных факторов, определяющих условий труда работающих на участках цеха цветного литья, кроме вышерассмотренных профессий (транспортировщик в литейном производстве, слесарь-ремонтник, слесарь-электрик по ремонту электрооборудования, подсобный рабочий, уборщик в литейном цехе, контролер в литейном производстве, мастер, механик цеха, энергетик цеха, инженер-технолог, начальник цеха), входит уровень шума (в основном класс 3.1, на рабочих местах начальника цеха, механика цеха и энергетика цеха возможен – класс 2 в зависимости от времени нахождения в цеху), запыленность воздуха рабочей зоны и содержание в воздухе рабочей зоны вредных веществ (как правило класс 2), температуры воздуха и интенсивность тепловых излучений (класс 3.1 на рабочих местах мастера участка за счет нахождения у источников тепловых излучений, а на остальных рабочих местах – класс 2). По тяжести трудового процесса профессии транспортировщика в литейном производстве, слесаря-ремонтника, слесаря-электрика по ремонту электрооборудования, подсобного рабочего, уборщика в литейном цехе оцениваются классом 3.1, а профессии контролера в литейном производстве, мастера, механика цеха, энергетика цеха, инженера-технолога, начальника цеха – классом 2. По напряженности трудового процесса все рассматриваемые профессии оцениваются классом 2. Общая оценка условий труда названных профессий (за исключением профессий механика цеха, энергетика цеха, начальника цеха и инженера-технолога, которые оцениваются классом 3.1 или 3.2) определяется классом 3.2, который дает данным работающим право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда по списку № 2. При аттестации рабочих мест вышеуказанных профессий необходимо особенно тщательно проводить фотохронометражные наблюдения рабочего времени, т.к. работники вышеуказанных профессий пребывают в течение рабочего дня на различных участках литейного цеха, где имеют место производственные факторы с абсолютными значениями относящимся к различным классам по условиям труда.

Таким образом, комплексная оценка условий труда на рабочих местах цехов (участков) специального литья 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, тяжести и напряженности трудового процесса. Это позволит объективно определить право работника на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда, право работника на дополнительный отпуск за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, право работника на сокращенную продолжительность рабочего времени по списку производств, цехов, профессий и должностей с вредными и (или) опасными условиями труда, работа в которых дает право на сокращенную продолжительность рабочего времени; право работника на оплату труда в повышенном размере путем установления доплат за работу с вредными и (или) опасными условиями труда и разработать и реализовать мероприятия по улучшению условий труда работающих в литейном производстве.

УДК 628.517

Исследование ультрафиолетовых излучений при сварочных работах

Студенты гр. 104319 Биченков П.Г., Михалков А.Ф.
Научный руководитель Лазаренков А.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Одним из факторов производственной среды при комплексной оценке условий труда работников при выполнении сварочных работ является ультрафиолетовое излучение. Формирование и воздействие на работающих излучения в ультрафиолетовой области происходит при работах, связанных с плазменной технологией (резка, термоупрочнение, напыление, наплавка металла), электрогазосварочных работах и др. Профессиональному воздействию ультрафиолетового излучения подвергаются электрогазосварщики и другие работники, обслуживающие различные источники ультрафиолетового излучения. При воздействии избыточного УФ-излучения возможно развитие ряда заболеваний и патологических состояний органа зрения, среди которых наиболее часто отмечаются катаракта или помутнение хрусталика глаза, воспаление роговицы, слизистой оболочки. Ультрафиолетовое переоблучение может привести также к болезням кожи и кожных покровов – воспалительному почесанию кожи или эритеме, ускорению старения кожи, аллергическим реакциям на УФ-облучение, опухолям кожи.

Гигиенический норматив «Допустимые значения показателей ультрафиолетового излучения производственных источников», утвержденный Постановлением Министерства здравоохранения 14.12.2012 г. № 198, устанавливает допустимые значения показателей ультрафиолетового излучения производственных источников и применяется для оценки результатов измерений интенсивности ультрафиолетового излучения от производственных источников на рабочих местах. Показатели ультрафиолетового излучения установлены с учетом продолжительности воздействия на работников в течение рабочей смены.

Допустимая интенсивность ультрафиолетового облучения работников при наличии незащищенных участков поверхности кожи не более $0,2 \text{ м}^2$ (лицо, шея, кисти рук и другое), общей продолжительности воздействия излучения не более 50% рабочей смены и длительности однократного облучения свыше 5 минут не должно превышать $10,0 \text{ Вт/м}^2$ – для области УФ-А и $0,01 \text{ Вт/м}^2$ – для области УФ-В. Излучение в области УФ-С при указанной продолжительности не допускается.

Допустимая интенсивность ультрафиолетового излучения в областях УФ-В и УФ-С суммарно не должна превышать $1,0 \text{ Вт/м}^2$ при проведении электросварочных и других работ с использованием специальной одежды и средств защиты лица и рук, не пропускающих ультрафиолетовое излучение (спилк, кожа, ткани с пленочным покрытием и другое).

Оценка данного параметра проводилась по результатам проведенных исследований, выполненных при аттестации рабочих мест на предприятиях и в организациях Республики Беларусь. Измерения производились с использованием прибора комбинированного «ТКА-ПКМ» УФ-радиометра на рабочих местах на высоте 0,5, 1,0 и 1,5 м от пола, размещая приемник перпендикулярно падающему потоку излучения. Все измерения проводились в спектральных диапазонах А, В и С с выполнением трехкратных замеров в каждой точке (при нестабильных источниках, к которым относится и сварочная дуга, число замеров увеличилось).

Результаты проведенных исследований приведены в таблице 1 и показали, что наиболее высокие уровни УФ-излучения отмечены в длинноволновой области УФА при ручной дуговой и полуавтоматической сварке. В средневолновой области УФВ параметры излучений при всех видах электросварки примерно одинаковы, а в коротковолновой области УФС максимальные значения выявлены при электросварке в среде аргона. При воздушно-плазменной резке металла уровень составил 7 Вт/м² в области УФС. В спектральной области УФВ эти значения были равны от 1, 6 до 5,9 Вт/м² в диапазоне УФА. При газовой сварке (с использованием ацетилена и кислорода) и газовой резке металлов (кислород и пропан) ультрафиолетовое излучение определяется только на минимальном расстоянии от источника. При газовой сварке УФ-излучения были выше, чем при газовой резке.

Таблица 1 – Результаты исследований

Виды сварочных работ	Спектр ультрафиолетового излучения, Вт/м ²					
	область УФА		область УФВ		область УФС	
	min-max	среднее	min-max	среднее	min-max	среднее
Ручная электродуговая сварка	6-28	8,7	2,5-16	5,9	3,4-21	12,6
Полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа	4-25	12,6	4-14	5,8	2,6-12	7,7
Электросварка в среде аргона	5,6-13	8,4	3-6	4,8	10-29	18,7
Газовая сварка	0-0,15	0,09	0-0,08	0,05	0-0,04	0,02
Газовая резка	0-0,10	0,05	0-0,07	0,03	0-0,04	0,01
Плазменная наплавка	5-13	8,8	6-16	9,4	4-12	8,7
Воздушно-плазменная резка	3-7,8	5,9	0,8-2,4	1,6	4-10	7,2

Уровни УФ-излучения при электросварочных работах определяются видом электросварки, величиной тока и находятся в прямой зависимости от расстояния до источника. В целом параметры излучения при основных видах электросварки превышают гигиенические нормы для таких работ в спектральных областях УФВ и УФС и находятся на уровне предельно допустимых в области УФА. При выполнении газосварочных и газорезательных работ интенсивность ультрафиолетового потока меньше, чем при электросварке.

Для защиты от ультрафиолетового излучения применяются коллективные и индивидуальные способы и средства: экранирование источников излучения и рабочих мест; удаление обслуживающего персонала от источников ультрафиолетового излучения; рациональное размещение рабочих мест; специальная окраска помещений; средства индивидуальной защиты и предохранительные средства (пасты, мази). Для экранирования рабочих мест применяют ширмы, щитки или специальные кабины. Стены и ширмы окрашивают в светлые тона (серый, желтый, голубой), применяют цинковые и титановые белила для поглощения ультрафиолетового излучения. С целью профилактики отравлений окислами азота и озоном соответствующие помещения должны быть оборудованы местной вытяжной или общеобменной вентиляцией, а при производстве сварочных работ в замкнутых объемах необходимо подавать свежий воздух непосредственно под щиток или шлем.

К средствам индивидуальной защиты от ультрафиолетовых излучений относятся: термозащитная спецодежда; рукавицы; спецобувь; защитные каски; защитные очки и щитки со

светофильтрами в зависимости от выполняемой работы. Для защиты кожи от ультрафиолетового излучения применяются мази с содержанием веществ, служащих светофильтрами для этих излучений (салол, салицилово-метиловый эфир и др.).

При электросварочных работах и использовании плазменных технологий следует применять защитные лицевые щитки с наголовным креплением, с ручкой или универсальные, подвижными и неподвижными светофильтрами, дополнительными стеклами и подложками из органического стекла. При газосварочных работах, газовой резке необходимо использовать защитные очки.

УДК 35.088.2

Условия труда персонала при подготовке пылеугольного топлива

Студент гр. 106620 Ермаченок А.О.
Научный руководитель Винерский С.Н.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В задачи топливно-транспортного цеха входят:

- бесперебойная работа железнодорожного транспорта электростанции и механизированная разгрузка железнодорожных вагонов, цистерн и судов в установленные сроки;
- приемка топлива от поставщиков и контроль за его количеством и качеством;
- своевременная и бесперебойная подготовка и подача топлива в котельную или центральное пылеприготовительное отделение;
- хранение установленного запаса топлива при минимальных потерях.

Наиболее распространенные способы доставки угольного топлива на ТЭС - железнодорожный и водный транспорт. При использовании железнодорожного транспорта применяются специальные вагоны. В случае смерзания топлива в вагоне на ТЭС предусмотрены специальные помещения (тепляки), предназначенные для разморозки, в которых могут использоваться калориферный разогрев, разогрев обдувом горячим воздухом и комбинированный метод. После разморозки или при благоприятных погодных условиях вагоны загоняют в вагоноопрокидыватели. Затем вагон закрепляется на платформе, которая поворачивается на угол до 175° , обеспечивая выгрузку топлива в приемный бункер, из которого оно подается через дробилку на конвейер с последующей подачей его либо на склад, либо в систему пылеприготовления.

Разгрузка угля, его транспортировка, дробление, загрузка в бункеры сырого угля связаны с постоянным выделением пыли в рабочие помещения. При повышенной запыленности создаются вредные условия труда обслуживающего персонала, снижается производительность труда, появляется опасность возникновения взрывов, пожаров, особенно для электростанций, работающих на углях с большим выходом летучих. Пыль с размеров частиц $0,5 - 5$ мкм легко проникает в легочные ткани и может быть причиной профессиональных заболеваний, одним из которых является антропокоз. Кроме того, пыль может быть переносчиком различных болезней. Снижение запыленности воздуха до ПДК (ПДК пыли каменноугольной - 6 мг/м^3), установленной Санитарными нормами, правилами и гигиеническими нормативами «Перечень регламентированных в воздухе рабочей зоны вредных веществ», утвержденных постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 31.12.2008 г. № 240 и, следовательно, улучшение условий труда персонала возможны только в случае применения комплекса мероприятий, важнейшими из которых являются: устранение просыпания угля на пол; очистка конвейерных лент от налипшего топлива; максимальная герметизация технологического оборудования и укрытие всех мест пылевыделения; аспирация, паро- и пенообеспыливание; уборка осевшей пыли.

Кроме того, особое внимание следует уделить нормам пожаро- и взрывобезопасности. С точки зрения загазованности, помещения топливоподающих трактов никакой опасности не представляют потому, что вредные газы в них или отсутствуют, или их концентрация значительно ниже предельно допустимых концентраций.

Микроклиматические условия характеризуются относительной влажностью воздуха, его температурой и скоростью движения. Относительная влажность в холодный период года находится в пределах 30 – 60 %. В летнее время года, из-за раскрытых окон и дверей влажность воздуха близка к влажности наружного воздуха и может превышать допустимые значения.

Температурный режим в холодный период года зависит от работы отопительной системы, а в теплый – он благоприятный, в связи с отсутствием на топливоподаче тепловыделяющих агрегатов.

В топливно-транспортном цехе имеются застойные зоны, которые в сочетании с запыленностью среды создают ощущение «душного» воздуха.

Персонал, работающий с вагоноопрокидывателями, зачастую вынужден выполнять операции в непосредственной близости от подвижного состава в условиях с ограниченной видимостью и большой запыленностью. Улучшение условий труда достигается внедрением следующих мероприятий: применением гидрообеспыливания с добавкой поверхностно-активных веществ; обеспечением положительной температуры в здании вагоноопрокидывателя путем использования тепловых завес; механизацией дробления на решетках бункеров, виброзачисткой вагонов.

Операции дробления и измельчения до необходимого размера, а также работа многочисленных конвейеров создают шумовое загрязнение. Общеизвестно вредное воздействие шума на производительность труда рабочих. В условиях шумного производства возрастает количество ошибок персонала, а также повышается общая профессиональная заболеваемость, развиваются заболевания органов слуха.

Для ограничения шумового воздействия на обслуживающий персонал рекомендуется предусматривать при проектировании архитектурно-строительные мероприятия (звукоизоляцию и звукопоглощение), создавать зоны с пониженным уровнем шума, особенно в местах частого пребывания людей, автоматизировать процесс подготовки твердого угольного топлива, применять средства индивидуальной защиты и соблюдать правила техники безопасности.

Приведенный анализ условий труда показывает, что снизить воздействие опасных и вредных производственных факторов на рабочий персонал топливно-транспортного цеха можно за счет механизации и автоматизации процесса подготовки твердого угольного топлива, применения надежного и качественного оборудования, средств индивидуальной защиты и соблюдения требований безопасности при работе.

УДК 621.181

Условия труда машиниста котлов

Студенты гр. 106510 Саленик И.И., Ивашкевич В.С.
Научный руководитель Винерский С.Н.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Работа котельного оборудования напрямую зависит от четкой организации работы персонала, которая включает постоянный контроль за работой систем автоматики, контрольно-измерительных приборов, арматуры, котлов в соответствии с их характеристикой, режимными картами, за соблюдением и поддержанием параметров режима горения, водного режима,

за состоянием поверхностей нагрева, соблюдением сроков и объемов ремонта, показателями работы котельного оборудования.

При приеме смены машинист котлов, прежде всего, должен совершить обход оборудования в соответствии с маршрутной картой, убедиться в исправности оборудования, ознакомиться с записями в журнале дефектов, сообщить о заступлении на дежурство начальнику смены, отметив замечания, выявленные в результате обхода и проверки состояния оборудования, расписаться в суточной ведомости и приступить к работе.

Функции машиниста котлов заключаются в контроле за работающим оборудованием по показаниям КИП и приборов автоматики, проведении осмотров и обслуживании отдельных узлов котлов в соответствии с режимными картами, инструкциями и другими нормативными актами.

Большую часть оперативного времени машинист котлов проводит в одних и тех же зонах обслуживания, которые характеризуются неблагоприятными и вредными санитарно-гигиеническими факторами в рабочей зоне.

Так, концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны при нахождении его в зоне обслуживания мазутного, газового и питательного узла, барабана котла составляет:

- NO_2 от 1,0 до 4,2 мг/м³ (ПДК = 2 мг/м³);
- CO от 10,0 до 21,2 мг/м³ (ПДК = 20 мг/м³);
- SO_2 от 0,9 до 1,8 мг/м³ (ПДК = 10 мг/м³);
- C_nH_m от 36 до 70 мг/м³ (ПДК = 300 мг/м³).

Уровни шума при обслуживании мазутного, газового и питательного узла, у барабана котла превышают предельно допустимый уровень шума (80 дБА), установленный Санитарными нормами, правилами и гигиеническими нормативами «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки», утвержденными постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 16 ноября 2011 г. № 115 и составляют 84...89 дБА.

Температура воздуха (работа котла контролировалась в холодный период года) значительно превышала допустимые значения и составила от 25 °С до 50 °С (у верхнего барабана котла), а интенсивность инфракрасного (теплого) излучения на местах обслуживания котла превышала допустимое значение (100 Вт/м²).

Химические технологии

Студент гр. 104612 Литвинко В.Н.
Научный руководитель Бурак Г.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Золь кремниевой кислоты можно получать несколькими способами. Один из них – метод реакций двойного обмена, входящий в группу методов химической конденсации. Этим методом чаще всего получают золи кремнезема (кремниевой кислоты), действуя на силикат натрия соляной кислотой: при рН 8 – 10, т.е. в слабощелочном растворе, образуются довольно устойчивые золи с размером частиц от 10 до 100 нм.

Наиболее распространенный способ получения золя кремниевой кислоты состоит в пропускании разбавленного (3,5% SiO₂) раствора силиката натрия через слой Н⁺-катионита с добавлением на выходе требуемого для стабилизации количества щелочи (рН = 7–7,5). Для концентрирования раствора применяют его выпаривание, которое сочетают с выращиванием золя. Эта операция состоит в постепенном введении раствора (золя-питателя) в основной золь. Вводимый кремнезем будет переосаждаться на крупных частицах, причем скорость выпаривания и скорость роста частиц должны быть соизмеримы. Таким способом получают золи с частицами до 100 нм.

Принципиальная схема получения кремнезоля по такому способу следующая. В результате декатионирования раствора жидкого стекла получают кислый раствор кремнекислоты с рН = 1,5 – 2,0, который в мешалке-реакторе подвергают стабилизации концентрированным раствором щелочи до рН = 7,2 – 7,8. Полученный раствор концентрируют двухстадийным выпариванием. На I стадии концентрирования раствор подогревают до 100°С, а затем подпитывают исходным стабилизированным раствором (золям-питателем). При испарении смеси, скорость подачи раствора в испаритель должна быть равна скорости образования конденсата вторичного пара таким образом, на I стадии концентрирования получают раствор с концентрацией SiO₂ равной 10% мас., который направляют на дальнейшее концентрирование в испаритель II стадии. На II стадии концентрирования золям-питателем является раствор, полученный на I стадии. Так же как в испарителе I стадии, скорость подпитки на II стадии равна скорости испарения. На II стадии концентрирования по этой технологии удается получить кремнезоль с концентрацией SiO₂ равной 25 – 30% мас. при силикатном модуле 80 – 100. Такой золь является готовым продуктом с размерами частиц до 100 нм

Дополнительное концентрирование золя можно осуществлять методом ультрафильтрации. Такая технология особенно предпочтительна при получении концентрированных зольей с размерами частиц до ≈ 12 ÷ 15 нм. За время роста частиц при постоянном объеме их диаметр возрастает примерно в два раза. Это значит, что к исходному «зародышевому» золю необходимо добавить около восьми объемов «питателя», при этом будет достигнута максимальная концентрация только до ≈ 25 мас.% SiO₂. Для получения золя с концентрацией SiO₂ до 40% и выше концентрирование проводят также методом ультрафильтрации.

При получении зольей с размерами частиц 20 нм и выше необходимо вводить до 30–40 объемов «питателя» и более. В этом случае время роста частиц увеличивается до 20 часов и более. За это время золь благодаря упариванию успевает концентрироваться.

Концентрирование зольей с использованием метода ультрафильтрации позволяет проводить процесс при нормальной температуре (18 – 25°С). Метод отличается простотой технологии, малой энергоемкостью. Основными факторами, влияющими на скорость и селективность процесса ультрафильтрации, кроме свойств мембраны являются рабочее давление, температура, гидродинамические условия в аппарате, концентрация золя и природа стабилизирующих добавок.

Влияние солей трехвалентных металлов на стабилизацию полисульфидной серы в образцах бетонных изделий

Студент гр. 104612 Леонович А.С.

Научные руководители Глушонок Г.К., Кречко Н.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Бетон – капиллярно-пористый материал. В его поры попадает вода и другие агрессивные вещества, что снижает его долговечность. Поэтому одним из направлений, которым давно занимаются, является пропитка бетонов. Его пористую структуру заполняют другим материалом и получают улучшение определенных свойств.

В последнее время в качестве пропиточной композиции используют водные растворы серы. Однако, данный способ обработки бетонных изделий обладает серьезным недостатком – щелочной раствор серы вымывается водой. Для устранения этого недостатка бетонные изделия дополнительно обрабатывались растворами хлоридов трехвалентных металлов (Al, Fe, Cr). Изучалось водопоглощение образцов кубов 2x2x2 см из цементно-песчаного раствора, изготовленных в соответствии ГОСТ 310.4, после обработки их неорганическими растворами серы и последующей обработки растворами содержащими ионы Me^{+3} . Высыхание образцов происходило в течение 24 часов в естественных условиях. Затем образцы были высушены до постоянной массы, после чего были погружены в воду для насыщения. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследований

№	Антикоррозионная жидкость	Водопоглощение, $W_m, \%$	Показатель эффективности *
1	H ₂ O Контр-ные образцы	4,87	1,00
2	Воднр-р NaOH, + S 20%	4,00	1,22
3	Водн р-р NaOH, + S 20% + 1М водн. р-р AlCl ₃	3,25	1,5
4	Водн р-р NaOH, + S 20% + 1М водн. р-р CrCl ₃	3,15	1,5
5	Водн р-р NaOH, + S 20% + 1М водн. р-р FeCl ₃	2,86	1,7

* Показатель эффективности антикоррозионной жидкости – отношение величины водопоглощения за 48 ч контрольных образцов к величине водопоглощения образцов бетона, обработанных антикоррозионной жидкостью.

Из таблицы видно, что показатель эффективности антикоррозионной жидкости возрастает после дополнительной обработки изделий растворами трехвалентных металлов, не образующих нерастворимые сульфиды в водном растворе, вследствие их гидролиза. Возможно, что анион S_4^{-2} переводится в форму HS_4H , что способствует снижению растворимости полисульфидной серы. При этом не наблюдается вымывания серы в воду при насыщении образцов водой.

Получение нанодисперсных соединений с целью повышения эффективности модификаторов раскислителей

Студент гр. 104140 Заноско О.А.

Научный руководитель Зык Н.В.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Комплексные научные исследования показали, что модифицирующая обработка расплава чугуна различными ПАЭ и их комбинациями открывает новые аспекты воздействия на наноструктуру расплава чугуна и управление через это воздействие процессами структурообразования в графитизированных чугунах. В процессе модифицирования в расплаве образуются искусственные эндодральные наносоединения на основе фуллеренов и ПАЭ, которые активно изменяют характер кристаллизации железоуглеродистых расплавов. Такой метод воздействия на структуру железоуглеродистых расплавов получил название «наномодифицирование».

Установлено, что наномодификатор эффективно влияет на кристаллизацию не только графитной фазы, но и на фосфидную эвтектику, и на первичное зерно чугуна, и на фазу неметаллических включений, активизируя последнюю в качестве дополнительных гетерогенных центров графитизации.

Другой важнейшей особенностью наномодифицирования является его низкая чувствительность к значительным колебаниям химического состава расплава чугуна и к способам плавки, а также подавление проявления «наследственности» шихтовых материалов в структуре чугуна отливки, поскольку ПАЭ, входящие в состав модификатора, воздействуют избирательно на формирование структуры чугуна и структурообразование при его кристаллизации. Также наномодифицирование противодействует явлению увядания инокулирующего эффекта в процессе выдержки расплава в ковше перед заливкой формы, что увеличивает технологический цикл живучести расплава чугуна.

Согласно литературным данным, применение модификаторов позволяет сократить длительность графитизирующего отжига до 1...5 часов при снижении температуры процесса до 850...950 °С. Модифицирование алюминиевых литейных сплавов, бронз и латуней ликвидировало полностью усадочные явления в отливках и повысило качество механообработки за счет повышения и стабилизации твердости при существенном измельчении структуры сплавов. Анализируя литературные источники по данному вопросу необходимо отметить значительные успехи в практике наномодифицирования сплавов. Однако актуальным является вопрос разработки способов ввода нанопорошков в состав модификатора.

Целью исследований является повышение эффективности модификатора раскислителя на основе алюминия за счёт введения в его состав дисперсных соединений активных элементов.

В качестве дисперсных порошков активных элементов использовали нитрид титана. Опытный образец такого нанопорошка был предоставлен нам лабораторией материаловедения Республики Корея согласно договора о научно-техническом сотрудничестве с БНТУ.

На первом этапе работы проводили исследование данного порошка с использованием таких методов идентификации как рентгенофазовый и ИК спектроскопический анализы. Рентгенограммы всех исследованных соединений записаны на рентгеновском дифрактометре ДРОН-4-13 с медным CuK_α излучением (никелевый фильтр). Образцы для съемки дифрактограмм применяли в виде порошка. Образец поворачивался от 10 до 90 °. На основании записи потенциометра КСП-4 были установлены значения углов θ , соответствующие

дифракционным максимумам на диаграмме и определены их относительные величины (интенсивности отражения). Зная угол θ , по таблицам межплоскостных расстояний были найдены величины межплоскостного расстояния, соответствующего этому углу отражения.

Инфракрасные спектры поглощения анализируемых соединений записаны в диапазоне частот $400-4000 \text{ см}^{-1}$ путем непосредственного анализа индивидуальных веществ без предварительного смешения с KBr при использовании DTGS-детектора.

Из рисунков видно, что значения критических точек на кривых охлаждения исходного образца модификатора и с добавками наночастиц нитрида титана совпадают. Это означает, что добавки в состав базового модификатора, наночастиц не оказывают воздействия на фазовые составляющие полученного слитка. Испытания эффективности модифицирования проводили при выплавке стали 35Л в индукционной тигельной печи с кислой футеровкой емкостью 60 кг.

Модификатор в виде брикетов в количестве 0,05% вводился в ковш ёмкостью 10 кг. По каждому варианту модифицирования были отлиты специальные пробы из которых вырезались образцы для изучения структуры и свойств, как в литом состоянии, так и после термической обработки.

Обработка углеродистой стали модификатором с добавками нитрида титана изменила перлитоферритную структуру отливок. У стали обработанной модификатором, содержащим 6 и 9 % нитрида титана, более высокие показатели твердости. В литой стали наблюдается крупнозернистая перлитная структура с включениями феррита игольчатой формы (видманштеттова структура). По мере увеличения добавок нанопорошка балл зерна литой структуры увеличивается. В структуре отливок из такой стали после отжига отмечается также равномерное распределение включений пластинчатого и зернистого перлита. Ряд исследователей отмечает положительную роль добавок нанопорошков в углеродистую сталь на глобуляризацию неметаллических включений и более равномерное их распределение в отливке.

Проведены лабораторные испытания модификатора в виде брикетов при ковшевой графитизирующей обработке серого чугуна, выплавленного в индукционной тигельной печи ИСТ-006. Наличие в составе базового модификатора нитридов титана снизило склонность чугуна к отбелу с 7,0 до 2,0 мм. Это отразилось на количестве и распределении графитных включений. При этом твердость сплава несколько снизилась, особенно при использовании модификатора содержащего 3 % нитридов титана. Таким образом, проведенные предварительные исследования показали перспективность применения в составе базового модификатора на основе алюминия дисперсных порошков соединений титана.

УДК 666.946

Осаждение нитридов титана и кремния из газовой фазы

Студенты гр. 104112 Сидоркин А.С., гр. 101610 Шевченко А.А.

Научный руководитель Медведев Д.И.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В последние 20 лет наблюдается возрастающий интерес к структурам, размеры отдельных элементов которых сравнимы с нанометровыми. Объясняется это тем, что наноструктурные объекты обладают уникальными механическими, электрическими, магнитными, оптическими, химическими и другими свойствами и характеристиками, открывающими путь к созданию принципиально новых материалов, устройств и технологий.

Одним из перспективных методов получения трехмерных нанопорошков является метод их осаждения из газовой фазы путем плазмохимического или высокотемпературного синтеза из галогенидов металлов. Последний при значительно более низких температурах

синтеза (1000 – 1200°C) позволяет получать более однородные по фракционному составу порошки.

Ранее проведенными исследованиями показаны преимущества использования в качестве азотирующего агента хлоридов аммиака по сравнению с азотоводородной смесью (N₂ + H₂). Указанные процессы являются эндотермическими ($\Delta_2H^0 > 0$) и без введения дополнительного тепла извне осуществить их невозможно. Поэтому недостающее тепло подводили в зону реакции за счет внешнего обогрева и предварительного подогрева исходных реагентов и газа-носителя, в качестве которого использовали Ar.

В результате проведенных исследований установлено, что нитрид титана стехиометрического состава TiN образуется в процессе аммонолиза TiCl₄ уже при 900°C и с увеличением температуры до 1000 – 1100°C выход и степень чистоты нитрида титана увеличиваются соответственно до 99,8 и 99,5%. Увеличение температуры синтеза приводит к укрупнению частиц TiN, а снижение времени пребывания реагентов в зоне реакции до 5 сек сопровождается увеличением удельной поверхности TiN с 13,8 до 29,3 м²/г.

Показано, что в аналогичных условиях при температурах 1000 – 1100°C нитрид кремния не образуется, это может быть объяснено тем, что синтез TiN происходит через стадию образования нитридхлорида титана (TiNCl), который при температурах 900 – 1100°C легко разлагается в результате реакции диспропорционирования по уравнению:



Аммонолиз SiCl₄ при высоких температурах приводит к образованию более устойчивых имидохлорпроизводных кремния разложение которых протекает при температурах выше 1200°C.

Последнее объясняется различной степенью ионности и, как следствие, различными энергиями связей Ti — N и Si — N в промежуточных продуктах синтеза. Степень ионности связи определяли как разность электроотрицательности элемента и азота.

Таким образом, проведенное исследование показали, что увеличение степени ионности связи Э — N (1,33 и 1,75 соответственно связи Si — N и Ti — N) способствует снижению температуры синтеза в случае металлоподобных нитридов титана и повышением температуры синтеза в случае неметаллических нитридов.

УДК 625.7

Исследование возможности производства силикатных изделий неавтоклавного твердения

Студент гр. 104112 Прокопчук Д.А.

Научный руководитель Меженцев А.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Традиционно термическая активация компонентов силикатобетонной смеси осуществляется в автоклавах, где в условиях повышенной температуры и давления происходит гидротермальный синтез гидросиликатов кальция (ГСК).

В последние годы на основе экспериментально-теоретических исследований была обоснована возможность получения силикатных материалов неавтоклавного твердения методом литьевого формования силикатобетонных активированных смесей.

Переход от гидротермального синтеза ГСК в автоклавах к тепловлажностной обработке (ТВО) осуществляется объединением следующих способов активации:

- химической – за счет введения аморфного (активного) кремнезема;
- хемоактивации – за счет повышенных значений рН среды;

- термоактивации – за счет экзотермии процесса гашения молотой негашеной извести;
- механохимической активации кристаллического кварца в водной среде смесителя-активатора.

Неавтоклавная технология получения силикатных материалов основывается на гидратации известково-кремнеземистого вяжущего при температуре 85°C и атмосферном давлении, которая реализуется за счет высокого значения водородного показателя $pH > 12$ с использованием в качестве щелочного компонента известково-кремнеземистого вяжущего негашеной извести, молотой совместно с частью кварцевого песка. Взамен другой части молотого кварцевого песка вводят осадочные горные породы органогенного происхождения с оптимальной удельной поверхностью, содержащие аморфный кремнезем.

Влияние химической активации оценивали активностью известково-кремнеземистых дисперсных систем по количеству связанного гидроксида кальция. Из сравнения данных для систем двух видов, содержащих аморфный кремнезем в виде трепела и кристаллического кварца, следует, что активность дисперсных систем за счет введения аморфного кремнезема взамен молотого кварцевого песка увеличивается в 2 раза.

Предварительный разогрев смеси в формах обеспечивается применением негашеной молотой извести совместно с кварцевым песком. Регулирование скорости тепловыделения извести обеспечено оптимальным водотвердым отношением, содержанием добавок гипса и пластификаторов.

Установлено, что относительное увеличение прочности за счет использования негашеной извести составляет 8 раз.

Литьевая технология является одной из эффективных ресурсосберегающих технологий. Широкое применение литьевая технология в последнее десятилетие получила благодаря интенсивному развитию производства и массовому применению высокоэффективных пластификаторов.

Однако, при изготовлении силикатных неавтоклавных изделий литьевым способом использование пористых горных пород, содержащих аморфный кремнезем, приводило к повышению водопотребности смесей и, как результат к снижению морозостойкости изделий.

Механохимическая активация компонентов позволяет снизить вязкость известково-кремнеземистого вяжущего более чем в 10 раз без изменения водопотребности. Этот эффект снижения использован для активации вяжущего совместно с мелкозернистым заполнителем и компенсации повышенной водопотребности силикатобетонной смеси за счет введения в вяжущее аморфного кремнезема.

Повышение активности поверхности заполнителя – это один из способов, который обеспечивает повышение прочности, морозостойкости и деформативности и как результат, долговечности силикатных материалов.

Аморфный кремнезем с заданной удельной поверхностью выполняет роль модификатора структуры и позволяет регулировать кинетику гидратации и структурообразования. В зависимости от удельной поверхности минеральной добавки реакции могут идти в условиях избытка извести, дефицита или при полном ее связывании. Составы и режимы твердения для получения силикатных изделий неавтоклавного твердения разработаны по результатам проведенных экспериментов.

Приближенный расчет показывает, что переход от автоклавной обработки изделий, полученных методом прессования, к тепловлажностной обработке изделий, полученных по литьевой технологии позволяет сократить затраты на производство более чем на 25%.

Изучение возможности применения уравнения Релея для расчета размеров частиц коллоидного диоксида титана

Студент гр. 104612 Березин Н.А.
Научный руководитель Слепнева Л.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Одним из наиболее простых методов изучения ультрадисперсных систем, к которым относятся коллоидные растворы, является метод спектроскопии. Частицы дисперсной фазы коллоидно-дисперсных системы проходят через бумажный фильтр, невидимы в обычный микроскоп, сама дисперсная система не проявляет видимых изменений при стоянии. Поскольку дисперсные системы обладают фазовой неоднородностью, световой поток, направленный на систему, отражается и преломляется под разными углами, что снижает интенсивность электромагнитного поля, выходящего из системы даже при отсутствии поглощения света частицами.

Увеличение дисперсности системы приводит к дифракционному рассеянию лучей, что находит свое отражение в появлении опалесценции. Рассеяние наблюдается в том случае, если частицы дисперсной фазы находятся друг от друга на расстояниях больших длины волны, а также имеют размеры меньшие, чем длина волны падающего света. Существуют несколько методов исследования ультрамикрорегетерогенных систем, основанных на явлении рассеяния света, – это ультрамикроскопия, турбидиметрия и нефелометрия.

Турбидиметрический метод основан на измерении интенсивности света, прошедшего через дисперсную систему, причем интенсивность падающего светового потока ослабляется вследствие его рассеяния частицами дисперсной системы.

Для турбидиметрии пригодны коллоидные растворы веществ, не поглощающих электромагнитные волны видимого диапазона, так называемые белые золи, поскольку только в этом случае весь рассеянный свет в расчетах можно принять за фиктивно поглощенный. Следует отметить, что точность метода турбидиметрии не очень высока, поскольку относительно малая величина интенсивности рассеяния определяется по разности больших значений интенсивностей падающего и проходящего потоков света.

Гидрозоли диоксида титана могут быть объектом для турбидиметрического метода исследования, поскольку он относится к белым золям. Поскольку гидрозоли – это промежуточный продукт в процессе получения нанопорошка диоксида титана, изучение свойств и регулирования размеров дисперсных частиц гидрозоля представляется важным при получении нанопорошка. В качестве прибора для проведения турбидиметрических измерений используют фотоколориметр, предназначенный для определения оптической плотности окрашенных растворов.

Нами был получен гидрозоли диоксида титана гидролизом тетраоксида титана, предварительно растворенного в изобутаноле (соотношение по объему 1:4). Изобутанольный раствор тетраоксида титана добавляли к дистиллированной воде, нагретой до температуры 70-80⁰С по каплям и при постоянном перемешивании.

Период времени до появления опалесценции изменялся в диапазоне от 15 минут до 10 суток в зависимости от количества добавленного раствора тетраоксида. Получение устойчивого гидрозоля наблюдалось при концентрации $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л в пересчете на диоксид титана, слабая опалесценция раствора при этой концентрации начинала наблюдаться на одиннадцатый день с момента приготовления смеси. При более низкой концентрации прекурсора образования гидрозоля не наблюдалось, а более высокая концентрация проводила к потере стабильности системы. Появление видимой опалесценции в процессе образования гидрозоля

диоксида титана – следствие рассеяния света. Теория рассеяния света дисперсными системами была разработана Дж.У. Релеем.

Уравнение Релея, позволяющее произвести расчет радиуса частицы золя, применимо, если диаметр частиц дисперсной фазы не более 1/10 длины волны падающего света. Поскольку с помощью концентрационного фотоколориметра КФК-2 были экспериментально определены оптические плотности образца гидрозоль диоксида титана в диапазоне длин волн падающего света от 400 нм до 670 нм, истинное рассеяние света частицами гидрозоль возможно, если их диаметр не более 50-60 нм.

Уравнение Релея:

$$I_p = 24\pi^3 \left(\frac{n^2 - n_o^2}{n^2 + 2n_o^2} \right) \cdot \frac{V^2 \cdot \nu}{\lambda^4} \cdot I_o = F \cdot \frac{V^2 \cdot \nu}{\lambda^4} \cdot I_o,$$

где I_p – интенсивность рассеянного света;

I_o – интенсивность падающего света;

n и n_o – показатели преломления дисперсной фазы и дисперсной среды соответственно;

V – объем частиц;

ν – концентрация частиц в системе;

λ – длина волны падающего света в среде;

F – функция от показателей преломления.

Из уравнения следует, что оптическая плотность рассеивающей монодисперсной системы обратно пропорциональна длине световой волны в четвертой степени. Уравнение, выражающее зависимость оптической плотности от длины волны падающего света для дисперсных систем с частицами, диаметр которых больше 1/10 длины волны падающего света было предложено Геллером.

Уравнение Геллера:

$$D = \frac{k}{\lambda^n},$$

где k – константа, не зависящая от длины волны,

n – показатель степени.

Показатель степени длины волны падающего света в уравнении Геллера может изменяться от 1 до 4 в зависимости от диаметра частиц дисперсной фазы. Уравнение можно представить в логарифмической форме:

$$\lg D = \lg k - n \lg \lambda,$$

Для определения показателя степени n в уравнении Геллера достаточно построить прямую в координатах $\lg D - \lg \lambda$; тангенс угла наклона этой прямой будет равен коэффициенту n .

Для изучения оптических свойств гидрозоль диоксида титана был выбран образец, устойчивый на протяжении одного месяца, после чего наблюдалось образование осадка вследствие процесса старения, сопровождавшегося агрегацией частиц дисперсной системы. Оптические плотности гидрозоль диоксида титана были измерены на ранних этапах появления опалесценции с помощью концентрационного фотоколориметра КФК-2 в диапазоне длин волн падающего света от 400 нм до 670 нм (таблица 1). Измерения проводились в кварцевых кюветах длиной 5 см. Показатели степени n рассчитывались, исходя из логарифмической зависимости оптической плотности от длины волны по формуле:

$$n = - \frac{\lg D_1 - \lg D_2}{\lg \lambda_1 - \lg \lambda_2}; \text{ где } \lambda_1 < \lambda_2$$

Таблица 1 – Оптические плотности образца гидрозоля диоксида титана

λ , нм	400-670	440-670	490-670	540-670
$\lambda_{\text{ср}}$, нм	535	555	580	605
n	4,35	4,16	4,00	3,70

Показатель степени длины волны равен четырем (т.е. совпадает с показателем степени в уравнении Релея) при длине волны падающего света 580 нм. Из данных по расчету показателя степени можно сделать вывод о возможности применения уравнения Релея для расчета размеров частиц гидрозоля диоксида титана в диапазоне длин волн 490-670 нм.

УДК 541.18

Модифицирование наноразмерными частицами цеолитов

Студент гр. 104112 Марковский А.М.

Научные руководители Кирюшина Н.Г., Шагойко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Модифицирование наноразмерными частицами цеолитов. Цеолиты - кристаллические водные алюмосиликаты Цепочных или щелочноземельных металлов, соответствующие формуле $\text{MeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (где Me – ион металла). Они характеризуются рыхлой структурой с широкими каналами и полостями на уровне кристаллической решетки, что обуславливает уникальность их свойств: молекулярноситовой эффект, высокую ионообменную, сорбционную и каталитическую способности.

Зная размеры адсорбируемых молекул и окон цеолита, можно подбирать определенную диффузионную форму цеолита регулирования гидратационных процессов твердения цементного камня.

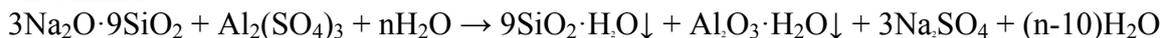
Введение добавки золя синтетического цеолита в цементные пенобетонные смеси обеспечит образование на поверхности цементных частиц на начальном этапе гидратации поверхностно-активных коллоидных оболочек склонных к образованию в дальнейшем цеолитоподобной мембраны с регулируемыми размерами полостей, обладающей повышенными адсорбционными и диффузионными свойствами. Это должно способствовать интенсификации ионообменных процессов при гидратации цемента, повышению количества внутреннего гидратного продукта при твердении как следствие увеличению прочности и долговечности пенобетона.

Для реализации механизма действия добавки необходимо, чтобы добавка золя синтетического цеолита за счет высокой поверхностной активности быстро адсорбировалась на поверхности раздела фаз «цемент-вода» и образовала нанослой на поверхности гидратирующих цементных частиц, заменяя первичный нерегулируемый нанослой гидросиликата кальция. При этом структура макромолекулы золя должна иметь полости с размером больше размера наиболее объемных ионов, в первую очередь иона кальция.

Так, для исследований среди наиболее распространенных был выбран цеолит типа NaX, имеющий наибольший размер входных окон 0,9 нм.

Метод получения наномодификатора золя синтетического включает следующие стадии:

1. Получение гидрогеля путем смешивания раствора жидкого стекла и раствора сульфата алюминия:



2. Разделение геля ($\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и раствора сульфата натрия $\text{Na}_2\text{SO}_4 + n\text{H}_2\text{O}$.

3. Получение золя из осадившегося геля ($\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) путем пептизации раствором гидроксида натрия.

4. Дополнительная диспергация путем мокрого помола в вибромельнице.

Полученные золи имеют $\text{pH} = 10,5-14,5$ и устойчивость к коагуляции 4-6 месяцев.

Исходя из результатов моделирования, предположительно размер макромолекулы золя, осевшей на частицах цемента, составляет около 3,9 нм; золь проявляет диффузионно-адсорбционные свойства по отношению к ионам кальция; коллоидный цеолитный нанослой способен адсорбировать ионы кальция, что может сдерживать кристаллизацию свободного гидроксида кальция на начальном этапе гидратации.

Эффективная дозировка цеолитного золя находится в пределах 0,05 – 0,10 %.

Исследования прочности цементного камня, раствора и пенобетона подтвердили наибольшую эффективность добавки при дозировке 0,05 – 0,10 % от массы цемента. Наблюдается рост прочности и в ранние и в поздние сроки твердения на 15 – 50 %. Методами ИК-спектроскопии, термогравиметрии и РФА выявлено, что введение золь-добавки приводит к приросту степени гидратации почти в три раза в ранние сроки твердения и на 10 % – в поздние сроки твердения. Исследование пористости и дисперсности гидратной структуры цементного камня с добавкой подтверждают результаты физико-химических исследований: повышение гелевой пористости (на 5 %), снижение макропористости (на 15 %) и увеличение удельной поверхности (на 9 %). Полученные результаты свидетельствуют об увеличении количества продуктов гидратации и уплотнении гидратной структуры.

Практическое внедрение показало, что технология пенобетона с применением добавки золя синтетического цеолита позволяет:

- обеспеченно производить пенобетон, по физико-техническим показателям превосходящий традиционный на 30 – 50 % при сохранении средней плотности;
- экономить порядка 10 % цемента;
- отказаться от применения мелкого заполнителя;
- производить пенобетон повышенной эффективности марки D600 взамен D700 при прочностных показателях материала, соответствующих по прочности классу конструкционно-теплоизоляционным материалам;
- осуществлять монолитное пенобетонирование при нормальных и пониженных температурах (+5 °С);
- повысить экономический эффект по показателям рентабельности и индексу доходности за счет ультразвуковых дозировок наномодификатора и экономии цемента.

УДК 691

Процессы, протекающие в системе $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ в гидротермальных условиях

Студент гр. 104612 Мухля А.Д.

Научный руководитель Яглов В.Н.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Изделия и конструкции из автоклавных материалов являются эффективными и перспективными. Большое преимущество этих материалов – наличие повсеместно общедоступного сырья и возможность использования отходов промышленности. Это позволяет внедрять ресурсосберегающие, энергосберегающие и безотходные технологии.

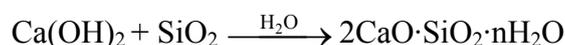
В современном строительстве широко применяется силикатный кирпич для возведения стен зданий. Интенсивное разрушение силикатного кирпича в зданиях и сооружениях в процессе их эксплуатации в неблагоприятных условиях при достаточно коротком сроке службы, заставляет возвращаться вновь к проблемам производства долговечных стеновых материалов.

При производстве известково-кремнеземистых вяжущих решающее значение приобретают такие факторы, как изменение состава вяжущих, физическое (энергетическое) состояние компонентов, дисперсность, pH среды и процессы, протекающие при автоклавировании.

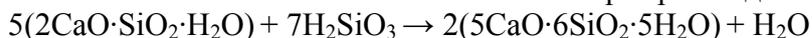
Компоненты известково-песчаной смеси растворяются в воде, находящейся в порах изделия и ионы кальция взаимодействуют с кремниевыми кислотами с образованием гидросиликатов кальция. Вследствие малой растворимости они выкристаллизовываются из пересыщенного раствора и связывают каркас из кварцевого заполнителя.

На основе системного анализа результатов многих исследований автор создал теорию химизма гидротермального процесса получения гидросиликатов кальция (ГСК) в автоклаве. Стадии этого химического взаимодействия:

I стадия процесса в системе $\text{Ca}(\text{OH})_2 - \text{кварц} - \text{H}_2\text{O}$ начинается примерно с достижения температуры 120°C на поверхности кварца, на которой происходит разрыв силоксановых связей, гидратация SiO_2 и кислотно-основное взаимодействие полигидратов кремнезема и извести с образованием ГСК:



II стадия гидротермального синтеза ГСК начинается после израсходования $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и занимает примерно оставшуюся половину времени изотермической выдержки в автоклаве. В этой стадии полученный ранее ортосиликат кальция реагирует с кремнеземом с образованием низкоосновных силикатов типа CSH и тоберморита идет по уравнению



Нами для изготовления силикатного кирпича в сырьевую смесь был добавлен нанопорошок SiO_2 и гель H_2SiO_3 .

Количество CaO , содержащееся в силикатном кирпиче сырьце, связывали добавкой нанопорошка SiO_2 . Для этого отбирали 50 г кирпича сырьца, прибавляли добавку и формовали кубики $2 \times 2 \times 2$ см, которые подвергали запариванию. Кирпич сырец после запаривания в течение 8 часов содержал $\text{CaO} - 3,8\%$.

Полученные экспериментальные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Кинетика усвоения CaO

№ пп	Состав сырьевой смеси	Время запаривания, час				
		0	2	4	6	8
1	50 г кирпич сырец	8,4				
	+ 10 г гель SiO_2		2,7	2,5	2,3	1,8
	+ 15 г гель SiO_2		1,8	1,6	1,5	1,3
	+ 20 г гель SiO_2		1,1	1,2	1,0	1,9
2	50 г кирпич сырец					
	+ 1г наночастицы SiO_2 порош.		2,8	2,5	2,1	1,4
	+ 1,5 г нано SiO_2		2,4	2,4	2,0	1,2
	+ 3 г нано SiO_2		2,8	2,8	2,0	1,0

Эффективной добавкой, ускоряющей усвоение извести, является гель H_2SiO_3 . Менее активен, как поглотитель извести, нанопорошок SiO_2 .

**Молодёжные
инновационные
проекты.
Организация
и управление
инновационными
предприятиями
при университетах**

Студентка гр. 113621 Сафронова О.В.
Аспиранты Калинин А.Ю., Журкевич М.В.
Научный руководитель Гмырак В.Н.

Государственное предприятие
«Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»
г. Минск

Классический университет сейчас – это одновременно образовательный, исследовательский и предпринимательский центр, главными задачами которого являются: фундаментальное многоуровневое образование, фундаментальные и прикладные исследования, трансфер знаний и технологий, а также активное участие в программах и проектах экономического, социального, культурного и инновационно-технологического развития своих регионов.

Сегодня Белорусский национальный технический университет – современный образовательный и научно-инновационный комплекс – не имеющий аналога среди других вузов Республики. За 90 лет с момента своего основания университет подготовил и выпустил свыше 175 тысяч высококвалифицированных специалистов для Беларуси и свыше 6,5 тысяч специалистов для 120 стран мира. В настоящее время Белорусский национальный технический университет ведет подготовку квалифицированных специалистов с высшим образованием по 88 специальностям и 121 специализации, в магистратуре по 55 специальностям, аспирантуре – по 54, докторантуре – 34. Во исполнение Государственной программы инновационного развития страны в БНТУ впервые в республике начата подготовка по специальности «Менеджмент» со специализацией «Инновационный менеджмент». В БНТУ активно работает первый в республике университетский научно-технологический парк «Политехник», который является наиболее крупной и развитой инновационной структурой в стране. Сегодня в технопарке БНТУ в рамках государственной программы инновационного развития страны реализуется более 10 крупных инновационных проектов по созданию новых и модернизации действующих предприятий и производств.

Мировой опыт показывает, наиболее высокой адаптивной способностью к нововведениям и их генерации обладает современная молодежь. В современных условиях очевидна необходимость укрепления инновационного потенциала молодого поколения, а также переориентации общества на включение инновационного ресурса молодых граждан в процессы стратегического развития государства. Молодежные инновационные проекты БНТУ только за 2013 год стали лауреатами и победителями ряда республиканских и международных специализированных мероприятий, таких как «100 идей для Беларуси», «Лучший молодежный инновационный проект Союзного государства», «Ярмарка инноваций», Республиканский конкурс инновационных проектов. Учитывая высокий научно-инновационный потенциал обучающейся молодежи БНТУ, сегодня в университете особое значение имеет организация инновационного процесса, которая должна предполагать более активное привлечение к инновационной деятельности творческой молодежи, а также предоставление площадки для реализации молодежных инновационных проектов, в том числе и старт-ап проектов.

Старт-ап (с англ. start-up – запустить) – проект, находящийся на начальной стадии реализации и имеющий инновационную идею и перспективный продукт. Составляющие старт-апа: инновационная идея, молодежная команда, начинание «с нуля». Особо перспективными считаются старт-ап проекты, создаваемые в стенах университетов и основывающиеся не только на идеях, но и имеющие научный базис.

В феврале 2014 года при поддержке Европейской Комиссии в рамках выполнения проекта SUCSID программы Tempus официально открыт Старт-ап Центр БНТУ «Ideas come true» (далее - Центр).

Целью деятельности Центра является создание среды для стимулирования и поддержки предпринимательской активности обучающихся и молодых ученых в научно-инновационной сфере.

Свою деятельность Центр будет осуществлять по следующим ключевым направлениям:

1. Содействие разработке и коммерциализации старт-ап проектов;
2. Обеспечение практически-ориентированного обучения по вопросам подготовки, управления и реализации инновационных проектов;
3. Формирование и ведение банка данных проектов;
4. Разработка мер стимулирующего характера для повышения предпринимательской активности молодежи в научно-инновационной сфере;
5. Привлечение заинтересованных юридических и физических лиц к реализации мер, направленных на стимулирование и поддержку предпринимательской активности в научно-инновационной сфере;
6. Содействие развитию совместных инициатив и связей между учреждениями высшего образования, научными организациями и иными юридическими и физическими лицами;
7. Обеспечение информационной поддержки старт-ап проектов на национальном и международном уровне.

В структуре Университета Центр будет выполнять следующие функции:

1. Организация мероприятий (конкурсы проектов, семинары, конференции, круглые столы, презентации, бизнес-игры и пр.), направленных на подготовку, продвижение и реализацию старт-ап проектов и их информационную поддержку;
2. Осуществление комплекса информационно-маркетинговых мероприятий по продвижению проектов (содействие в проведении маркетинговых исследований, предоставление информации о национальных и международных выставочных мероприятиях, разработка и выпуск информационных и других материалов, распространение информации и ее размещение на сайте Центра);
3. Содействие в поиске источников финансирования для реализации проектов (предоставление информации о конкурсах и мероприятиях, в результате которых возможно финансирование проекта, проведение переговоров с потенциальными инвесторами и партнерами, информирование клиентов о результатах данных переговоров);
4. Содействие в разработке и осуществление экспертизы бизнес-планов проектов и иных документов, необходимых для участия в мероприятиях, в результате которых возможно финансирование проекта;
5. Консультирование по вопросам правовой охраны и управления интеллектуальной собственностью;
6. Организация обучения по вопросам подготовки, управления и реализации инновационных проектов.

Стоит отметить, что Центр будет действовать в тесной кооперации с Центром поддержки инновационного предпринимательства Научно-технологического парка БНТУ «Политехник». Данное сотрудничество позволит привлечь к реализации и поддержке молодежных инновационных проектов не только развитую информационно-маркетинговую базу Научно-технологического парка БНТУ «Политехник», но и квалифицированных специалистов в области бизнес-планирования, сопровождения проектов, организации производств и выхода на рынок инновационной высокотехнологичной продукции, управления интеллектуальной собственностью. Также к деятельности Центра будут привлекаться специалисты и эксперты Белорусского инновационного фонда, Национального центра интеллектуальной собственности, профильных научно-исследовательских и производственных предприятий.

Опыт реализации проектов в сфере энергоэффективных технологий на базе субъекта инновационной инфраструктуры

Магистрант Щемелёва Е.А.
Научные руководители Левков Л.Ф., Левков К.Л.
Государственное предприятие
«Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»
г. Минск

В настоящее время в Республике Беларусь существует проблема обеспеченности собственными энергоресурсами, которая составляет 15-17% потребности Республики в топливно-энергетических ресурсах, такими как нефть, газ, гидроресурсы, биомасса и др.

В связи с этим особенно актуальной становится возможность использования вторичных энергоресурсов, например таких, как энергия избыточного давления природного газа, которая образуется в ходе процессов понижения давления природного газа до значений, требуемых потребителю и на данный момент не используется.

Для решения этой проблемы, на базе одного из ведущих научно-инновационных предприятий в системе Министерства образования Республики Беларусь, Республиканского инновационного унитарного предприятия «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», сектором энергоэффективных технологий решается задача создания устройств, обеспечивающих снижение давления газового потока с одновременным блокированием рассеяния энергии среды, в которой имеется избыточное давление, и параллельным использованием избыточной энергии давления для получения электроэнергии. Это значительно снизит расход импортируемого природного газа и уменьшит затраты на выработку электроэнергии.

Наиболее передовым и развивающимся научно-исследовательским проектом в данном направлении является «Разработка энергосберегающей установки для утилизации энергии избыточного давления природного газа на газорегуляторных пунктах», финансируемого за счет средств инновационного фонда Минского городского исполнительного комитета.

Методология проведения работ состоит, главным образом, в разработке и создании способа и установки для утилизации энергии избыточного давления природного газа на базе использования новых турбинных технологий, позволяющих вырабатывать механическую (электрическую) энергию в широком диапазоне расходов и температурных уровней теплоносителей. Это позволит разрабатывать и внедрять высокоэффективные схемы утилизации вторичных энергетических ресурсов.

Для работы над проектом в целом и на его отдельных этапах привлечены специалисты Белорусского национального технического университета, Республиканского инновационного унитарного предприятия «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», других научных, образовательных учреждений и промышленных предприятий Беларуси.

В ходе плодотворной работы молодых ученых, используя опыт квалифицированных специалистов, был разработан макет энергосберегающей установки, в которой использован абсолютно новый подход к конструированию подобных агрегатов. Установка сочетает в себе одновременно турбину, теплообменник и электрогенератор.

Применение современных технологий и оборудования позволяет реализовывать проект на высоком научно-техническом уровне.

Некоторые аспекты оценки бюджетной эффективности инвестиционных проектов по организации деятельности и развитию материально-технической базы научно-технологических парков: на примере Государственного предприятия «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

Студентка гр. 113621 Сафронова О.В.
Научный руководитель Гмырак В.Н.
Государственное предприятие
«Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»
г. Минск

Мировой опыт показывает, что деятельность инновационной инфраструктуры наиболее эффективна на базе высших учебных заведений инженерно-технологического профиля. В этой связи принято считать, что научно-технологические парки, созданные при крупных научных комплексах, таких как БНТУ, являются «локомотивами» инновационного развития и, в первую очередь, нуждаются в соответствующей поддержке со стороны государства. Университетские научно-технологические парки не только обеспечивают функции бизнес-инкубатора, предоставляя своим резидентам помещения различного функционального назначения, но и обеспечивают полный научно-инновационный цикл: от фундаментальных и прикладных исследований, создания разработок - до учреждения инновационных предприятий, организации производств и выпуска именно наукоемкой высокотехнологичной продукции, которая успешно реализуется на рынке, в том числе на экспорт. К примеру, сегодня БНТУ и Технопарком с превышением обеспечивается выполнение прогнозных показателей, установленных Пошаговой стратегией до 2015 года, предусматривающей увеличение не менее чем на 200% доли наукоемкой и высокотехнологичной продукции в общем объеме белорусского экспорта по сравнению с 2008 годом.

Сегодня Технопарк БНТУ обеспечивает весь комплекс услуг инновационного характера, направленных, в соответствии с Указом Президента №1 от 3 января 2007 года, на содействие развитию предпринимательства в научной, научно-технической, инновационной сферах и создание условий для осуществления юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями инновационной деятельности от поиска (разработки) нововведения до его реализации. Это услуги по предоставлению в аренду (субаренду) помещений различного функционального назначения, финансово-экономическому сопровождению реализации инновационных проектов, услуги в сфере управления интеллектуальной собственностью, комплекс информационно-маркетинговых услуг по изучению рынка и продвижению инновационной продукции, в том числе и на экспорт. Высокий уровень услуг инновационного характера подтверждается тем фактом, что в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь «О победителях и лауреатах Республиканского конкурса «Лучший предприниматель 2012 года» от 5 декабря 2013 года № 549 Научно-технологический парк БНТУ «Политехник» стал лауреатам Республиканского конкурса «Лучший предприниматель 2012 года» в номинации «Лучший субъект инфраструктуры поддержки предпринимательства».

Однако инфраструктурные возможности Технопарка не позволяют обеспечивать потенциальных резидентов необходимыми офисными и производственными помещениями, что является основополагающим требованием для создания и поддержки инновационного предприятия и получения, в соответствии с законодательством, статуса резидента научно-технологического парка. В настоящее время Технопарк является учредителем 9 малых инновационных предприятий, 7 из которых имеют статус резидента Технопарка. Два инновационных предприятия УП «Белтехнология» и УП «Нилогаз» обеспечиваются всем комплексом сервисных услуг Технопарка, однако не могут получить статус резидента в силу отсутствия

у Технопарка площадей для предоставления данным предприятиям в аренду (субаренду) (помещения арендуются по городу Минску по рыночной цене).

В целях развития инфраструктуры Технопарка совместно с БНТУ ведутся работы по реализации проекта по реконструкции здания столовой №1 БНТУ по ул. Сурганова, 37, корп.1 под организацию деятельности научно-технологического парка БНТУ «Политехник». Финансирование работ по реконструкции здания осуществляется за счет средств республиканского бюджета, предусмотренных на организацию деятельности и развитие материально-технической базы субъектов инновационной инфраструктуры в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 17 мая 2010 г. № 252.

Следует отметить, что Технопарк БНТУ «Политехник» в отличие от региональных научно-технологических парков не обладает возможностью в необходимом объеме обеспечить финансирование работ по реконструкции здания за счет других источников, в частности, за счет средств инновационных фондов, предусмотренных Указом Президента Республики Беларусь от 7 августа 2012 г. № 357 «О порядке формирования и использования средств инновационных фондов». В силу ведомственной подчиненности Технопарк является получателем средств инновационного фонда Министерства образования Республики Беларусь, который из-за особенностей формирования, связанных с небольшим количеством и невысокорентабельностью формируемых фонд организаций, не сосредотачивает значительного количества финансовых ресурсов, в отличие, к примеру, от инновационного фонда Мингорисполкома.

В Республике Беларусь уделяется особое внимание вопросам эффективности расходования и использования бюджетных средств, в частности на проведение строительно-монтажных работ. В соответствии со статьей 8 Бюджетного кодекса Республики Беларусь бюджетная система страны основывается на ряде принципов. При этом принцип эффективности использования бюджетных средств означает, что при составлении, рассмотрении, утверждении и исполнении бюджетов все участники бюджетного процесса должны исходить из необходимости достижения заданных целей с использованием минимального объема бюджетных средств или достижения максимального результата с использованием определенного бюджетом объема средств.

В целях оценки бюджетной эффективности проекта по реконструкции здания столовой № 1 БНТУ по ул. Сурганова, 37, корп.1 под организацию деятельности научно-технологического парка БНТУ «Политехник» приведем финансово-экономическое обоснование реализации проекта.

В настоящее время средний коэффициент эффективности использования площадей, который характеризуется отношением реализованной инновационной продукции (работ, услуг) Технопарка, его дочерних предприятий и резидентов к общей площади арендуемых помещений, за 2011-2013 годы год составляет ориентировочно 15 млн руб. в год на 1 м² площади. Из них около 30% составляет – экспорт, а также 30% составляют налоги и налоговые платежи в бюджет.

Общая площадь здания по ул. Сурганова, 37 после ввода в эксплуатацию составит 3033 м². Исходя из коэффициента эффективности использования Технопарком площадей, можно спрогнозировать, что после ввода здания в эксплуатацию, учитывая определенный временной лаг, реализация проекта позволит ежегодно обеспечивать производство и реализацию инновационной продукции в объеме более 45 млрд. рублей ежегодно, экспорт – на уровне не менее 1,5 млн долларов США, в экономике будет создано дополнительно около 150 новых рабочих место. Предполагаемый объем налогов и налоговых платежей в бюджет будет ежегодно составлять более 13,5 млрд. рублей (показатель также характеризует ежегодно упускаемую выгоду для государства в случае задержки ввода в эксплуатацию здания), что предполагает срок окупаемости проекта для государства в течение 2-3 лет.

Таким образом, полагаем что проект по реконструкции здания столовой № 1 БНТУ по ул. Сурганова, 37, корп.1 под организацию деятельности научно-технологического парка БНТУ «Политехник» отвечает принципу эффективности использования бюджетных средств.

Магистрант Янович И.В.

Научные руководители Барадина И.Н., Минченя В.Т.

Белорусский национальный технический университет

Белорусская медицинская академия последиplomного образования

г. Минск

Одной из важнейших проблем в стоматологии является своевременная диагностика и комплексное лечение наиболее распространенной патологии зубочелюстной системы – дисфункция собственно жевательного аппарата (СЖА). Челюстно-зубной аппарат представляет собой чрезвычайно сложную систему, которая повседневно в течение всей жизни человека нарушается целым рядом местных и общих болезненных процессов.

Заболевания и повреждения височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) занимают особое место среди стоматологических заболеваний. По данным различных авторов, заболевания ВНЧС встречаются у 25-65% населения, причём среди подростков и юношей у 16-30% [1].

Количество и возрастная принадлежность пациентов, страдающих патологией височно-нижнечелюстного сустава представлена на рисунке 1.

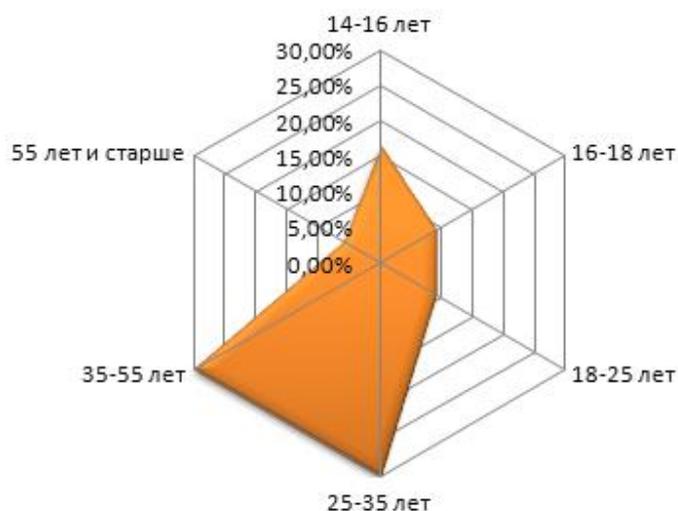


Рисунок 1 – Количество и возрастная принадлежность пациентов, страдающих патологией ВНЧС

В связи с возросшими требованиями к планированию и проведению лечения возросла потребность в применении приборов, обеспечивающих комплексную оценку функционального состояния зубочелюстной системы.

При нарушении функции суставов, вследствие кариеса, стертости твердых тканей зубов, вторичных деформаций после потери зубов, прежде всего, появляется утомляемость жевательных мышц, понижается суммарная высота зуба и как следствие, понижается прикус. По мере уменьшения высоты прикуса проявляются и напряжения в самом челюстном суставе – головка сустава начинает стираться. Возникают щелчки и хруст при открывании рта, боль.

Чтобы оценить дефекты зубных рядов, а также назначить правильное лечение для восстановления утраченного – требуется функциональное обследование. Совершенствование

методов диагностики необходимо для пациентов и осуществляется путем разработки алгоритмов и модификацией устройств диагностики – лицевой дуги.

Прибор относится к медицине, а именно к ортопедической стоматологии, и может быть использован для определения различных деформаций и заболеваний зубочелюстной системы.

В современном понимании целями использования лицевой дуги являются: ровное положение зубов в зубной дуге; правильное соотношение челюстей; устойчивое здоровое функционирование зубочелюстного аппарата; эстетика лица.

Лицевая дуга – приспособление, которое позволяет определить у пациента окклюзионную поверхность зубов верхней челюсти относительно ориентиров черепа. Составляющие лицевой дуги: основная рама, боковые плоскости с ушными пелотами 1, прикусная вилка 2, носовой упор 3, переходное устройство между вилкой и дугой в виде шагового двигателя, орбитальная стрелка 4, зрачковая плоскость и фиксаторы для артикулятора (рисунок 2).

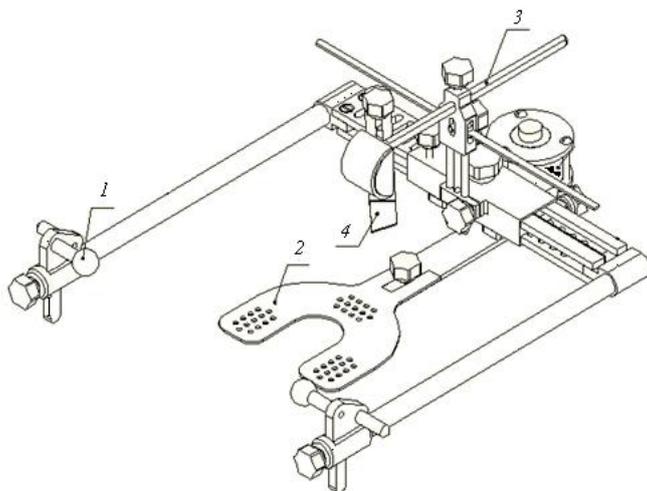


Рисунок 2 – Лицевая дуга

Устройство припасовывают на лице пациента так, чтобы ушные фиксаторы были введены в наружные слуховые проходы, а на переносице закрепляют третий фиксатор – носовой упор, регулируемый по вертикали и сагиттали и фиксируемый зажимными винтами. Таким образом, лицевая дуга укрепляется на голове пациента в 3 точках.

Для правильного расположения приспособления по вертикали применяют орбитальную стрелку лицевой дуги, которую ориентируют по нижнему краю глазницы или по наружному краю крыла носа в зависимости от того, по какой плоскости устанавливают лицевую дугу (по Камперовской – носо-ушная и Франкфуртской плоскости – ухо-глазничная оси горизонтали). Затем устанавливают прикусную вилку, которая крепится к лицевой дуге при помощи фиксирующего переходного устройства в виде шагового двигателя.

Для регистрации окклюзионных и контактных поверхностей зубов на прикусную вилку наносится оттискная масса, что позволяет получить отпечатки режущих и жевательных поверхностей бугров и резцов. Максимальную точность отпечатков позволяют получить: термопластическая оттискная масса и силиконовые материалы, предназначенные для регистрации прикуса.

После проведения работы с лицевой дугой и снятия результатов, прикусную вилку с оттискным материалом отправляют в зуботехническую лабораторию, где идет работа над коррекцией зубочелюстных аномалий.

Использование прибора позволяет быстро, комфортно и с повышенной точностью определить протетическую (окклюзионную) плоскость, что способствует исправлению клинических ошибок при определении центрального соотношения челюстей и даст возможность проводить экспресс-диагностику деформаций зубных рядов и патологий.

Инновационное предприятие как механизм интеграции науки, практической медицины и инновационной инфраструктуры

Студентка гр. 113621 Сафронова О.В.
Аспиранты Калинин А.Ю., Журкевич М.В.
Научный руководитель Гмырак В.Н.
Государственное предприятие
«Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»
г. Минск

Развитие медицины, медицинской техники и технологий является одним из приоритетов социально-экономического развития и приоритетным направлением научных исследований Республики Беларусь. Данная отрасль достаточно интенсивно развивается у нас в стране, вместе с тем существует явный дефицит отечественной медицинской техники и оборудования для проведения сердечно-сосудистых операций. Медицинским учреждениям приходится закупать данную продукцию по импорту, а учитывая ее высокие цены, объем закупок является весьма незначительным. При этом осуществляется привязка всех эксплуатационных затрат к иностранному поставщику — сервисное обслуживание, расходные материалы. Недостаток необходимых медицинских изделий и оборудования существенно снижает количество медицинских операций, которые могут ежегодно проводиться белорусскими специалистами, что не позволяет в полной мере обеспечить нуждающихся в соответствующем лечении.

К примеру, на территории Беларуси в настоящее время не производятся такие изделия медицинской техники, как внутрисосудистые стенты. Врачи получают эти изделия только посредством импорта и в очень ограниченных количествах в связи с их высокой стоимостью. По мнению докторов, появление только отечественного стента, конкурентоспособного по сравнению с импортными аналогами, вызовет резкое увеличение количества оперируемых больных, сделав операции такого рода более доступными. По расчетам специалистов потребность в стентах в Беларуси составляет не менее 5000 штук в год. Справочно: на долю болезней системы кровообращения в Беларуси приходится более 50% летальных исходов и около 50% инвалидностей; кроме того, зафиксирована устойчивая, четко выраженная тенденция возрастания смертности у людей трудоспособного возраста.

В связи с этим ключевой задачей является создание отечественного высокотехнологичного производства медицинских изделий и оборудования для проведения сердечно-сосудистых операций, которое бы по своим технико-экономическим показателям не уступало зарубежным аналогам. Как показывает мировой опыт, реализация подобных проектов наиболее эффективна при наличии тесной кооперации научно-исследовательских институтов, инновационной инфраструктуры, обеспечивающей создание и организацию деятельности новых высокотехнологичных предприятий и производств, а также организаций, непосредственно ориентирующихся на практическое использование разрабатываемой продукции в целевой отрасли.

Следует отметить, что в Республике Беларусь созданы необходимые организационно-правовые условия для реализации инновационных проектов, обеспечивающих тесную кооперацию научно-исследовательских институтов, инновационной инфраструктуры и организаций целевой отрасли. В целях активизации инновационной деятельности, стимулирования производства высокотехнологичных товаров (работ, услуг) в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 9 марта 2009 г. № 123 «О некоторых мерах по стимулированию инновационной деятельности в Республике Беларусь» научные организации, созданные в форме учреждений, и учреждения высшего образования, вправе создавать организации, использующие результаты интеллектуальной деятельности (обеспечивающие использование

этих результатов), принадлежащие этим учреждениям. При этом, данным нормативным правовым актом не ограничены организационно-правовые формы юридических лиц для их создания вышеназванными субъектами, что предоставляет заинтересованным субъектам возможность выбрать наиболее приемлемый вариант осуществления предпринимательской деятельности, позволяя, в том числе, самостоятельно определить круг и количество участников. В соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 7 августа 2012 г. № 357 «О порядке формирования и использования средств инновационных фондов» г. республиканскими органами государственного управления и иными государственными организациями, а также облисполкомами и Минским горисполкомом формируются республиканские и местные инновационные фонды, средства которых направляются на реализацию инновационных проектов, соответствующих установленным критериям.

Белорусский национальный технический университет совместно с Научно-технологическим парком БНТУ «Политехник» и ведущими научно-практическими медицинскими центрами Республики Беларусь имеют более чем 20-летний опыт совместной работы в области разработки изделий медицинского назначения в области кардиохирургии, стоматологии, травматологии и протезирования. В результате совместной научно-технической деятельности обеспечено создание ряда запатентованных объектов интеллектуальной собственности, авторами которых являются ученые и специалисты данных организаций.

В целях организации производства изделий медицинской техники, основанных на результатах совместной научно-технической деятельности в области кардиохирургии, предполагается создание предприятия в форме общества с ограниченной ответственностью, учредителем которого выступят в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 9 марта 2009 г. № 123 БНТУ, РНПЦ «Кардиология» и Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник». При этом что именно представленный состав учредителей обеспечит разработку и производство образцов изделий медицинской техники по технико-экономическим показателям не уступающих лучшим мировым аналогам, в полной мере ориентированных на практические потребности медицины страны.

С целью создания и развития научно-производственной базы предприятия БНТУ совместно с Государственным предприятием Научно-технологический парк БНТУ «Политехник» и РНПЦ «Кардиология» при финансовой поддержке инновационного фонда Минского городского исполнительного комитета начаты работы по реализации инновационного проекта «Разработка и создание высокотехнологичного производства медицинских изделий и оборудования для проведения сердечно-сосудистых операций, операций по остеосинтезу и на коленном суставе, для лечения кожных онкологических заболеваний и выполнения высокопрочных пломбирочных соединений в стоматологии». В рамках реализации данного инновационного проекта обеспечивается разработка инновационной наукоемкой продукции, по технико-экономическим показателям не уступающей лучшим мировым аналогам, а по отдельным видам и превышающей их, создание уникальных технологических линий для ее производства, развитие инфраструктуры предприятия. Реализация проекта предусматривает организацию технологических процессов, обеспечивающих средний уровень добавленной стоимости на одного работающего, аналогичный уровню Европейского союза по соответствующему виду экономической деятельности.

Таким образом, создание ООО «Политехмед» станет результатом совместной научно-инновационной деятельности БНТУ, Научно-технологического парка БНТУ «Политехник» и РНПЦ «Кардиология». Созданное предприятие станет не только базой для коммерциализации существующих совместных разработок, но и платформой для развития медицинской техники, исходя из потребностей современной медицины Республики Беларусь. Организационно-правовая форма ООО ввиду отсутствия минимально установленного размера уставного фонда, дополнительных временных и материальных затрат, дополнительной ответственности участников своим имуществом по обязательствам общества, необходимости публичного

ведения дел и пр. позволит не только оптимизировать затраты учредителей общества, но и учесть их интересы в процессе осуществления хозяйственной деятельности.

УДК 334.02

Совершенствование системы управления интеллектуальной собственностью как направление развития вузовской инновационной инфраструктуры

Аспирант Калинин А.Ю.,
Научный руководитель Енин Ю.И.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Ключевой составной частью Национальной инновационной системы Республики Беларусь являются субъекты инновационной инфраструктуры и в первую очередь – научно-технологические парки (технопарки). Как показывает мировой опыт, наиболее эффективными являются технопарки, действующие в тесной кооперации с научно-исследовательскими и образовательными центрами, которыми, как правило, являются высшие учебные заведения. Данные технопарки выполняют роль инновационной инфраструктуры вуза.

На сегодняшний день в Республике Беларусь 4 технопарка выполняют функции вузовской инновационной инфраструктуры (таблица 1).

Таблица 1 – Вузовские технопарки

№ п/п	Наименование технопарка	Базовый вуз	Количество резидентов
1	РИУП «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»	Белорусский национальный технический университет	7
2	РИУП «Научно-технологический парк ВГТУ»	Витебский государственный технологический университет	7
3	ООО «Технопарк Полесье»	Полесский государственный университет	2
4	РИУП «Научно-технологический парк ПГУ»	Полоцкий государственный университет	1

Резидентами вузовских технопарков являются 17 инновационных предприятий. Важной особенностью вузовских технопарков является, как правило, более тесная интеграция предприятий-резидентов и технопарков, что предполагает иной подход к организации деятельности вузовского технопарка в отличие от технопарка, действующего в рамках «классической модели технопарка».

За исключением Научно-технологического парка БНТУ «Политехник» остальные вузовские технопарки находятся на стадии формирования и становления. Поэтому рассмотрение опыта, перспектив, направлений и возможностей развития и совершенствования организации деятельности Научно-технологического парка БНТУ «Политехник» имеет весомое значение для развития вузовской инновационной инфраструктуры Республики Беларусь.

Среди перспективных направлений совершенствования организации деятельности Научно-технологического парка БНТУ «Политехник» является управление интеллектуальной собственностью.

На сегодняшний день в Научно-технологическом парке БНТУ «Политехник» действует децентрализованная система управления интеллектуальной собственностью. Данная система позволяет частично снизить затраты на управление интеллектуальной собственностью, но не

позволяет проводить комплексную политику в данной области и отличается более низкой эффективностью по сравнению с централизованной системой управления.

Как показывает практика, формирование централизованной системы управления интеллектуальной собственностью должно включать:

1. Разработка и введение в действие нормативных документов по правовой охране объектов патентного права, в том числе:

1.1 Патентная политика;

1.2 Организация правовой охраны объектов промышленной собственности;

1.3 Порядок выплаты вознаграждения авторам объектов промышленной собственности.

2. Введение режима коммерческой тайны по обеспечению беспатентной формы правовой охраны интеллектуальной собственности, включая секреты производства (ноу-хау), и соответствующих нормативных документов:

2.1 Положение о защите информации, содержащей сведения, составляющие коммерческую тайну;

2.2 Перечень сведений, составляющих коммерческую тайну;

Централизованная система управления интеллектуальной собственностью базируется на следующих принципах:

1. Развитие инновационных процессов на основе внедрения и коммерциализации научно-технических разработок и технологий;

2. Ориентация персонала на создание конкурентоспособной продукции как основы инновационного развития;

3. Управление деятельностью подразделений, участвующих в инновационном процессе, в сфере правовой охраны и использования новейших созданных решений и технологий.

Централизованная система управления интеллектуальной собственностью состоит из подсистем:

1. Выявления, правовой охраны ОИС и учета ОИС;

2. Закрепления прав и распоряжения правами на ОИС;

3. Стоимостных оценок ОИС и их экономической эффективности;

4. Коммерциализации ОИС (многократного использования ОИС в хозяйственном обороте);

5. Мотивации разработчиков ОИС.

Таким образом, создание и организация централизованной системы управления интеллектуальной собственностью позволит реализовать комплексный подход к осуществлению деятельности в данной сфере, будет содействовать расширению патентно-лицензионной деятельности, повышению эффективности процессов коммерциализации и мотивации инноваторов.

УДК 334.02

Воспроизводство научных кадров как один из важнейших факторов инновационного развития экономики

Студентка гр. 113622 Прасмыцкая А.К.

Научный руководитель Журкевич М.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Эффективное использование научно-технического потенциала - неперенное условие экономического роста. Вместе с тем, отечественная экономика приобрела качественно новые характеристики, обусловленные многообразием форм собственности, коммерциализацией всех секторов экономики, в том числе и тех, которые по-прежнему находятся в собственности государства. В основных чертах сформировалась новая модель функционирования эко-

номики, внутренние механизмы которой оказались во многом неблагоприятными для воспроизводства кадрового потенциала в научной сфере.

На фоне происходящих структурных изменений значительно изменилась роль научного сектора, что обусловлено, прежде всего, ухудшением финансовой ситуации, сокращением бюджетных ассигнований на науку, а также падением спроса на исследования и разработки со стороны промышленных предприятий. Такое положение дел оказало существенное влияние на кадровую составляющую научно-технического потенциала, что нашло проявление в значительном сокращении численности научного персонала, нарушении профессиональной и возрастной преемственности, низком уровне оплаты труда ученых, широком распространении их вторичной занятости.

Ухудшение социального положения ученых и специалистов, снижение престижа научного труда обусловили существенное сокращение притока выпускников вузов в сферу науки и отток из нее молодых специалистов. Указанные тенденции ускорили процесс старения научных кадров.

За последние десятилетия кадровые проблемы в отечественной науке постепенно вошли в число наиболее актуальных, требующих приоритетного решения. Начавшийся в связи с кризисом массовый отток из НИИ, КБ, научных подразделений вузов молодых и средневозрастных квалифицированных специалистов сделал реальной угрозой утраты преемственности между поколениями ученых, снижения эффективности научного труда и, соответственно, вел к ослаблению всей инновационной системы страны. Нарушение кадровой ситуации в науке было вызвано в первую очередь резким сокращением государственных расходов на исследования и разработки в то время, когда бюджет был практически единственным источником финансирования науки.

В силу консервативности научной системы кадровые проблемы развивались постепенно, однако со временем они усложнялись и становились разнообразнее. Резко сократился срок пребывания в науке молодых ученых, стало активно вымываться «среднее» поколение ученых; развивалась «утечка умов»; усилилось расслоение внутри научного сообщества.

Сегодня отечественная экономика находится на важном этапе своего развития. Основным участником этого процесса должна стать молодежь. Именно она является наиболее активной составляющей гражданского общества: молодые лучше приспособлены к внедрению инновационных проектов и технологий в различных сферах, они являются сосредоточением принципиально новых знаний и идей, они мобильны и полны сил для строительства своей жизни.

В основной массе молодежи преобладают настроения и действия, свидетельствующие о ее нацеленности на жизнь и работу в условиях общества с рыночной экономикой. В целом молодое поколение лучше адаптируется к нынешним условиям и глубже входит в современную экономическую систему, чем старшее поколение.

Реализация экономических и социальных преобразований требует хорошо образованных, творчески мыслящих специалистов, которые могут активно воздействовать на уровень производственного и общественного развития государства, условия жизнедеятельности его граждан. Поэтому молодые талантливые учёные особенно востребованы в динамично развивающихся отраслях.

Практически единственным источником кадров для научно-исследовательской работы являются вузы. Научно-исследовательская работа студентов позволяет на первых этапах формировать творческих личностей, способных обоснованно и эффективно решать возникающие теоретические и прикладные проблемы.

В тоже время успех государственной инновационной политики во многом зависит и от вовлеченности молодых ученых в инновационные разработки и развитие малого бизнеса. Малый бизнес вносит существенный вклад в трансформацию структуры различных секторов экономики, выступает основой формирования новых рынков.

Малый бизнес в условиях экономики знаний превращается в ключевой фактор трансформационных изменений.

Во-первых, малый бизнес выступает в качестве института, который обеспечивает подвижность и динамизм экономической системе в целом, способствует быстрой коммерциализации результатов исследований и разработок, что оказывают значительное влияние на ускоренные темпы инновационного развития.

Во-вторых, благодаря современным информационным технологиям, которые существенным образом меняют саму модель функционирования различных структур, обеспечивается быстрый доступ малых предприятий к новым видам деятельности, и увеличивается доля малого бизнеса на мировом рынке товаров и услуг. При этом малый бизнес способен осваивать новые ИТ-решения значительно быстрее, чем крупные корпорации.

В-третьих, информационные технологии создают условия для снижения издержек производства и позволяют малым предприятиям повышать свою конкурентоспособность, повышая их мобильность быстрее, чем в других секторах экономики.

Устойчивое развитие кадрового потенциала науки и решение задач инновационного развития экономики во многом зависят от эффективности молодежной политики в науке. Для преодоления негативных последствий деформации возрастной структуры научных работников наиболее эффективны меры, определяющие долгосрочные условия развития кадрового потенциала и позволяющие поднять общественный престиж, прежде всего, — современное материально-техническое и информационное обеспечение научной и научно-исследовательской деятельности, предоставление комплекса социальных гарантий и повышения уровня социальной защищенности работников научного труда, решение жилищных проблем молодых ученых и обеспечение высокого уровня заработной платы, а также осуществление материального стимулирования научных работников в прямой зависимости от результативности научной и научно-технической деятельности, новизны заложенных принципов и решений.

УДК 534-16:534.08:537.624.21

Использование оптических головок cd-приводов в измерительных системах

Магистрант Богданчук К.А.

Научный руководитель Степаненко Д.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Доля высокоточного производства от общего объема производства возрастает с каждым годом. В результате этого постоянно растут требования к качеству контроля параметров изделий, в том числе шероховатости и отклонений формы поверхностей. Наиболее распространенные методы измерения шероховатости основаны на использовании игольчатых профилометров, оптических микроскопов (конфокальный микроскоп, микроскоп Линника) и интерферометров. В последнее время интерес сместился к оптическим методам измерений. Это связано с тем, что они являются бесконтактными и неразрушающими, что особенно важно при контроле поверхностей изделий из мягких материалов. Среди новых приборов, получивших в последнее время широкое распространение, следует отметить оптические профилометры, основанные на принципе автофокусировки. В этих приборах поверхность исследуемого объекта сканируется сфокусированным лучом света. Условие фокусировки автоматически поддерживается за счет перемещения объекта или объектива. Измеряя положение объектива относительно поверхности образца, получают профиль поверхности. Принцип автофокусировки лежит в основе работы оптических головок CD-приводов, что позволяет использовать компактные и недорогие оптические головки для создания профилометров. Оптическая головка содержит лазерный диод, светоделительную пластину и фотодиоды для

преобразования записанной на диске информации в электрические сигналы. При считывании информации с диска из отраженного лазерного луча извлекаются три сигнала: сигнал ошибки фокусировки, трэкинг-сигнал и сигнал, пропорциональный интенсивности отраженного луча. Для создания профилометра на основе считывающей головки достаточно использовать сигнал ошибки фокусировки, который используется для поддержания постоянного расстояния между объективом головки и поверхностью образца. При изменении расстояния между поверхностью образца и объективом зависимость сигнала ошибки фокусировки от времени может быть использована для определения параметров движения образца относительно объектива, что может быть использовано для создания виброметров. В данной работе рассматривается возможность использования виброметров на основе оптических головок CD-приводов для измерения амплитуды колебаний ультразвуковых волноводов.

УДК 658

Роль университетов в формировании инновационной инфраструктуры

Аспирант Цвирко М.В.

Научный руководитель Гурина Е.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Одной из приоритетных задач развития Республики Беларусь является переход от ресурсной экономики к экономике знаний или второе название экономика обучения. Термин "экономика знаний" был введен австро-американским ученым Фрицем Махлупом в 60-х гг. XX в. в применении к одному из секторов экономики. На данный момент этот термин используется для определения типа экономики, в котором знания играют определяющую роль, а получение (производство) знаний является источником роста. Отличительной чертой экономики знаний является признание главным ресурсом знаний и информации. Широко применяются также понятия близкие к понятию "экономика знаний" - "инновационная экономика", "высокотехнологичная цивилизация", "общество знаний", "информационное общество", "постиндустриальное общество". Экономика знаний – высший этап развития постиндустриальной экономики и инновационной экономики, а поэтому характерна для самых развитых стран – США, Германия, Великобритания, Республика Корея и Япония. Измерить знания крайне сложно, это одновременно и частный, и общественный продукт. В мировой практике сложились 2 подхода к измерению знаний: по затратам на их производство и по рыночной стоимости проданных знаний. К затратам можно отнести расходы на исследования и разработки, на высшее образование. В экономику знаний формируют следующие:

- учреждения высшего образования;
- эффективная фундаментальная наука;
- эффективный научно-технический венчурный бизнес;
- высококачественный человеческий капитал;
- производство знаний и высоких технологий;
- информационное общество;
- трансфер инноваций от научных разработок до производства и потребителя.

Также немаловажную роль играет Государственная программа инновационного развития, целью которой является обеспечение высокой конкурентоспособности белорусской экономики, развитие инноваций, формирование национальной инновационной системы, совершенствование всех сфер деятельности путем использования знаний.

Государственная программа инновационного развития является формой реализации наиболее важных технических, социальных, а также экономических проблем исходя из приоритетных направлений развития научно-технической, производственной сферы.

Стратегической целью данной программы является создание инновационной, наукоемкой, конкурентоспособной, ресурсосберегающей экономики, обеспечивающей построение Национальной инновационной системы Республики Беларусь. В формировании национальной инновационной системы Республики Беларусь участвуют научные учреждения, учреждения высшего образования, инновационно ориентированные производственные и специализированные предприятия.

Университеты играют одну из определяющих ролей в развитии инновационной деятельности Республики Беларусь. Университет (от нем. Universität, которое, в свою очередь, произошло от лат. universitas — совокупность, общность) — высшее учебное заведение, где готовятся специалисты по фундаментальным и многим прикладным наукам, осуществляет и научно-исследовательскую работу. Но на данный момент деятельность университета определяется не только данными направлениями. Одним из важнейших направлений является разработка, создание и внедрение инновационных продуктов и услуг. Учреждения высшего образования являются инновационными центрами и обладают рядом следующих важных характеристик:

- высокий научно-технический потенциал;
- система высшего образования позволяет получить знания по всем сферам развития экономики страны;
- наличие ВУЗов во всех областях страны;
- высокий уровень информатизации ВУЗов;
- мобильность ВУЗов;

Университет на данном этапе развития осуществляет не только образовательную и научную деятельность, все большее внимание уделяется развитию инновационных процессов внутри университета, т.е. разработке инновационных продуктов, их внедрению, а также коммерциализации. Таким образом, университет представляет собой высшее учебное заведение, основными направлениями деятельности которого являются осуществление образовательного процесса, научно-исследовательской, а также инновационной деятельности. В настоящее время актуальным является развитие науки в комплексе с инновационными составляющими.

Но для успешного выхода на рынок с инновационным продуктом необходимо провести исследования существующих рынков, маркетинговую деятельность, подготовить соответствующую документацию, работы по обучению персонала.

Для осуществления всех перечисленных видов деятельности необходимы дополнительные человеческие ресурсы, материальные затраты, дополнительные площади, что не всегда является целесообразным, поэтому необходимо рассмотреть варианты передачи, например, производства промышленных образцов, их коммерциализации на аутсорсинг. Для оптимизации и ускорения процесса от научной инновационной разработки до конечного потребителя при университетах создаются научно-технологические парки, малые инновационные предприятия.

Рассмотрим систему взаимодействия и структуру университетов за рубежом. Например, в Швеции существует модель сотрудничества высших учебных заведений и предприятий в следующих формах: создание в вузах подразделений, которые занимаются коммерциализацией новшеств; работа консалтинговых компаний помогающих инновационным фирмам устанавливать связи с другими субъектами инновационного процесса; функционирование подразделений которые оказывают помощь в экономических и юридических вопросах.

В Швеции существует 14 холдинговых предприятий при ВУЗах, также центры экспертиз, которые способствуют проведению исследований, преобразованию новых знаний в продукты или услуги; центры трансфера технологий, которые оказывают услуги по составлению бизнес-планов, экспертизе проектов, консультационные услуги.

Экономика знаний на сегодняшний день является одной из самых важных отраслей науки, поэтому необходимо создавать организационные механизмы, которые обеспечат быструю трансформацию знаний в инновационные разработки и соответственно их поступление потребителю в качестве конечного продукта. Для оптимизации данного процесса необходимо рассматривать создание научно-технологических парков, малых инновационных предприятий для разделения процесса получения конечного продукта на этапы, на которых учитываются потребности выявления и использования необходимых знаний. Решение специфических задач на каждом этапе определенным исполнителем (ВУЗ, технопарк, инновационное предприятие) поможет разделить ответственность, оптимизировать структуру затрат и получить конечный продукт в наикратчайшие сроки.

УДК 001.892

Особенности создания малых инновационных предприятий в университетах системы Министерства образования Республики Беларусь

Аспиранты Войтешонок М.А., Белых Е.С.
Научный руководитель Парамонова И.С.
Государственное предприятие
«Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»
г. Минск

В настоящее время университетский сектор Республики Беларусь обладает достаточно высоким научно-техническим и инновационным потенциалом, что способствует созданию большого количества научно-технической продукции, которая по своим характеристикам зачастую не уступает зарубежным аналогам, а в отдельных случаях и опережает.

Практически каждый университет имеет базу разработок, готовых к коммерциализации. Однако наличие высокого уровня научно-технического потенциала является необходимым, но недостаточным условием для организации эффективного инновационного процесса.

Главный этап на пути преобразования новации в инновацию – внедрение в производство, в результате которого происходит коммерциализация новшества. Одной из наиболее эффективных форм коммерциализации результатов разработок, созданных в университетах, в настоящее время является выведение инновационной продукции на рынок в рамках малого инновационного предприятия (МИП).

Организация при университетах и институтах малых инновационных предприятий позволяет решать как вопросы организации полного цикла создания инновации, так и совершенствования процесса подготовки квалифицированных, востребованных на рынке специалистов.

Уже в 1991 г. в подведомственных Министерству образования университетах начала развиваться такая форма научно-производственной деятельности как малые предприятия, научно-технические кооперативы и прочие коммерческие структуры. Наибольшее количество организаций данного профиля было сосредоточено в Белорусском государственном университете, Минском радиотехническом институте и Белорусской государственной политехнической академии.

В период с 1988 по 2012 гг. при университетах страны было создано 26 малых предприятий (таблица 1). Однако только 8 предприятий было создано после 2000 г.

Так, проводимая инновационная политика государства, подкрепленная нормативно-методической и законодательной базой в настоящее время недостаточно стимулирует развитие малого инновационного предпринимательства, при этом в Республике Беларусь существует еще достаточно много препятствий, ограничивающих возможности привлечения субъектов среднего и малого предпринимательства, занятых в высокотехнологичных и наукоемких отраслях в технопарки.

Таблица 1 – Количество созданных МИП при учреждениях высшего образования (1988 – 2012 гг.)

Наименование университета	Количество созданных МИП
БНТУ	15
БГУ	7
ГГУ	1
ПолесГУ	1
ВГТУ, ПГУ (совместно)	2

Наибольшее количество МИП создано и функционирует при Белорусском национальном техническом университете, что обеспечено за счет наличия в учреждении развитой внутренней инновационной инфраструктуры. Примером целостного инфраструктурного комплекса является ГП «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник». Посредством развитой сети информационно-маркетинговых служб технопарк не только активно продвигает университетские разработки в производство, где научно-производственные структуры выпускают и реализуют конечную инновационную продукцию на рынке, но и выполняет функцию бизнес-инкубатора, создавая и поддерживая малые инновационные предприятия, занимающиеся выпуском инновационной продукции.

Создание совместно с университетом инновационного предприятия несёт в себе ряд возможностей, а также способствует развитию предпринимательства в научно-технической сфере путем создания благоприятных условий, включающих материально-техническую и информационную базу. Сотрудничество с учреждениями высшего образования (в том числе через технопарки) даёт ряд преимуществ:

- оптимизация расходов на аренду (возможная аренда помещений на льготных условиях);
- снижение налогового бремени;
- доступ к университетским научно-техническим разработкам и проектам;
- доступ к научному лабораторному оборудованию;
- обеспечение квалифицированными специалистами;
- возможность участия в государственных конкурсах и программах.

УДК 620.92

Современные методы проектирования проточных частей турбоагрегатов

Магистрант Сверчков С.А.
 Научный руководитель Левков Л.Ф.
 Государственное предприятие
 «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»
 г. Минск

Основной задачей современного проектирования проточных частей турбоагрегатов является изготовление конкурентоспособных изделий, обладающих высокой надёжностью и максимальным КПД использования потенциальной энергии рабочего тела. Решение этой задачи осуществляется в определённой степени на стадии технологической подготовки производства, где предусматривается проектирование оптимальных технологических процессов, обеспечивающих достижение поставленных задач.

Из-за сложной формы профиля сопловых и рабочих решёток турбоагрегатов ранее для проектирования лопаточного аппарата пользовались экспериментальными данными. Создавались атласы профилей, в которых предлагались различные варианты профиля лопаток. Сегодня большинство предприятий, занимающихся турбостроением, пользуются передовыми системами проектирования, позволяющими спроектировать форму будущей решётки.

Цель настоящей работы – рассмотрение способов разработки эффективных и оптимальных форм профиля решёток осевых турбоагрегатов для заданных параметров в системах компьютерного проектирования. На данный момент существует большое количество специальных программ, позволяющее за короткое время проектировать качественные и современные турбомашин различных типов. Используя программу инженер-проектировщик получает возможность повысить эффективность собственной работы и обеспечить высокое качество конечного продукта, тестирование проектов уже на ранних этапах процесса проектирования, снижая тем самым затраты на строительство опытных образцов, улучшая качество, обеспечивая воспроизводимость проектов и ускоряя весь процесс разработки.

Основными факторами успеха в современном промышленном производстве являются: сокращение срока выхода продукции на рынок, снижение ее себестоимости и повышение качества. Сейчас общепризнанным фактом является невозможность изготовления сложной наукоемкой продукции (кораблей, самолетов, различных видов промышленного оборудования и др.) без применения современных систем автоматизации. К числу наиболее эффективных технологий, позволяющих выполнить эти требования, принадлежат так называемые CAD/CAM/CAE-системы (системы автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства и инженерного анализа). Несмотря на широкое распространение систем CAD для проектирования и систем CAE для анализа, эти системы не так уж хорошо интегрируются. Дело в том, что модели CAD и CAE по сути используют разные типы геометрических моделей, и в настоящее время не существует общей унифицированной модели, которая бы содержала в себе как информацию для проектирования, так и для анализа. Термины CAD и CAE обозначают следующее:

CAD-системы (computer-aided design) — компьютерная поддержка проектирования, предназначенная для решения конструкторских задач и оформления конструкторской документации.

CAE-системы (computer-aided engineering) — поддержка инженерных расчетов представляющая собой применение обширного класса систем, каждая из которых позволяет решать определенную расчетную задачу (группу задач), начиная от расчетов на прочность, анализа и моделирования тепловых процессов до расчетов гидравлических систем и машин, расчетов процессов литья. В CAE-системах также используется трехмерная модель изделия. CAE-системы еще называют системами инженерного анализа.

Применяются такие системы широкого профиля как ANSYS и Autodesk Simulation, а так же и узкого профиля: Flowmaster, CFturbo, PumpLinx, FlowVision, AxStream и другие. Проведем анализ данных систем.

CFturbo – программный продукт для интерактивного проектирования турбомашин. Программа позволяет создать первоначальную модель или модернизировать уже существующую геометрию. Процесс работы в CFturbo является пошаговым.

Flowmaster V7 позволяет выполнять нестационарные и стационарные расчеты несжимаемой и сжимаемой среды, а так же расчёты теплового анализа. Имеется библиотека стандартных компонентов, основанная на эмпирических и расчетных данных. Программа поддерживает методику моделирования, которая позволяет отдельным расчетным компонентам взаимодействовать и обмениваться информацией между собой, например, передавать граничные условия, такие как давление, температура или массовый расход. Существует возможность проводить линейные расчеты в комплексе с детальным 3D моделированием в трехмерных CFD кодах.

FlowVision – многоцелевая программа для компьютерного моделирования трехмерных течений жидкости и газа. Она основана на численном решении трехмерных стационарных и нестационарных уравнений динамики жидкости и газа, которые включают в себя законы сохранения массы, импульса (уравнения Навье-Стокса), уравнения состояния. Для расчета сложных движений жидкости и газа, сопровождаемых дополнительными физическими явлениями, такими, как, турбулентность, горение, контактные границы раздела, пористость сре-

ды, теплоперенос и так далее, в математическую модель включаются дополнительные уравнения, описывающие эти явления. Программный комплекс FlowVision разработан научно-исследовательскими организациями Российской Федерации.

Ansys – универсальная программная конечно-элементного анализа. Она существует и развивается на протяжении последних 30 лет. Продукт предназначен для решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей. Программа позволяет также проводить оптимизацию конструкции.

Сравнительный анализ рассмотренных продуктов представлен в таблице 1.

Таблица 1– Сравнительный анализ CAD/CAE систем для проектирования турбин

Программа	Cfturo	Flowmastr	FlowVisin	AxStrem	Simulatin	ANSYS
Последняя версия, год	9 (2011)	7,5 (2009)	3 (2011)	3 (2011)	2013(2012)	14 (2011)
Оф. сайт	cfturbo.de	flowmaster.com	flowvision.ru	softinway.com	autodesk.com	ansys.com
Тип системы	CAD/CAE	CAE	CAE	CAD/CAE	CAE	CAE
Назначение						
Осевые турбины	-	+	+	++	+	+
Назначение						
Радиальные турбины	++	+	+	++	+	+
Осевые компрессоры	-	+	+	++	+	+
Радиальные компрессоры	++	+	+	++	+	+
Насосы	+	+	+	-	+	+
Вентиляторы	++	+	+	-	+	+
Потоки	-	+	+	-	+	+
Особенности	Углы установки лопаток, анализ струек тока, профиль лопаток	Системы: топливные, кондиционирования, гидравлические, смазки, охлаждения, отопления	Стационарные и нестационарные течения, горение, кинетика, лучистый теплообмен	Цилиндры турбин, отдельных ступеней, анализ прочных частей, профилирование решеток	Процессы теплопередачи, сверхзвуковые потоки, переходные и двухфазные потоки, кавитация	Динамика и прочность, теплообмен, долговечность, электро-механика, междисциплинарный анализ

++ – отмечены специализированные программы.

На сегодняшний день представить современное производство без каких-либо средств автоматизации очень сложно. Каждое мелкое или крупное предприятие, так или иначе, сталкивается с системами автоматизированного проектирования. И в частности с CAD/CAE системами. Современные программы позволяют создавать и редактировать пространственные модели объектов практически неограниченной сложности.

СОДЕРЖАНИЕ

Литейное производство чёрных и цветных металлов

Солохович Е.Ю. Проектирование технологии литейной формы с использованием CAD/CAM систем.....	6
Дик А.Б., Рохоцевич В.В., Фурсевич Т.М. Перспективы использования вторичного алюминиевого металло сырья и кварцсодержащих материалов для получения марочных силуминов.....	7
Киселев Р.В., Тетерина Т.С., Джураев Т.Х., Иваненко О.С. Анализ технологических решений получения алюмоматричных композиционных сплавов, упрочненных дисперсными материалами.....	8
Поворотный Ю.С., Романов А.А., Никитюк П.А. Анализ методов неразрушающего контроля для адаптивной информационной системы качества продукции литейного производства.....	10
Иваненко О.С., Лавринчик Е.Г. Направления рециклинга отработанных химических источников тока.....	12
Иваненко О.С., Толкач В.А. Выбор оптимального способа переработки химических источников тока, вышедших из употребления.....	13
Однолько А.С., Ковалев А.А. Анализ способов переработки сталеплавильных шлаков.....	14
Никитюк П.А., Свиридов С.А. Экологические проблемы рециклинга алюминия.....	16
Вольский Е.А., Горбель И.А. Повышение срока службы футеровки пламенных печей для плавки силуминов.....	17
Розенберг Е.В. Переработка металлосодержащих отходов.....	20
Литвинов М.О. Разделительные составы для пресс-форм литья под давлением на водной основе.....	21
Билиба Н.Э., Кулинич И.Л. Термодинамический анализ восстановительных процессов.....	22
Амер Мохамед Муфтах (Ливия), Кулинич И.Л., Кривоуст А.А. Методика изготовления и испытний микролигатуры, содержащей нанодисперсные частицы соединений активных элементов.....	24

Материаловедение в машиностроении

Бекетова И.Ю., Марышева А.А. Сравнительная оценка методов микродугового и высоковольтного электролитического оксидирования.....	28
---	----

Богданчик М.И. Горячее изостатическое прессование (HIP).....	29
Богданчик М.И. Развитие рынка цинкования.....	31
Гарнашевич Ю.А., Баранова Т.Н, Приходько Н.А. Разработка мероприятий по энергосбережению при ТО в печах с выкатным подом.....	32
Ковальчук Е.В., Гарнашевич Ю.А., Зыбайло А.С. Расчет параметров гальванических покрытий для получения требуемого химического состава наплавленного покрытия.....	34
Гарнашевич Ю.А., Жибрик Д.М., Зыбайло А.С. Снижение энергозатрат при ТО методом обкладывания каркаса печей теплоизоляционными плитами.....	35
Кавальчук Я.В., Зыбайло А.С., Баранова Т. М. Абгрунтаванне выбару выгляду гальванічнага пакрыцця для павышэння каразійнай стойкасці наплаўленага пакрыцця.....	36
Зыбайло А.С. Полимерные водосмешиваемые закалочные среды.....	37
Зыбайло А.С. Нагрев в защитной атмосфере.....	38
Ковшик И.А. Ресурсосберегающая технология термической и антикоррозионной обработки изделий из металла.....	39
Ковшик И.А. Перспектива реализации технологий термодиффузионного цинкования в условиях ОАО«МАЗ».....	40
Ковшик И.А. Диффузионный отжиг цинковых покрытий полученных погружением в расплав и электролитическим методом.....	42
Ковшик И.А. Пассивация цинковых покрытий.....	43
Ковшик И.А. Сопоставительный анализ различных методов цинкования.....	44
Коротков А.С., Кривальцевич А.С. Лазерная закалка.....	45
Кривальцевич С.А., Коротков А.С. Химико-термическая обработки конструкционных сталей.....	47
Кривальцевич С.А., Коротков А.С. Способ механической обработки деталей из конструкционных сталей резанием.....	49
Лайко А.А. Использование вакуумного термического комплекса с закалкой газом высокого давления при химико-термической обработке металлов и сплавов.....	50
Лайко А.А. Использование вакуумной цементации при химико–термической обработке.....	52
Лайко А.А. Использование вакуумных технологий при химико-термической обработке металлов и сплавов.....	54

Лущик М.Э., Чепаченко Ю.И. Использование карбидосталей на основе TiC в промышленности.....	55
Лущик М.Э. Использование в технике материалов с эффектом памяти формы.....	56
Марышева А.А., Бекетова И.Ю. Перспективность замены химического оксидирования на высоковольтное электролитическое оксидирование.....	58
Орда Д. В., Синькевич О. Л., Люцкевич А. И. Исследование процесса многокомпонентного насыщения стали 45 в системе Ст-С с введением в насыщающую смесь легкоплавких добавок.....	59
Савич А.Ю., Шевцов А.Ю. Мартенситно-старяющие стали и их применение.....	61
Чепаченко Ю.И. Аморфные материалы в технике.....	62
Чепаченко Ю.И., Лущик М.Э. Типы твёрдых и сверхтвёрдых сплавов.....	64
Шевцов А.Ю., Савич А.Ю. Поверхностная газопламенная закалка. Сущность процесса и способы закалки.....	65
Шевцов А.Ю. Поверхностная газопламенная закалка. Закалочное оборудование и техника газопламенной закалки.....	66
Юркевич К.С. Исследование возможности восстановления деталей с помощью лазерных наплавов на импульсно-периодическом лазере.....	68
Юркевич К.С. Технология пластмассы.....	69
Машины и технология литейного производства	
Арапов А.Л. Изготовление отопительных радиаторов в безопочных формах.....	72
Мудрый В.В., Батайчук А.В. Основные методы смесеприготовления и формирования свойств смесей.....	73
Варивончик Э.В., Сасковец А.А., Сергиевич А.В. Формовочные глины, как связующий материал в формовочной смеси.....	75
Пупейко Е. В., Воронин Р. И., Базылев Н. В. Анализ наполнителей формовочных смесей и противопопригарных материалов.....	76
Гутько А.Ю. Оптимальная технология дегазации алюминиевых сплавов.....	77
Дейчик А.И. Методика расчета литниковой системы для форм с вертикальной плоскостью разъема.....	78
Елак И.М. Влияние толщины технологической пробы на механические свойства литой стали.....	80

Захаркевич Е.Н., Иович С.М., Русакевич А.В. Смоляные связующие материалы, их структура и свойства.....	82
Заяц И.А. Расчет горизонтальной литниковой системы.....	83
Кононович Е. А., Биченков П. Г. Оптимальные параметры модифицирования алюминиево-кремниевых сплавов стронцием.....	85
Мануленко Д.Н., Павлович В.С. Новое в Microsoft Office Access 2013.....	87
Левковский Д.А., Михалков А.Ф. Особенности морфологии вермикулярного графита.....	88
Тонкович А. А., Ярмалицкий В. И., Деревянко С. А. Технологии регенерации формовочных песков и смесей.....	89
Крох А.Н., Шилак Н.А. Скорость кристаллизации и охлаждения ее влияние на твердость и структуру отливок из чугуна с шаровидным графитом.....	90
Шут Е.А., Кравчук А.Е. Вакуумно-плёночная технология изготовления крупных отливок.....	91

Машины и технология обработки металлов давлением

Змушко С.Е., Воронюк А.А. Композиционный двухслойный материал с порошковым антифрикционным слоем для подшипников скольжения.....	95
Земянцев А.О. Исследование прокатки биметаллических материалов.....	96
Богушевич В.Ю. Движение частиц измельчаемого материала в ускорителе центробежно-ударной дробилки.....	98
Петрусевич М.А., Урбан А.С., Баранов Д.А. Поверхностная пластическая обработка малолистовых рессор с использованием локального очага деформации.....	100
Нестерович М.Л., Сегень Д.А., Червяк В.В. Устранение уширения полосы переменной толщины в процессе прокатки.....	103
Лешкович А.А., Кашаед Я. Н. Технологический процесс горячей штамповки зубчатых колёс с оформлением зубьев.....	105
Костюченко Ю.А., Кайрис Ю.Ю., Соловьёв В.С. Технология торцевой раскатки цилиндрических деталей.....	106
Шумак Е.А. Технология получения биметаллических деталей штамповой оснастки методом скоростного горячего выдавливания.....	107
Кутас Д.П., Новик Д.В. Чистовая вырубка ступенчатым пуансоном.....	109
Новик Д.В., Кутас Д.П. Чистовая вырубка толстолистовых деталей в нагретом состоянии.....	110

Артюхов А.Ю., Сорокин А.И. Совершенствование технологии изготовления полых тонкостенных двухслойных изделий комбинированной вытяжкой из составных заготовок.....112

Марухин А.В., Михайловский А.Н. Технология и оборудование для накатывания профильных элементов.....114

Металлургические технологии

Васильев С.Н. Современные нагревательные элементы, используемые в печах сопротивления.....116

Евтух А.Л. Аналитический обзор мирового рынка чугуна.....117

Заноско О. А. Воздействие металлургической пыли на организм человека.....118

Кобрин П. В. Использование кислорода в металлургии.....120

Коршук М.С. Мировое производство стали.....121

Макаревич А.Н. Модернизация металлургии, обновление металлургического оборудования, металлургических печей, вопросы эффективности, экономики и промышленной безопасности мирового металлургического производства.....121

Мигаленя Т. М. Система управления охраной труда и промышленной безопасностью в металлургии.....123

Мицкевич Е. И. Экологическая безопасность при выплавке стали.....124

Панкова Ю. И.Вредные и опасные факторы в машиностроительном производстве...124

Рагель А.В. Тенденции развития цветной металлургии в мире.....125

Цыкунов П.Ю. Нагрев электромагнитными источниками: индукционный нагрев.....126

Явид Д.А. Аналитический обзор мирового рынка стали.....127

Порошковые и композиционные материалы, покрытия и сварка

Гедревич А.Е. Расчет работоспособности порошковых огнепреградителей.....130

Жарикова К.В. Синтез высокоэнергетических алюминиево-кремниевых материалов..131

Жилунов И.Ю. Технологический процесс сварки опоры шарнира 2661.01.02.200-В форвардера Амкодор 2661.....132

Жук Д.А. Технологический процесс сборки и сварки заднего борта самосвала МАЗ модели 5550В5.....134

Казаченко М.А. Влияние высокотемпературного окисления на микроструктуру и фазовый состав порошкового сплава Fe₃Al.....136

Шарецкий А.В. Создание пористых тел прошивкой сплава АК12 ступками порошковых частиц.....	137
Каранкевич И.А. Контактная точечная сварка разнородных материалов с использованием биметаллических переходников.....	139
Кецко А.Н., Ивко Я.В. Лазерная сварка – сварка будущего.....	140
Колодинская Н.С. Исследование дисперсных параметров порошковых ультрадисперсных материалов на лазерном анализаторе «Mastersizer»	142
Кондратенко М.Н. Обоснование выбора защитной среды и расчет режимов сварки шкворневой балки трамвая модели АКСМ84300М.....	144
Снарский А.А. Изучение некоторых технологических особенностей и их оптимизации при сварке плавлением стали 40Х на примере тяги трактора Беларусь 1224.4	145
Щербо А.С. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез нанокпозиционных порошков интерметаллид/оксид.....	146
Голешов И.М. Новые свойства третьей модификации углерода.....	149

Охрана труда и промышленная безопасность

Булавко А.Н., Можджер К.Р. АЭС. Повышение надежности и безопасности станции. Защита от радиации.....	152
Рудак М.С. Воздействие звуковых колебаний с частотой ниже и выше диапазона слышимости на организм человека.....	153
Ермачкова А.А. Воздействие ультразвука на ДНК человека. Удар по геному.....	154
Гулько Е.Н. Входные каналы человек – оператор.....	155
Юрашевич О.В., Бакунович И.С. Загазованность воздуха в зонах обслуживания котлов.....	157
Таугер В.М., Кравченко В.В. Идентификация опасностей. Оценка профессиональных рисков.....	158
Семенова Е.И. К вопросу противопожарной защиты Национальной библиотеки Республики Беларусь.....	160
Анищенко Д.И., Волчкевич Е.А. Меры безопасности при монтаже и эксплуатации электросетей и электрооборудования.....	162
Вишневикий М.Ч. Меры безопасности, применяемые при проведении строительного – монтажных работ методами промышленного альпинизма.....	164
Половинко А.С., Новик А.Н. Нестандартное решение защиты от шума.....	166

Жоль О.Т., Астафьев А.А. Новейшие разработки по обеспечению пожарной безопасности на строительных площадках.....	167
Логвиненко А.М. Особенности опасного и вредного воздействия инфразвука на современном этапе развития общества.....	168
Фенчук Д.А. Особенности регулирования труда молодежи.....	169
Шевчук И.В. Охрана атмосферного воздуха, водных ресурсов и порядок обращения с отходами на Белорусском металлургическом заводе.....	171
Алуф Г.В., Ермакова Н.О. Охрана труда в организациях энергетической отрасли.....	172
Сафонов В.В. Охрана труда при проведении лазерной резки.....	173
Орлюк К.С., Жук В.Ю. Оценка параметров выбросов загрязняющих веществ при работе котельной, расположенной в г. Минск, ул. Героев 120 дивизии.....	175
Тимохова А.Ю., Голубец Н.С. Параметры шума на рабочем месте оператора котельной.....	175
Зеленский Н.А., Кондаурова М.Д. Предотвращение пожаров в электроустановках....	176
Балев В.В. Производственная санитария в сварочном производстве.....	177
Тарасик А.С. «Синдром менеджера» как болезнь 21 века.....	178
Заневский А.В. Специфические особенности условий труда в строительной отрасли.....	180
Кобяков К.В., Амелянов М.А. Исследования условий труда работающих в цехах специального литья.....	182
Биченков П.Г., Михалков А.Ф. Исследование ультрафиолетовых излучений при сварочных работах.....	186
Ермаченок А.О. Условия труда персонала при подготовке пылеугольного топлива....	188
Саленик И.И., Ивашкевич В.С. Условия труда машиниста котлов.....	189
Химические технологии	
Литвинко В.Н. Способы получения золя кремниевой кислоты.....	192
Леонович А.С. Влияние солей трехвалентных металлов на стабилизацию полисульфидной серы в образцах бетонных изделий.....	193
Заноско О.А. Получение нанодисперсных соединений с целью повышения эффективности модификаторов раскислителей.....	194
Сидоркин А.С., Шевченко А.А. Осаждение нитридов титана и кремния из газовой фазы.....	195

Прокопчук Д.А. Исследование возможности производства силикатных изделий неавтоклавного твердения.....	196
Березин Н.А. Изучение возможности применения уравнения Релея для расчета размеров частиц коллоидного диоксида титана.....	198
Марковский А.М. Модифицирование наноразмерными частицами цеолитов.....	200
Мухля А.Д. Процессы, протекающие в системе $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ в гидротермальных условиях.....	201
Молодежные инновационные проекты. Организауия и управление инновационными предприятиями при университетах.	
Сафронова О.В., Калинин А.Ю., Журкевич М.В. Старт-ап центр БНТУ – платформа для реализации молодежных старт-ап проектов.....	204
Щемелёва Е.А. Опыт реализации проектов в сфере энергоэффективных технологий на базе субъекта инновационной инфраструктуры.....	206
Сафронова О.В. Некоторые аспекты оценки бюджетной эффективности инвестиционных проектов по организации деятельности и развитию материально-технической базы научно-технологический парков: на примере Государственного предприятия «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник».....	207
Янович И. В. Устройство для определения аномалий и деформаций зубочелюстной системы.....	209
Сафронова О.В., Калинин А.Ю., Журкевич М.В. Инновационное предприятие как механизм интеграции науки, практической медицины и инновационной инфраструктуры.....	211
Калинин А.Ю. Совершенствование системы управления интеллектуальной собственностью как направление развития вузовской инновационной инфраструктуры.....	213
Прасмыцкая А.К. Воспроизводство научных кадров как один из важнейших факторов инновационного развития экономики.....	214
Богданчук К.А. Использование оптических головок cd-приводов в измерительных системах.....	216
Цвирко М.В. Роль университетов в формировании инновационной инфраструктуры.....	217
Войтешонок М.А., Белых Е.С. Особенности создания малых инновационных предприятий в университетах системы Министерства образования Республики Беларусь...219	219
Сверчков С.А. Современные методы проектирования проточных частей турбоагрегатов.....	220

Научное издание

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ

Сборник научных работ
XV Республиканской студенческой научно-технической конференции

22–25 апреля 2014 года

Подписано в печать 21.10.2014. Формат 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 27,06. Уч.-изд. л. 10,59. Тираж 50. Заказ 726.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.