

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет  
Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»  
Механико-технологический факультет

# **НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ**

Сборник научных работ  
XIV Республиканской студенческой  
научно-технической конференции

23–26 апреля 2013 г.

Минск  
БНТУ  
2013

УДК 669(082)  
ББК 34.3  
Н76

### **ПРЕДСЕДАТЕЛЬ**

декан механико-технологического факультета, канд. техн. наук, доцент **Иваницкий Н.И.**

### **ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:**

д-р техн. наук, профессор **Белявин К.Е.**;  
д-р техн. наук, профессор **Константинов В.М.**;  
д-р техн. наук, профессор **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.**;  
канд. техн. наук, доцент **Алексеев Ю.Г.**;  
канд. техн. наук, доцент **Слуцкий А.Г.**;  
канд. техн. наук, доцент **Керженцева Л.Ф.**;  
канд. техн. наук, доцент **Меженцев А.А.**

### **РАБОЧАЯ ГРУППА:**

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

### **ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ**

**Шульга А.В.**

В сборник включены материалы XIV 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», «Охрана труда и промышленная безопасность», «Порошковые и композиционные материалы, покрытия и сварка», «Химические технологии», «Молодёжные инновационные проекты. Организация и управление инновационными предприятиями при университетах».



В 2013 году исполняется 75 лет со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники БССР лауреата Государственной премии БССР доктора технических наук академика НАН Беларуси Александра Васильевича Степаненко.

Александр Васильевич родился 5 октября 1938 г. в г. Орша Витебской области (Беларусь). В 1961 г. с отличием окончил Белорусский политехнический институт. Два года работал инженером-конструктором на Минском автомобильном заводе. В 1963 г. возвращается на родную кафедру «Машины и технология обработки металлов давлением». В 1966 году он защитил кандидатскую диссертацию, посвященную анизотропии контактного трения в процессах обработки металлов давлением.

После защиты кандидатской диссертации А.В. Степаненко начинает изучать вопросы влияния ультразвука на процессы пластической

деформации, теоретически обосновывая условия использования мощного ультразвука в процессах обработки металлов давлением, разрабатывая специальные конструкции излучателей и создавая устройства для практической реализации предлагаемых новых способов обработки металлов давлением.

Разработки этого периода нашли отражение в таких монографиях как «Прокатка и волочение с ультразвуком», Минск, 1970; «Обработка металлов давлением с ультразвуком», Минск, 1973; «Ультразвук и пластичность», Минск, 1976; «Ультразвуковая обработка материалов», Минск, 1981, написанных им совместно с В. П. Северденко и В. В. Клубовичем. О высоком уровне этих исследований свидетельствуют многочисленные ссылки на них в зарубежных публикациях, перевод на английский язык и издание в США монографии «Прокатка и волочение с ультразвуком», участие А. В. Степаненко как соавтора в советско-болгарском издании, посвященном ультразвуковой интенсификации процессов обработки металлов, практическая реализация предложенных схем и способов обработки. На Первоуральском Новотрубном заводе (Российская Федерация) успешно работает цех ультразвукового волочения специальных труб.

По этой тематике А. В. Степаненко в 1973 г. была защищена докторская диссертация. Итогом же всего этого цикла работ явилось присуждение ему в 1984 г. Государственной премии БССР в области науки.

В 1975 г. он был избран заведующим кафедрой «Машины и технология обработки металлов давлением», в 1976 г. назначен проректором по учебной работе, а в 1977 г. – проректором по научной работе Белорусского политехнического института. В этом же году ему было присвоено ученое звание профессора.

В 1980 г. он избирается член-корреспондентом, в 1986 – академиком АН БССР. В 1988 г. становится заслуженным деятелем науки и техники БССР. В 1987–1992 гг. работает вице-президентом академии наук БССР. Затем он полностью переходит на научную работу в Физико-технический институт академии, где возглавляет отделение пластичности.

Весь этот период он не прерывает связь с кафедрой, являясь руководителем ее филиала при ФТИ НАНБ. Работы, развернутые им на кафедре, завершаются созданием оригинальной технологии и оборудования для прокатки малолистовых рессор автомобилей и прицепов. Эти разработки запатентованы в ряде стран дальнего зарубежья и освоены США (г. Детройт) по лицензии, проданной фирме «Итон».

К сожалению, 15 февраля 2005 года после тяжелой продолжительной болезни он безвременно ушел из жизни.

Александр Васильевич был опытным преподавателем, умеющим «находить путь к студенту». Он до последнего времени читал лекции, руководил дипломным проектированием студентов и научной работой аспирантов, принимая самое непосредственное участие в организации учебного процесса в соответствии с требованиями сегодняшнего дня.

А. В. Степаненко является автором более 700 научных работ, в том числе 8 монографий, более 500 изобретений. Им подготовлено 6 докторов и более 50 кандидатов технических наук.

Он награжден орденом Трудового Красного Знамени (1981), медалью «За освоение целинных и залежных земель» (1958), Почетной грамотой Верховного Совета БССР (1978). Избирался народным депутатом СССР (1989 – 1992).

**Литейное производство  
чёрных и цветных  
металлов**

УДК 621.74.043.2

### **Получение разделительных покрытий для пресс-форм литья под давлением**

Студенты гр.104128 Гринкевич П.Н., гр.104110 Литвинов М.О.  
Научный руководитель – Михальцов А.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

При изготовлении отливок литьём под высоким давлением (ЛПД) используются специальные разделительные покрытия. Современные разделительные покрытия представляют собой эмульсии, состоящие из смазывающего компонента и воды. Обычно изготавливается концентрат, который разбавляется водой перед применением. Поэтому при разработке состава разделительного покрытия для пресс-форм ЛПД необходимо решать две задачи. Первая подбор смазывающего разделяющего компонента покрытия, который и призван обеспечить лёгкий съём отливок, вторая задача - получение стабильной свободно разбавляющейся эмульсии смазывающего компонента в воде.

При решении первого вопроса предпочтение отдавалось высоковязким термостойким маслам. Однако они не в полной мере обеспечивали разделение поверхностей оснастки и формирующейся отливки. Поэтому в последнее время в качестве смазывающе-разделяющего компонента покрытий используют кремнийорганические жидкости, обладающие более высокой термостойкостью.

Для получения эмульсии кремнийорганических жидкостей типа ПМС300, ПМС400 используют поверхностно активное вещество (ПАВ) неонол 9 – 12.

Для изготовления эмульсий применяли специальный лопастной лабораторный смеситель, обеспечивающий 6000 оборотов в минуту.

Эмульсии приготавливались при различном содержании смазывающе-разделяющего компонента и ПАВ. Изменялась также температура исходных компонентов.

Первая группа экспериментов показала, что получить устойчивую эмульсию при использовании одного ПАВ невозможно. Поэтому во второй серии экспериментов наряду с неонолом использовали дополнительный эмульгатор. Выполненные эксперименты показали, что при добавках второго ПАВ в количествах, не превышающих 5 % от содержания первого ПАВ получается эмульсия, седиментационная устойчивость которой превышает 240 часов.

Таким образом, для получения устойчивой эмульсии разделительного покрытия для пресс-форм литья под давлением на основе кремнийорганических жидкостей необходимо использовать второе ПАВ.

УДК.621.74.043.2

### **Повышение свойств разделительных покрытий для пресс-форм литья под давлением**

Студенты гр. 104128 Минич В.В., гр. 104110 Литвинов М.О.  
Научный руководитель – Михальцов А.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Разделительные покрытия необходимы для облегчения извлечения отливки из пресс-формы. Отливка при затвердевании претерпевает усадку и плотно охватывает поверхности формирующие в ней внутренние полости. Поэтому на рабочую поверхность пресс-форм наносят разделительные составы, сглаживающие микронеровности поверхности оснастки и облегчающие удаление отливок из пресс-форм.

Современные разделительные покрытия представляют собой эмульсии типа «масло в воде», где в качестве «масла» выступает разделяющий компонент, обладающий хорошими

смазывающими свойствами при высоких температурах. В качестве разделяющего компонента в составе эмульсий в последнее время используют кремнийорганические жидкости ПМС300, ПМС400, обладающие более высокой термической устойчивостью, чем нефтяные масла, растительные и животные жиры. Но по смазывающей способности кремнийорганические соединения уступают как нефтяным маслам, так и жирам. В результате водоэмульсионные смазки с использованием в составе только кремнийорганического полимера обладают сравнительно невысокой смазывающей способностью.

Кроме того эмульсии, полученные с использованием в составе только ПМС и поверхностно активного вещества (ПАВ) обладают сравнительно невысокой седиментационной устойчивостью.

Поэтому с целью улучшения смазывающих свойств разделительных покрытий, повышения их седиментационной устойчивости в состав дополнительно вводим компоненты, обладающие хорошими смазывающими свойствами при повышенных температурах. В качестве таких компонентов использовали олеиновую кислоту, масло растительное, отходы переработки растительных масел – соапсток.

Использование последнего позволило улучшить смазывающие свойства разделительного покрытия, а также существенно повысить его седиментационную устойчивость.

Таким образом, представляется возможным, за счет использования одного материала решать две задачи: улучшить смазывающие свойства разделительного покрытия, а также повысить его седиментационную устойчивость.

УДК 669.187.25

### **Вопросы энергосбережения и экологии при выплавке стали в дуговых электрических печах**

Студенты гр.104110 Джураев Т.Х., Литвинов М.О.  
Научный руководитель – Неменёнок Б.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Мировое производство стали с 1970 г. по 2011 г. возросло на 923 млн.т и составило 1518 млн.т. Из них 69,6 % приходится на конвертерную сталь, 29,2 % на электросталь, и 1,2 % составляет мартеновская сталь. Процесс выплавки стали в электродуговых печах является наиболее универсальным.

В зависимости от ёмкости печей используются 2 технологии выплавки стали. На печах ёмкостью до 80 т технология плавки включает период расплавления, окисления и восстановления металла.

Электрический режим печей, работающих по данной технологии, основывается на том, что по потреблению электроэнергии процесс плавки делится на два этапа: первый включает период расплавления, в течении которого расходуется ~ 2/3 общего количества электроэнергии (430 – 480 кВт · ч/т), второй – окислительный и восстановительный периоды, когда после расплавления металла потребность в подводимой мощности резко снижается. Во время окислительного периода подводимая мощность должна обеспечить нагрев металла до температуры выпуска и компенсацию теплопотерь, а в восстановительный период преимущественно поддержание температуры металла на необходимом уровне и компенсацию теплопотерь. Соответственно в период плавления работают на высших ступенях напряжения трансформатора и относительно длинных дугах, что обеспечивает высокую подводимую мощность и хорошую излучательную способность дуг, в окислительный период – на средних ступенях напряжения и в восстановительный период на

низших ступенях и укороченных дугах, что снижает подводимую мощность и уменьшает излучение на футеровку печи.

Главная особенность организации работы современных крупнотоннажных дуговых сталеплавильных печей (ДСП) сводится к переходу на двухстадийную технологию производства: а) быстрое расплавление в печи металлошихты, окисление углерода и фосфора, удаление окислительного шлака; б) окончательное рафинирование (десульфурация, раскисление) и доводка вне печи методами внепечной обработки.

Значительную часть периода плавления, когда излучение дуг поглощается стальным ломом, экранирующим стены печи, работают на высших ступенях напряжения и длинных дугах (при относительно небольших токах), что обеспечивает хорошую излучательную способность мощных дуг при высоких значениях  $\cos \varphi$  ( $\sim 0,9$ ). После формирования жидкой ванны, чтобы уменьшить облучение стен печи переходят на работу с короткими, при больших токах и напряжении, высокомоощными дугами. Такие дуги в значительной мере заглублены в ванну, что увеличивает передачу тепла жидкому металлу, но из-за больших токов сильно снижается  $\cos \varphi$  (до  $0,7 - 0,9$ ). Чтобы повысить экономичность электрического режима разработана технология работы с «пенистыми» шлаками: во время плавления и окислительного периода на шлак загружают порции мелкого кокса, это вызывает вспенивание шлака пузырями  $\text{CO}$ , образующимися при окислении углерода кокса. Электрические дуги оказываются погруженными во вспененный шлак, что позволяет несколько увеличить длину дуги, уменьшив силу тока. При этом  $\cos \varphi$  возрастает до  $0,8 - 0,85$ . По такому режиму работают большинство высокомоощных печей.

В целях экономии электроэнергии и повышения производительности ДСП широко используются различные варианты предварительного подогрева шихты, в том числе и за счёт тепла отходящих газов. За счёт высокотемпературного нагрева лома технологическими газами и использования больших количеств топлива расход электроэнергии может быть снижен до  $180 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$ , расход электродов до менее  $1,2 \text{ кг/т}$ . При этом по сравнению с обычной ДСП затраты первичной энергии на выплавку стали могут быть уменьшены в  $1,5 - 1,6$  раза, что способствует не только повышению экономической эффективности процесса, но и улучшению экологии. Существует несколько конструкций ДСП с предварительным подогревом шихты: печи Consteel с непрерывной загрузкой металлошихты; шахтные ДСП с удерживающими пальцами и непрерывной подачей металлошихты; оптимизированная печь EoF (Бразилия); ДСП с криволинейным шахтным подогревателем лома (Япония); кольцевая шахтная ДСП (Contiars, Mannesmann Demag).

В 2010 году в мире насчитывалось 36 установок Consteel с суммарной мощностью более 30 млн. т жидкой стали в год. За 20 лет существования данной технологии ни одна установка не была демонтирована или заменена другой технологией.

Вместе с тем, следует отметить, что при подогреве лома, обычно загрязнённого маслом, органическими и галогеносодержащими соединениями неизбежно образование особенно вредных соединений, в том числе диоксинов и фуранов. Например, лом от измельчённых корпусов автомобилей содержит до 2 % по массе (или до  $20 \text{ кг/т}$ ) горючих составляющих. Кроме диоксинов и фуранов, важнейшими горючими вредными выбросами, связанными с загрязнением лома, являются: сажа,  $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$  – бензапирен,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  – фенол,  $\text{НСНО}$  – формальдегид,  $\text{СНН}$  – цианистый водород.

Признание и быстрое распространение электросталеплавильных установок системы Consteel в США, Европе и Азии в начале 21 века были обусловлены прежде всего непрерывной загрузкой скрапа, позволявшей улучшить энергоэкологические показатели ДСП, снизить дестабилизацию электрических сетей, уменьшить уровень шума. Однако такая схема позволяет нагреть металл до  $300 - 400 \text{ }^\circ\text{C}$ , а в большинстве случаев только до  $250 \text{ }^\circ\text{C}$  и не решает проблем нейтрализации горючих компонентов неорганизованных выбросов, подавления образования диоксинов и фуранов. Поэтому технологии предварительного нагрева металлошихты целесообразно использовать для чистого металлического лома, свободного от краски, масел, полимерных покрытий.



**Эффективный способ раскисления стали алюминием**

Студенты гр.104128 Иванов А.Д., Акулич Н.Н., гр. 104129 Романов А.А.

Научный руководитель – Неменёнок Б.М.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В сталелитейном производстве конечное раскисление стали осуществляют преимущественно алюминием, который имеет высокую раскислительную способность. Однако при различных остаточных концентрациях в стали алюминий может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на её свойства. Поэтому важно обеспечить стабильность процесса раскисления, высокую степень усвоения алюминия и оптимальное его содержание в стали.

Раскисление стали металлическим алюминием связано с высоким угаром и нестабильностью его усвоения. Это обусловлено низкой плотностью алюминия ( $2700 \text{ кг/м}^3$ ), которая более чем в 2 раза ниже плотности жидкой стали и ниже плотности шлака. Это затрудняет прогнозирование, и стабильное получение остаточного содержания алюминия в стали в наиболее оптимальном интервале 0,03 – 0,04 %.

В настоящее время для повышения степени усвоения алюминия в промышленности применяют различные методы: утяжеление алюминия балластным грузом; принудительное погружение – ввод на штанге или путём прикрепления к стопору ковша; введение в расплав в виде би- и триметаллических заготовок; использование ферроалюминиевого сплава или литого железоалюминиевого композита. Разработанные составы литых железоалюминиевых композитов, полученных с использованием стальной или чугуновой дроби в качестве армирующего компонента, обеспечивают приемлемое сочетание противоречивых требований по остаточному содержанию алюминия, плотности отливок и заполняемости литейной формы. Однако при этом возникают трудности с дозированием раскислителя.

За рубежом существуют способы подачи алюминия при выпуске стали, заключающиеся в выстреливании алюминия в виде пуль – технология ABC (Aluminium Bullet Shoting) и технология ASIS, предусматривающая вдувание алюминиевой дроби в струю металла с использованием инжекционной установки. При этом литейную алюминиевую дробь диаметром 1,6 – 6 мм получают при сливе расплава через сито – дозатор в воду. Применение литой алюминиевой дроби позволяет существенно повысить реакционную поверхность раскисления, т. к. данный показатель для алюминиевых гранул составляет 1,6 – 1,8  $\text{м}^2/\text{кг}$ , а для чушки – 0,02  $\text{м}^2/\text{кг}$ . Однако такая технология получения алюминиевой дроби требует её обязательной сушки и существует опасность насыщения расплава водородом. Кроме того, при температуре сушки гранул выше 200°C происходит интенсивное окисление влажных гранул. Развитая поверхность гранул, из-за их малого размера, способствует загрязнению расплава оксидными плёнами.

На кафедре «Металлургия литейных сплавов» БНТУ освоено производство алюминиевых гранул по «сухой технологии». После расплавления образовавшийся расплав подаётся в чугунный металлоприёмник, в нижней части которого находятся специальные отверстия, через которые вытекает жидкий металл. Образование капелек (обрыв струи металла) происходит за счёт работы ударного механизма. В зависимости от интенсивности работы ударного механизма можно изменять размеры получаемых гранул в диапазоне 5 – 10 мм. Охлаждение капель и формирование гранул происходит на вращающемся водоохлаждаемом столе, а готовые гранулы удаляются со стала потоком сжатого воздуха.

Использование таких гранул для раскисления стали при выпуске из печи по технологии ASIS подтвердило их преимущество по сравнению с гранулами, полученными по «мокрой технологии». Данная технология позволяет повысить степень усвоения алюминия расплавом, автоматизировать процесс раскисления, вести учёт использованного алюминия при снижении его расхода на 20 – 25 % и обеспечить оптимальное содержание алюминия в стали в зависимости от её дальнейшего использования.

Студентки гр. 104128 Савко А.В., Кушнер Е.Н.  
Научный руководитель – Неменёнок Б.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Увеличение объёмов потребления и расширение областей применения алюминия привело к увеличению количества мелкодисперсных и загрязнённых отходов с содержанием алюминия от 30 до 85 %, эффективная переработка которых затруднена на традиционном оборудовании.

На настоящее время на территории Республики Беларусь образуется значительное количество конверсионного кускового алюминиевого лома и разнообразных дисперсных и высоко окисленных отходов алюминия (стружка, шлаки, съёмы и т.д.). По данным ОАО "Белцветмет" в общем объёме накопления вторичного алюминиевого сырья доля стружки составляет более 26 %, а шлака – более 13 %. Если в отношении переплава кускового лома вопрос успешно решён в связи с вводом в эксплуатацию цеха на ОАО "Белцветмет" в п. Гатово, то по высокодисперсному сырью он остаётся открытым. Проблема переработки шлака с годами становится всё более актуальной как с точки зрения экономической выгоды, достигаемой из-за извлечения металлического алюминия и побочных товарных продуктов, так и вследствие общемировой политики ужесточения требований по охране окружающей среды и захоронения отходов.

Характерной особенностью алюминиевых шлаков является их горение на воздухе после выгрузки их из печи. При этом температура шлака быстро поднимается с 720 – 740 до 1000 °С и более. Этот процесс обусловлен интенсивным окислением алюминия, распределённого в виде капель в оксидной части шлака. Анализ фракционного состава алюминиевых шлаков показывает, что 20 – 25 % содержащегося в них алюминия представлено в виде капель с эквивалентным диаметром менее 1 мм, а 50 – 60 % имеют данный диаметр на уровне 1 – 10 мм. Это свидетельствует о высокой реакционной поверхности включения алюминия при окислении которого удаление теплоты затруднено из-за невысокой теплопроводности шлака. В итоге это приводит к разогреву шлака и снижению защитных свойств оксидной плёнки на каплях алюминия. Поэтому высокотемпературное окисление алюминия переходит в стадию его горения, отличающуюся большой скоростью процесса и каждая минута выдержки горячего шлака на воздухе приводит к потере в нём примерно 1 % алюминия.

Для предупреждения горения шлака используют его прессование в специальной камере на установке ALTEK PRESS. Введение массивного пуансона в горячий шлак прекращает его горение и при сжатии с давлением 16 МПа в шлаке происходит миграция капель расплава. Энергия сжатия расходуется в основном на разрушение оксидной плёнки на каплях расплава, способствуя слиянию отдельных капель и стеканию части жидкого металла через отверстие в днище ёмкости в изложницу. Остальной расплав под давлением пуансона образует сплошную корку металла, что исключает доступ кислорода к шлаку, который затвердевает в форме компактных «коржей». Такая форма нахождения шлака в спрессованном состоянии с наружной алюминиевой оболочкой более удобна для хранения и транспортировки. Последующий переплав «коржей» позволяет извлечь ещё около 60 % алюминия, а общее извлечение алюминия из шлака при использовании этого способа достигает 70 %. При этом не требуется использование флюсов и не происходит загрязнение окружающей среды высокотоксичными выбросами.

## **Неразрушающий контроль качества металлических изделий низкочастотным акустическим методом**

Студенты гр.104129 Лавринчик Е.Г., Толкач В.А., аспирант Морозов Д.С.  
Научный руководитель – Рафальский И.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Широкое применение в производстве литых изделий находят методы неразрушающего контроля качества (НК) продукции, не нарушающих целостность контролируемого изделия в процессе контроля. Методы НК основываются на регистрации и анализе результатов взаимодействия физических полей (излучений) или веществ с объектом контроля, в результате этого взаимодействия осуществляется проверка соответствия показателей качества контролируемой продукции установленным требованиям без нарушения ее свойств, функционирования и пригодности к применению.

В настоящей работе выполнен анализ методики неразрушающего контроля структуры сплава на основе алюминия низкочастотным акустическим методом, основанным на зависимости частоты свободных колебаний звучания технологических проб, полученных при литье в разовые и постоянные формы.

Сбор данных об акустических характеристиках осуществлялся с использованием микропроцессорного устройства на базе микроконвертора серии ADuC834/ADuC8x, обеспечивающего функции автоматизированного сбора акустических данных об изделиях. Устройство в системе контроля структуры выполняет следующие функции:

- формирование переменного напряжения в диапазоне частот звучания изделий;
- приём акустических сигналов, преобразованных датчиком-приёмником в электрические;
- преобразование их с заданной частотой в цифровой код с высокой разрешающей способностью и низкой нелинейностью преобразования;
- накопление и хранение цифрового кода (фонограммы) в быстродействующей оперативной памяти и, при необходимости, хранение в энергонезависимой памяти;
- обработку фонограмм;
- вывод исходных данных и результатов обработки на встроенный индикатор;
- вывод фонограмм звучания в компьютер для детальной обработки при необходимости.

Методика регистрации и анализа низкочастотных акустических характеристик с использованием технологических проб, полученных при литье в разовые и постоянные формы, может быть использована для экспрессного контроля марки и параметров структуры алюминиевого сплава.

## Методы и средства высокотемпературных измерений в литейно- металлургическом производстве

Студент гр.104110 Никитюк П.А.  
Научный руководитель – Рафальский И.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Методы и средства высокотемпературных измерений в литейно-металлургическом производстве используются не только при определении температуры объекта исследования в заданный момент времени, но и для идентификации температур фазовых превращений, при которых происходят процессы, сопровождающиеся либо выделением тепла (например, кристаллизация из жидкости), либо его поглощением (например, плавление, термическая диссоциация). Совокупность таких методов обычно называют термическим анализом.

Наиболее общим методом термического анализа является метод построения кривых "время – температура". Нагревая (или охлаждая) изучаемый объект, измеряют через небольшие промежутки времени его температуру; результаты измерений изображают графически, откладывая время по оси абсцисс, а температуру – по оси ординат. При отсутствии превращений кривая нагревания (охлаждения) идёт плавно; превращения отражаются появлением на кривой изломов или горизонтальных участков ("остановок"). Для определения температур фазовых превращений используют дифференциальные зависимости полученных кривых нагревания (охлаждения).

Также широко в исследованиях применяется дифференциальный метод термического анализа, по которому нагревание (охлаждение) исследуемого объекта ведут вместе и в одних и тех же условиях с веществом-эталоном, которое в условиях опыта не претерпевает превращений. В этом случае на одном и том же графике записывают и кривую "время – температура", и кривую "время – разность температур" объекта и эталона. Эта разность появляется при любом превращении исследуемого объекта, протекающем с поглощением (выделением) тепла.

С помощью термического анализа решается задача получения количественных характеристик (например, фазовый состав, теплота реакций, количество выделившейся фазы) при нагревании (охлаждении) исследуемых объектов. Термический анализ широко применяется при изучении сплавов металлов и сплавов, а также минералов и геологических пород. При этом о характере превращений судят по виду кривой нагревания (охлаждения), а по дифференциальным кривым определяют температуру превращения.

Для записи кривых нагревания и охлаждения металлов и сплавов используют различные регистрирующие приборы, в том числе пирометр Н. С. Курнакова, электронные (автоматические) измерительные устройства, оптические пирометры. Для прецизионных (точных) измерений используют тарированные термпары и специальные термометры.

Огромный вклад в развитие методов высокотемпературных измерений внёс выдающийся учёный Н.С. Курнаков. В 1903 г. Н.С. Курнаков создал прибор для термического анализа, автоматически записывающий температурные кривые плавления и затвердения сплавов (пирометр Н.С. Курнакова). Вместо громоздкого прибора Робертса – Аустена он предложил легкий, компактный барабанный прибор. «Такого рода аппарат, – отмечал Н.С.Курнаков, – вполне заменяет самого усердного наблюдателя и позволяет улавливать явления, которые по своей непродолжительности ускользают от непосредственного исследования». Пирометр Курнакова нашел широкое применение в лабораториях не только самого ученого, но и многих других металлургов. Так, А.А.Байков в одной из своих работ (1910) писал: «Я решил воспользоваться лучшим регистрирующим прибором для записи и применить его для дифференциального метода, именно – превосходным прибором проф. Н.С.Курнакова».

В настоящее время существует множество производителей, осуществляющих разработку и производство более современных средств Heraeus Electro-Nite (Бельгия) является лидером на мировом рынке по производству сенсорных датчиков и измерительных систем для сталеплавильной, алюминиевой и литейной промышленности. В качестве признанного специализированного предприятия по измерительной технике, предназначенной для измерения параметров железа, стали и алюминия в расплавленном состоянии, Heraeus Electro-Nite производит высококачественные сенсорные датчики для высокотемпературных измерений [1].

ОАО «Челябинский завод «Теплоприбор» – крупная приборостроительная компания, расположенная в России – в промышленно развитом Уральском регионе. Основные направления деятельности предприятий «Теплоприбор» – исследования и разработка, производство и продажа устройств для разных сегментов промышленности, также производство оборудования для термического анализа. Датчики температуры (включая термопары и термометры сопротивления – типа ТХА, ТХК, ТПР, ТПП, ТСМ, ТСП и др.) [2]. Широко известна деятельность компании Nova cast (Швеция), которая осуществляет контроль металлургических процессов плавки серого и высокопрочного чугуна. Известная система ATAS (адаптивная система термического анализа, разработка предприятия) обеспечивает пользователю контроль над производственными процессами, позволяет оперативно изменить технологический процесс с целью его улучшения. Система основана на передовых исследованиях в области термического анализа, которая в сочетании с технологиями искусственного интеллекта позволяет уменьшить литейные дефекты и повысить выход годной продукции.

#### **Литература**

1. Интернет-ресурс: сайт Heraeus Electro-Nite <http://electro-nite.ru/>
2. Интернет-ресурс: сайт Теплоприбор <http://tpchel.ru/>

УДК 669, 621.74.08

#### **Контроль металлургических процессов при производстве отливок из алюминиевых сплавов с использованием термического анализа**

Студенты гр. 104119 Комарова Т.Д., гр. 104129 Романов А.А., аспирант Морозов Д.С.  
Научный руководитель – Рафальский И.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Одним из основных методов получения данных о свойствах сплавов в процессе плавки является термический анализ пробы расплава. Современные микропроцессорные средства обеспечивают возможность цифровой обработки данных термического анализа в режиме реального времени с высокой точностью, что привело в последние годы к росту практического их применения.

Построение алгоритмов контроля металлургических процессов при производстве отливок с использованных данных термического анализа основано на параметризации кривой охлаждения, с выявлением на ней характерных участков и точек, соответствующих протекающим в сплаве фазовым превращениям. Последние, в свою очередь, взаимосвязаны с химическим составом сплава, содержанием модификаторов, растворенных газов, примесей, металлургической наследственностью и условиями охлаждения сплава.

В большинстве случаев технологические параметры процесса плавки литейных сплавов (температурный режим, состав и реакционная способность рафинирующих и модифицирующих добавок, особенности взаимодействия расплава с материалом футеровки

печи и др.) могут существенно изменяться. При этом большинство параметров, характеризующих динамику металлургического процесса плавки, объективно труднодоступны для оперативного контроля. В процессе контроля свойств сплава (выходных параметров системы) по данным термического анализа осуществляется измерение только температурно-временной зависимости затвердевающей пробы расплава (входные данные), при этом система контроля должна с высокой степенью надежности обеспечивать оценку свойств сплава из доступных для измерения данных.

В настоящей работе выполнен анализ методологии контроля металлургических процессов плавки алюминиевых сплавов с использованием данных термического анализа с помощью программно-измерительного микропроцессорного комплекса, обеспечивающего функции хранения и обработки данных.

Отбор проб расплава осуществляется в разовые измерительные ячейки (стаканчики) либо постоянные технологические пробоотборники. Комплекс оснащен необходимыми программами обработки данных, в том числе определения температур фазовых превращений, расчета объемной доли твердой фазы, анализа тепловых эффектов при кристаллизации сплавов, и может быть использован для экспрессного контроля степени модифицирования сплава (алюминиевых сплавов, чугуна) в процессе плавки, а также для определения основных элементов химического состава.

УДК 621.746

### **Термический анализ как метод исследования физико-химических процессов кристаллизации сплавов**

Студенты гр. 104119 Ермола М.А., Дик А.Б.  
Научные руководители – Арабей А.В., Рафальский И.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Термический анализ (далее ТА) является высокочувствительным методом измерения теплофизических характеристик металлов и сплавов и широко используется в металлургии. ТА основан на записи значений температуры через определенные промежутки времени во время процесса кристаллизации расплава, что позволяет строить кривые охлаждения (графики изменения температуры во времени для образцов сплавов) и использовать для определения температур фазовых и структурных превращений, построения фазовых диаграмм, а также для анализа и классификации сплава. Температурные остановки, происходящие, например, при прохождении интервала кристаллизации образца, а также значения скорости охлаждения на различных стадиях процесса кристаллизации, можно использовать при изучении и количественном измерении теплофизических, термодинамических характеристик исследуемых материалов, а также для классификации сплава и прогнозирования его поведения при заливке в формы.

Достоинствами метода ТА являются сравнительно низкие материальные затраты на оборудование, отсутствие жестких требований на подготовку исследуемого сплава к анализу. Отбор проб для контроля качества промышленных сплавов методом ТА осуществляется с использованием как правило, «наливных» проб расплава, извлеченного из плавильной печи. Применение микропроцессорной и компьютерной техники для обработки данных ТА позволяет значительно облегчить проведение обработки и анализа результатов эксперимента, повысить точность и скорость определения температур фазовых превращений, увеличить наглядность представления результатов.

Необходимо отметить, что из-за различия в режимах плавки, модифицирующей и рафинирующей обработки температуры фазовых превращений в сплавах одинакового

химического состава могут отличаться на значительную величину (до 10 и более градусов), что в свою очередь повышает риск неконтролируемого хода процесса кристаллизации отливок и образования дефектов. Следовательно, использование только химического анализа как средства контроля качества сплава не может рассматриваться в качестве достаточного метода контроля технологического процесса плавки.

Современные программы компьютерного моделирования в большинстве случаев способны адекватно описывать сложные физико-химические процессы, происходящие при заполнении расплавом формы, кристаллизации сплава и его дальнейшего охлаждения. Тем не менее, адекватные компьютерные модели могут быть получены только при задании достоверных теплофизических параметров сплава. Эта задача решается путем использования в системах компьютерного моделирования литейных процессов результатов обработки данных ТА.

УДК 621.746

### **Анализ методики проведения термического анализа сплавов системы Al-Si**

Студенты гр. 104118 Розенберг Е.В., гр. 104119 Казак А.Ю.

Научные руководители – Арабей А.В., Довнар Г.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Переход металла из жидкого в твердое состояние (кристаллизация) протекает в условиях, когда система переходит к термодинамически более устойчивому состоянию с меньшей свободной энергией. Метод термического анализа основан на том, что фазовые превращения сопровождаются тепловыми эффектами и на кривых, построенных в координатах «температура – время», наблюдаются перегибы или горизонтальные участки – критические точки.

В настоящей работе исследования процесса кристаллизации литейных алюминиевых сплавов проводились с помощью стандартной методики термического анализа по кривой охлаждения пробы расплава с использованием разработанной в Белорусском национальном техническом университете микропроцессорной системы термического анализа, внешний вид которой приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид микропроцессорной системы термического анализа металлов и сплавов

Система функционирует в двух основных режимах:

- в режиме термического анализа и записи термограмм кристаллизации;
- в режиме передачи термограмм в персональный компьютер для их обработки.

Сплавы готовились в электрической печи сопротивления в графитовых тиглях массой 35 – 40 и 55 – 60 гр. Измерения проводились на воздухе, при естественном охлаждении образцов в тиглях. Скорость охлаждения сплавов изменялась от 0,5 до 1 °С/с. Исследование процесса кристаллизации проводилось с помощью метода термического анализа по кривой охлаждения пробы расплава с последующим металлографическим анализом микроструктуры образца [1 – 3]. В качестве термодатчика использовали хромель-алюмелевую термопару в защитном кварцевом колпачке. Запись значений температуры во время процесса кристаллизации расплава осуществлялась через заданные промежутки времени: 0,8 с. В каждом опыте для записи кривой охлаждения сплава использовали свыше 500 последовательных измерений термо-ЭДС. Обработка температурно-временных зависимостей осуществлялась на персональных компьютерах. По завершению кристаллизации пробы проводилась обработка полученных термограмм. Для определения начала кристаллизации первичных и эвтектических фаз сплавов рассчитывали вторую производные от кривой охлаждения. Вторая производная от кривой охлаждения отражает темп изменения температуры с течением времени.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что скорость охлаждения в диапазоне от 0,5 до 1,0 °С/с существенного влияния на температуру ликвидус и температуру эвтектического превращения в сплавах системы Al-Si не оказывает. Установлено, что случайная погрешность измерения температур фазовых превращений в доэвтектических силуминах при изменении массы пробы расплава от 35 до 60 гр. не превышает 0,5 %.

### Литература

1 Киселев С.В., Довнар Г.В. Универсальное устройство для термоанализа сплавов // Литейное производство, 2004, №3 – С. 27.

2 Рафальский И.В., Киселев С.В., Довнар Г.В. Термический анализ модельных силуминов с различными модификаторами эвтектики // Литейное производство, 2006, №3 – с.21 – 22.

3. Arabey, A. The computer analysis of phase transitions in hypereutectic Al-Si alloys in view of influence of melt temperature processing / A. Arabey, I. Rafalski, O. Reut, P. Lushchik // International Doctoral Seminar. : Proceedings of International Doctoral Seminar, Trnava, Slovak Republik, 18–20 may 2008 / Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials science and technology in Trnava. – Trnava, 2008. – P. 9 – 15.

УДК 621.745.669.13

### **Перспективы использования нанодисперсных порошков соединений активных элементов при получении лигатур**

Студенты гр. 104119 Кривопуст А.А., Дайлиденко А.В.

Научный руководитель – Слуцкий А.Г.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В настоящее время большое внимание уделяется применению ультрадисперсных порошков химических соединений (нитриды, карбиды, оксиды, карбонитриды и др.) при получении новых материалов и сплавов. Размер частиц таких нанопорошков не превышает 100 нм. Обладая уникальными физико-химическими и механическими свойствами, они могут влиять на качество получаемых сплавов.



Ранее проведенные исследования показали перспективность применения ультрадисперсных частиц соединений титана в составе модификатора-раскислителя, используемого при внепечной обработке чугуна и стали. Однако проблемным остается вопрос стабильного ввода таких порошков в исходные композиции.

Целью настоящей работы является повышение равномерности распределения вводимых ультрадисперсных частиц в составе лигатур.

В результате проведенных исследований разработана методика изготовления смесей на основе порошков меди и олова, с добавками дисперсного порошка оксида иттрия, изготовлены опытные образцы брикетов лигатур, проведен анализ распределения иттрия в полученном материале. На рисунке 1 представлены фотографии ультрадисперсного порошка оксида иттрия (а), полученного из Республики Корея в рамках договора о научном сотрудничестве с БНТУ и брикетов на основе меди (б) с добавками порошков железа, магния и оксида иттрия



Рисунок 1 – Общий вид ультрадисперсного порошка:  
а – оксида иттрия; б – лигатуры на основе меди

Компоненты смешивали в течении двух и шести часов с использованием шаров различного диаметра и затем брикетировали на лабораторном прессе с усилием 25 т.

Полученные брикеты исследовали в химикоспектральной лаборатории факультета проведены исследования по распределению иттрия, результаты которых представлены на рисунке 2.

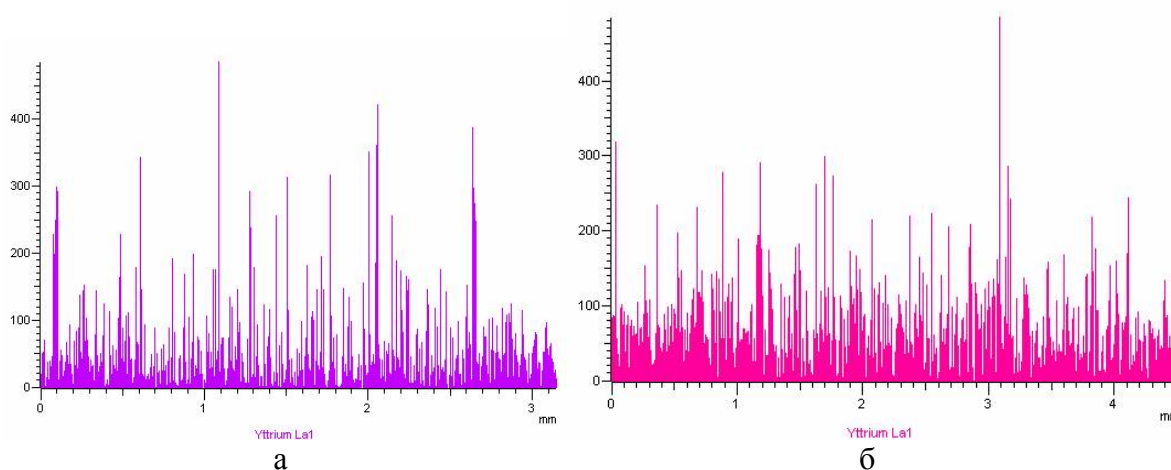


Рисунок 2 – Распределение ультрадисперсного порошка оксида иттрия в лигатуре на основе меди:

а – 2 часа перемешивания; б – 6 часов перемешивания

Из представленных сравнительных результатов видно, что продолжительность перемешивания исходных компонентов обеспечило более равномерное распределение ультрадисперсного порошка оксида иттрия.

На втором этапе работы по разработанной методике изготовлены брикеты микролиготуры на основе порошка олова и ультрадисперсный порошок оксида иттрия. На рисунке 3 представлен общий вид микролиготур полученных по различным вариантам. Результаты исследования распределения иттрия будут представлены позже.



Рисунок 3 – Варианты микролиготур на основе олова с добавками ультрадисперсного порошка оксида иттрия

Дальнейшие результаты исследования будут направлены на проведение лабораторных и заводских испытаний технологии микролегирования чугуна, технологии сфероидизирующей обработки ВЧ.

Технология обеспечит снижение расхода сфероидизирующей лигатуры в 1,5 раза. Сократит брак получаемых отливок на 30 – 40 %.

УДК 621.745.669.13

#### **Энергосберегающая технология получения лигатур на основе тугоплавких металлов**

Студенты гр.104128 Шульга А.В., 104119 Билиба Н.Э., 104121 Кулинич С.Л.

Научный руководитель – Слуцкий А.Г.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Ферросплавы хрома и молибдена широко используются в литейном производстве и металлургии например при выплавке низколегированной стали 35ХМЛ. Одним из методов получения хром- и молибденсодержащих лигатур является металлотермическое восстановление. Процесс сопровождается выделением значительного количества тепла, за счёт которого обеспечивается формирование получаемого слитка. Расчёты показали (рисунок 1), что термичность восстановительной смеси на основе оксида молибдена и алюминия достаточно высокая и составляет 4700 Дж/г. Это означает, что данный процесс не требует внешнего подогрева компонентов смеси. Иная картина имеет место при аналогичном процессе для оксида хрома. Термичность составляет порядка 1700Дж/г, что требует дополнительного подогрева восстановительной смеси.

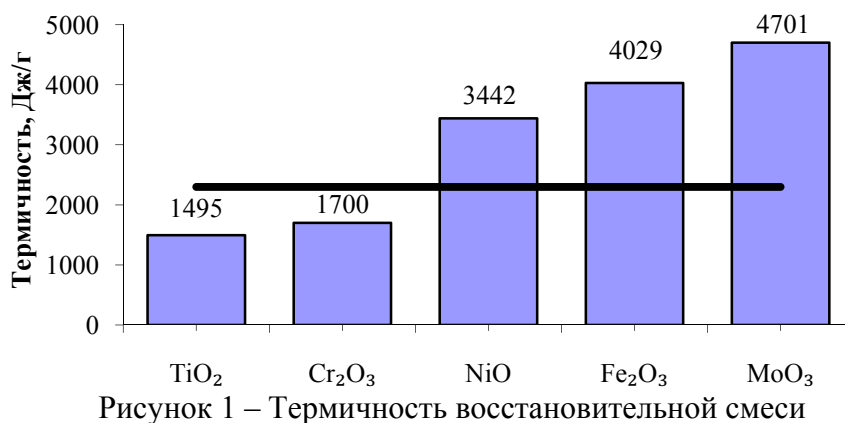


Рисунок 1 – Термичность восстановительной смеси

Целью настоящих исследований является получение комплексной лигатуры содержащей хром и молибден методом внепечной металлургии. Для изучения особенностей процесса получения лигатуры были подобраны составы восстановительных смесей на основе оксидов молибдена и хрома с восстановителем. Общий вид используемых материалов представлен на рисунке 2.

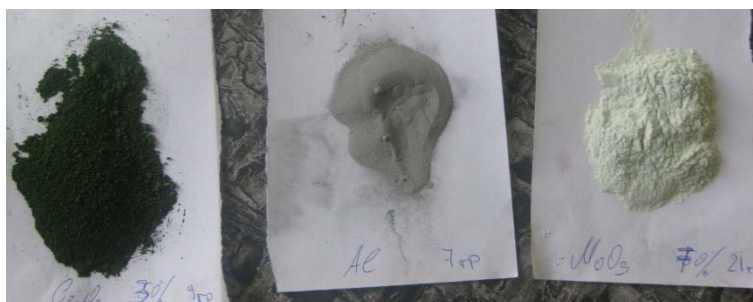


Рисунок 2 – Общий вид используемых материалов

Расчётное количество компонентов тщательно перемешивалось, и полученная смесь засыпалась в футерованный ковш и поджигалась с использованием специального запала. Велось наблюдение за ходом восстановительной плавки. На рисунке 3 представлены фрагменты процесса получения лигатуры в начальный период (а) и по завершению реакции (б).



Рисунок 3 – Характер восстановительного процесса:  
а – в начальный период; б – после завершения реакции

После завершения процесса ковш со слитком охлаждался до комнатной температуры и затем выбивался.

По данной методике была проведена серия опытов и установлено, что металлургический выход по лигатуре для различных вариантов восстановительной плавки изменялся от 57 до

95 %. Наблюдения показали, что характер протекания восстановительных процессов в зависимости от состава смеси различный. Там, где реакция протекала очень активно с выбросами продуктов за пределы тигля, металлургический выход по лигатуре был невысокий. При этом в большинстве опытов в составе шлака обнаружены корольки сплава. Оптимальным вариантом, обеспечивающим стабильное получение лигатуры, является соотношение оксида молибдена и хрома 50 % на 50 %. По такому варианту провели восстановительную плавку с целью получения опытного образца лигатуры для заводских испытаний. На рисунке 4 представлен общий вид продуктов восстановительной плавки в виде компактного слитка лигатуры и шлака.



Рисунок 4 – Общий вид продуктов восстановительной плавки

Химическим анализом установлено что лигатура содержит 48 % молибдена, 49 % хрома, а остальное алюминий и примеси.

Таким образом, в результате теоретических и экспериментальных исследований показана реальная возможность получения лигатуры содержащей молибден и хром методом внепечной металлургии.

Использование в составе смеси гранулированного алюминия определенной фракции, а также флюсующей присадки, позволило стабилизировать процесс восстановления молибдена и хрома и тем самым обеспечить максимальный металлургический выход по лигатуре. Существенным отличием разработанной технологии от аналогов является догрузка смеси в реактор по ходу восстановительной плавки. Это позволяет максимально контролировать процесс плавки и минимизировать выбросы продуктов реакции.

УДК 621.74

#### **Неразрушающий рентгенотелевизионный анализ брака по пористости алюминиевых отливок**

Студент гр.104128 Шульга А.В.

Научный руководитель – Слуцкий А.Г.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В настоящее время ни один технологический процесс получения ответственной продукции не внедряется в промышленность без соответствующей системы неразрушающего контроля. Производственный технический контроль литых изделий является важнейшим элементом системы управления качества литейной продукции и включает входной контроль сырья и материалов, операционный контроль технологических операций, приемочный контроль готовых отливок. Для изделий ответственного назначения выборочный контроль отдельных изделий недостаточен, так как не позволяет полностью оценить качество продукции. Достаточно надежный результат дает только полный 100 % контроль с применением современных методов неразрушающего контроля.

Основным вопросом исследования был анализ и выявление более значимых параметров литья на брак по пористости «Крестовины» и нахождение методики по снижению брака с помощью рентгенотелевизионного анализа.

Объектом исследования являлась заготовка детали «Крестовина» из сплава АК12М2 ООО «Алстронг» (рисунок 1).



Рисунок 1 – Деталь «Крестовина»:  
а – общий вид; б – резьбовые отверстия в лучах

Анализ проводился при помощи рентгенотелевизионной установки для контроля изделий SRE HEX 50 – 70 160 кВ.

Для проведения опытов была выбрана следующая схема этапов контроля и анализа:

1. Установка требуемых параметров технологического режима изготовления "Крестовины" на машине литья под давлением;
2. Изготовление первой годной отливки;
3. Рентгенотелевизионный анализ;
4. Заключение о годности изготовленной "Крестовины";
5. Корректировка наиболее значимых параметров технологического процесса;
6. Изготовление последующей годной отливки и повторение предыдущих этапов.

В ходе экспериментальной части было проведено 5 опытов по разработанной методике исследований. Опыты проводились независимо друг от друга с размером выборки анализируемых параметров и режимов литья – 80 инъекций (запрессовок) на 1 партию изготавливаемой отливки «Крестовина». С каждой выборки отбирали по 1 исследуемой «Крестовине» на рентгенотелевизионный анализ. В каждом опыте вручную изменялись наиболее значимые параметры литья. По полученным данным строилась графическая зависимость изменяемых параметров режима литья по каждому из проведенных опытов.

На рисунке 2 представлены изменения некоторых более значимых технологических параметров литья в опытах № 1, 5.

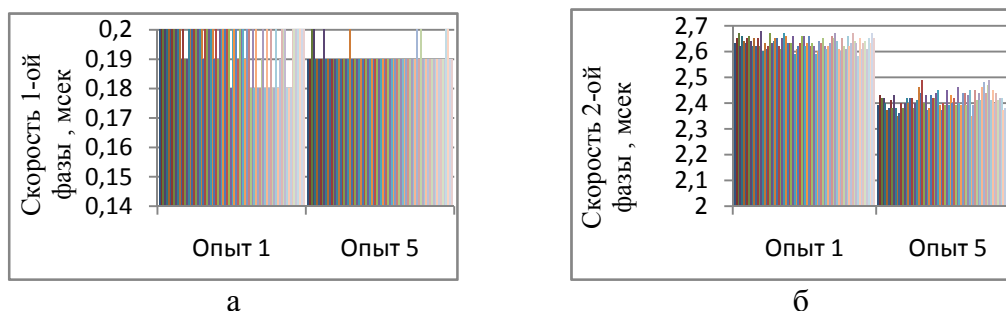


Рисунок 2 – Результаты изменения технологических параметров литья:  
а – скорость 1-ой фазы; б – скорость 2-ой фазы

На рисунке 3 отображены результаты рентгенотелевизионного анализа крестовин в опытах № 1, 5 с выделением областей образования газовой пористости.

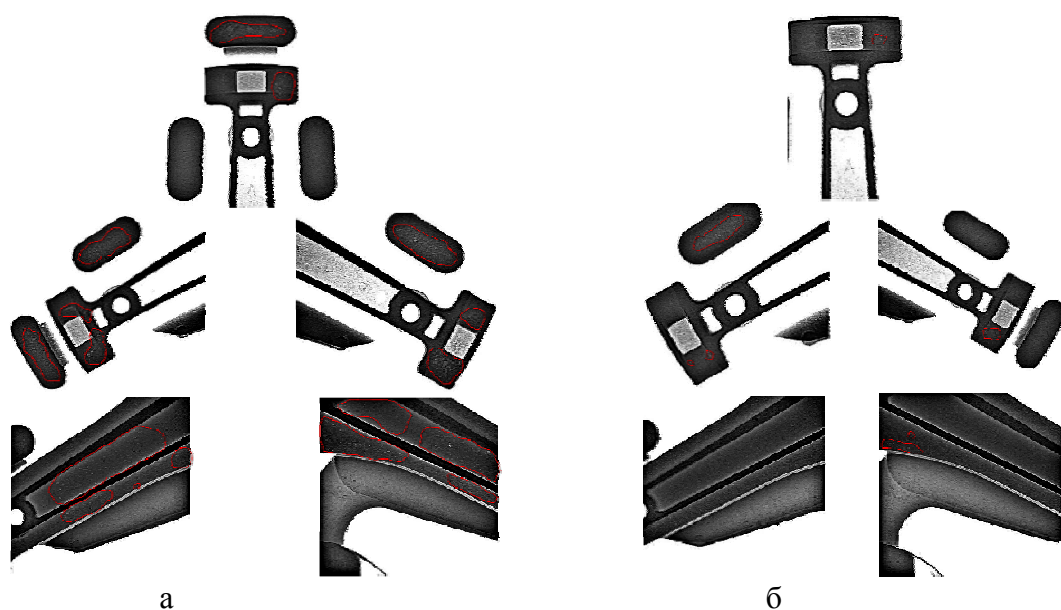


Рисунок 3 – Результаты рентгенотелевизионного анализа:  
а – опыт №1; б – опыт №5

Исходя из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- выбранная схема и методика анализа пористости заготовки детали «Крестовина» является наиболее рациональной, так как позволяет использовать передовые методы неразрушающего контроля;
- важную роль в технологическом процессе изготовления «Крестовины» имеют такие параметры режимов литья, как: ход, время и скорость первой и второй фаз;
- не менее важное значение имеет и температура металла в печи, так как при повышенных температурах газонасыщение сплава увеличивается и количество дефектов, связанных с повышенным содержанием газов в металле, возрастает;
- при достаточно большой скорости первой и второй фаз газы, находящиеся в полости пресс-формы где формируется отливка, не успевают уйти в промывники и вентиляционные каналы и, как следствие, остаются в затвердевающем металле в виде дефектов газовой пористости;
- на качество изготавливаемой продукции влияет и стабильность установленных значений технологического режима литья, т.е. сужение интервала требуемых значений режимов литья и их соблюдение;
- соблюдая все вышеизложенные указания и не нарушая остальных контролируемых параметров технологии изготовления «Крестовины» имеет место тенденция к снижению количества некачественной (бракованной) продукции и увеличение выхода годной продукции.

Студент гр.104129 Морожанов Е.А.  
Научный руководитель – Бежок А.П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Метод литья по выплавляемым моделям, позволяющий изготавливать практически из любых сплавов различные, в том числе весьма сложные по конструкции и тонкостенные отливки, массой от долей грамма до сотен килограмм с высоким для литых изделий качеством поверхности и точностью размеров, известен с глубокой древности.

Достоинства метода дают возможность максимально приблизить отливку к готовой детали, а в ряде случаев получить её без дополнительной обработки перед сборкой. Традиционный метод ЛВМ основан на изготовлении отливок по выплавляемым восковым моделям. Для получения восковых моделей, как правило, необходимо изготовить специальную оснастку, а окупаемость такого производства может быть лишь в условиях большой серийности, устойчивости и неизменности конструкции деталей достаточно продолжительное время.

В том случае, если производство изменяется мобильно или нужно опробовать и отработать конструкцию детали или всего механизма, изготовить опытный образец или когда конструкция детали настолько сложна, что сложно изготовить даже восковую модель, необходимо использовать различные методы прототипирования, когда модель будущей отливки при помощи специального оборудования и программного обеспечения строится или выращивается непосредственно по компьютерной 3D модели.

Традиционный способ получения физических моделей будущих изделий – изготовление их из легко обрабатываемых материалов вручную или на обычных обрабатывающих станках. На изготовление модели затрачивается от нескольких недель до нескольких месяцев, что приводит к повышению затрат на разработку нового изделия и задержке сроков выпуска новой продукции. Развитием данного способа является получение деревянных или пластмассовых моделей на станках с ЧПУ по трехмерным моделям. Пластмассовые прототипы при этом можно использовать, например, в качестве выжигаемых моделей при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов в гипсовые формы, а деревянные – для изготовления модельных комплектов при изготовлении отливок в песчано-глинистые формы. Получение прототипов на станках с ЧПУ может быть ограничено их сложностью. Тогда модель производится по отдельным частям, а затем собирается.

Быстрое прототипирование (Rapid Prototyping – RP) – это технологии, позволяющие получать физические детали и модели без инструментального их изготовления, в течение нескольких часов или дней, в зависимости от их размера и технологии прототипирования.

В настоящее время на рынке существуют различные RP-системы, производящие модели по различным технологиям и из различных материалов. Однако все системы быстрого прототипирования работают по схожему, послойному принципу построения физической модели. При этом системы производят разбиение трёхмерной модели на поперечные сечения (слои), а построение сечений детали слой за слоем снизу вверх, до тех пор, пока не будет получен физический прототип модели. Слои располагаются снизу вверх, один над другим, физически связываются между собой. Построение прототипа продолжается до тех пор, пока поступают данные о сечениях САД-модели.

Что касается литейного производства, то в промышленности широкое распространение получили технологии быстрого прототипирования на основе *лазерной стереолитографии (фотополимеризации), лазерного спекания и FDM-процесс (послойное наложение*

расплавленной полимерной нити). Применение этих технологий позволяет непосредственно получать материальные модели (макеты, копии) требуемой детали, минуя стадию традиционного изготовления деревянной оснастки. Модели «выращиваются» из синтетических материалов и затем используются для получения литейных форм для получения отливок по выплавляемым или выжигаемым моделям, либо в качестве литейной оснастки для формовки, например песчаных форм. *С помощью лазерного спекания песка могут быть получены также песчаные стержни и формы любой сложности для непосредственной заливки их жидким металлом.*

Рассмотрим основные технологии быстрого получения прототипов изделий.

Все, кто впервые сталкивается с понятием *Rapid Prototyping* - RP, сразу знакомятся с технологией *SLA*. Исторически эта первая технология быстрого прототипирования и существует целый ряд компаний развивающих это направление. Родоначальником и лидером на ранке *SLA* систем, является компания *3D Systems* (США). Процесс построения моделей осуществляется путем полимеризации (т.е. затвердевания) жидкого фотополимерного материала под действие лазера. В ёмкость, заполненную фотополимерным материалом, опускается столешница, на которой строится модель. Лазер очерчивает контуры модели согласно алгоритму конкретного слоя. Затем столешница опускается в бочку и создаётся новый слой. Процесс повторяется до полного изготовления детали.

При необходимости изготовления крупногабаритных изделий на рынке представлены *SLA* установки с большой камерой построения. Ёмкость бака – 263 л, максимальный размер прототипа 508×508×600 мм, толщина слоя 0,03 – 0,1 мм.

При использовании *SLS*- технологии (*Selective Laser Sintering* – спекание порошковых материалов при помощи  $\text{CO}_2$  лазера) 3D объект создаётся из порошкообразных материалов - пластик, металл, нейлон и керамика. Лазерный луч, попадая на тонкий слой порошка, спекает порошковые частицы, которые формируют твердую массу, по форме соответствующую *CAD*-модели и определяющую геометрию детали.

Огромным преимуществом *SLS*-процесса является отсутствие так называемых поддержек при построении модели. В процессах *SLA* и *MJM* при построении нависающих элементов детали используются специальные поддержки, предохраняющие свежестроенные тонкие слои модели от обрушения. В *SLS*-процессе в таких поддержках нет необходимости, поскольку построение ведётся в однородной массе. После построения модели достаточно лишь высыпать остаточный порошок из внутренних полостей и модель готова к дальнейшей работе.

Недостаток процесса заключается в сложности повторного использования формообразующих материалов, а также в обязательном применении инертной атмосферы.

При помощи лазерного спекания кварцевого песка можно получать стержни и формы для заливки любой степени сложности. Спекание металлических порошков даёт возможность получения готовых изделий любой сложности размерами до 670 × 365 × 580 мм.

При *FDM*-процессе (*FDM* – *Fused Deposition Manufacturing* – послойное наложение расплавленной полимерной нити) термопластичный моделирующий материал подаётся через экструзионную (выдавливающую) головку с контролируемой температурой, нагреваясь в ней до полужидкого состояния. Выдавливающая головка наносит материал с высокой точностью тонкими слоями на неподвижное основание.

Разработчиком технологии *FDM* и производителем оборудования является компания *Stratasys*, США.

Благодаря безопасным технологиям и экологически чистым моделирующим материалам для эксплуатации оборудования *Stratasys* не требуются специальные условия. Это оборудование обычно размещают непосредственно в помещениях конструкторских отделов рядом с рабочими местами разработчиков. Толщина слоя от 0,178 до 0,33 мм в зависимости от материала. Модели из *ABS* сохраняют прочность при нагреве до 93 °С, из *PC* – до 127 °С,



из ULTEM 9085 – до 153 °С, а из PPSF – до 189 °С. Максимальные габариты изделия для установки модели Fortus 900 mc - 914 × 610 × 914 мм.

После завершения процесса изготовления элементы поддержки легко отделяются от модели механическим способом или вымываются специальным водным раствором в ультразвуковой или специализированной ванне. Технология, использующая водорастворимую поддержку, носит название WaterWorks™, применяется только компанией Stratasys, и реализована практически во всех производимых ею установках.

УДК 621.74:669.131.6

### **Экспериментальное исследование возможности модифицирования силуминов карбонатом стронция**

Магистрант Русин О.А.

Научный руководитель – Задруцкий С.П.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Термодинамически установлена возможность проведения модифицирующей обработки расплава силумина карбонатом стронция в результате протекания результирующей реакции  $2\text{SrCO}_3 + 2\text{Al} \rightarrow 2\text{Sr} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CO} + \text{CO}_2$ . Определение рациональных технологических параметров рафинирующей обработки расплава алюминия карбонатом кальция проводилось экспериментальным путем.

Результаты экспериментов свидетельствуют что независимо от способа ввода карбоната стронция в расплав, с уменьшением размеров частиц порошка  $\text{SrCO}_3$ , кинетика процесса модифицирования эвтектического кремния повышается, что, вероятно, связано с увеличением границы раздела  $\text{SrCO}_3\text{-Al}$ . Необходимо отметить эффективность интенсивного замешивания в расплав силумина порошка карбоната стронция при помощи импеллера или шумовкой. При использовании импеллера усвоение стронция происходит быстрее, чем при замешивании шумовкой. Так, получение полностью модифицированной структуры эвтектического кремния наблюдается после замешивания в расплав порошка карбоната стронция с размером частиц 60 мкм в количестве 0,5 % от массы обрабатываемого металла импеллером и вручную шумовкой в течение 3 и 5,4 мин соответственно. Модифицирование силумина путем ввода карбоната стронция на зеркало расплава нецелесообразно из-за низкой кинетики процесса. Так, после 30-ти минутной выдержки структура эвтектического кремния является частично модифицированной, причем с увеличением времени выдержки интенсивность перехода стронция в расплав снижается, что, вероятно, связано с утолщением оксидной пленки, являющейся изолятором на границе  $\text{SrCO}_3\text{-Al}$ . При вводе карбоната стронция в расплав с помощью погружного колокольчика наблюдается очень слабый барботаж, что говорит о низкой кинетике реакции  $2\text{SrCO}_3 + 2\text{Al} = 2\text{Sr} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CO} + \text{CO}_2$ . Данное явление, вероятно, связано с накоплением в полости колокольчика в объеме порошка  $\text{SrCO}_3$  продуктов реакции  $\text{SrCO}_3$  с  $\text{Al}$ .

Одним из возможных путей повышения эффективности обработки расплава карбонатом стронция при использовании колокольчика является смешивание  $\text{SrCO}_3$  с соединениями, обеспечивающими непрерывную экстракцию продуктов реакции карбоната с алюминием из колокольчика в ходе модифицирования. Таким соединением может являться карбонат кальция. Такой путь решения проблемы отличается простотой, вместе с тем может позволить использовать универсальный и широко распространенный в практике литейного производства колокольчик.

Для определения рациональных технологических параметров модифицирования силумина порошкообразным карбонатом стронция, ввод его в расплав проводился в интервале температур 943...1143 К при расходных характеристиках 0,3 %, 0,4 %, 0,5 %, 0,6 %, 0,7 %, 1,0 % от массы обрабатываемого металла и размерах частиц 20, 30, 40, 50, 60 мкм.

Установлено, что дисперсность карбоната стронция и температура обработки расплава в исследуемом диапазоне не оказывают существенного влияния на модифицирующую способность SrCO<sub>3</sub>. Полностью модифицированная структура эвтектики, соответствующая 125 x 10<sup>3</sup> включений эвтектического кремния на 1 мм<sup>2</sup> площади шлифа и переохлаждению при кристаллизации 7,5 К наблюдается при добавках порошкообразного SrCO<sub>3</sub> с размером частиц от 20 до 60 мкм в количестве 0,5 % и выше от массы обрабатываемого расплава для всех рассмотренных температур.

УДК 621.74:669.131.6

### **Термодинамика модифицирования силуминов карбонатом стронция**

Студент гр. 104118 Скуратович А.З.

Научный руководитель – Задруцкий С.П.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

С точки зрения разработки экологически безвредной модифицирующей присадки для изменения морфологии эвтектического кремния в силуминах, обладающей длительным модифицирующим эффектом и относительно невысокой стоимостью, представляет интерес изучение модифицирующего действия карбоната стронция. Необходимо заметить, что литературные данные по использованию карбоната стронция в качестве модификатора эвтектического кремния в силуминах носят разрозненный характер, отсутствует термодинамическое рассмотрение поведения SrCO<sub>3</sub> в расплаве силумина, однако, все авторы подтверждают модифицирующее действие SrCO<sub>3</sub> на включения эвтектического кремния.

В связи с вышесказанным, представляло интерес проведение термодинамического моделирования вероятных химических и фазовых превращений в системе SrCO<sub>3</sub>-Al-Si. Моделирование проводилось на основе минимизации изобарно-изотермического потенциала и максимизации энтропии системы при учете всех потенциально возможных в равновесии индивидуальных веществ при различных температурах и давлениях. В процессе термодинамического моделирования рассматривались результирующие реакции перехода стронция из его карбоната в расплав силумина:  $2\text{SrCO}_3 + 2\text{Al} = 2\text{Sr} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CO} + \text{CO}_2$  и  $\text{SrCO}_3 + \text{Si} = \text{Sr} + \text{SiO}_2 + \text{CO}$ .

Исследуемые температурный диапазон и область давлений, выбирались исходя из реальных производственных условий. Так, температура модифицирующей обработки расплавов на основе алюминия, как правило, находится в пределах 943...1173 К, причем нижняя граница лимитирована началом образования твердой фазы и снижением скорости протекания конвекционных процессов в расплаве, а верхняя- увеличением энергоемкости плавки, повышением газонасыщения, интенсификацией окисления компонентов расплава и модифицирующих элементов при перегреве. Область исследуемого диапазона давлений находится в пределах 101,33...125,45 кПа. Нижнее значение соответствует давлению на зеркале расплава, а верхнее регламентируется глубиной погружения колокольчика с рафинирующим реагентом (в данном случае – с карбонатом стронция) в расплав, которая, как правило, не превышает 1,0 м, и рассчитано для нижней границы температурного интервала (943 К), которой соответствует наиболее высокое значение плотности расплава силумина эвтектического состава (2462 кг/м<sup>3</sup>) в исследуемом диапазоне температур.

Проведенный полный термодинамический анализ в исследованном диапазоне температур и давлений однозначно свидетельствует о протекании реакции  $2\text{SrCO}_3 + 2\text{Al} \rightarrow 2\text{Sr} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CO} + \text{CO}_2$  в сторону восстановления стронция, причем с повышением температуры и снижением давления изучаемая реакция становится термодинамически более выгодной, так как сопровождается уменьшением  $\Delta G$ .

Так, при температуре 943 К для давлений 103,33 кПа (на поверхности расплава) и 125,45 кПа (глубина погружения колокольчика 1,0 м), изменение изобарно-изотермического потенциала для реакции взаимодействия карбоната кальция с алюминием составит соответственно – 22,91 кДж/моль и – 19,52 кДж/моль, для температуры 1173 К соответствующие показатели будут – 87,83 кДж/моль и – 83,75 кДж/моль.

Необходимо отметить, что реакция взаимодействия карбоната стронция с кремнием в жидком силумине  $\text{SrCO}_3 + \text{Si} \rightarrow \text{Sr} + \text{SiO}_2 + \text{CO}$  в диапазоне температур 943...1163 К при давлениях, соответствующих глубине погружения  $\text{SrCO}_3$  в расплав от 0 м до 1,0 м сопровождается увеличением изменения Энергии Гиббса, что говорит о нецелесообразности рассматривания Si в качестве восстановителя стронция из его карбоната для модифицирования в производственных условиях эвтектического кремния.

Анализ зависимости мольных концентраций фаз  $\text{SrCO}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CO,  $\text{CO}_2$  от температуры при различных давлениях в системе  $\text{SrCO}_3\text{--Al--Sr--Al}_2\text{O}_3\text{--CO--CO}_2$  позволяет сделать вывод о незначительном влиянии температуры и давления в исследуемом диапазоне на скорость протекания реакции взаимодействия карбоната стронция с жидким алюминием. С увеличением температуры расплава с 943 К до 1173 К и уменьшением глубины погружения колокольчика с  $\text{SrCO}_3$  в жидкий силумин с 1,0 м до 0 м отмечается плавная интенсификация реакции  $2\text{SrCO}_3 + 2\text{Al} \rightarrow 2\text{Sr} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CO} + \text{CO}_2$ .

Полученные данные подтверждают предположение о возможности проведения в производственных условиях модифицирующей обработки силуминов карбонатом стронция.

УДК 621.74.043

#### **Седиментационная устойчивость разделительных покрытий для форм литья под давлением алюминиевых сплавов**

Магистрант Чайковский Я.С.

Научный руководитель – Пивоварчик А.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Выпускаемые в настоящее время составы разделительных покрытий для пресс-форм литья алюминиевых сплавов под давлением, как правило, поставляются конечным потребителям в виде эмульсий типа масло в воде (М/В). Данные эмульсии представляют собой дисперсные системы, получаемые при диспергировании одной жидкости в другой. В большинстве случаев эмульсии – это грубодисперсные системы, содержащие капли от  $10^{-7}$  до  $5 \times 10^{-5}$  м [1].

Водоэмульсионные разделительные покрытия для ЛПД, как правило, состоят из основы, наполнителя, ПАВ, стабилизатора, консерванта и разбавителя. В силу того, что компоненты, входящие в состав разделительных покрытий имеют разную вязкость и плотность получение эмульсии с высокой седиментационной устойчивостью (СУ) становится непростой задачей. СУ – одно из важнейших потребительских свойств технологических смазок: ею определяется срок хранения покрытия.

СУ приготавливаемых разделительных покрытий зависит от многих факторов, таких как: размера частиц компонентов, входящих в состав разделительного покрытия, вида и количества ПАВ, способа получения эмульсии, параметров приготовления эмульсии и т.д.

Цель настоящей работы – исследование влияния технологических параметров приготовления разделительных покрытий для пресс-форм литья под давлением на их седиментационную устойчивость.

Методика проведения экспериментов состояла из приготовления составов «грубых эмульсий» разделительных покрытий с дальнейшей обработкой их различными методами диспергирования (взбалтывание, высокоскоростное перемешивание, гомогенизация, обработка ультразвуком). СУ разделительных покрытий определяли с помощью автоматического прибора ZetaPlus, предназначенного для работы с суспензиями частиц или растворами макромолекул с диаметрами от 10 нм до 30 мкм. Используемый метод оценки СУ основан на принципе электрофоретического светового рассеяния, а именно на системе фокусировки опорного пучка (смодулированного) и погружаемой электродной системе.

Исследование прошли составы разделительных покрытий, разработанные на кафедре «Металлургия литейных сплавов», БНТУ.

В результате проведенных исследований установлено, что лучший результат достигнут после гомогенизации (до 38 %), промежуточный после высокоскоростного перемешивания (12 %). Наименьшее увеличение седиментационной устойчивости наблюдается после обработки исходных эмульсии ультразвуком (5,5 %) и после взбалтывания (1,8 %).

Таким образом, для увеличения СУ разрабатываемых составов разделительных покрытий целесообразно подвергать предварительно полученные эмульсии гомогенизации.

### Литература

1. П. М. Кругляков, Т.Н. Хаскова. Физическая и коллоидная химия. 3-е издание, исправленное. / Высшая школа, 2010. – 320 с.

2. Михальцов А.М., А.А. Пивоварчик Разработка водоземulsionного состава разделительного покрытия для пресс-форм литья алюминиевых сплавов под давлением // – Литейщик России. – 2012. – № 4. – С. 33–36.

УДК 621.74.043.2+621.7.079

### Разделительные покрытия для литья алюминиевых сплавов под давлением

Магистрант Чайковский Я.С.

Научный руководитель – Пивоварчик А.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Особенностью процесса литья под давлением (ЛПД) является нанесение на рабочую поверхность пресс-формы разделительных покрытий (смазок).

Целью данной работы являлось изучение истории развития и использования разделительных покрытий при литье алюминиевых сплавов под высоким давлением.

Первоначально в качестве смазывающих материалов для ЛПД использовали натуральные природные компоненты, а именно, животные жиры и растительные масла. Нанесение данных материалов на поверхность литейной оснастки осуществляли с помощью «квача» или «щетки-сметки».

Удовлетворительную работу разделительных покрытий главным образом определяет ее основа. В качестве основы водоземulsionных разделительных покрытий могут выступать: растительные масла, животные жиры, продукты переработки нефти, кремнийорганические соединения, галогениды углерода и др.

В результате проведенного патентного поиска и анализ полученных данных об использовании разделительных покрытий в период с 1970 по 2012 гг. получены следующие результаты [1, 2].

В период с 1970 г. по 1980 г. основную часть среди разделительных покрытий занимали жировые смазки до 70 %, водоземulsionные до 30 %

В 80-х годах основную долю выпускаемых покрытий для пресс-форм занимают водоземulsionные смазки до 62 %, жировые до 38 %

В 90-х годах водоземulsionные разделительные покрытия составляли почти 2/3 всех смазок для ЛПД (76 %), постепенно вытесняя жировые смазки (16 %). Также появляются новые разделительные – это сухие разделительные покрытия с порошкообразным наполнителем (8 %). Однако данные разделительные покрытия не получили широкого распространения ввиду дорогостоящего и сложного оборудования, необходимого для их нанесения на рабочую поверхность технологической оснастки.

С 2000 года и до настоящего времени наиболее широкое распространение получили водоземulsionные разделительные покрытия. При этом на первое место выходят водоземulsionные покрытия: на основе кремнийорганических соединений (силиконы) (38 %). Это объясняется высокими технологическими свойствами данных покрытий и их экологической безопасностью. Промежуточное место занимают водоземulsionные покрытия на основе нефтепродуктов (19 %), сухие с порошкообразным наполнителем (14 %) и растительных масел (9 %). Менее всего используются разделительные покрытия на основе животных жиров (1 %) и жировые (5 %). Первые вследствие сложности получения однородной эмульсии с высокой седиментационной устойчивостью, вторые по причине высокого брака связанного с качеством поверхности изготавливаемых отливок.

На основе проведенного патентного поиска и анализа полученной информации, очевидно, что универсальных смазок пока не существует. Использование тех или иных разделительных покрытий объясняется, прежде всего, сложностью изготавливаемых отливок, технологическим оборудованием и возможностью механизированного нанесения смазок на пресс-форму, их стоимостью, технологичностью и экологичностью.

Однако с развитием науки и техники, появлением более технологичных и менее вредных материалов, использование в технологическом процессе ЛПД жировых смазок следует сокращать, вместо их целесообразно применять водоземulsionные разделительные покрытия на основе кремнийорганических соединений.

### **Литература**

1. Патенты России. Рос. агентство по пат. и товар. знакам (Роспатент). Полные тексты описаний изобретений к заявкам и патентам Российской Федерации. – М: Федер. ин-т пром. собственности (ФИПС), 1994–2004.
2. Патенты России: описания изобретений (ретрофонд). Рос. агентство по пат. и товар. знакам (Роспатент). – М: Федер. ин-т пром. собственности (ФИПС), 1924 – 1993 (2004г.).





# **Материаловедение в машиностроении**



**Искробезопасные материалы и покрытия**

Студент гр. 104518 Бакиновский А.А.  
Научный руководитель – Дашкевич В.Г.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Как известно, при использовании стального ремонтно-слесарного ручного инструмента (гаечные ключи, зубила, отвертки, сверла, молотки и т.д.) возможно образование высокотемпературных искр, которые могут привести к возгораниям, пожарам, взрывам в целом ряде особых производств. Прежде всего к таким производствам относятся ряд направлений химической, фармацевтической, металлургической (производство тонких порошков и пудры из алюминия, порошкообразного циркония), это целиком нефтегазовая, угольная, мукомольная отрасли промышленности, производство порохов и других взрывчатых и легко возгораемых веществ. Сюда же можно отнести все производства, связанные с выделением или накоплением взрывоопасных газов, паров спирта, бензина и др., любого типа транспортировку взрывоопасных веществ.

Для изготовления слесарно-монтажного и ремонтного инструмента используются в основном медные высокопрочные сплавы, хотя главным образом из экономических соображений, наряду с ними, довольно широко в практике используется омедненный стальной инструмент и значительно реже инструмент из высокопрочных алюминиевых сплавов.

Искробезопасный инструмент, изготовленный целиком из медных сплавов научно и технически обоснованных составов, по прочностным свойствам практически не уступает своим стальным аналогам, надежен и долговечен. На такой инструмент американская фирма «АМПКО» дает пожизненную гарантию.

Зарубежный высококачественный инструмент изготовлен из сплавов практически двух принципиальных композиций.

Во-первых, это бериллиевые бронзы типа отечественных БрБ2 или БрБ2,5, дополнительно легированные примерно полупроцентным Ni или Co. Дополнительное легирование уменьшает долю прерывистого распада пересыщенного твердого раствора и замедляет непрерывный распад при дисперсионном твердении, делая бериллиевые бронзы более стабильными по свойствам и более технологичными при термической обработке. При изготовлении изделий из бериллиевых бронз применение термической обработки (заковки и старения) является обязательной технологической операцией. Только в этом состоянии инструмент приобретает твердость 350 – 400 НВ. В литом состоянии, а также после горячей деформации, бериллиевые бронзы имеют твердость только 120 – 150 НВ. Кроме бериллиевых бронз с 2 и 2,5 % Be (БрБ2 и БрБ2,5) разработаны бериллиевые бронзы БрБНТ1,7 и БрБНТ1,9, которые имеют прочностные свойства, соизмеримые с БрБ2, но имеющие более высокие упругие свойства и циклическую прочность.

Во-вторых, это алюминиевые бронзы, содержащие кроме меди и неизбежного количества примесей, легирующие элементы Al, Fe, Ni и Mn. Первым и постоянным их производителем является Американская Компания Металлоизделий (позднее фирма «АМПКО»).

Со временем состав алюминиевой бронзы, усложняясь, совершенствовался и, наконец, приобрел «очертания» сложнолегированной бронзы БрАЖНМц 10-4-5-1,5 (этот вариант кажется композиционно и по содержанию легирующих оптимальным, хотя в химических составах сплавов некоторых зарубежных фирм содержание железа может быть уменьшено до 2,5 % сплав Ampcolou 45, или содержание никеля до 2 % сплав MZW). В России эта

композиция носит наименование БрАЖНМц 9-4-4-1 (Al 8,810 %; Fe – 4,05,0 %; Ni – 4,05,0 %; Mn – 0,51,2 %; Cu и 0,7 % примесей — остальное).

Бронза БрАЖНМц имеет наряду с бериллиевой бронзой возможность упрочняться в результате дисперсионного твердения. Кроме того, этот сплав широко используется для изготовления высокопрочных литых изделий. В литом состоянии бронза БрАЖНМц 9-4-4-1 имеет твердость 180 – 200 НВ, в прессованном или ковном при температуре начала обработки 850 – 900 °С – 250 – 280 НВ, а после закалки от 980 °С в воде и старения при 400 – 450 °С в течение двух часов твердость может увеличиться до 400 НВ. Для повышения ударной вязкости температуру двухчасового старения необходимо увеличить до 600 – 650 °С, ощутимо пожертвовав при этом твердостью (до 300 — 350 НВ). Такой инструмент производится фирмами AMPCO, METALMINOTTI ENDRESTOOLS и др.

Прежде всего это омедненный электролитическим способом стальной инструмент. Как правило, слой меди на таком инструменте не превышает толщину в 30 – 50 мкм, но не дает искры при ударе. Несмотря на ценовую доступность и, следовательно, популярность, такой инструмент относительно пригоден для аккуратной профессиональной ремонтной работы и особенно на транспорте, перевозящем пожароопасные грузы или при малоинтенсивной работе. Кроме непредсказуемо низкой износостойкости, омедненный инструмент магнитен, обладает значительно меньшей коррозионной стойкостью по сравнению с цельнобронзовым инструментом. По этим причинам он не удовлетворяет в полной мере требованиям по безопасности при работе во взрывобезопасном производстве. Имеются так же сплавы, предложенные российскими производителями искробезопасного инструмента.

Сплав ВБЗ(6,4 – 7,2 % Al, 19 – 20 % Ni, 18 – 21 % Mn, 0,5 – 1,0 % Fe, 0,2 – 0,5 % Si, 67 – 70 % Cu, остальное – Zn) может быть только литым, так как содержание Al в латуни, способной обрабатываться давлением, не может превышать 3,54 %. Отсюда и ограниченность сортамента инструмента. Ведь почти каждое изделие требует подбора оптимального материала формы и метода литья, проектирования литниковой системы, расстановки прибылей и холодильников, учета литейных и усадочных свойств материалов отливки и формы.

Современный искробезопасный инструмент должен быть высоконадежным в работе, обладать соизмеримыми со стальным инструментом свойствами и быть достаточно технологичным и безопасным в производстве и реставрации.

УДК 621.785.5

### **Использование химико-термической обработки для получения искробезопасных покрытий**

Студент гр. 104518 Бакиновский А.А.

Научный руководитель – Дашкевич В.Г.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Искробезопасный инструмент используется при проведении всех видов работ в средах, где есть повышенная опасность возникновения огня или взрыва. В современных отраслях производства очень часто встречаются такие элементы как горючие смеси, легковоспламеняющиеся газы, различные взрывчатые вещества, поэтому на них очень высок риск возникновения аварийной ситуации, взрыва или огня вследствие образования искры при работе в таких средах.

Обычный ручной слесарно-монтажный инструмент изготавливают из сплавов стали. Во время работы с таким инструментом есть вероятность возникновения искры высокой температуры, вследствие чего возникает риск возгорания легковоспламеняющихся

элементов. Во время работы с инструментом, выполненным в искробезопасном исполнении могут образовываться «холодные искры». Но такие искры имеют очень низкую температуру и они не поспособствуют возгоранию даже самому легковоспламеняющемуся материалу – углеродного сульфида. Есть несколько вариантов производства инструмента в искробезопасном исполнении: бериллиевая бронза, алюминиевая бронза, сплав ВК 3, гальваническое покрытие медью, однако все они имеют некоторые недостатки. Главный из них – цена. Альтернативным и очень выгодным в экономическом плане вариантом было бы применение искробезопасных покрытий методом хто.

Выбор подходящего процесса химико-термической обработки основывается на предъявляемых требованиях к конкретной детали. В ряде случаев требуется определенная твердость, износостойкость наряду с искробезопасностью. Существует несколько видов химико-термической обработки, в результате проведения которых на поверхности детали образуется слой, который не образует или почти не образует фрикционных искр и обладает довольно высокой твердостью. Такими процессами являются хромирование, цинкование и борирование. Определяющим фактором здесь является температура плавления элемента, насыщение которым будет проводиться, и его оксида. Идея состоит в том, что энергии, выделившейся при горении частицы при сравнительно низкой температуре, просто не хватит на воспламенение взрывоопасной смеси. Эти оторвавшиеся от поверхности частицы даже нельзя назвать искрами, так как они не являются раскаленными и не издают свечения.

Всем известно, что бориды не образуют искр и боридный слой на стальной поверхности является искро- и пожаробезопасным. Однако есть несколько факторов, которые сильно ограничивают, а в большинстве случаев делают невозможным применение данного вида обработки для получения искробезопасной поверхности деталей и инструментов. Боридный слой довольно легко скалывается и является хрупким. Так же в силу намного более высокой твердости боридного слоя наряду с твердостью стали есть риск продавливания данного диффузионного слоя. Для избежания последнего необходимо уменьшить разницу в твердости между основным материалом и диффузионным слоем. Была предпринята попытка увеличить твердость сердцевины путем термической обработки. Проводили закалку в масло с низким отпуском и нормализацию. После закалки практически весь боридный слой был сколот. После нормализации диффузионный слой сохранился, однако все равно были обнаружены небольшие участки поверхности со сколотым боридным слоем. Это связано с изменением объема стали во время термической обработки. Альтернативным вариантом уменьшения разности в твердости является снижение твердости боридного слоя. Для получения такого эффекта можно провести однофазное борирование. При этом на поверхности будет образовываться только низкобористая фаза  $Fe_2B$ , которая характеризуется меньшей твердостью и, соответственно, чуть более высокой пластичностью.

Таким образом основной задачей становится улучшения механических свойств боридного слоя, а именно – повышение его упругих свойств, что будет способствовать снижению скалываемости и хрупкости. На наш взгляд перспективными являются многокомпонентные диффузионные покрытия, а так же однофазное борирование.

Было проведено боротитанирование гаечного ключа из стали 40ХФА. Состав насыщающего порошка следующий:



В результате был получен диффузионный слой с твердостью ниже на 10 %, чем у боридного слоя. Таким образом, от него можно ожидать меньшей скалываемости при достаточном уровне искробезопасности.

Исходя из анализа различных металлов, их температур плавления и температур плавления их оксидов, хороших результатов можно ожидать от таких процессов химико-термической обработки как боросилицирование, бороалитирование и боромеднение.

**Стали для работы в условиях климатического холода**

Студентка гр.104219 Бекетова И.Ю.  
Научный руководитель – Пучков Э.П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью настоящей работы является усиление внимания к проблеме разработки, применения и внедрения сталей для работы в условиях низких температур.

Явление хладноломкости, т.е. хрупкого разрушения, связанного с действием низких температур, впервые стало предметом широкого обсуждения в связи с бурным строительством железных дорог в конце XIX века.

Особенностью низкотемпературной службы является ужесточение требований к материалу по пластичности и вязкости. Определенную сложность представляет выбор необходимого уровня пластических и вязких свойств. Обычно минимальная рабочая температура определяется температурой вязко-хрупкого перехода, при которой вязкость падает до неприемлемо малых значений.

По хладостойкости металлические материалы, используемые при низких температурах, условно могут быть разбиты на четыре основные группы:

1. Металлы и сплавы, характеристики механических свойств которых позволяют использовать их до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Они являются основными конструкционными материалами холодильного машиностроения. Их используют также для изготовления изделий так называемого северного исполнения. К этой группе относятся качественные углеродистые и низколегированные стали ферритного и перлитного классов.

2. Ко второй группе относятся сплавы, сохраняющие вязкость и пластичность при охлаждении до 170 К. Это стали с 0,2 – 0,3 % С, дополнительно легированные Ni, Cr, Ti, Mo. К этой группе относятся, например, низкоуглеродистые ферритные стали с 2 – 5 % Ni, используемые при температурах 210 – 150 К.

3. К третьей группе относятся сплавы, способные без ухудшения свойств выдерживать температуры до 77 К (температура кипения жидкого азота). Сюда относятся стали типа 12X18H10T, 0H9A, большинство сплавов на основе Al, Ti, Cu, не обнаруживающих склонности к хрупкому разрушению. Для ненагруженных конструкций с целью экономии Ni применяют Cr—Mn и Cr—Ni—Mn стали типа 10X14Г14Н4Т (ЭИ711), 03X13АГ19 (ЧС36), 07X21Г7АН5 (ЭП222).

4. К четвертой группе относятся сплавы, используемые для работы при температуре ниже 77 К. К этой группе принадлежат материалы, используемые в космической технике, производстве и потреблении водорода, экспериментальной физике. Для работы при таких температурах пригодны лишь высоколегированные коррозионностойкие стали типа 10X11Н23Т3МР (ЭП33), 03X20Н16АГ6, некоторые бронзы, никелевые, алюминиевые сплавы, легированные Mg, и сплавы титана.

Широкое распространение в технике низких температур получили хромоникелевые аустенитные стали, содержащие 17 – 25 % хрома и 8 – 25 % никеля. Благодаря сохранению высокой пластичности и вязкости в широком температурном диапазоне, коррозионной стойкости в сочетании с хорошими технологическими свойствами они в настоящее время являются наиболее распространенными конструкционными материалами криогенной техники.

Хромоникелевые аустенитные стали применяются для изготовления сварных элементов аппаратов, емкостей, трубопроводов (обечаек, днищ, пат-рубков, фланцев), деталей арматуры (штоков, клапанов, седел) и т. д. Рекомендуемая температура эксплуатации сварных соединений 4 – 870 К без ограничения давления.

В зависимости от содержания основных легирующих элементов различают два типа хромоникелевых аустенитных сталей. Это метастабильные стали, претерпевающие заметное мартенситное превращение при охлаждении и деформации, содержащие 17 – 20 % Cr и 8 – 12 % Ni. Вторую группу образуют стабильные стали, содержащие 17 – 25 % Cr и 14 – 25 % Ni. В них мартенситное превращение подавлено и аустенитная структура сохраняется вплоть до самых низких температур.

Высокая стоимость никеля привела к созданию сталей, в которых никель полностью или частично заменен марганцем, также являющимся стабилизатором аустенита (марки 03X13AG19, 10X14Г14Н4Т). В их состав дополнительно вводят азот, способствующий получению аустенитной структуры и дополнительному упрочнению (03X20Н16AG6, 07X13Н4AG20).

Введение азота в хромоникельмарганцевые стали позволяет более чем в полтора раза поднять уровень предела текучести при комнатной температуре. С понижением температуры эффективность влияния азота как элемента внедрения, блокирующего движение дислокаций, на величину предела текучести еще более возрастает. Хром, никель и марганец, как элементы замещения, оказывают меньшее влияние на прочностные свойства, их роль определяется необходимостью обеспечения заданной аустенитной структуры.

Стимулом для развития явилось осуществление космических и ядерных программ. Данные стали имеют огромные перспективы в различных хозяйственных и научных отраслях. Важнейшим фактором дальнейшего развития техники низких температур является создание материалов, пригодных для работы в этих условиях.

УДК 538.945

### **Сверхпроводящие материалы**

Студент гр.104219 Марышева А.А.  
Научный руководитель – Пучков Э.П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В настоящее время сверхпроводящие материалы находят широкое применение в промышленности и являются перспективной областью исследований. Сверхпроводящее состояние наблюдается вблизи абсолютного нуля у многих металлов и сплавов. Они не оказывают сопротивления электрическому току при температурах ниже характерной для них критической температуры  $T_k$ . Впервые сверхпроводимость обнаружил в 1911 г. голландский ученый Гейке Камерлинг-Оннес, который наблюдал скачкообразное исчезновение сопротивления ртути до неизмеримо малой величины при температуре 4,2 К.

К настоящему времени сверхпроводимость обнаружена у большинства чистых металлов, причем сверхпроводящее состояние легче всего возникает в металлах с низкой обычной проводимостью. Открыто и изучено около трех тысяч сверхпроводящих сплавов и интерметаллических соединений, и их число непрерывно растет. Чистые металлы принято относить к сверхпроводникам первого рода, а сплавы и соединения – к сверхпроводникам второго рода.

Напряженность магнитного поля в объеме сверхпроводников при температурах ниже критической равна нулю. Металл становится диамагнетиком – материалом, приобретающим во внешнем магнитном поле магнитный момент, направленный против намагничивающего поля. Поэтому при переходе материала в сверхпроводящее состояние внешнее магнитное поле «выталкивается» из его объема и остается лишь в тонком поверхностном слое толщиной около  $10^{-5}$  мм. Это явление называется эффектом Мейснера.

Сверхпроводящее состояние может быть разрушено как при нагреве материала до температуры выше критической, так и в результате воздействия сильных внешних магнитных полей с напряженностью  $H_k$ , превышающей критическое значение. Критическое магнитное поле подобно критической температуре является основной характеристикой сверхпроводящего материала. При превышении  $T_k$  или  $H_k$  происходит скачкообразное восстановление электрического сопротивления, и магнитное поле проникает в металл.

Из всех чистых металлов, способных переходить в сверхпроводящее состояние, наивысшую критическую температуру перехода имеет ниобий ( $T_{кр} = 9,2$  К). Однако для ниобия характерны низкие значения критического магнитного поля (около 0,24 Тл), что недостаточно для его широкого применения. Хорошим сочетанием критических параметров  $T_k$  и  $B_k$  отличаются сплавы и интерметаллидные соединения ниобия с цирконием, титаном, оловом и германием.

Сплавы и соединения ниобия переходят в сверхпроводящее состояние при достаточно высоких температурах. Они могут выдерживать довольно сильные магнитные поля и характеризуются высокой плотностью тока. В жидком гелии при внешнем поле с индукцией 2,5 Тл критическая плотность тока составляет: для Nb – Zr – 1 кА/мм<sup>2</sup>; для Nb – Ti – 2,5 кА/мм<sup>2</sup>; Nb<sub>3</sub>Sn – 17 кА/мм<sup>2</sup>; V<sub>3</sub>Ga – 5 кА/мм<sup>2</sup>.

К наиболее распространенным сверхпроводящим материалам относится сплав Nb (основа) с 46,5 % Ti (по массе). Этот сплав отличается высокой технологичностью, из него обычными методами плавки, обработки давлением и термической обработки можно изготавливать проволоку, кабели, шины. Интерметаллиды, хотя и обладают более высокими критическими параметрами, имеют высокую хрупкость, что затрудняет изготовление из них длинномерных проводов традиционными методами металлургической технологии.

Простота изготовления, благоприятное сочетание электрических и механических свойств и сравнительно низкая стоимость позволяют рекомендовать сверхпроводники на основе твердого раствора Nb – Ti в качестве основных материалов до  $B_k = 8$  Тл при  $T_k = 4,2$  К. В более сильных полях, когда плотность тока существенно падает, целесообразно использовать интерметаллические соединения типа Nb<sub>3</sub>Sn.

В конце 1980-х годов была открыта высокотемпературная сверхпроводимость в керамических материалах.

В 1986 г. впервые были получены сверхпроводящие керамические оксидные образцы системы La – Ba – Cu – O с температурой перехода в сверхпроводящее состояние  $T_k = 35$  К. В настоящее время исследователями ряда стран разработано большое число керамических материалов с переходом при температурах 250 К и даже при комнатной температуре. Значительная часть разработанных материалов характеризуется нестабильностью и большой хрупкостью.

Наиболее важными областями применения сверхпроводников является создание сильных магнитных полей, получение и передача электроэнергии. Сверхпроводящие магниты используют для исследований в области физики высоких энергий, создания мощных магнитных кольцевых ускорителей частиц и систем управления движением пучков частиц на выходе из ускорителя.

Перспективным является использование сверхпроводящих кабелей подземных линий для передачи энергии большой мощности. Они характеризуются большой пропускной способностью и малыми потерями. Сверхпроводимость позволяет также решить проблему запаса электроэнергии впрок с выдачей её при пиковых нагрузках.

Использование эффекта сверхпроводимости позволяет создать поезд без колес с магнитной подвеской и тягой – поезд на магнитной подушке.

Криогенные сверхпроводящие материалы, находящие применение в электродвигателях и трансформаторах, позволяют уменьшить их объем, снизить массу на 80 %, довести коэффициент полезного действия при этом до 98 %. Криогенные

сверхпроводники используют в магнитных насосах, позволяющих перекачивать магнитные поля из больших объемов в малые, тем самым увеличивая их напряженность  $H$ .

Сильные магнитные поля криогенных сверхпроводящих устройств позволяют защищать космические корабли от повышенной радиации.

Поиск новых сверхпроводников продолжается, хотя пока проблема остается чисто научной. В перспективе необходимо разработать технологию производства и применения высокотемпературных сверхпроводников.

УДК. 669.018.58

### **Магнотстрикционные материалы**

Студент гр.104219 Орда Д.В.

Научный руководитель – Пучков Э.П.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Магнотстрикция (от лат.натяжение, сжатие) – изменение формы и размеров тела при его намагничивании. Это явление свойственно как ферромагнитным, так и парамагнитным и диамагнитным веществам. Магнотстрикция – результат проявления взаимодействий в магнитных телах. Изучение магнотстрикции помогает выяснить природу указанных взаимодействий. Магнотстрикция неизменно привлекает внимание не только физиков, но также и инженеров с точки зрения конструирования новых приборов и технических устройств.

Различают два вида магнотстрикции:

- изотропную (обменную);
- анизотропную (магнитодипольную и одноионную).

Перечень приборов, в которых используются магнотстрикционные материалы, довольно обширен: генераторы мощного звука и ультразвука, сверхчувствительные приемники звука, магнотстрикционные механизмы микроперемещений и нажимных устройств, линии задержки звуковых и электрических сигналов, и другие устройства для радиотехники и электросвязи. К редкоземельным материалам привлечено внимание также технологов с точки зрения создания новых эффективных материалов с инвариантными свойствами.

У классических ферромагнитных сплавов относительное удлинение – сотые доли процента. У никеля продольная магнотстрикция достигает величины 0,004 %, поэтому никель и сплавы на его основе широко применяют в металлургии, также применяют железокобальтовые и железоалюминиевые сплавы, обладающие более высокими значениями магнотстрикции, но менее технологичными свойствами.

Проблему малого относительного удлинения удалось решить с открытием явления гигантской магнотстрикции у редкоземельных магнетиков. Так, у поликристаллов тербия и диспрозия относительное удлинение составило 0,3 %, а в монокристаллах достигло 2 %. Такими необычными свойствами эти вещества обязаны особенностям строения атомов редкоземельных элементов. Их электронные облака имеют сильно вытянутую, несферическую форму, и, к тому же, ведут они себя как «жесткие», недеформируемые. Под действием внешнего магнитного поля электронное облако каждого атома поворачивается и, грубо говоря, как бы раздвигает соседние атомы, сильно деформируя, растягивая всю кристаллическую структуру.

Один из лучших новых магнотстрикционных материалов известен под промышленной маркой Терфенол-Д, основным компонентом которого является  $Dy_{0.7}Tb_{0.3}Fe_{1.95}$ . Этот материал способен развивать магнотстрикционную деформацию до 0,14 %. Он появился в результате исследования магнитного поведения редкоземельного элемента тербия (Тб), деформация

которого при температуре ниже 200 К достигает 1 %. Легирование тербия железом (Fe) позволило поднять рабочую температуру до комнатной, а введение диспрозия (Dy) – снизить величину магнитного поля.

Пермаллой – прецизионный сплав с магнитно-мягкими свойствами, состоящий из железа и никеля (45 – 82 % Ni). Может быть дополнительно легирован несколькими другими компонентами. Сплав обладает высокой магнитной проницаемостью (максимальная относительная магнитная проницаемость  $\mu \sim 100000$ ), малой коэрцитивной силой, почти нулевой магнитострикцией и значительным магниторезистивным эффектом. Благодаря низкой магнитострикции сплав применяется в прецизионных магнито-механических устройствах и других устройствах, где требуется стабильность размеров в меняющемся магнитном поле. Электрическое сопротивление пермаллоя меняется обычно в пределах 5 % в зависимости от силы и направления действующего магнитного поля

Отметим, что магнитострикционный эффект имеет широкое применение в наше время. Этот эффект используют в различных преобразователях и датчиках.

УДК. 621.7-4

### **Сплавы с особыми тепловыми и упругими свойствами**

Студентка гр.104219 Синькевич О.Л.

Научный руководитель – Пучков Э.П.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Прецизионные сплавы являются сплавами со специальными физическими и физико-механическими свойствами, уровень которых определяется точным химическим составом, чистотой сплава от включений и вредных примесей, структурным состоянием и высокой точностью изготовления. В большинстве случаев для получения требуемых рабочих характеристик сплава необходимо обеспечить сочетание всех перечисленных факторов, химического состава и технологии изготовления материала (например, выплавка, обработка давлением, промежуточная и конечная термическая обработка).

Металлургическая промышленность выпускает более 200 марок прецизионных сплавов в виде ленты, проволоки, тонкостенных труб, точных профилей, прутков и поковок, а также тончайшей ленты толщиной до 0,0015 мм.

По физическим свойствам и областям применения прецизионные сплавы делятся на группы: магнитномягкие сплавы, магнитнотвердые сплавы, сплавы омического сопротивления, сплавы с заданным коэффициентом теплового расширения, сплавы с высокими упругими свойствами, сверхпроводящие материалы и термобиметаллы.

Магнитномягкие сплавы обладают высокой магнитной проницаемостью и малой коэрцитивной силой в слабых полях. Их используют в качестве сердечников – магнитопроводов и магнитных экранов аппаратуры радиосвязи, радиолокации, автоматики, управления по радио, счетно-решающих машин и др.

Магнитнотвердые сплавы обладают высокой магнитной энергией и используются как элементы памяти – носители сигналов и постоянные магниты в радиоаппаратуре, автоматических системах, работающих по заданной программе, накопителях информации счетно-решающих машин и др.

Сплавы омического сопротивления обладают высоким удельным электрическим сопротивлением, жаростойкостью и применяются в качестве тарированных сопротивлений в радиоэлектронике, термо- и тензодатчиков для аппаратуры, регистрирующей и управляющей тепловыми и механическими нагрузками, нагревательных элементов в промышленных печах, в приборах бытовой техники.



Сплавы с заданным коэффициентом теплового расширения используют для спаев с различными стеклами, керамикой, слюдой и другими диэлектриками в радиолампах и электроннолучевых приборах, для деталей измерительных приборов с постоянными размерами.

Сплавы с высокими упругими свойствами обладают комплексом упругих свойств и их применяют в качестве пружин и пружинных элементов, упругочувствительных элементов измерительных приборов, мембран расходомеров, резонаторов фильтров для выбора, генерирования и настройки на заданную частоту.

Сверхпроводящие сплавы обладают нулевым значением электросопротивления в определенном диапазоне температур, магнитных полей и плотностей токов и могут быть использованы для изготовления сверхмощных малогабаритных магнитов.

Термобиметаллы представляют собой материал, состоящий из двух и более слоев металлов или сплавов с различными коэффициентами теплового расширения, сваренных между собой по всей поверхности соприкосновения, и применяются для автоматического регулирования заданной нагрузки и температуры в различного рода компенсационных устройствах, терморегуляторах, а также в приборах бытовой техники.

Прецизионные сплавы производятся по государственным стандартам и техническим условиям.

УДК 621.785

### **Исследование микроструктуры и твёрдости диффузионных слоёв на стали 20X13, полученных из оптимизированных порошковых смесей**

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

Цементация сталей содержащих 12 – 13 % хрома применяется для повышения ресурса работы штампового инструмента для вырубки, вытяжки, гибки. Для вырубных штампов небольшого сечения используется сталь 20X13, которая после цементации, закалки и низкого отпуска имеет следующие свойства и структуру: цементованный слой толщиной 0,3 – 0,4 мм представляет собой мартенсит с большим количеством карбидных включений и твердостью 65 – 68 HRC и вязкой сердцевиной, твердость которой составляет 42 – 45 HRC. Такое сочетание свойств поверхности и сердцевины позволяет значительно повысить ресурс работы вырубных штампов. Разработанные порошковые смеси для цементации высокохромистых сталей имеют недостаток - низкую насыщенную способность (для получения цементованного слоя толщиной 0,3 – 0,4 мм требуется выдержка 6 – 8 часов при  $t = 1000 - 1050$  °С).

Целью данной работы является разработка порошковых смесей высокой активности для цементации высокохромистых сталей, которые обеспечивают структуру диффузионного слоя, состоящую из твердых включений карбидов, находящихся в мартенситной матрице.

Для получения оптимальных свойств диффузионных слоев был применен последовательный симплекс метод планирования эксперимента с использованием правильного симплекса.

В качестве факторов, входящих в состав смеси, были выбраны следующие компоненты: хромирующая смесь, цементирующая смесь, легкоплавкие добавки. Температура и время насыщения поддерживались постоянными:  $t = 1050$  °С,  $\tau = 4$  ч. Таким образом, симплекс был составлен для количества факторов  $K = 8$ .

Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты проведённых опытов

№ точки	Толщина слоя, мкм	Твёрдость после закалки, HRC	Балл твердых частиц
1	1050	64	2
2	700	63	2
3	800	62	1
4	1000	68	3
5	900	67	2
6	100	47	1
7	10	44	0
8	20	45	0
9	200	53	1
10	15	45	0
11	15	45	0
12	15	45	0
13	155	45	1
14	900	69	3
15	1400	70	3
16	1100	69	3
17	250	60	1

Балл твёрдых частиц характеризует наличие карбидов и их дисперсности в структуре и изменяется от 0 до 3. Максимальный балл соответствовал оптимальной структуре цементованного слоя. Оптимизация состава насыщающей смеси позволила получить экстремальные значения параметров цементованного слоя. Так диффузионный слой в точке № 15 имеет наилучшие результаты: толщину цементованного слоя – 1400 мкм; твёрдость после закалки ~ 70 HRC и максимальный балл структуры – 3 (таблица 1). Близкие результаты к данным значениям имеют точки № 14, 16.



Рисунок 1 – Микроструктура цементованного слоя (точка № 15) x500

Микроструктура поверхностного слоя точки № 15 представлена на рисунке 1. Структура состоит из большого количества включений карбидов зернистой и пластинчатой формы находящихся в мартенситной матрице. Толщина данной зоны составляет ~ 600 мкм (первая зона). На глубине 600...1100 мкм (вторая зона) количество карбидов уменьшается. И на глубине более 1100 мкм (третья зона) карбиды в структуре практически отсутствуют и структура состоит из мартенсита игольчатой формы и аустенита остаточного. На рисунке 2 представлено распределение микротвёрдости по толщине цементованных слоёв.

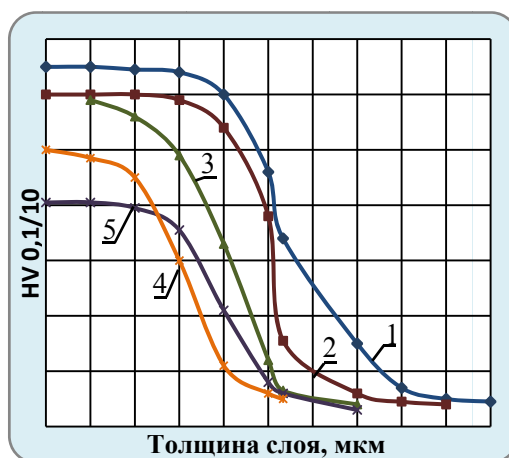


Рисунок 2 – Распределение микротвёрдости по толщине диффузионных слоёв: 1 – образец № 15; 2 – образец № 16; 3 – образец № 14; 4 – образец № 5; 5 – образец № 1

Как видно из рисунка, максимальные значения микротвёрдости 1000 – 1050 HV 0,1/10 получается в первой зоне и данные значения твёрдости сохраняются постоянными по всей толщине данной зоны. Такое значение высокой твердости можно объяснить наличием большого количества мелкодисперсных карбидов в структуре. Отсутствие данной зоны в диффузионных слоях приводит к понижению микротвёрдости из-за уменьшения количества карбидов (точки № 10,11,12). Микротвердость второй зоны плавно уменьшается по толщине из-за снижения в структуре количества карбидов. Микротвердость третьей зоны находится на уровне значений твердости основы.

Таким образом, применение последовательного симплексного метода при оптимизации состава карбюризатора для цементации высокохромистых сталей позволило:

- увеличить скорость формирования диффузионного слоя высокой твердости в 1,8 – 2,2 раза по сравнению с известными карбюризаторам и получать диффузионные слои с включениями карбидов до 700 мкм и общей толщиной 1400 мкм;
- повысить твердость поверхности упрочняемой стали 20X13 до 69 – 70 HRC;
- получить одинаковые значения микротвердости 1000 – 1050 HV 0,1/10 по всей толщине карбидной зоны цементованного слоя.

УДК 621.785

### Износостойкость диффузионных слоёв на стали 20X13, полученная оптимизацией по последовательному симплексному методу

Студенты гр. 104219 Бекетова И.Ю., Марышева А.А., Орда Д.В., Синькевич О.Л.

Научные руководители – Стефанович В.А., Борисов С.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В данной работе представлены результаты исследования износостойкости диффузионных слоев, обладающих оптимальной структурой и высокими значениями твердости. Сравнительные данные по износостойкости указанных образцов по отношению к износостойкости закаленной стали У8 приведены на рисунке 1.

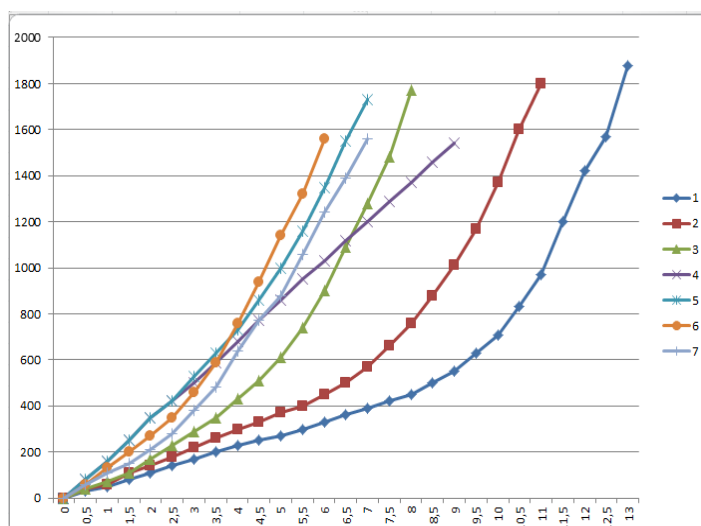


Рисунок 1 – Износостойкость диффузионных слоев:

- 1 – образец с 70 HRC и  $h = 1,4$  мм; 2 – образец с 69 HRC и  $h = 1,1$  мм; 3 – образец с 69 HRC и  $h = 0,9$  мм; 4 – сталь У8 после закалки (64 HRC); 5 – образец с 67 HRC и  $h = 0,9$  мм; 6 – образец с 64 HRC и  $h = 1,05$  мм; 7 – 20X13 цементованная (85 % угля + 15 %  $\text{NaHCO}_3$ ).

Износостойкость диффузионных слоев в условиях сухого трения скольжения исследовали на специальной установке торцевого трения методом вращения алмазного диска по поверхности образцов.

В качестве эталона использовали образцы из стали У8 подвергнутой закалке с температуры 760 °С и низкому отпуску 200 °С. Образцы стали 20Х13 подвергнутые цементации закаливали в масле с температуры 950 °С и отпускали при 200 °С. Все образцы имели одинаковые размеры 10 × 10 × 40 мм.

Как видно из рисунка 1 наибольшей износостойкостью обладают диффузионные слои на образцах № 1, 2, 3. У образца № 1 поверхностная зона, с высокой плотностью карбидов, самая твердая 1000 – 1050 HV 0,2 (70 – 69 HRC) и самая толстая (до 700 мкм). Время истирания этой зоны до 10 часов. Стабильная интенсивность изнашивания этой зоны  $I_h = 57$  мкм/ч. Это наилучшие показатели износостойкости.

У образца № 2 поверхностная зона имеет твердость около 1000 HV 0,2 (~ 69 HRC) и толщину до 700 мкм. Интенсивность изнашивания этой зоны  $I_h = 75$  мкм/ч; что выше, чем у образца № 1.

В образце № 3 твердость поверхностной зоны, с высокой плотностью карбидов, такая же, как в образце № 2 (1000 HV 0,2), но толщина зоны незначительна ~ 150 мкм. Интенсивность изнашивания  $I_h = 97$  мкм/ч.

Худшие результаты изнашивания у образцов № 5 и № 1 (кривые 5 и 6).

У образца № 6 интенсивность изнашивания  $I_h = 127$  мкм/ч. Интенсивность изнашивания образца № 5 и стали У8 (кривые 5 и 4) одинаковая;  $I_h = 127$  мкм/ч.

Сталь 20Х13 цементованная в карбюризаторе на основе угля и пищевой соды имеет интенсивность изнашивания близкую к образцу № 3 и она составляет  $I_h = 110$  мкм/ч.

Линейная зависимость износа от пути трения сохраняется, если твердость по толщине слоя одинаковая. Это характерно для закаленной стали У8 (рисунок 1, кривая 4).

Если твердость по толщине диффузионного слоя уменьшается или снижается количество твердых частиц в структуре, то возрастает интенсивность износа. Поэтому по кривым износа можно определить толщину зоны, обладающей оптимальными значениями износостойкости.

Как видно из рисунка 1 образец № 1 имеет линейную зависимость между износом и временем испытаний до 8,5 ч на глубину износа ~ 0,5 мм, в то время как сталь 20Х13 цементованная из карбюризатора (85 % угля + 15 % NaHCO<sub>3</sub>) только до 2,5 ч и на глубину 0,28 мм.

Таким образом, диффузионный слой, полученный из оптимального состава карбюризатора (образец № 1) имеет интенсивность изнашивания в 2,75 раза меньшую, чем закаленная сталь У8 (64HRC) и в 1,37 раза, чем цементованная сталь 20Х13. При этом зона высокой износостойкости у образца № 1 в 3,4 раза выше, чем у цементованной стали 20Х13.

УДК 620.22

### **Маркировка сталей по евронормам EN 10027(93)**

Студент гр. 104519 Богданчик М.И.

Научный руководитель – Вейник В.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Одно из важнейших знаний материаловеда является знание не только отечественной маркировки, но и маркировки зарубежных стран. Умение разбираться в европейской маркировке открывает более широкую гамму сталей, которые впоследствии могут быть

использованы для создания деталей с заданными свойствами, в случае отсутствия требуемой марки стали на отечественном рынке.

По евро нормам стали делятся на 4 подгруппы в зависимости от назначения и содержание легирующих элементов:

1) Нелегированные стали со средним содержание Mn менее 1 %. Обозначаются буквой «С». В качестве дополнительной информации E – заданное максимальное содержание серы, SR – задан интервал содержания серы, C – с повышенной пластичностью в холодном состоянии, S – пружинная, T – инструмент.

Примеры: C45R, C35R, 42CrMo4.

2) Нелегированные стали с содержанием Mn более 1 % или автоматные стали, легированные стали с содержание легирующих элементов до 5 %. Вначале буква не ставится. Примеры: 11SMn30, 51CrV4, 11SMnPb30.

3) Легированные стали со средним содержанием одного легирующего элемента более 5 %. Обозначаются «X».

Примеры: X210Cr12, X40CrMoV5-1, X40Cr14 ESR.

4) Быстрорежущие стали. Обозначаются «HS». Далее содержание легирующих элементов в порядке W – Mo – V – Co.

Примеры: HS 10-4-3-10, HS 6-5-2C.

В соответствии с EN 10027(93) в маркировке углеродистых сталей с содержанием каждого легирующего элемента до 5 % ставится символ «С», далее содержание углерода умноженное на 100. Возможно введение дополнительной буквенной информации, отражающая степень частоты по S и P. Далее EN-евро нормы.

Маркировка низколегированных и легированных сталей после ТО начинается с числа, показывающего содержание углерода умноженное на 100. Далее идут символы легирующих элементов, после символа указывается содержание этих элементов. Затем символы элементов, содержащихся в незначительном количестве, но оказывающие важное влияние на свойства. После них идет цифра, поделенная на коэффициент (таблица 1), она отражает среднее содержание основных легирующих элементов в порядке, соответствующему приведённому элементу. Цифра не указывается в случае, когда Mn – 1 %, Si – 0,5 %, Ni – 0,5 %, Cu – 0,4 %, Cr – 0,25 %, Mo – 0,1 %, V – 0,06 %, W – 0,01 %.

В маркировке сталей, у которых содержание каждого из легирующих элементов превышает 5 %, вначале приводится буква «X», затем число отражающее содержание углерода умноженное на 100. Далее химические символы легирующих элементов. Затем одно или несколько двухзначных чисел, каждое из которых отражает содержание легирующих элементов, в соответствии с последовательностью, представленной в маркировке.

Таблица 1 – Понижающие коэффициенты

Химический символ легирующего элемента	Коэффициент
Co, Cr, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr	10
N, P, S	100
B	1000

Исходя из вышеприведённого материала, составим таблицу европейских аналогов некоторых наших сталей (таблица 2).

Таблица 2 – Европейские аналоги некоторых сталей

Европейская марка	Аналог СНГ	НВ	применение
X210Cr12	X12	248	Холодные штампы
X37CrMoV5-1	4X5MΦС	229	Мелкие штампы
32CrMoV12-28	3X3M3Φ	229	Инструменты горячего деформирования
46CrSiMoV7	5X2CMΦ	230	Холодные штампы
C45R	45	Неук	Вал, шестерня, колесо и т.д
100Cr6	ШХ15	Неук	Шарики подшипников
42CrMo4	40ХФА	Неук	Шлицевые валы, штоки
51CrV4	50ХГФА	Неук	Пружины, рессоры
34CrNiMo6	38Х2Н2МА	Неук	Валы, шатуны, шпильки, болты
16MnCrS5	18ХГ	Неук	Для цементуемых деталей, работающих на терние
HS 6-5-2	P6M5	Неук	Быстрорежущие инструменты

УДК 620.22

### Медицинские и биологические наноматериалы

Студент гр. 104519 Богданчик М.И.  
 Научный руководитель – Вейник В.А.

Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Как биологически полностью совместимый с живыми тканями титан перспективен в травматологии и стоматологии для изготовления протезов тазобедренных, коленных, челюстных и других суставов, пластин и спиц костного сращения, винтов для фиксации позвоночника и т.п. однако нелегированный титан обладает невысокими механическими свойствами. Методы интенсивной пластической деформации, позволяют существенно измельчить материал, вплоть до получения зерен размером 100 – 200 нм, что значительно (в 2 – 3 раза) повышает механические свойства. Физико-механические характеристики наноструктурного титана находятся на уровне таковых его лучших сплавов (например, типа Ti-V-Al), однако последние значительно уступают нелегированному титану по биологической совместимости. На рисунке 1, показаны имплантаты из наноструктурного титана.

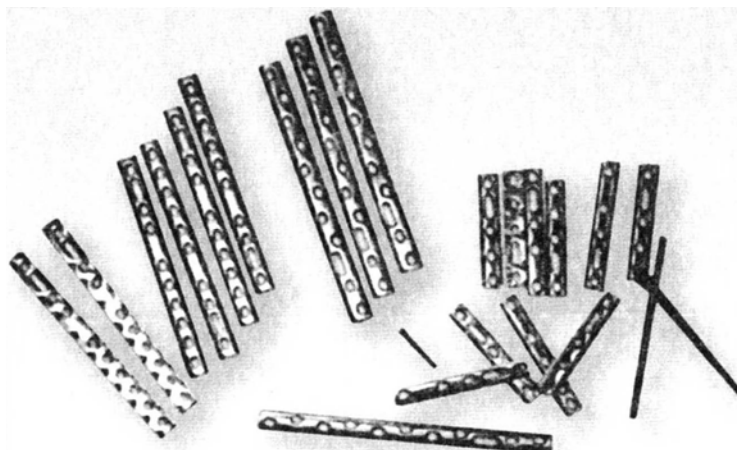


Рисунок 1 – Титановые пластины (имплантаты для костного остеосинтеза)

В современной хирургии, травматологии и стоматологии находят применение материалы с памятью формы (главным образом никелид TiNi). Рабочие органы эндоскопов, фиксаторы и скобы для суставов, экстракторы для извлечения камней из мочеочника – вот некоторые из медицинских приложений эффекта памяти формы. Восстановление заданной формы этих инструментов осуществляется за счет температуры человеческого организма. Методы интенсивной пластической деформации, приводя к аморфизации структуры TiNi и нанокристаллизации при последующем отжиге, обеспечивают образование нанокристаллической структуры и повышение механических свойств в 1,5 – 2,5 раза, а также долговечность эксплуатации.

Еще один из биосовместимых и биоактивных материалов – это гидроксиапатит  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ . Он используется как индивидуально, так и в составе полимерных, стеклянных, углеродных и других композитов для изготовления имплантатов, металлических имплантатов, для пломбирования зубов. Одна из основных проблем этого материала – повышение механической прочности и трещиностойкости. По этим показателям  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  изделия значительно уступают человеческой костной ткани. Использование ультрадисперсных порошков при получении гидроксиапатита позволяет повысить прочность и снизить температуру спекания (что важно, поскольку при высоких температурах это соединение разлагается), но в целом проблема реализации наноструктуры с высокими механическими свойствами применительно к гидроксиапатиту остается пока нерешенной.

Модифицирование поверхности полимеров типа полиэтилен терефталата и политетрафторэтилена за счет ионно-плазменной обработки с формирование наноструктурного рельефа приводит к значительному повышению антимикробной активности, что перспективно для создания биологически активных систем и их использования в биологии, медицине.

Развиваются работы по допированию поверхностей титановых и других имплантатов кальциевыми ионами (пленки тугоплавких соединений на основе TiNi с добавками фосфатов и оксидов кальция), что позволяет не только повысить биосовместимость, но и увеличить износостойкость и ресурс использования.

В США в ближайшие годы ожидается коммерческое производство металлооксидных наночастиц (для обеззараживания боевых отравляющих веществ, для защиты армии и населения при нападении террористов), а так же высокопористых нанокомпозитов в виде таблеток или гранул для очистки и дезинфекции воздуха (в самолетах, казармах, офисах).

Следует иметь в виду и токсическое действие наночастиц на живые организмы. Известно отрицательное влияние частиц кремниевых соединения и бериллия на здоровье человека, но и другие вещества в виде ультрадисперсных порошков, включая углеродные нанотрубки, могут быть потенциально опасными и требуют осторожного обращения.

Широкое распространение получает изготовление полимерных нановолокон диаметром менее 100 нм. Эти волокна используют для изготовления «активной» одежды, способствующей самозаживлению ран и диагностике состояния.

УДК 620.22

### **Анализ керамических подшипников качения**

Студент гр. 104519 Богданчик М.И.  
Научный руководитель – Вейник В.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Технически, в промышленных подшипниках из керамики нет ничего нового, и все их модификации как две капли воды похожи на стальные. Нестандартным является лишь материал: нитрид кремния ( $Si_3N_4$ ). В таблице 1 приведены некоторые свойства нитрида кремния.

Таблица 1 – Свойства нитрида кремния  $Si_3N_4$

Кристаллическая структура	$\alpha-Si_3N_4$	Тригональная
	$\beta-Si_3N_4$	Гексагональная
	$\gamma-Si_3N_4$	Кубическая
Плотность	3.192 г/см <sup>3</sup>	
Температура плавления	1900 °С	
Температурный коэффициент линейного расширения	$3,4 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$	
Модуль упругости	298 ГПа	
Твердость	60-70 HRC	

Благодаря тому, что этот вид керамики обладает выдающейся ударной прочностью и высокой жесткостью стали активно использовать в машиностроении. Условно, эти подшипники можно разделить на две группы:

1) Смешанные или гибридные, в которых из керамики выполнены только тела вращения, а оба кольца из стали. Сепаратор в гибридных керамических подшипниках сделан из синтетики с низким коэффициентом трения.

2) Полностью керамические, где и кольца качения и шары сделаны из керамики. На велосипедах встречаются пока крайне редко, но доступны в ассортименте от сторонних производителей.

Теперь о характеристиках и особенностях:

1) Рабочая температура шаров может достигать 800 °С.

2) Способность работать в агрессивных кислотах и щелочах без коррозии. С ограниченным набором агрессивных сред вроде кислорода, начинает реагировать при 1000 °С.

3) Низкий тепловой коэффициент расширения (в 3 – 5 раз меньше стали) и керамические подшипники.

4) Высокая рабочая температура позволяет им работать на скоростях до 12000 оборотов в минуту.

5) Керамика, это превосходный диэлектрик, полностью керамические подшипники не пропускают электричество.

6) Керамика легче стали на 40 % и значительно лучше рассеивает тепло.

7) твердость по Роквеллу стальных шаров редко превышает 60 единиц по шкале С, твердость керамики может достигать 75 единиц.

8) Модуль упругости керамики в 1,5 раза выше, чем у типичной стали применяемой для керамических подшипников

9) Керамика не магнитится.

Неудивительно, что керамические подшипники ставят в марсоходы, турбины авиалайнеров и насосы на химических производствах.

Главным недостатком металлокерамических подшипников является их дороговизна.

Металлокерамика это материал, который долговечней и жестче привычной стали и в настоящий момент, применяется в основном в высокоточном оборудовании и в ответственных узлах под нагрузкой.



## Закалка деталей в среде инертных газов

Студентка гр.104519 Гарнашевич Ю.А.

Научный руководитель – Вейник В.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В настоящее время всё чаще встаёт вопрос о модернизации машиностроительных предприятий. Данная работа посвящена такому ноу – хау в термообработке как закалка деталей в среде инертных газов. Закалка газом является основным процессом при термообработке быстрорежущих, а также горячих и холодных штамповых сталей.

В связи с разработкой отдельных камер для закалки газом, сегодня закалку в масло можно заменить для цементуемых сталей или других низколегированных материалов закалкой газом высокого давления, например азотом или гелием.

Успех технологии сухой закалки основан на безопасности для окружающей среды и экономической эффективности. Такие закалочные газы как азот и гелий являются абсолютно инертными и не несут риска загрязнения. Они не оставляют осадка на деталях либо в закалочных установках. Поэтому не надо приобретать такое оборудование как моющие машины либо противопожарные датчики. Это в свою очередь уменьшает эксплуатационные расходы цеха. При использовании в качестве закалочного газа гелия может быть предложено оборудование для рециркуляции так, чтобы газ можно было использовать повторно неограниченное число раз.

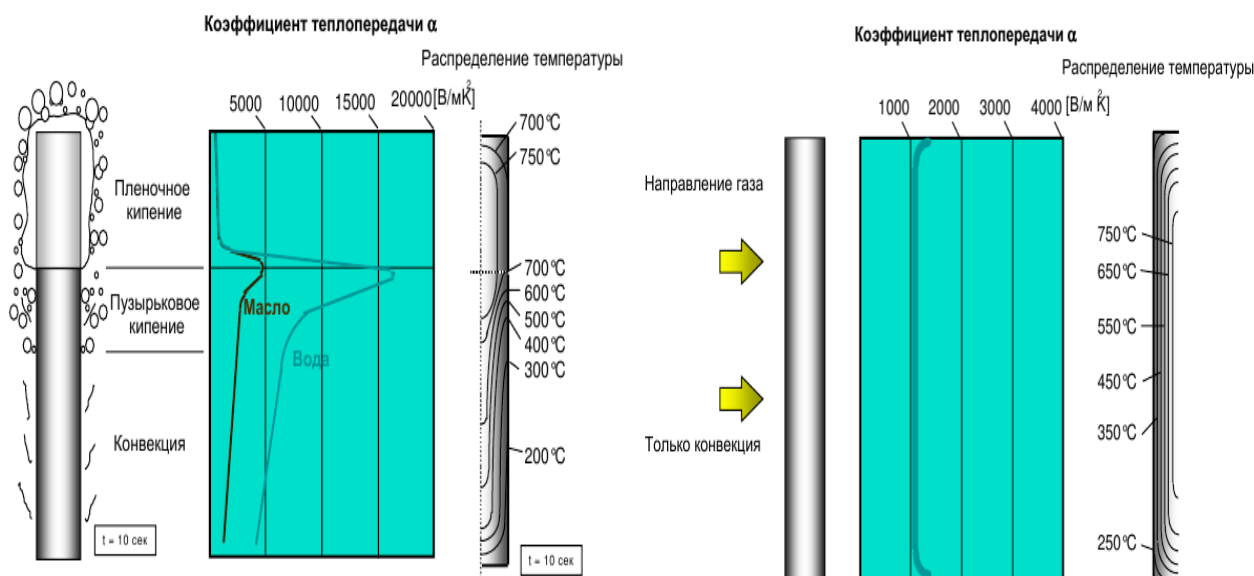


Рисунок 1

Рисунок 2

Между закалкой газом и закалкой в масло существуют отличия физического характера. На рисунке 1 можно увидеть различные фазы во время закалки в жидкой среде: плёночное кипение, отделение пузырьков и также фазу конвективной теплоотдачи. Отдельные фазы определяются коэффициентами теплопередачи, которые значительно отличаются друг от друга, что приводит к значительным температурным перепадам на детали, вызывающим её коробление. На рисунке 2 представлена диаграмма теплопередачи и распределения температур во время закалки газом высокого давления. Газы не показывают смены фаз во

время закалки. Теплопередача через ось детали является более однородной и возможность появления короблений уменьшается. Управление процессом обеспечивается управлением давлением газа закалки и скоростью его подачи. Благодаря этим параметрам скорость закалки можно контролировать в зависимости от требований к деталям.

Основными преимуществами закалки деталей в среде инертных газов является уменьшение короблений, что помогает избежать последующей машинной обработки и позволяет получить чистые и сухие детали. После закалки газом поверхность деталей свободна от закалочной среды, пыли или других остатков, что является необходимым требованием для следующих этапов, например нанесение покрытий. Также к преимуществам данного процесса можно отнести сокращение технологического времени, улучшение качества обрабатываемых деталей, снижение затрат, улучшение экологических условий. Кроме того, обеспечивается гибкость и лёгкая переналадка технологии, стабильная воспроизводимость результатов.

Напоследок надо отметить, что динамическое развитие машиностроительных предприятий невозможно без внедрения инновационных технологий. Внедрение таких технологий как закалка в среде инертных газов позволит нашим предприятиям выйти на мировой уровень.

УДК 621.7/.9.047(075.8)

### **Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов**

Студент гр.104211 Пинчук В.А.

Научный руководитель – Вейник В.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Электрофизические и электрохимические методы по сравнению с обычной обработкой резанием имеют ряд преимуществ. Они позволяют обрабатывать заготовки из материалов с высокими механическими свойствами (твердые сплавы, алмаз, кварц и др.), которые трудно или практически невозможно обрабатывать другими методами. Кроме этого, указанные методы дают возможность получать самые сложные поверхности, например отверстия с криволинейной осью, глухие отверстия фасонного профиля и т. д. К числу таких методов относят электроэрозионную, электрохимическую, электро-контактный, анодно-механическую, ультразвуковую, электронно-лучевую и другую обработку металлов (согласно данным [1 – 3] таблица 1).

В основе электроэрозионной обработки металлов лежит процесс электроэрозии, т.е. разрушения поверхностей электродов при электрическом разряде между ними. Электроэрозионную обработку производят на специальных (электроискровых, электроимпульсных) станках.

Инструментом для обработки служит электрод, изготовленный из меди, латуни, бронзы, алюминия или некоторых других материалов. Он имеет форму, соответствующую форме требуемой поверхности обрабатываемой детали.

Заготовку помещают в ванну с жидкостью, не проводящей электрический ток. Инструмент и заготовку подключают в станке к источнику электрического тока. При сближении инструмента (катода) и заготовки (анода), когда искровой промежуток становится очень малым, между ними происходит электрический разряд (рисунок 1) В результате температура на обрабатываемой поверхности заготовки мгновенно достигает 8000 – 10000 °С, что приводит к местному расплавлению, частичному испарению и взрывоподобному выбросу микрочастиц с поверхности заготовок. Выброшенные частицы металла в жидкой среде затвердевают и оседают на дно ванны. При подаче электрода-

инструмента искровые разряды многократно повторяются и, образуют в заготовке лунку, отображающую форму инструмента.

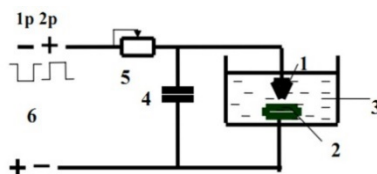


Рисунок 1 – Схема электроэрозионной обработки материалов:

1 – электрод-инструмент; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – среда, в которой производится разряд; 4 – конденсатор; 5 – реостат; 6 – источник питания; 1р – режим электроискровой обработки; 2р – режим электроимпульсной обработки

Электроэрозионную обработку широко применяют для получения различных отверстий, пазов, углублений при изготовлении штампов, пресс-форм, кокилей и т.д.

Электрохимическая обработка заключается в том, что под воздействием электрического тока разрушаются поверхностные слои металла детали, помещенной в электролит. Частицы металла, лежащие на поверхности детали, растворяются в электролите, и деталь становится блестящей (электролитическое полирование). В том случае, если поверхности должны быть приданы определенные размеры, применяют специальный инструмент для механического удаления разрушенной пленки металла.

Анодно-механическая обработка металлов построена на сочетании электроэрозионного и электрохимического процессов. Ее сущность заключается в следующем. Через обрабатываемую заготовку (анод) и вращающийся инструмент (катод) пропускается постоянный электрический ток. Анод и катод находятся в среде электролита. Электрический ток, проходя через электролит, разлагает его и растворяет поверхность заготовки (анода). На поверхности заготовки постоянно образуется не проводящая ток пленка. Вращающийся инструмент (катод) механически срывает эту пленку. При точечном срыве пленки и частичном пробивании ее на вершинах микронеровностей в местах контакта инструмента проходит ток большой плотности, под действием которого микронеровности оплавляются. Оплавленные частицы металла удаляют вращающимся инструментом.

Анодно-механический способ обработки металлов применяют для затачивания пластинок из твердых сплавов и для резки очень твердых и вязких металлов.

Таблица 1 – Основные особенности рабочих процессов физико-химических методов и процессов обработки материалов

Способ обработки	Рабочий процесс	Используемая энергия	Мощность удельная, $N_{уд}$ , Вт/см <sup>2</sup>	Рабочая среда	Род обрабатываемых материалов
1	2	3	4	5	6
Электро-эрозионный	Эрозия в импульсных разрядах	Тепловая	$10^4 \dots 10^8$	Жидкость диэлектрическая	Электропроводящие
Электро-контактный	Механическое удаление нагретого металла	то же	$10^4$	Воздух, газ	то же
Электро-химический	Анодное растворение	Химическая	$10^3 \dots 10^4$	Электролит	_____»_____
Анодно-механический	Анодно-механическое удаление	Химическая + механическая	то же	то же	_____»_____
Ультразвуковой	Хрупкое разрушение при ударном	Механическая	_____»_____	Абразивная	Металлы и неметаллы (тверд., и хрупк.)

	вдавлении абразивных зерен				
--	----------------------------	--	--	--	--

### Литература

1. Артамонов, Б. А., Волков, Ю. С., Дрожалова, В. И. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Учебное пособие (в 2-х томах). /под ред. В. П. Смоленцева. – М.: Высшая школа, 1983.
2. Бирюков, Б. Н. Электрофизические и электрохимические методы размерной обработки. / Б. Н. Бирюков — М.: Машиностроение, 1981.
3. Попилов, Л. Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. / Л. Я. Попилов. Справочник. 2 - е изд. доп. и перераб. – М.: Машиностроение, 1982.

УДК 62-1/-9

### Упрочнение изделий из конструкционных сталей методом ионно-плазменного азотирования (ИПА)

Студент гр. 104511 Чайко Ю.В.  
 Научный руководитель – Вейник В.А.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Ионно-плазменное азотирование (ИПА) – эффективный метод упрочняющей обработки деталей из легированных конструкционных сталей:

- валов, прямозубых, конических и цилиндрических шестерен;
- зубчатых венцов;
- вал-зубчатых шестерен;
- муфт;
- валов-шестерен сложной геометрической конфигурации;
- шнеков и др.

При упрочняющей обработке методом ионного азотирования деталей изцементуемых, улучшаемых, низко- и среднелегированных сталей (18ХГТ, 20ХНЗА, 40ХГНМ, 25ХГТ, 40Х, 40ХН, 40ХФА и др.). Необходимо в начале проводить улучшение поковок – объемную закалку и отпуск до твердости 241 – 285 НВ (для некоторых сталей 269 – 302 НВ), затем механическую обработку и в завершение – ионное азотирование. Для обеспечения минимальной деформации изделий перед азотированием для снятия напряжений рекомендуется проводить отжиг в атмосфере защитного газа, причем температура отжига должна быть выше температуры азотирования. Отжиг следует проводить перед точной механической обработкой.

Глубина азотированного слоя, формируемого на указанных изделиях, изготовленных из сталей 40Х, 18ХГТ, 25ХГТ, 20Х2Н4А и др., составляет 0,3 – 0,5 мм при твердости 500 – 800 НВ в зависимости от марки стали (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристики конструкционных сталей после ионно-плазменного азотирования

Цель обработки	Тип изделия	Марка стали	Характеристики слоя		Температура процесса, °С
			глубина, мм	Поверхностная твердость, HV 0,5	
Повышение износостойкости и усталостной отказ от шлифования, продолжительности жизни деталей машин для переработки пластмасс и повышение качества	Детали машин: -зубчатые колеса; -коленчатые и распределительные валы; -винты; -направляющие; -шпиндели; -шнеки; -гидроцилиндры; -детали станков; -впускные и выпускные клапаны двигателей; -детали турбин и др.	45	0,3-0,6	350-450	530-580
		20X	0,3-0,5	450-550	520-570
		40X	0,2-0,5	540-650	520-560
		40XH	0,2-0,5	540-640	530-560
		40XH2MA	0,2-0,5	500-550	520-550
		40XГНМ	0,2-0,5	500-550	520-550
		40XФА	0,2-0,5	550-650	520-550
		40XMФА	0,2-0,5	550-700	520-550
		12XH3A	0,2-0,4	550-580	520-550
		20XH3A	0,2-0,4	550-580	520-550
		18X2H4A	0,2-0,5	600-680	500-550
		18X2H4MA	0,2-0,5	550-750	470-550
		20X2H4A	0,2-0,4	580-650	500-550
		15XГН2ТА	0,2-0,5	550-640	520-550
		15XФ	0,2-0,5	550-640	520-550
		18XГТ	0,2-0,5	650-750	520-540
		25XГТ	0,2-0,5	620-700	520-540
		30XГТ	0,2-0,5	620-720	520-540
		38XM	0,2-0,4	620-700	520-550
		38XC	0,2-0,4	540-650	500-540
38XHЭМФА	0,2-0,5	500-620	530-560		
30X3MФ	0,2-0,5	750-900	510-550		
38X2MЮА	0,2-0,5	850-1100	520-560		
40X9C2	0,03-0,04	420-450	520-560		
55X20Г9АН4	0,03-0,04	580-630	530-550		
30X3MФ	0,2-0,5	750-900	510-550		

Для передач, работающих в условиях более тяжелых нагрузок, азотированный слой должен быть на уровне 0,6 – 0,8 мм с тонкой нитридной зоной или вообще без неё.

Оптимизация свойств упрочняемой поверхности определяется совокупностью характеристик основного материала (твердость сердцевины) и параметрами азотированного слоя. Характер нагрузки определяет глубину диффузионного слоя, тип и толщину нитридного слоя:

- износ –  $y'$ - или  $f$ -слой;
- динамическая нагрузка – ограниченная толщина нитридного слоя или вообще без нитридного слоя;
- коррозия –  $f$ -слой.

Независимое управление расходом каждого из компонентов газовой смеси и давлением в рабочей камере и вариация температурой процесса позволяют формировать слои различной глубины и твердости, обеспечивая тем самым стабильное качество обработки с минимальным разбросом свойств от детали к детали и от садки к садке.

Для практической реализации технологии ионно-плазменного азотирования разработан ряд моделей установок ИПА серии "АР" с различными размерами рабочего пространства, обеспечивающих полную автоматизацию процесса формирования азотированного слоя путем программного управления параметрами процесса.

УДК 621.787(085)(075.8)

## Поверхностное упрочнение стальных деталей

Студентка гр.104211 Шкут В.А.  
Научный руководитель – Вейник В.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Конструкционная прочность часто зависит от состояния материала в поверхностных слоях детали. Одним из способов поверхностного упрочнения стальных деталей является *поверхностная закалка*.

В результате поверхностной закалки увеличивается твердость поверхностных слоев изделия с одновременным повышением сопротивления истиранию и предела выносливости. Общим для всех видов поверхностной закалки является нагрев поверхностного слоя детали до температуры закалки с последующим быстрым охлаждением. Эти способы различаются методами нагрева деталей. Толщина закаленного слоя при поверхностной закалке определяется глубиной нагрева. Наибольшее распространение имеют электротермическая закалка с нагревом изделий токами высокой частоты (ТВЧ) и газопламенная закалка с нагревом газовой-кислородным или кислородно-керосиновым пламенем.

**Закалка токами высокой частоты.** Основан на том, что если в переменное магнитное поле, создаваемое проводником-индуктором, поместить металлическую деталь, то в ней будут индуцироваться вихревые токи, вызывающие нагрев металла. Чем больше частота тока, тем тоньше получается закаленный слой.

Обычно используются машинные генераторы с частотой 50...15000 Гц и ламповые генераторы с частотой больше  $10^6$  Гц. Глубина закаленного слоя – до 2 мм.

Индукторы изготавливаются из медных трубок, внутри которых циркулирует вода, благодаря чему они не нагреваются. Форма индуктора соответствует внешней форме изделия, при этом необходимо постоянство зазора между индуктором и поверхностью изделия.

После нагрева в течение 3...5 с индуктора 2 деталь 1 быстро перемещается в специальное охлаждающее устройство – спрейер 3, через отверстия которого на нагретую поверхность разбрызгивается закалочная жидкость.

Высокая скорость нагрева смещает фазовые превращения в область более высоких температур. Температура закалки при нагреве токами высокой частоты должна быть выше, чем при обычном нагреве.

При правильных режимах нагрева после охлаждения получается структура мелкоигольчатого мартенсита. Твердость повышается на 2...4 HRC по сравнению с обычной закалкой, возрастает износостойкость и предел выносливости.

Перед закалкой ТВЧ изделие подвергают нормализации, а после закалки низкому отпуску при температуре 150...200 °С (самоотпуск).

Наиболее целесообразно использовать этот метод для изделий из сталей с содержанием углерода более 0,4 %.

Преимущества метода:

- большая экономичность, нет необходимости нагревать все изделие;
- более высокие механические свойства;
- отсутствие обезуглероживания и окисления поверхности детали;
- снижение брака по короблению и образованию закалочных трещин;

- возможность автоматизации процесса;
- использование закалки ТВЧ позволяет заменить легированные стали на более дешевые углеродистые;
- позволяет проводить закалку отдельных участков детали.

Основной недостаток метода – высокая стоимость индукционных установок и индукторов. Целесообразно использовать в серийном и массовом производстве.

**Газопламенная закалка.** Нагрев осуществляется ацетиленокислородным, газокислородным или керосин кислородным пламенем с температурой 3000...3200 °С. Структура поверхностного слоя после закалки состоит из мартенсита, мартенсита и феррита. Толщина закаленного слоя 2...4 мм, твердость 50...56 HRC. Сущность поверхностной газопламенной закалки заключается в том, что поверхность детали нагревается пламенем газовой горелки, после чего с помощью устройств проводится охлаждение. Нагрев поверхности длится короткое время, за которое теплота не успевает распространиться в глубь детали, поэтому нагрев, а значит и закалка получаются поверхностными. Этот метод поверхностной закалки является наиболее простым и доступным.

Метод применяется для закалки крупных изделий, имеющих сложную поверхность (косозубые шестерни, червяки), для закалки стальных и чугуновых прокатных валков. Используется в массовом и индивидуальном производстве, а также при ремонтных работах. Недостатки метода:

- невысокая производительность;
- сложность регулирования глубины закаленного слоя и температуры нагрева (возможность перегрева).

**Лазерная закалка.** Процесс закалки осуществляется за счет быстрого нагрева и охлаждения обрабатываемой поверхности стали сканирующим лазерным лучом. Глубина закаленного слоя в зависимости от режимов обработки составляет 3 – 150 мкм без оплавления поверхности. Зона закалки для переносной установки составляет 250 x 250 мм, для ранцевой установки полоса шириной от 0,1 до 100 мкм. Технология лазерной закалки применяется для получения самозатачивающегося инструмента и упрочнения его поверхности. Лазерная термообработка применяется в комплексе с механической обработкой для восстановления изношенных поверхностей методом лазерно-порошковой наплавки. Технология лазерной наплавки применяется также для изготовления режущего инструмента с режущими поверхностями высокой твердости.

УДК 621.792

### **Перспективы использования высоковольтного электро-химического оксидирования**

Студент гр. 104218 Медведев А.Э.  
 Научный руководитель – Соколов Ю.В.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Развитие гальванотехники в последние годы отмечено расширением применения покрытий, которые позволяют надежно защищать изделия от коррозии и наряду с этим улучшать ряд важных эксплуатационных характеристик.

Такие покрытия широко используются во многих отраслях промышленности для защиты изделий от коррозии, повышения износоустойчивости, твердости, улучшения электроизоляционных свойств, создание грунта под лакокрасочные покрытия.

Бурное развитие техники сопровождается все расширяющимся применением в качестве конструкционного материала сплавов на основе алюминия.

Во многих важных для практики случаях использованию ценных физико-химических свойств алюминия и его сплавов препятствует их высокая склонность к окислению под действием окружающей среды.

Одним из важнейших методов борьбы с коррозией, а также придания специальных функциональных свойств изделиям из алюминия и его сплавов является химическое и электрохимическое оксидирование поверхности металла, т.е. искусственное наращивание оксидной пленки, характеризующейся толщиной и специальными функциональными свойствами.

Процесс получения оксидных пленок интересен тем, что можно наращивать пленки с различными свойствами, необходимыми для тех или иных целей, с различной окраской при декоративной отделке.

Высокопористые оксидные слои на поверхности алюминия образуются в результате электрохимического процесса.

Существуют два вида оксидных пленок: барьерная и пористая.

Барьерная оксидная пленка растет в нейтральных растворах, в которых оксид алюминия трудно растворим. Преимущественно это бораты аммония, фосфаты или тартраты.

Пористая оксидная пленка растет в кислых электролитах, в которых оксид может не только осаждаться, но и растворяться. Для этого можно использовать серную, щавелевую и фосфорную кислоты.

Рассмотрим подробнее процесс образование этих пленок:

В первые секунды процесса в активных центрах на поверхности металла формируется барьерный слой. Эти зародыши разрастаются, образуя сплошной барьерный слой. При соприкосновении с шестью соседними ячейками образуется гексагональная призма с полусферой в основании. В центре ячеек барьерного слоя под воздействием локальных напряжений образуются поры, число которых обратно пропорционально напряжению. В поре толщина барьерного слоя уменьшается, и, как следствие, увеличивается напряженность электрического поля, при этом возрастает плотность ионного тока вместе со скоростью оксидирования. Но, поскольку растет и температура в поровом канале, способствующая вытравливанию поры, наступает динамическое равновесие, и толщина барьерного слоя остается практически неизменной [1].

Под действием электрического тока, вода окисляется с выделением кислорода. Анионы кислорода начинают свое движение по направлению к аноду (к границе металл/оксид), чтобы вступить в реакцию с алюминием, с образованием оксида. В свою очередь, катионы алюминия начинают свое движение по направлению к катоду (к границе оксид/электролит), чтобы вступить в реакцию с водой, с образованием оксида. Новые оксиды располагаются по обеим сторонам барьера. Толщина пленки пропорциональна плотности тока ( $A/cm^2$ ). Подаваемое напряжение повышается пропорционально толщине оксида и при комнатной температуре.

Пористые пленки растут преимущественно в разбавленной серной кислоте, обычно 10 %, но в производстве используют и фосфорную, хромовую, щавелевую и смесь неорганических и органических кислот. Общая особенность этих растворов – возможность сохранять относительно высокую концентрацию алюминия в растворе. Это важно, так как большая часть алюминия, который окисляется не остается в пленке и переходит в раствор.

Например, при анодировании в серной кислоте около 60 % окисленного алюминия остается в пленке, а остальное переходит в раствор.

Легко могут быть получены пористые пленки толщиной 100 нм. Это в 100 раз больше, чем самая толстая барьерная пленка. Отсутствует необходимость в высоком напряжении для создания толстой пористой пленки из-за ее уникальной структуры.

Оксид имеет ячеистую структуру, в центре каждой ячейки находится пора. Размеры ячеек и пор зависят от состава ванны, температуры и напряжения. Прекрасные поры образуются при



экстремально высокой плотности тока. Диаметр ячейки в пределах 50 – 300 нм, диаметр пор обычно составляет от 1/3 до 1/2 от диаметра ячейки. Плотность заселения ячеек от 10 до более чем 100 на  $\mu\text{м}^2$ . Соотношение может достигать даже 1000 : 1. Изменяя температуру раствора в ванне анодирования мы можем получить разную структуру слоя:

– уменьшение температуры на 10 °С приводит к твердому анодированию-обычно получают в серной кислоте при низкой температуре. Получаются покрытия с большими ячейками и маленьким диаметром пор. Покрытие получается очень твердое и прочное.

– повышение температуры приводит к увеличению пор, что хорошо для последующего окрашивания оксидной пленки.

Процесс высоковольтного электро-химического оксидирования является перспективным в космическом и авиационном приборостроении, поскольку позволяет значительно повышать износ- и коррозионностойкость алюминиевых сплавов. Процесс анодирования позволяет получать оксидные слои с заданными параметрами, такими как толщина плёнки, её сопротивление, твёрдость и т.д.. Может применяться в качестве декоративного покрытия, поскольку можно получать плёнки различных цветов (в том числе и полностью прозрачных), они легко окрашиваются и отличаются большой гладкостью.

### Литература

1. Особенности строения и механизм формирования анодных оксидов алюминия/А.В. Вихарев, А.А. Вихарев // Ползуновский вестник. – Барнаул. 2010. – С. 203–208.

УДК 621.785

**Исследование структуры и свойств диффузионных слоев на стали 20Х13, полученных в системе хром-углерод с введением в реакцию смесь легкоплавких добавок**

Студенты гр. 104218 Овчинников Е.С., Ковалёва И.А.,  
гр. 104519 Крыжнев А.В., Дробов А.Н.  
Научные руководители – Борисов В.Г., Стефанович В.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Анализ литературных данных по насыщению углеродом высокохромистых сталей показывает, что процесс цементации, а так же комплексное насыщение углеродом и карбидообразующими элементами широко используется в производстве. Недостатками применяемых карбюризаторов для цементации высокохромистых сталей является: большая длительность процесса насыщения 8...12 часов, небольшая толщина диффузионного слоя, обладающего высокой твердостью и износостойкостью. Исходя из выше сказанного основной задачей данной работы является разработка карбюризатора для насыщения высокохромистых сталей позволяющих: интенсифицировать процесс цементации не менее чем в 1,5 раза; увеличить зону высокой твердостью до 0,4...0,6 мм; получить поверхностную твердость 1000...1100 НV.

Для получения оптимальных свойств диффузионных слоев был применен последовательный симплекс метод планирования эксперимента с использованием правильного симплекса. В качестве факторов, входящих в состав смеси, были выбраны следующие компоненты: хромирующая смесь, цементирующая смесь, легкоплавкие добавки. Температура и время насыщения поддерживались постоянными. В качестве параметров оптимизации были выбраны: толщина диффузионного слоя, твердость после закалки, наличие твердых частиц в слое, их структура в баллах. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Наихудшие результаты соответствуют точке № 7 симплекса. Наилучшие результаты соответствуют точке № 15. Последующие опыты в точках № 16 и № 17 дают результаты

несколько ниже значений точки № 15, что говорит о зацикливании симплекса и позволило принять решение об окончании исследований.

Таблица 1 – Результаты проведенных опытов

№ точки	Толщина слоя, мкм	Твердость после закалки, HRC	Балл твердых частиц
1	1050	64	2
2	700	63	2
3	800	62	1
4	1000	68	3
5	900	67	2
6	100	47	1
7	10	44	0
8	20	45	0
9	200	53	1
10	15	45	0
11	15	44	0
12	15	45	0
13	155	45	1
14	900	69	3
15	1400	70	3
16	1100	69	3
17	250	60	1

Применение последовательно симплексного метода при оптимизации состава карбюризатора для цементации высокохромистых сталей позволило: увеличить скорость формирования диффузионного слоя высокой твердости в 1,8 – 2,2 раза по сравнению и известными карбюризаторами и получать диффузионные слои с включениями карбидов до 700 мкм и общей толщиной до 1400 мкм; повысить твердость поверхности упрочняемой стали 20X13 до 69 – 70 HRC; получить одинаковые значения микротвердости 1000 – 1050 HV 0,1/10 по всей толщине карбидной зоны цементованного слоя.

УДК 669.72.011

**Исследование влияния пластической деформации на скорость формирования карбонитридного слоя**

Студенты гр. 104518 Дробов А.Н., Крыжнев А.В.,  
гр. 104218 Овчинников Е.С., Ковалева И.А.  
Научные руководители – Борисов С.В., Стефанович А.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Для исследования различия скорости формирования карбонитридного слоя на стружке и отожженной стали, использовалась полоса из стали Х6ВФ толщиной 0,7 мм, из которой методом строгания вдоль оси полосы получалась стружка сечением  $\approx 0,7 \times 0,7$  мм, имеющая форму дуги и длиной 2 – 4 мм.

Образцы отожженной стали и стружка подвергались карбонитрации при 550 °С в течении 1 часа. Данные температурно-временные параметры должны обеспечивать диффузионный слой толщиной до 0,2 мм [1]. Значительное различие размеров диффузионного слоя и стружки исключает влияние «размерного фактора» на скорость формирования диффузионного слоя. Толщина слоя оценивалась измерением микротвердости по сечению образцов. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Микротвердость (МПа) по сечению образцов из стали Х6ВФ

Вид образца	Расстояние от поверхности, мкм						
	20	40	60	80	100	150	200
Отожженная полоса	3490	2720	2280	2060	2180	2020	2140
Стружка	4840	4420	3840	3380	2970	2680	2880

Как видно из таблицы, в образцах из отожженной полосы повышенная твердость сохраняется на глубине  $\approx 60$  мкм, а у стружки на глубине до 80 – 100 мкм, что свидетельствует о большей толщине диффузионного слоя, полученного на стружке, в 1,3 – 1,6 раза. Бóльшая толщина диффузионного слоя объясняется повышенным количеством дефектов в структуре, которые образовались за счет наклепа при резании. При этом микротвердость карбонитридного слоя, полученного на стружке, выше и составляет  $4880 \pm 341$  МПа, в то время как у отожженной полосы  $3490 \pm 209$  МПа. По данным [2] твердость карбонитрированного слоя суммируется из твердости основы и прироста твердости за счет образования дисперсных карбонитридных фаз в зоне внутреннего азотирования. Причем прирост твердости зависит от содержания азота и углерода в диффузионном слое.

Исходя из данных [2] и анализа значений твердости диффузионного слоя и основы, видно, что прирост твердости диффузионного слоя на стружке больше, чем у образцов из отожженной стали. Это можно объяснить: 1) большей исходной твердостью стружки, которая составляет  $2884 \pm 256$  МПа, а отожженной полосы  $2080 \pm 124$  МПа; 2) более высоким содержанием азота и углерода в диффузионном слое. Повышенное содержание азота и углерода в диффузионном слое объясняется большим количеством дефектов в стружке, которые способствуют увеличению коэффициента диффузии.

### Литература

1. Лахтин Ю.А., Коган Я.Д. – Азотирование стали. М. Машиностроение, 1976, 256 с.
2. Прокошкин Д.А. – Карбонитрация стали. М. Машиностроение, 1984, 240 с.

УДК 621.745.669.13

### Сварка стали HAR DOX и влияние сварки на её свойства

Магистрант Острога С.П.

Научный руководитель – Саранцев В.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

На оборудование, работающее в горнодобывающей промышленности, часто оказывается различное неблагоприятное воздействие, приводящее к его износу и разрушению – истирание, удары, деформация и т.п. Для преодоления такого воздействия оборудование должно быть изготовлено из специального материала. Такой материал – высокопрочную износостойкую сталь марки HARDOX выпускает Шведская компания SSAB Oxelosund AB.

HARDOX — семейство марок сверхтвёрдых сталей, обладающих высокой стойкостью к износу, одинаковой по всей толщине листа. В настоящее время выпускаются марки – HARDOX 400, 450, 500 и 600. Индекс показывает величину твердости данной марки стали по Бринелю (HBW).

HARDOX представляет собой низколегированную сталь. Типичный химический состав, например, для марки HARDOX 400 (толщина листа – 30 мм): C = 0,16 %, Si = 0,32 %, Mn = 1,3 %, Cr = 0,60 %, B = 0,002 %.

Износостойкая сталь HARDOX была специально создана для того, чтобы противостоять сильному износу. Фактический срок службы толстолистовой стали зависит от твердости материала, контактирующего с листом, а также от типа износа.

При работе с материалами имеющие высокую твёрдость оборудование обычно подвергается изнашивающему воздействию нескольких типов – износ при трении и ударе, часто в сметании с сильной деформацией. Различные условия износа обычно требуют использования материалов с различным составом и свойствами. Так, керамические изнашиваемые детали отличаются превосходным сопротивлением износу при трении скольжения, но совершенно непригодны в условиях износа при ударе. Резина и марганцовистая сталь противостоят износу лишь при условии, что частицы материала соударяются с износостойкой поверхностью под прямым углом, в то время как их сопротивление износу при трении скольжения неудовлетворительно. Изнашиваемые части из чугуна выдерживают износ при трении скольжения и умеренный износ при ударе.

Износостойкие листы из стали HARDOX с твердостью по Бринелю 400 – 600 способны выдерживать большинство типов износа.

На рисунке 1 представлен относительный срок службы изделия из стали HARDOX при работе с магнетитом.

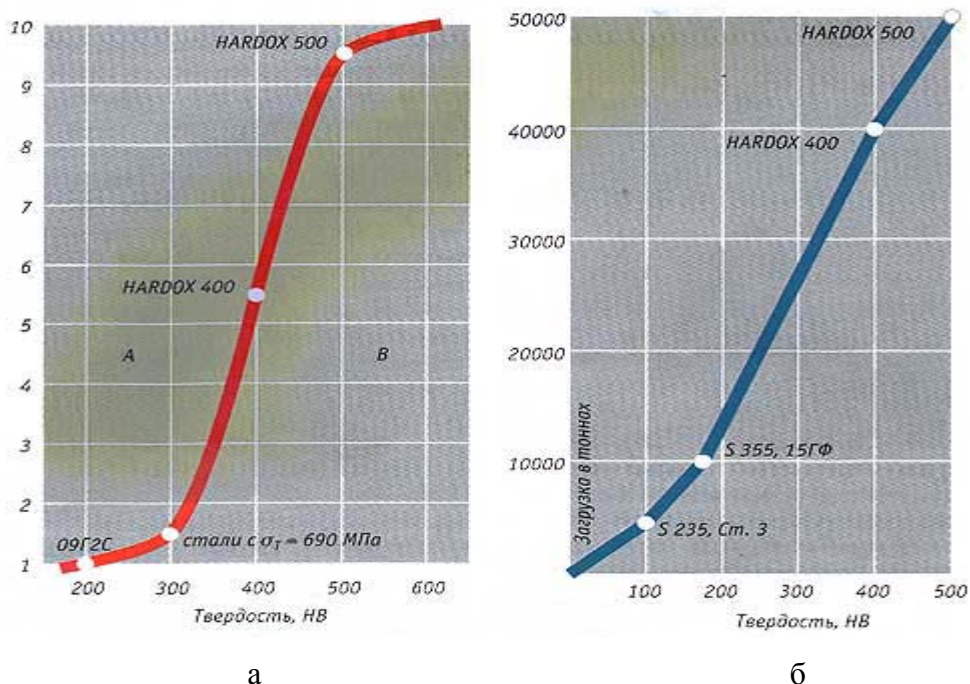


Рисунок 1 – Относительный срок службы изделия из стали HARDOX:

а – относительная продолжительность эксплуатации изделия из стали HARDOX при работе с магнетитом; б – зависимость обработанной рудной массы ковшом экскаватора от твёрдости листового материала

Из графика видно, что износостойкий лист подвергается двум типам износа.

В области А, твердые минералы в обрабатываемой породе могут вырывать микроскопические кусочки из листа (вырывающий износ). После этого поверхность листа становится не столь твердой, чтобы долго выдерживать такой агрессивный тип износа.

В области В обрабатываемый минерал не столь тверд, чтобы вырывать кусочки из листа. В этом случае лист подвергается только «сминающему» износу. Подобное повторяющееся сминание постепенно приводит к отрыву участков металла от поверхности листа. Такой менее агрессивный тип износа известен как деформационный износ.

Так, сталь марки HARDOX 400 имеет при  $t = -40$  °С гарантированное значение удельной вязкости  $> 30$  J/см<sup>2</sup> (образец с V-образным надрезом). Типичное значение предела прочности стали HARDOX 400 составляет 1250 МПа, предела текучести – 1000 МПа, относительное удлинение – 15 %, относительное сужение – 63 %.

При сварке конструкционных и высокопрочных сталей важно свести к минимуму вероятность образования холодных трещин. Главной причиной такого растрескивания является присутствие водорода при возникновении напряжений в сварном шве. Для снижения вероятности растрескивания можно:

1) подогреть основной металл перед сваркой (чем выше температура при и после сварки, тем легче водороду выйти из стали, чем больше толщина металла, тем больший подогрев необходим);

2) обеспечить полную чистоту и сухость свариваемых поверхностей;

3) свести к минимуму напряжения от тепловой усадки – для этого обеспечить хорошую пригонку свариваемых частей и правильно спланировать последовательность наложения основных швов;

4) использовать сварочный материал с низким содержанием водорода.

При этом сварка листов, например, HARDOX 400, толщиной 20 мм осуществляется без предварительного нагрева при комнатной температуре.

**Машины  
и технология литейного  
производства**

**О природе ситовидной пористости в стали**

Студент гр. 104318 Аладьев Р.Е.  
Научный руководитель – Соболев В.Ф.  
Белорусский национальный технический университет  
г.Минск

Ситовидной пористостью называют вытянутые, иногда округленные раковины с гладкими стенками, расположенные непосредственно под литейной коркой по всей отливке или в отдельной ее части перпендикулярно к поверхности отливки. Отдельные раковины могут выходить на поверхность. Диаметр их менее 2 – 3 мм. Обычно ситовидная пористость сосредоточена в зоне, находящейся на расстоянии 1 – 6 мм от поверхности отливки. Дефект встречается в стальных и чугунных отливках. После отжига и очистки поверхности стальных отливок хорошо видна ситовидная пористость.

В стальных отливках раскисляющие присадки, например кремний и алюминий хорошо реагируют с кислородом, образуя окислы типа неметаллических включений. Если активных раскислителей введено недостаточно для удаления всего имеющегося в сплаве кислорода, то оставшийся кислород соединяется с железом, образуя закись железа FeO.

При недостаточном количестве раскислителей и беспокойной заливке FeO может распределиться по всему объему металла. В тонкостенных отливках, заливаемых обычно плавно, образующиеся окислы не успевают распределиться по всему объему металла, поэтому содержание кислорода на их поверхности значительно выше, чем во внутренних слоях. При затвердевании стали произойдет реакция FeO с углеродом, содержащимся в стали:  $FeO + C = Fe + CO$ .

В результате этой реакции образуются мельчайшие пузырьки газа CO. Остальные растворенные в стали газы, прежде всего водород, а также газы из формы стремятся проникнуть в пузырьки CO, вызывая их рост. По мере продвижения фронта кристаллизации отливки поступление газов в пузырьки затрудняется, вследствие чего их рост заканчивается практически одновременно. Благодаря этому нижняя граница зоны ситовидной пористости находится на одинаковом расстоянии от поверхности.

Так же, как и в стальных отливках, ситовидная пористость в чугунных отливках возникает, по-видимому, из зародышевых пузырьков CO. Образование последних может быть вызвано наличием в чугуне относительно легко восстанавливаемых, главным образом плевкообразных, окислов. Они возникают при реакциях магния с кислородом в чугуне с шаровидным графитом, при избирательном окислении поверхностных слоев, а также при окислении поверхности расплава в литниковой системе во время заливки. Из паров воды при контакте с чугуном, содержащим 0,01 – 0,1 % алюминия или 0,01 – 0,05 % титана, выделяется водород, который проникает в поверхностные слои отливок и в полость образовавшихся зародышевых газовых раковин, где его концентрация постепенно увеличивается. В результате размеры этих раковин заметно возрастают и находящиеся в них газы так сильно сжимаются затвердевшим чугуном, что могут прорывать поверхностный слой отливки, образуя типичный "булавочный укол". Поверхностные слои отливки, обогащенные окислами, затвердевают при температуре, значительно превышающей температуру затвердевания жидкого чугуна. Вследствие этого подобные газовые раковины остаются большей частью на месте своего образования и располагаются параллельно поверхности формы.

Образование ситовидной пористости может происходить только в интервале критических температур. Для чугуна с шаровидным графитом они составляют 1330 – 1380 °С, а для серого чугуна 1350 – 1375 °С. При повышении температуры заливки становится возможным полное восстановление находящихся в жидком расплаве окисных плёнок и свободное

всплытие пузырьков окиси углерода. При снижении температуры заливки такие раковины образуются в больших сечениях отливок, количество их уменьшается, а размеры увеличиваются. Повышению концентрации водорода в жидком чугуна, а следовательно, увеличению вероятности образования ситовидной пористости, способствуют примеси алюминия, магния, титана и марганца. Во многих случаях решающее влияние на образование ситовидной пористости оказывают именно примеси этих элементов.

В чугунах и сталях образование ситовидной пористости возможно при применении стержневых смесей на синтетических смолах, содержащих азотистые соединения такая пористость сосредоточена обычно в термических узлах отливки. В этом случае объем пористости увеличивается при повышении азота в связующих. Такая пористость называется водородно-азотной.

В ковких чугунах со сравнительно низким содержанием углерода и кремния ситовидная пористость может появиться вследствие образования в ковше жидкотекучего богатого окислами шлака, взаимодействующего с углеродом металла. В результате этих реакций образуется газ CO.

Основной способ предотвращения ситовидной пористости в стальных отливках заключается в раскислении сплава с избытком раскисляющих добавок, достаточных для связывания кислорода, попадающего в сталь в период между выпуском ее из печи и окончанием заполнения формы.

Наиболее часто для окончательного раскисления стали применяют алюминий. Его требуется вводить тем больше, чем выше температура, продолжительность заливки и длительность ее, выдержка перед ней. Оптимальная норма расхода алюминия для фасонных отливок составляет 1,5 кг на 1 т стали. Остаточное содержание его в отливке должно быть 0,04 – 0,06 %. Шихтовые материалы следует использовать сухие и очищенные от ржавчины и следов масла. В некоторых случаях с этой целью шихтовые материалы предварительно прокаливают. Футеровка печи должна быть сухой. Рекомендуется сокращать продолжительность плавки после проведения процесса кипения стали, поскольку в металле снова может повыситься содержание кислорода и водорода, устранять любую возможность проникновения влаги в ванну из системы охлаждения, с мокрыми инструментами и т.д. Проводить тщательное раскисление стали в печи при плавке. Должна быть обеспечена хорошая просушка выпускного желоба ковшей. Следует избегать слишком частых переливов стали из печи в ковши и наоборот. При переливании стали из приемного ковша в разливочный алюминий следует вводить либо в струю металла, либо в разливочный ковш. Не рекомендуется заливка форм сильно перегретой сталью и т.д.

Для исключения образования ситовидной пористости в чугунных отливках прежде всего нужно выявить и устранить источники попадания в чугун алюминия и титана. В чугуне должно быть менее 0,01 – 0,02 % алюминия и титана. Основные источники попадания в чугун алюминия - это металлолом в шихте или применяемый в качестве модификатора в больших количествах ферросилиций, содержащий около 1,0 – 1,5 % алюминия. Титан может попасть в металл из легированных чугунов. Однако при содержании в чугуне более 0,2 % алюминия ситовидной пористости не возникает.

Водород из чугуна можно удалить продувкой его в течение нескольких минут сухим инертным газом, например азотом или аргоном, но использовать этот прием в производственных условиях трудно. Для уменьшения опасности насыщения чугуна водородом и образования ситовидной пористости следует заливать чугун в сухие или подсушенные формы. При массовом производстве количество брака по ситовидной пористости можно уменьшить, вводя в сырые песчано-глинистые формовочные смеси не менее 4% каменноугольной пыли, 1 – 2 % каменноугольного или древесного пека, битума.

Эффективными способами предотвращения ситовидной пористости является также сокращение пути движения жидкого металла в форме за счет уменьшения длины элементов



литниковой системы, введение в состав стержневых смесей на искусственных смолах окислов железа и использование стержневых связующих, не содержащих азота.

УДК 621.745

### **Металлургические особенности получения качественных отливок из высокопрочного и серого чугуна**

Студенты гр. 104318 Демидович Е.Ю., Бобровник А.А.

Научный руководитель – Соболев В.Ф.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Для создания конструкции чугунных отливок, отвечающих всем необходимым требованиям, необходимо знание закономерностей структурообразования чугуна в отливках, склонности к образованию усадочных дефектов (усадочные раковины, напряжения), поскольку эти процессы влияют на свойства чугуна.

Свойства чугуна зависят от факторов, влияющих на зарождение зародышей графита и их последующий рост в процессе затвердевания чугуна. Контроль образования графита дает возможность изготавливать отливки с прогнозируемыми свойствами. На образование графита влияют: химический состав, склонность к переохлаждению и наличие зародышей в расплаве в начальный момент затвердевания чугуна.

Затвердевание чугуна начинается с образования в расплаве кристаллов аустенита, после чего химический состав оставшегося жидкого расплава приближается к эвтектическому. Графит выделяется из эвтектических зерен в период между образованием первичных кристаллов аустенита и затвердеванием расплава эвтектического состава. Количество эвтектических зерен и время их кристаллизации влияют на природу графита в окончательной структуре чугуна.

Степень переохлаждения жидкого чугуна в литейной форме характеризует подавление процесса выделения графита, в связи с чем его включения в микроструктуре будут мелкими и расположенными между дендритами. Такую микроструктуру чугуна называют переохлажденной.

Отсутствие в чугуне зародышей графита также способствует получению микроструктуры переохлажденного чугуна с пониженным углеродным эквивалентом. Преднамеренный ввод зародышей в жидкий чугун (модифицирование) позволяет воздействовать на процесс образования графита. Причем воздействие графитизирующего модифицирования будет максимальным на тот чугун, в котором после выплавки наблюдается минимальное количество центров графитизации.

Отмечается, что наличие зародышей графита в жидком чугуне зависит от применяемого для выплавки чугуна плавильного агрегата. При этом особенно обращается внимание на графит, который является огнеупорным материалом и попадает в плавильную печь в составе чушкового чугуна, содержащего высокий процент углерода. Если в процессе плавки графит не полностью растворился в расплаве, что реально для высокоуглеродистого сплава, то его мелкие частицы и будут центрами графитизации. При плавке в вагранке вероятность полного растворения графита в металле очень мала, т.к. расплавленный чугун находится в зоне высоких температур вагранки в течении короткого промежутка времени; могут быть центры графитизации и другого рода: силикаты, которые образуются в окислительной зоне, сульфиды марганца, а также включения шлака. Количество центров графитизации в ваграночном жидком чугуне зависит от общего содержания углерода в металлозавалке (а следовательно, и в расплаве) и может регулироваться долей стальных отходов в шихте.

Свойства чугуна, выплавляемого в электропечи, отличаются от свойств ваграночного чугуна, что объясняется возможностью перегрева расплава до более высоких температур, а также длительной выдержкой его при этих температурах.

При плавке же в электропечи даже высокое содержание углерода в металлозавалке может быть полностью растворено в расплаве в процессе плавки, поскольку для полного растворения углерода в расплаве может быть достигнута высокая температура перегрева расплава и длительная выдержка его при этой температуре. Но способность растворять углерод в расплаве зависит от типа электропечи. Дуговая электропечь обладает способностью местного высокого перегрева (в зоне электродов) при ограниченном перемешивании расплава в ванне печи. В индукционных электропечах расплав подвержен эффективному электромагнитному перемешиванию, в результате чего происходит быстрое растворение углерода. В электропечах канального типа также ограничено перемешивание расплава, в результате перегрев его идет в замедленном темпе.

Для получения более полного эффекта модифицирования температура перегрева расплава должна быть в диапазоне 1450 – 1500 °С и несколько выше, в связи с чем необходима хорошая организация контроля за температурой расплава.

Степень растворения углерода в расплаве особенно важна при производстве высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

Отмечается, что при низкой температуре перегрева в микроструктуре наблюдаются грубые включения графита, которые отсутствуют в чугуне с высоким перегревом; заметно улучшение шаровидной формы включений графита одновременно с их измельчением. Это особенно относится к заэфективному чугуну, включения графита в котором имеют форму вырожденных глобулей.

При плавке чугуна в вагранке насыщение его углеродом происходит из раскаленного кокса при стекании капель расплава из плавильной зоны в горн. Пригар углерода при этом зависит от конструктивных параметров вагранки, размеров кусков кокса и его качества, а также от основности шлака. Поскольку одновременное обеспечение всех этих параметров затруднено, контроль содержания углерода в расплаве осуществляется обычно за счет его варьирования в металлозавалке.

При плавке в электропечах увеличение содержания углерода в чугуне производится за счет ввода в расплав электродного боя или графита непосредственно в ванну печи. Здесь степень насыщения расплава углеродом зависит от температуры перегрева расплава и времени науглероживания, а также интенсивности перемешивания жидкого металла. Эти закономерности справедливы и для случая науглероживания расплава высокоуглеродистыми металлическими компонентами шихты.

Очень важно, в какой момент вводится карбюризатор: если он вводится слишком поздно, то графит будет являться центром графитизации. В чугуне ваграночной плавки количество графита в микроструктуре регулируется содержанием общего углерода с помощью металлозавалки, а в чугуне электропечной плавки количество графита контролируется путем варьирования температуры перегрева расплава. При кристаллизации в литейной форме отливки шаровидной формы отвод тепла от жидкого металла в формы идет снаружи, и, таким образом, в центре отливки металл затвердевает в последнюю очередь. Если в эту зону нет притока жидкого металла из специально устанавливаемой прибыли, то здесь будет образовываться усадочная раковина или усадочная пористость.

Важно предупреждать образование в микроструктуре чугуна отливок структур переохладения, содержащих, в частности, графит с ориентированным расположением в междендритном пространстве. Такой чугун имеет пониженные прочностные характеристики. Повышенными прочностными характеристиками обладает серый чугун, содержащий в микроструктуре однородный по размерам равномерно распределенный по всему сечению стенки отливки графит, причем расположенный беспорядочно. Важными факторами для получения такой структуры является правильно подобранный химический состав чугуна и процесс внепечной обработки жидкого чугуна (модифицирование).

Студенты гр.104318 Брагинец Д.А., гр. 10404112 Воронин Р.И.  
Научный руководитель – Крутилин А.Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г.Минск

Одной из наиболее важных проблем литейного производства является повышение эксплуатационных свойств литых заготовок, уменьшение их металлоемкости, при повышении производительности труда и улучшении культуры производства. Эти задачи можно успешно решить при широком использовании специальных методов литья, и в первую очередь кокильного литья. Усовершенствование и дальнейшее развитие кокильного литья является важной задачей на пути подъема технического уровня производства литых заготовок. Вместе с тем, наряду с известными преимуществами, благодаря которым применение кокильного литья с каждым годом увеличивается, имеются и серьезные недостатки, ограничивающие широкое применение способа на предприятиях. Основной сдерживающей причиной является большая скорость затвердевания металла и как следствие этого – образование поверхностного отбела на отливках. Отливки подвергаются высокотемпературному отжигу, ухудшающему их физико-механические свойства и удорожающие их производство. Наряду с этим дефектом очень часто отливки имеют дефекты усадочного происхождения.

Современные системы моделирования литейных процессов, такие как ProCast, Полигон, MagmaSoft, LVM Flow и др. позволяют на предварительном этапе, при изготовлении кокильной оснастки, провести анализ вероятности образования пористости в различных частях отливки. Используя различные антипригарные, теплозащитные покрытия провести моделирование процесса затвердевания и в конечном варианте определить технологические параметры процесса, такие как температуру перегрева металла и предварительного нагрева кокильной оснастки и их влияние на процесс структурообразования, в зависимости от химического состава используемого чугуна.

Представляет значительный интерес вопрос стойкости оснастки. На предварительном этапе возможно проведение детального анализа влияния геометрической конфигурации кокиля на процессы коробления кокильной оснастки при термоциклическом нагружении. Обычно кокили изготавливают из чугуна или стали. Наибольшую эксплуатационную стойкость имеют кокили, изготовленные из чугуна с вермикулярной формой графита ЧВГ30. Он должен иметь ферритную структуру, так как при заливке формы жидким металлом и её нагреве в чугуне могут протекать структурные превращения (распад цементита входящего в состав перлита) и связанное с этим коробление формы. Примерный состав такого чугуна: 3,4 – 3,6 % С, 2,2 – 2,6 % Si, 0,2 – 0,5 % Mn, до 0,1 % P, до 0,1 % S. Вполне оправданным является изготовление небольших по размерам кокилей из чугуна СЧ 15, СЧ 18, сталей 15Л, 30Л, 40Л, 15ХМЛ. Совершенно очевидно, что данную работу необходимо проводить на предварительном этапе индивидуально для каждой отливки.

В зависимости от конфигурации отливок и качественных требований к ним, кокили выполняют неразъемными (вытряхными) и разъемными. Вытряхные кокили, по сравнению с другими наиболее просты по конструкции, их легче изготовить и поэтому их широко применяют для производства несложных по форме отливок из любых сплавов. Разъемные кокили имеют вертикальный, горизонтальный и реже криволинейный и створчатый разъемы. Кокили с вертикальным разъемом наиболее часто используют при работе на механизированных одно- и многопозиционных машинах, а также на станках с ручным приводом. Кокили с несколькими разъемами устанавливают на ручные кокильные станки,

используемые в основном для: производства мелких по массе отливок из цветных сплавов, и реже на механизированные кокильные машины.

При разработке конструкций литниковой системы для получения отливок из различных сплавов следует руководствоваться известными данными построения литниковых систем для данного сплава. Однако, вследствие быстрого охлаждения расплава в кокиле, площадь сечения питателей берут на 25 – 30 % больше, чем для песчаных форм. Длина литниковых каналов должна быть по возможности меньшей, в них не допускаются острые углы, повороты или резкие изменения сечений, т.е. тепловые и гидравлические потери должны быть минимальны. Для литья в кокиль алюминиевых сплавов применяют расширяющуюся литниковую систему.

Данная работа посвящена разработке типовой отливки «Дно» из сплава АК9ч литьём в кокиль. На основании математического моделирования технологического процесса разработана оптимальная конструкция кокиля, которая позволяет получать минимальный объем пористости.

УДК 621.74.043

### **Технологический процесс литья заготовок по газифицированным моделям**

Студентки гр.104318 Тихомирова И.Ю., гр.10404112 Русакевич А.В.  
Научный руководитель – Крутилин А.Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г.Минск

При разработке литейной технологии очень важно выбрать наиболее рациональный способ получения отливки, обеспечивающий необходимые эксплуатационные свойства литых деталей и высокие технико-экономические показатели производства: получение качественных отливок при минимальной их стоимости, высокая производительность, максимальное использование имеющегося оборудования.

Среди основных задач литейного производства необходимо отметить повышение производительности труда на основе создания и внедрения нового высокопроизводительного оборудования, комплексной механизации и автоматизации производственных процессов и систем управления.

Одним из наиболее экономичных и высокопроизводительных способов является литье по газифицируемым моделям с использованием вакуумирования формы. Способ позволяет получать заготовки из различных металлов и сплавов высокого качества с наибольшим приближением их размеров к размерам готовых деталей для сокращения объема механической обработки.

Важным является то, что существенно упрощается трудоемкий процесс изготовления разовой формы – модель устанавливается на литейный конвейер и засыпается кварцевым песком без связующего. Литье по газифицируемым моделям следует отнести к малоотходным технологическим процессам, улучшающим условия труда в литейных цехах и уменьшающих вредное воздействие на окружающую среду.

Благодаря своим преимуществам литье по газифицируемым моделям получает все более широкое распространение при выпуске изделий массового производства.

Реализация данного процесса на УП «Идея» позволила производить отливки различной сложности из чугунов и сталей, цветных металлов и сплавов. Технологический процесс включает операции изготовления, сборки, окраски пенополистироловых моделей, формовки, заливки, удаления отливок, охлаждения отливок. Для получения отливок по номенклатуре цеха используется технология литья по газифицируемым моделям в вакуумируемых формах.

Эту развивающуюся технологию можно отнести к группе способов получения отливок в разовых неразъемных литейных формах из дисперсных материалов.

Отсутствие разъема формы, использование для изготовления моделей материалов, позволяющих не разбирать форму для их удаления, высокая огнеупорность материалов формы, нагрев ее перед заливкой – все это способствует улучшению заполняемости, дает возможность получать отливки сложнейшей конфигурации, максимально приближенной или соответствующей конфигурации готовой детали.

Одними из основных недостатков способа литья по газифицируемым моделям являются безвозвратные потери материала разовой модели и выделение токсичных продуктов термодеструкции модели, что требует проведения соответствующих защитных мероприятий. Качество модели служит определяющим фактором качества отливки, точности размеров, шероховатости поверхности, выхода. Основным критерием при выборе модельного оборудования является серийность отливок.

Единичные отливки любых габаритов и конфигураций выгоднее изготавливать поэлементно из блочного полистирола и склеивать в целую модель. Для предприятий с выпуском большой номенклатуры отливок малой серийности предпочтительнее изготавливать модели автоклавным способом, а с выпуском крупносерийных отливок – на пресс-автоматах, хотя пресс-формы для них стоят на порядок выше пресс-форм для автоклавного спекания и стоимость автоматов намного выше.

Для производства моделей используется пенополистирол марки D833B, представляющий собой сферические частицы полистирола, содержащие вспенивающий агент – пентан.

Процесс изготовления моделей в пресс-формах автоклавным методом заключается в повторном нагреве подвспененных и активированных гранул полистирола, помещенных в пресс-форму, в автоклаве, в результате которого они окончательно вспениваются и спекаются между собой, образуя пенополистироловую модель отливки.

С использованием современных систем моделирования литейных процессов разработан технологический процесс отливки “Корпус” из чугуна СЧ20, массой 1,6 кг, количество отливок в форме – 8.

В ходе проделанной работы был проведен маркетинговый поиск оборудования для участка литья по выжигаемым моделям, в результате чего были подобраны наиболее выгодные производству варианты, а именно, базовая линия и сопутствующее оборудование были заменены на более производительные и современные, что позволило сократить издержки производства и повысить рентабельность предприятия. Было предложено более экономичное, по энергопотреблению, новейшее оборудование, а также ресурсосберегающие усовершенствованные технологические процессы изготовления отливок на базе опыта отечественных и зарубежных предприятий.

УДК 621.74

### **Некоторые особенности технологии изготовления стальной дробы**

Студент гр. 304317 Бурнос П.Г.

Научный руководитель – Одиночко В.Ф.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Для качественной и быстрой очистки отливок, и различных металлических изделий от окалина после термообработки в середине прошлого века была разработана технология обработки изделий стальной дробью. Наличие пригара, кварцевых включений, окалина затрудняет механическую обработку, притупляет режущий инструмент, а абразивная пыль способствует износу поверхностей трения металлорежущих станков. Кроме того, неровные,

шероховатые, с пригаром и окалиной поверхности портят товарный вид отливок и изделий, и отрицательно влияют на их эксплуатационные свойства, снижая теплопроводность, увеличивая гидравлические потери и способствуя засорению мелких каналов в гидравлических и пневматических машинах, изготовленных из литых, кованных и термообработанных деталей.

Различают обработку дробеструйную и дробемётную. При дробеструйной обработке кинетическая энергия дроби передается от сжатого воздуха, давление которого может достигать до 2 Мпа. При дробемётной обработке используют специальные турбины – дробеметы.

Дробемётная (дробеструйная) обработка является механическим процессом, в результате применения которого в замкнутом пространстве не производится никаких жидких отходов, следовательно, нет никакой опасности загрязнения окружающей среды. Металлические гранулы используются многократно, и впоследствии проходят вторичную переработку.

Дробь должна иметь твёрдую поверхность и вязкую сердцевину однородной микроструктуры, препятствующая хрупкому разрушению дроби и повышающую её ударостойкость.

Для производства стальной дроби используют специальное оборудование (рисунок 1).

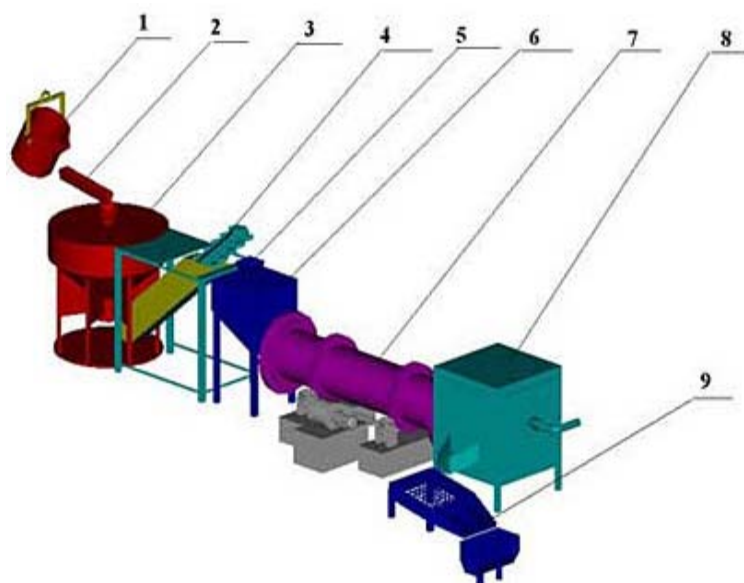


Рисунок 1 – Комплекс оборудования для производства стальной и чугунной дроби:

1 – ковш; 2 – желоб; 3 – дробелитейная машина; 4 – наклонный элеватор;  
5 – приемная воронка; 6 – бункер; 7 – барабанная печь; 8 – печь; 9 – грохот для отсева дроби

После разливки стальная дробь подвергается закалке на мартенсит (870 – 900 °С). Затем с целью придания вязкости сердцевине производится отпуск (350 – 400 °С). При таких условиях нагрева усиливается диффузионный процесс и происходит образование более крупных зерен феррита и цементита, сопровождающееся дальнейшим снижением плотности дислокаций и устранением остаточных напряжений. Получающийся таким путём продукт распада мартенсита, называемый сорбитом отпуска, обладает максимальной для стали вязкостью, сочетающейся с удовлетворительными показателями прочности.

Варьируя тремя параметрами дроби: размер, форма и твердость, можно подобрать нужный вид дроби для решения любых технологических проблем, Гранулы дроби должны иметь такой размер и массу, чтобы обладать достаточной энергией для удаления всех загрязнений очищаемой поверхности или ее упрочения. Дробь должна быть максимально мелкой, потому что чем больше частиц на килограмм продукта, тем выше скорость очистки. Выбор формы и твердости дроби зависит от выполняемого процесса, технологических и

конструктивных особенностей обрабатываемых металлических поверхностей или конструкций, от вида и технического состояния используемого оборудования.  
УДК 621.745

### **Основные направления реконструкции ОАО МЗОО**

Студенты гр. 304326 Красняков П.Г., Борис Е.Н.  
Научный руководитель – Одиночко В.Ф.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

ОАО «Минский завод отопительного оборудования» является предприятием с развитым чугунолитейным и механосборочным производством. В цехе радиаторов производятся отопительные радиаторы, а в цехе котлов промышленные и бытовые отопительные котлы.

Целью реконструкции цеха радиаторов является рост объемов выпуска отопительных радиаторов до 10000000 в год. В цехе радиаторов в настоящее время используются оборудование и технология изготовления отливок радиаторов, которое физически и морально устарело и не обеспечивают необходимого качества продукции по точности отливок и качеству поверхности. Необходимо отметить также и высокий уровень износа машин и механизмов.

Стратегия развития цеха радиаторов предусматривает коренную реконструкцию литейного цеха радиаторов с установкой опочной автоматической формовочной линии SG 799 01 фирмы «Savelli» производительностью до 300 полных форм/час. В составе линии: формовочный автомат с системой уплотнения форм Formimpress, станция автоматической замены моделей, автоматические устройства расстановки стержней, участок охлаждения отливок в кожухах (стальных коробах), пластинчатые конвейеры для транспортировки горячих и тяжелых деталей, вибрационное выбивное оборудование.

Особенность технологии Formimpress заключается в том, что уплотнение формовочной смеси осуществляется прессованием в две стадии, с обеих сторон формы. Операции уплотнения формы предшествуют этапы заполнения опоки смесью: происходит дозировка необходимого количества формовочной смеси во взвешивающем бункере-дозаторе формовочного автомата, далее при открытии задвижки формовочная смесь попадает в опоку. Многоплунжерная прессовая головка подводится сверху опоки, при этом происходит выравнивание смеси. Вначале следует предварительное нижнее уплотнение, причем в отличие от классических систем уплотнения прессованием, наполнительная рамка в данном случае находится между подмодельной плитой и опокой. Подмодельная плита подвижна относительно наполнительной рамки и при ее подъеме вверх уплотнение формы начинается со стороны модели. На данном этапе уплотнения формовочная смесь достаточно подвижна и при уплотнении формы снизу вверх в первую очередь происходит превосходное распределение формовочной смеси по всему контуру модели: смесь заполняет мельчайшие пустоты и углубления вокруг модели, обеспечивая превосходное качество отпечатка. Второй этап уплотнения осуществляется с помощью многоплунжерной прессовой головки (верхнее прессование), при этом достигаются усилия прессования до  $15 \text{ кг/см}^2$ . Стол формовочного автомата с держателем модельной плиты и опокой опускается вниз, отделение формы и модели при этом осуществляется за счет подъема рамки. Готовая полуформа транспортируется на следующую позицию, а в формовочный автомат подается следующая пустая опока.

Использование системы Formimpress имеет следующие преимущества:

1) максимальная прочность формы и высокое качество отпечатка достигается вблизи модели, в то время как, как плотность смеси к верхней части формы снижается, обеспечивая форме отличную газопроницаемость;

2) высокое качество отпечатка обеспечивает высокое качество поверхности отливок;

3) процессы изготовления формы характеризуются низким уровнем шума.

Отдельно необходимо отметить еще одно крайне важное преимущество технологии формовки Formimpress, а именно – нет необходимости использовать сжатый воздух для уплотнения формы. Помимо снижения потребления энергии, значительно упрощается конструкция модельной оснастки по сравнению с оснасткой основных конкурентов, так как нет необходимости в применении вент и воздушных каналов. Уменьшается абразивный износ модельной оснастки. Не требуются компрессорные станции и системы осушки воздуха (традиционно большой вопрос отечественных производств), требуется меньше обслуживания и запчастей. При производстве небольших серий форм, технология Formimpress обеспечивает возможность применения пластмассовых и деревянных моделей, что значительно снижает себестоимость продукции.

Выбор автоматической формовочной линии «Savelli» обоснован опытом эксплуатации подобного оборудования на предприятиях Италии выпускающих чугунные отопительные радиаторы. Предполагается, что при использовании линии, в одной форме будет заливаться по четыре или шесть отливок. 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 и существенно улучшит условия труда рабочих.

Целью реконструкции цеха котлов является обеспечение необходимого качества продукции по точности, качеству поверхности и снижению брака отливок по газовой пористости. Кроме того, актуальным вопросом является сокращение выбросов вредных веществ в атмосферу и улучшение условия труда рабочих. Для реализации указанных целей предлагается использование вагранок закрытого типа, внедрение современных автоматизированных пескометов и смесеприготовительного оборудования, а также внедрение технологического процесса изготовления стержней по термошок-процессу.

УДК 378.148

### **Использование программ AutoPlay Media Studio и Mindjet MindManager для создания мультимедийных презентаций**

Студенты гр. 10404112 Сосковец А.А., гр. 10404212 Буйневич Ф.А.

Научный руководитель – Одинокко В.Ф.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Программа AutoPlay Media Studio имеет широкие возможности и богатый набор инструментов для разработки мультимедийных проектов. На страницах проекта можно размещать объекты, которые могут представлять собой графику, музыку, текст, видео, Flash, HTML и пр. Любому элементу можно назначить определенное действие. Например, при наведении на рисунок указателя мыши, может возникать текст с комментариями, при нажатии на кнопку "Play" начнет проигрываться фильм и т.д. Программа предоставляет сотни различных действий, которые можно связать с объектами. В AutoPlay Media Studio присутствует большое количество уже готовых шаблонов. Использовать программу можно для разработки интерактивного обучающего софта или мультимедийной презентации курсовых и дипломных проектов. С помощью программы AutoPlay Media Studio можно включить в проект музыку, видео, flash-анимацию, текст и назначить определенное действие любому элементу проекта.

Расширить возможности AutoPlay Media Studio можно также используя дополнительные модули – плагины, с помощью которых можно быстро создавать анимированные меню, дерево каталогов и базу данных.



Работа по созданию проекта начинается с выбора шаблона проекта и создания страниц проекта. В качестве фона страниц может быть выбрана картинка, выполненная в любом графическом редакторе. Каждой странице можно добавить метки, заголовки, кнопки и другие элементы управления, а также описания к ним. Страницы, кнопки и другие элементы управления можно копировать, перетаскивать, вырезать и удалять. Созданные на первой странице кнопки предназначены для открытия других страниц проекта. На каждой странице проекта, кроме первой, должна быть кнопка для возврата на первую страницу. Остальным кнопкам на страницах назначают функции открытия документов, которые включены в проект.

Готовый проект, может быть, подвергнут предварительному просмотру и затем сохранен в виде самораспаковывающегося архива отдельной папкой на жёстком диске или записан на компакт-диске прямо из программы AutoPlay Media Studio 8.0.

Идея применения интеллект-карт для работы с информацией была предложена в начале 70-х годов прошлого века английским психологом Тони Бьюзенем.

Карты памяти представляли собой диаграмму, в центре которой находится главный элемент, олицетворяющий собой ключевую идею или концепцию и вначале рисовались на бумаге. Главный элемент соединялся линиями с другими элементами, поясняющими и детализирующими его. Таким образом карта памяти – это графическое выражение процесса радиантного мышления и поэтому является естественным продуктом деятельности человеческого мозга.

Работа над картами памяти стала по-настоящему удобной с появлением программы Mindjet MindManager.

Mindjet MindManager не только поддерживает классический подход к созданию ментальных карт, но и существенно расширяет его, так как позволяет систематизировать, анализировать или запоминать большой объем информации, используя эффективные средства визуализации.

Программа предоставляет удобные возможности создания и редактирования ментальных карт, а также автоматически подбирает наиболее удобное расположение ветвей, в случае неверно выбранного уровня иерархии, соответствующую ветвь можно перетащить на требуемый уровень.

К узлам структуры можно привязать гиперссылки на текстовые документы, таблицы, интернет-сайты, на другие карты и объекты.

MindManager имеет собственную графическую библиотеку, что дает возможность вставлять в ментальную карту визуальные образы: рисунки, маркеры, символы расстановки приоритетов и актуальности информации.

Подготовленные в программе ментальные карты можно экспортировать в формат HTML и PDF, архивировать и экспортировать как изображение, экспортировать в MS PowerPoint и MS Word. Созданную карту можно использовать как органайзер и фиксировать непосредственно на карте ход реализации проекта (сроки, процент исполнения).

Инструментарий MindManager позволяет построить сетевую структуру достаточно оперативно. Изменение подобной карты происходит посредством простого «перетаскивания» узлов. Среди преимуществ карт памяти следует отметить легкость восприятия и запоминания информации, экономию времени на поиск в тексте ключевых слов, развитие у человека системного мышления и т.д. Техника карт памяти доказала свою эффективность в случаях, когда возникает необходимость в структурировании больших объёмов информации с целью упрощения дальнейшей работы с ней (например, при проведении мозговых штурмов). В образовании интеллект-карты могут быть использованы, например, в работе научного руководителя и студента над текстами курсовых и дипломных работ, при проведении экзаменов и т.д.

УДК 621.745

## Результаты начальных экспериментов о возможности механической регенерации песка из отвальных жидкостекольных смесей

Студент гр. 104319 Дингилевский С.П.  
Научный консультант – Гуминский Ю.Ю.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Цель работы: проверка возможности центробежно-ударной технологии для регенерации формовочного песка из отвальных смесей.

Подготовка к проведению исследований. Отработанная жидкостекольная смесь по  $\text{CO}_2$  была предоставлена Минским Заводом Автоматических Линий (МЗАЛ). Эта смесь имела различные фракции от песчаной россыпи до агломератов 10мм в диаметре и больше. Так же в составах смесей находились различные примеси в виде металлических брызг, частей литниковой системы и т.д.

Процессы регенерации жидкостекольных смесей исследовались на опытно-промышленной установке по обогащению кварцевого песка, разработанной на НПО «Центр». Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

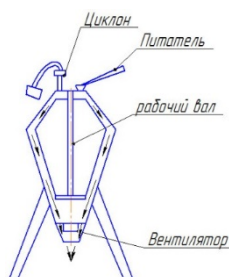


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Кварцевый песок (смесь) подается через питатель и попадает в оттирочную камеру, где на валу вращается рабочий орган. Снизу в оттирочную камеру вентилятором подается воздушная смесь, при помощи которой пылевидная фракция увлекается вверх и оседает в циклоне и затем попадает в бункер отходов (на схеме не показан).

Обогащенный кварцевый песок под тяжестью собственного веса падает в накопительный бункер.

При работе на установке есть возможность регулировать основные параметры, такие как мощность вентилятора, количество оборотов рабочего органа и производительность питателя.

Методика и процесс проведения эксперимента. Так как питатель установки предназначен для материалов фракции до 10 x 10 мм, отработанные жидкостекольные смеси дробились и просеивались на сите с ячейками 10 x 10 мм. При этом удалялись металлические включения и мусор.

Было проведено 3 опыта.

1) В первом опыте параметры установки выставили на оптимальный уровень, который был выявлен ранее при проведении экспериментов по обогащению кварцевого песка: вентилятор – 1400,00 об\мин, дробилка – 1000,00 об\мин, питатель – 1450,00 кг\час.

Смесь подавалась через питатель после чего включалась дробилка и приблизительно через 4 – 5 секунд вся смесь ссыпалась в накопительный бункер. В результате был получен регенерат № 1. Было видно, что регенерат № 1 светлее исходной отработанной смеси, но

включает значительное количество измельченных песчинок кварца. Так же некоторые конгломераты остались неразрушенными и имели размер ориентировочно 1 – 3 мм.

2) В связи с тем, что в результате первого опыта кварцевый песок дробился, было решено убавить обороты дробилки. Второй опыт проводился на следующих режимах: вентилятор – 1400,00 об\мин, дробилка – 800,00 об\мин, питатель – 1450,00 кг\час.

В результате был получен регенерат № 2. Визуально было видно, что регенерат № 2 светлее отработанной смеси, но более темный чем регенерат № 1. Измельчение песчинок кварца «невооруженным глазом» замечено не было. Так же некоторые конгломераты остались неразрушенными и были размером приблизительно 2 – 4 мм. Их количество было больше, чем в регенерате № 1. Размер их также превышал размер агломератов в регенерате № 1.

3) Так как во втором опыте уже не происходило измельчение зерна, то мощность дробилки решили оставить на том же уровне. Однако увеличились конгломераты. Поэтому было решено увеличить мощность вентилятора, чтобы смесь как можно дольше находилась в процессе оттирки. Третий опыт проводился на следующих режимах: вентилятор – 1600,00 об\мин, дробилка – 800,00 об\мин, питатель – 1450,00 кг\час.

В этот раз смесь в режиме оттирки находилась 5 – 7 секунд. В результате был получен регенерат № 3. Он был практически такой же светлый, как и регенерат № 1, но измельчение кварцевого зерна уже не наблюдалось. Однако некоторые конгломераты так и остались неразрушенными и были размером порядка 2 – 3 мм. Но количество их было значительно меньше, чем в регенерате № 2.

Исследование технологических свойств смесей с добавлением регенерата. Для определения качества полученного регенерата было принято решения об изготовлении образцов из формовочных жидкостекольных смесей отверждаемых углекислым газом и исследовании их технологических свойств, таких как прочность при растяжении, осыпаемость, газопроницаемость. Свойства смесей содержащих регенерат сравнивали со свойствами смеси, в качестве наполнителя имеющие только чистый кварцевый песок. Составы смесей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Составы смесей содержащих регенерат

Номер эксперимента	1	2	3	4	5	6	7
Компонент							
Кварцевый песок, %	100	75	50	75	50	75	50
Регенерат, %	0	25 (регенерат № 1)	50 (регенерат № 1)	25 (регенерат № 2)	50 (регенерат № 2)	25 (регенерат № 3)	50 (регенерат № 3)
Жидкое стекло, %	6	6	6	6	6	6	6
Давление CO <sub>2</sub> , МПа	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Время продувки CO <sub>2</sub> , с	15	15	15	15	15	15	15

Для более наглядного представления, для каждого свойства были построены диаграммы.

Показатели прочности при растяжении, газопроницаемость и осыпаемость образцов смеси представлены на рисунке 2.

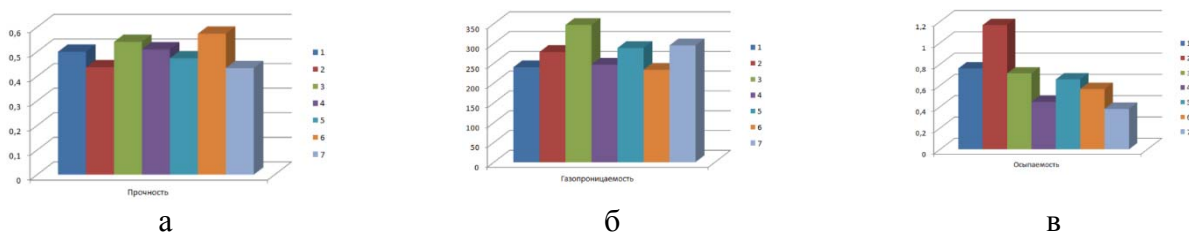


Рисунок 2 – Показатели: а) прочности при растяжении; б) газопроницаемости; в) осыпаемости

Заключение. При регенерации песка из отработанной жидкостекольной смеси на опытно-промышленной центробежно-оттирочной установке наблюдается процесс удаления связующего, о чем можно судить при наличии большого количества пылевидной фракции.

Очевидно, что для оптимизации процесса регенерации целесообразно разработать методику, провести серию экспериментов для уточнения режимов обработки. Возможно, следует провести конструкторскую коррекцию рабочего органа установки.

УДК 669.252

### **Исследование условий эксплуатации вкладышей подшипников торфобрикетных прессов с целью оптимального выбора типа антифрикционного сплава**

Студент гр. 104318 Мойсейчик Д.А.

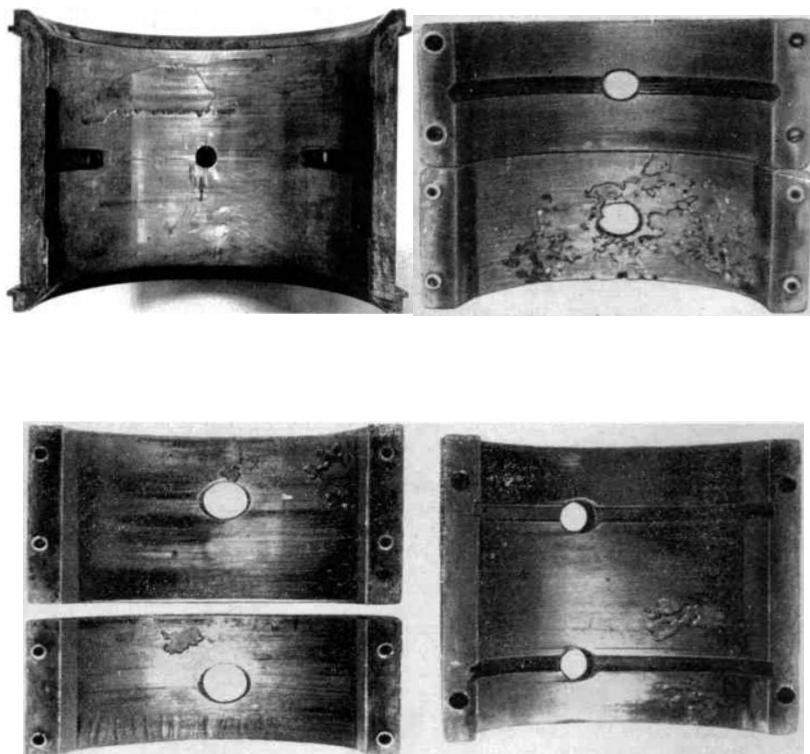
Научный руководитель – Рудницкий Ф.И.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

На торфоперерабатывающих предприятиях концерна "Белтопгаз" эксплуатируется около 130 торфобрикетных прессов типа Б8232, выпущенных Рязанским АО "Пресс" (Россия).

Наиболее нагруженным узлом торфобрикетного пресса является кривошипно-шатунный механизм, в котором в паре "коленчатый вал-шатун" используются бронзовые разъемные вкладыши, испытывающие циклические ударные нагрузки до 160 тонн с периодичностью 70 ударов штемпера в минуту и подвергающиеся износу и регулярной замене.

Подшипники скольжения шатунных вкладышей торфобрикетных прессов в процессе эксплуатации испытывают трение скольжения между валом и антифрикционным материалом. Основными видами повреждений при эксплуатации являются изнашивание, заедание, усталостное разрушение поверхности трения (рисунок 1). Для повышения долговечности необходимо обеспечение жидкостного трения, увеличение жесткости опоры, высокая точность изготовления цапфы, нанесение покрытий для улучшения приработки.



## Рисунок 1 – Виды повреждений вкладышей подшипников

Многочисленные исследования показали, что из всех перечисленных факторов основное влияние на износостойкость металлов и сплавов оказывает их структура. Остальные факторы либо способствуют образованию определенной структуры (химический состав, термическая обработка), либо сами зависят от нее (механические свойства).

В жестких условиях эксплуатации подшипников трения скольжением огромное значение имеет правильный подбор материалов для трущихся пар и их структуры. В связи с тем, что заменить вкладыш значительно проще, чем вал, а изнашивание металла неизбежно, то предпочтительнее, чтобы изнашивался вкладыш, а не вал. Поэтому валы изготавливаются из более твердых материалов, применяя закаленные, цементованные или азотированные специальные стали.

Для вкладышей используют более мягкие, пластичные материалы, способные прирабатываться к валу в случаях несоответствия форм трущихся поверхностей. Хорошую прирабатываемость могут обеспечить пластичные материалы с твердостью ниже 25 – 30 НВ – свинец, олово, кадмий, алюминий. Однако в паре трения свинец, олово и алюминий имеют высокий коэффициент трения и значительно разогреваются, вплоть до оплавления и не выдерживают высоких давлений на подшипник. Следовательно, для обеспечения удовлетворительной эксплуатационной стойкости в первую очередь необходимо снизить коэффициент трения. Это достигается применением более твердых материалов, которые в свою очередь не способны прирабатываться к валу.

В связи с изложенным, для совершенствования структуры и повышения эксплуатационных свойств шатунных подшипников скольжения торфобрикетных прессов необходимо одновременно снизить коэффициент трения материала (повысить твердость) и обеспечить его прирабатываемость (сохранить пластичность). Это сочетание противоположных свойств возможно лишь в случаях применения двухфазных, трехфазных или многофазных сплавов. В таких сплавах одни фазы или структурные составляющие могут обладать относительно высокой твердостью с целью обеспечения высокого коэффициента трения, другие - быть мягкими и пластичными для обеспечения прирабатываемости. С целью обеспечения высоких антифрикционных свойств желательно, чтобы твердые кристаллы не соприкасались непосредственно друг с другом, а располагались изолированно, то есть объем их был сравнительно невелик.

Следовательно, при выборе материала для изготовления шатунных вкладышей, необходимо учитывать коэффициент трения (преимущественно 0,004...0,10 при трении со смазкой и 0,12...0,20 при трении без смазки). Они должны обладать значительной износостойкостью, хорошей прирабатываемостью, достаточными механической прочностью и пластичностью, коррозионной стойкостью, отсутствием схватывания. Эти материалы должны в небольшой степени изнашивать сопряженные с ними поверхности.

В результате проведенного анализа условий эксплуатации шатунных вкладышей торфобрикетных прессов установлено, что антифрикционные сплавы на основе цинка, учитывая их невысокую стоимость, могут быть успешно использованы в качестве базовых материалов для замены бронз. Необходимым условием их успешного применения является проведение исследований для совершенствования их структуры и химического состава применительно к конкретным условиям.

### Литература

1. Рудницкий Ф.И., Курбатов М.И. Перспективы применения цинковых антифрикционных сплавов взамен бронз для изготовления тяжелонагруженных вкладышей подшипников. Журнал Литье и металлургия, Мн., № 2, 2008 г., с. 51 – 55.

## **Возможности электрошлаковых технологий для получения литых инструментальных заготовок**

Студенты гр. 104318 Степутенко А.А., Пархимович Д.В.  
Научный руководитель – Рудницкий Ф.И.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Опыт применения литейных технологий при изготовлении литых заготовок из быстрорежущих сталей позволяет с уверенностью выделить ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами использования проката и поковок:

- возможность использования собственных отходов инструментального производства (стружка, вышедший из строя инструмент, немерные заготовки проката, металлоабразивный шлам);

- экономия металла за счет максимального уменьшения припусков под механическую обработку при использовании точных методов литья (до 90 %);

- повышение стойкости инструмента путем оптимизации химического состава, технологических факторов изготовления на всех этапах от плавки металла до заливки и термической обработки заготовок с максимальным учетом конкретных условий эксплуатации.

В технологии производства литого инструмента и оснастки могут быть задействованы различные методы получения металла:

- индукционный переплав (ИП);
- электрошлаковое кокильное литье (ЭКЛ);
- электрошлаковый переплав (ЭШП);
- электрошлаковый обогрев (ЭШО).

При выплавке металла в индукционных тигельных печах и установках ЭКЛ для получения фасонных инструментальных заготовок имеется возможность использования различных постоянных и разовых форм (металлических, графитовых, керамических и др).

Установки электрошлакового переплава применяются в основном для получения отливок цилиндрической и прямоугольной формы с использованием расходуемых электродов (сварных, кованых или литых).

Механическое оборудование печи электрошлакового переплава (рисунок 1) включает кристаллизатор 2 с кареткой 5, поддон, устанавливаемый обычно на тележке 1, несущую конструкцию 5 для электрододержателя с расходуемым электродом 4, каркас 6 и необходимые механизмы для передвижения расходуемого электрода 7, кристаллизатора 8 и тележки поддона 9. Кроме этого, в комплект печи ЭШП могут входить различные вспомогательные технологические устройства (для заливки и удаления шлака, продувки газами или газопорошковыми смесями, создания инертной или контролируемой атмосферы, присадки легирующих материалов и раскислителей и т. д.).

Кристаллизатор в соответствии с назначением является основным и наиболее ответственным рабочим элементом печи ЭШП, конструкция которого в значительной мере определяет устойчивость процесса формирования слитка, его качество, технико-экономические показатели, надежность и взрывобезопасность работы печи ЭШП.

Кристаллизатор имеет внутреннюю рабочую стенку, формирующую слиток и называемую кокилем и необходимую систему охлаждения с подводящим (напорным) и отводящим (сливным) коллекторами и патрубками.

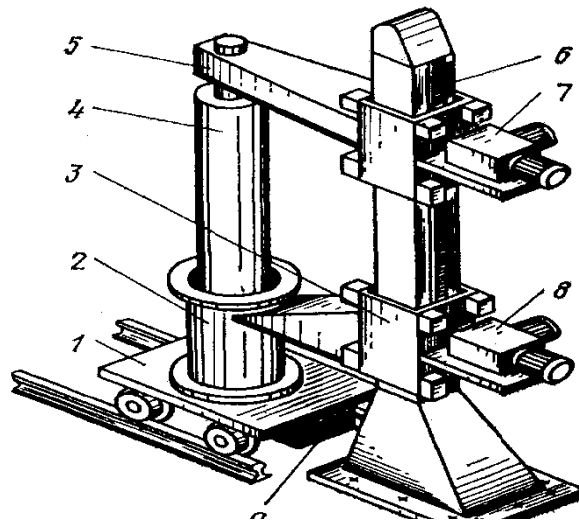


Рисунок 1 – Схема одноэлектродной печи ЭШП

По принципу формирования слитка различают кристаллизаторы-изложницы, короткие подвижные и комбинированные (для фасонных отливок).

Первый тип упрощает конструкцию печи ЭШП, поскольку слиток длиной  $L_c$  наплавляют в неподвижном кристаллизаторе. Для этого длина кокиля равна:

$$L_k = L_c + H_{шл} + \Delta l,$$

где  $\Delta l$ — конструктивный размер для размещения системы охлаждения.

Для получения отливок большей длины используются подвижные кристаллизаторы. В этом случае печи ЭШП оснащаются специальными механизмами перемещения.

Использование в конструкциях водоохлаждаемых кристаллизаторов материалов с высокой теплопроводностью (медь, хромистая бронза) обеспечивает высокую скорость кристаллизации металла, что способствует формированию его мелкозернистой структуры с относительно равномерным распределением первичных карбидов и высоких эксплуатационных свойств инструментального материала.

УДК 669.14.018.252

### **Модифицирование быстрорежущей стали Р6М5Л наноструктурированным диборидом титана**

Студенты гр. 104318 Ермак А.Н., Степутенко А.А.  
 Научные руководители – Рудницкий Ф.И., Николайчик Ю.А.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

В последние годы мировая наука предлагает различным отраслям промышленности, в том числе и металлургии, нанотехнологии и наноматериалы, что позволяет значительно повысить эксплуатационные свойства изделий.

Основываясь на результатах, полученных в предыдущих исследованиях, целью данной работы является попытка улучшения структуры и повышения эксплуатационных свойств быстрорежущих сталей путем введения в расплав наноструктурированного диборида титана. Титан выбран, как один из элементов, наиболее эффективно повышающих ударную вязкость

литой стали, бор использован с целью повышения твердости, теплостойкости и устойчивости против истирания. То есть задачей исследования является повышение, как ударной вязкости, так и износостойкости инструментальной стали.

Диборид титана в наноструктурированном виде вводили в печь с расплавленной сталью методом продувки его через футерованную фурму инертным газом (аргоном) после полного раскисления стали. Твердость образцов определяли непосредственно в литом состоянии, после отжига, закалки и отпуска. Ударную вязкость и износостойкость изучали после полной термической обработки. Микроструктура исследуемых образцов, приведенная на рисунке 1, свидетельствуют о том, что в результате наномодифицирования измельчается первичное зерно, сетка ледебуритной эвтектики разрывается, эвтектика приобретает тонкое строение и располагается в виде изолированных колоний. Эвтектическая составляющая по морфологическому типу скелетообразная, что характерно для борсодержащей быстрорежущей стали. Однако механизм разрушения экспериментальной стали близок к механизму разрушения стали, модифицированной титаном – внутризеренный. На поверхностях разрушения экспериментальной стали, модифицированной наноструктурированным диборидом титана (рисунок 1, б), отсутствуют фасетки скола, присутствующие на фрактограммах борсодержащей стали. Напротив, в поверхностях разрушения наномодифицированной стали преобладает ямочный микрорельеф, что свидетельствует о высокой энергоемкости такого механизма и повышенной ударной вязкости образцов.

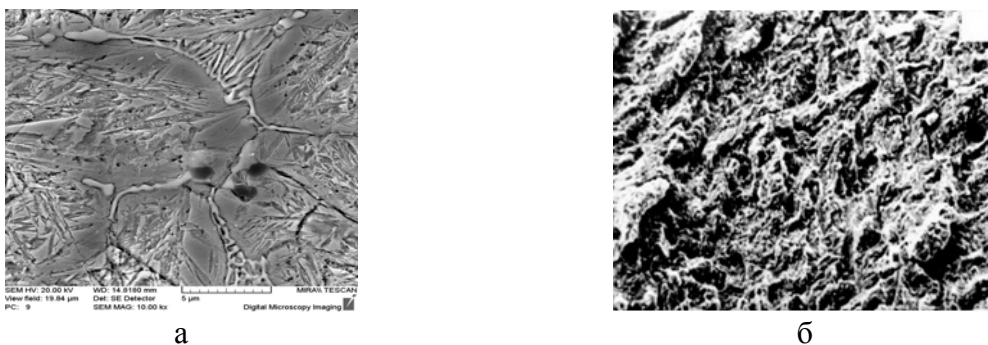


Рисунок 1 – Микроструктура (а) и поверхность разрушения (б) литой быстрорежущей стали Р6М5Л, модифицированной наноструктурированными добавками диборида титана

В результате проведенных исследований установлено, что наномодифицирование быстрорежущей стали сильными карбидообразующими элементами (титаном, бором) в установленных количествах оказывает заметное влияние на морфологию структуры литой быстрорежущей стали, приводит к измельчению зерна (в 1,5 – 2 раза), раздроблению эвтектики, уменьшению количества неметаллических включений (в 1,5 – 2,5 раз) за счет инокулирующего, поверхностно-активного и рафинирующего воздействия и также за счет микролегирующего эффекта – образования карбоборидов, обладающих высокой твердостью. При этом повышается ударная вязкость в 1,2 – 1,3 раза, теплостойкость литой стали на 1 – 1,5 HRC и износостойкость в 1,5 раза.

### Литература

1. Чаус А. С., Рудницкий Ф.И. Влияние модифицирования на структуру и свойства литых вольфрамомолибденовых быстрорежущих сталей. // МиТОМ 1989. №2. С.27-32.
2. Рудницкий Ф.И., Хараев Ю.П. Применение растровой электронной микроскопии и микроанализа для исследования механизма модифицирования быстрорежущих сталей // Тез. докл 3 ей республ. научн.-техн. конф. «Применение электронной микроскопии в науке и технике» 29-30 октября 1991. БелНИНТИ Госплана БССР.- Минск, 1991.- С. 85.



Студент гр. 104318 Занько Д.В.

Научный руководитель – Невар Н.Ф.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В ряде отраслей промышленного производства широко используются литые изделия со специальным набором эксплуатационных характеристик. Так, при разработке твердых пород необходим инструмент или агрегат, способный эффективно работать и при этом активно противостоять абразивному износу, сопряженному с наличием резких знакопеременных нагрузок. В ряде случаев рабочей средой может быть гидроабразивный конгломерат или смесь, воздействующие на агрегат или инструмент с достаточно высокой скоростью. Следует отметить также значительное влияние на выход изделий или деталей из строя и такого фактора, как кавитационное воздействие. Данный вид износа характерен для изделий, эксплуатирующихся в жидких средах различной химической активности и турбулентности. Все это вызвало определенный интерес к разработкам технологий и материалов, с помощью которых можно повысить эксплуатационный ресурс либо изделий, либо отдельных деталей. Для достижения положительных результатов при сложных триботехнических условиях эксплуатации, необходимо решить задачу по определению оптимального технологического процесса, применение которого позволило бы с наибольшей эффективностью решить вопрос по получению таких изделий. Дальнейшее повышение качества отливок связано с разработкой эффективных мероприятий по управлению процессами формирования различных видов неоднородности металла в отливках, причем не только при первичной кристаллизации, но и при перекристаллизации в твердом состоянии, при их термической обработке и последующем охлаждении. Такой комплексный подход необходим в связи с тем, что любое физическое или химическое воздействие на процесс формирования первичной структуры неизбежно будет влиять на формирование вторичной структуры. В общем случае закономерности этого влияния могут не совпадать, т.е. приводить как к положительным, так и отрицательным явлениям. При таком подходе, с применением достаточно широкого спектра имеющихся в настоящее время методов воздействия на микро и макроструктуру отливки, можно получить практически любое по сложности и качеству изделие. Как известно, для решения задачи повышения эксплуатационных характеристик литых изделий, необходимо оказать определенное воздействие как на структуру и соответственно свойства матрицы литого изделия, так и на аналогичные факторы его поверхностного слоя. Исходя из накопленного экспериментального, и полученного в результате производственных испытаний материала, был сделан вывод о необходимости придания структуре матрицы литых изделий, эксплуатирующихся в условиях интенсивного абразивного и гидроабразивного износа, сопряженного с ударным воздействием инвертированного характера, т.е. она должна формироваться согласно принципу Шарпи. А это значит, что в относительно мягкой матрице должны быть равномерно распределены твердые частицы. Такими свойствами обладают литые изделия, имеющие матрицу, в составе которой отмечается наличие эвтектической основы и боридной, карбидной, карбоборидной или иного, более сложного состава, фазы.

При проведении работы в качестве борсодержащего компонента использовался карбид бора. В ходе испытаний износостойкость оценивалась по изменению массы образцов в процессе испытаний. Установлено, что повышение содержания в сплаве бора приводит к увеличению его износостойкости. Данная тенденция особенно заметно проявляется при низких количествах вводимого в расплав элемента – от 1 до 4 %. В этом интервале концентраций бора имеет место наиболее значительные изменения в структуре материала,

характеризующиеся увеличением доли боридных фаз и твердости  $\alpha$ -фазы. При содержании бора 3 – 4 % формируются образцы сплава, имеющие эвтектическое строение с наиболее высоким уровнем износостойкости. С появлением в структуре высокобористого материала наряду с эвтектикой первичных выделений боридов (4 – 5 % бора), повышения износостойкости не наблюдается, а в отдельных случаях в контактных зонах появляются очаги хрупкого выкрашивания, при этом общий уровень износа увеличивается. Т. о., стабильное повышение износостойкости имеет место при содержаниях бора до 4 % в составе высокобористого сплава.

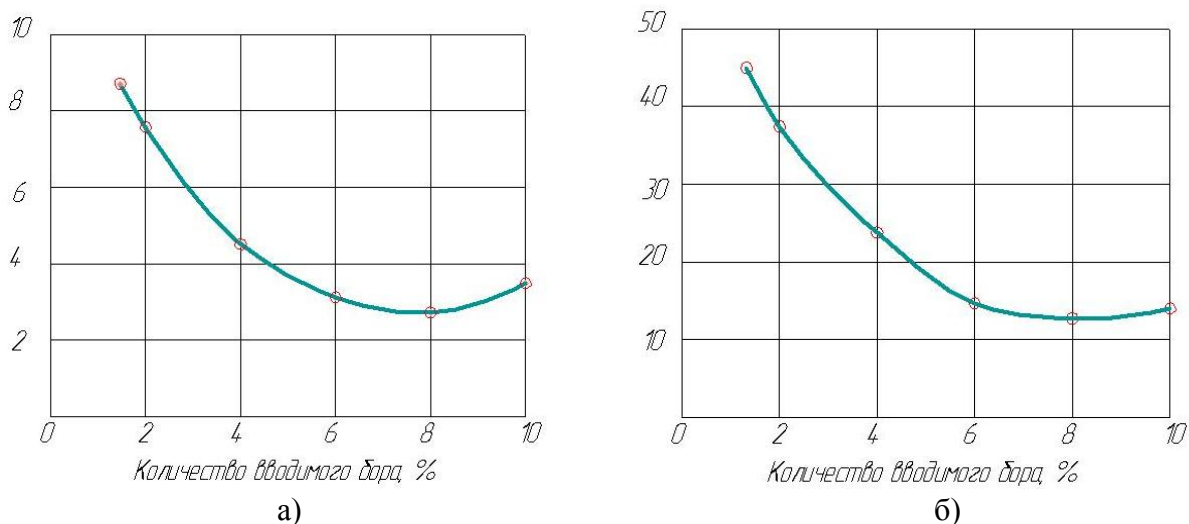


Рисунок 1 – Влияние состава сплава на износостойкость высокобористых сплавов:  
а – металл-металл; б – металл-абразив

УДК 621.745

### Исследование влияние легирования бором на свойства железоуглеродистых сплавов

Студент гр. 104319 Кобяков К.В.

Научный руководить – Невар Н.Ф.

Белорусский национальный технический университет  
г.Минск

В настоящее время существует большое количество предприятий, выпускающих на реализацию или непосредственно использующих для изготовления своей продукции отливки, которые" должны "обладать соответствующим набором свойств. К этим свойствам можно отнести твердость, абразивную, гидроабразивную износостойкость, коррозионную устойчивость, а также достаточную механическую прочность и пластичность. Большинству из приведенного необходимого перечня свойств удовлетворяют материалы, которые получены с применением традиционных карбидообразующих элементов.

Борсодержащие сплавы с успехом могут заменять высоколегированные сплавы без содержания бора. Экономия дорогостоящих легирующих элементов несёт очевидную экономическую выгоду. Сплавы с содержанием бора не только не уступают по свойствам высоколегированным, но зачастую и превосходят их.

При разработке борсодержащих материалов, имеет смысл исследовать характер взаимодействия карбида бора с железосодержащим компонентом (порошковое железо) при различных температурах, начиная от 900 °С вплоть до температуры образования жидкой фазы. Данному пути в основном и отдаётся предпочтение для создания литого

износостойкого сплава, способного конкурировать с применяемыми в настоящее время износостойкими сплавами, такими как чугуны типа ИЧХ, быстрорежущие и высокомарганцовистые стали, а также боридными покрытиями. При проведении процесса плавки существует возможность активного вмешательства в формирование структуры, а следовательно и необходимых свойств за счет дополнительного легирования и модифицирования. В качестве основных составляющих шихты для получения борсодержащих сплавов используют карбид бора ( $B_4C$ ), а в качестве основы железоуглеродистые сплавы. Следует отметить, что для уменьшения выгорания бора введение борсодержащего компонента в расплав производят после тщательного раскисления его марганцем, кремнием, алюминием. Причем сам борсодержащий компонент желателно перед введением в расплав заключить в оболочку из алюминия.

Важными моментами в процессе получения железобористых сплавов без использования вакуума и различных защитных сред является обеспечение условий, способствующих наиболее полному усвоению бора в момент введения его в расплав за счет минимального выгорания и достижения равномерного распределения вводимого компонента в расплаве. В результате происходящей при высокотемпературном взаимодействии диффузии, происходит образование в расплаве таких фаз как твердые растворы внедрения в  $\alpha$  и  $\gamma$  - железо, а также боридные фазы ( $FeB$ ,  $Fe_2B$ ) и цементит типа  $Fe_3(CB)$ . Это способствует образованию мелкокристаллической, равномерно распределенной по объёму матрицы расплава структуры. Введение мелкодисперсного карбида бора приводит к созданию матрицы, сформированной согласно принципу Шарпи (основное правило расположения в сплаве структурных фаз, обеспечивающих высокие антифрикционные и износостойкие свойства сплава, а также его прочность, вязкость и другие свойства. По Шарпи принципу наиболее твердые структурные составляющие должны залегать в виде изолированных друг от друга включений, а наиболее вязкие - образовывать сплошную матрицу).

При этом формируется матрица, в которой равномерно распределены боридные и борокарбидные включения. Наличие такой структуры приводит к значительному улучшению эксплуатационных характеристик изделий из литого железобористого сплава. Даже в условиях жестких износных испытаний (металл - абразив), износостойкость сплава находится на достаточно высоком уровне. Это происходит вследствие того, что матрица удерживает боридные и борокарбидные включения, не позволяя им выкрашиваться из общей структуры. И в этом случае они не могут быть дополнительными центрами абразивного износа.

Такое влияние данного борсодержащего компонента можно объяснить с точки зрения его гранулометрического состава и температуры плавления. При введении порошкообразного карбида бора в составе сплава отмечается преобладающее наличие карбидной фазы. Характер ее распределения по телу отливки в некоторой мере зависит от условий введения порошкообразного карбида бора и интенсивности перемешивания расплава. Такой конгломерат из фаз, обладающих высокими показателями микротвёрдости, твердости и износостойкости, равномерно распределенных в матрице расплава, позволяет получать литые изделия с необходимыми эксплуатационными свойствами. Микроструктура сплава, полученного при расплавлении шихты, в состав которой входит мелкодисперсный карбид представлена на рисунке 1.



### Рисунок 1 – Микроструктура железобористого литого сплава х200

Исходя из вышесказанного, для повышения физикомеханических свойств литых изделий, эксплуатирующихся в тяжёлых условиях (условиях интенсивного контакта с абразивной и гидроабразивной средой, сопряженной с ударным и кавитационным воздействием) несомненный интерес представляет карбид бора. Данный компонент можно использовать при проведении процесса ХТО литых изделий из железоуглеродистых сплавов, упрочнению в процессе получения отливок в форме, а также при получении литья непосредственно из расплава.

Полученные эксплуатационные свойства позволяют говорить о том, что разрабатываемые новые сплавы позволяют создавать гамму материалов с широкой областью применения. Причем это применение не ограничивается какой – либо единственной отраслью, а может быть использовано для ряда отраслей промышленности. Выплавка данных сплавов позволяет значительно снизить затраты на их производство, вследствие получаемого технологического эффекта. Технологический эффект заключается в том, что при осуществлении процесса плавки существует возможность снизить потребление электроэнергии. Это может быть осуществлено за счет снижения температуры плавления, уменьшение затрат на различные периоды плавки, вследствие структурного фактора. Как было отмечено выше, при отмеченных содержаниях бора формируется структура по своему составу близкая к эвтектической. При этом температура плавления данного конгломерата снижается до 1380 – 1400 °С. Все это приводит как к сокращению времени плавки, и соответственно к снижению потребления электроэнергии на весь процесс плавки. Плавку железобористого сплава желательнее осуществлять в индукционных печных агрегатах. Это позволяет оптимально использовать их эксплуатационные характеристики и с большей эффективностью использовать в технологическом процессе плавки применяемые шихтовые материалы.

УДК 681.128

### **Анализ работы роторно-поворотных плавильных печей**

Студент гр. 104319 Кононович Е.А.

Научный руководитель – Невар Н.Ф.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Барабанные роторно-наклонные или роторные наклоняющиеся плавильные печи – это новый тип печей. Сегодня эти печи выходят на лидирующие позиции в металлургии вторичных цветных сплавов: при производстве алюминиевых, цинковых, свинцовых, медных и других сплавов из стружки, мелкого скрапа, шлама, шлака в том числе и такие как съемы с содержанием металла менее 20 %, сильно окисленные отходы от дробления и пакетирования пищевых банок, фольгу, мелкую стружку, которые в иных типах печей плавить неэффективно. Расширяется применение барабанных роторных печей и при получении черных сплавов, в первую очередь, чугуна.

Среди используемых в настоящее время плавильных печей нет агрегатов, которые позволяли бы с большей эффективностью переплавлять дисперсную шихту. Термический КПД роторно-наклонных печей при переплавке стружки достигает 50 –55 %, что в 2 – 4 раза превышает термический КПД индукционных, дуговых печей, печей отражательного типа и других. При этом следует отметить, что в индукционных и дуговых печах плавка при 100 % завалке стружки вообще невозможна.

Роторно-наклонная печь дает возможность активного проведения всех металлургических процессов – восстановления, окисления, расплавления, перемешивания расплава, рафинирования, модифицирования и т.д. Кроме этого одна и та же печь может перерабатывать различные виды шихты – смешанные металлоотходы (скрап), загрязненную стружку и т.д.

Наружные очертания ее напоминают бетономешалку. Печь имеет три отверстия: загрузочное, для отвода продуктов горения и для выпуска металла. Роторная печь работает без топлива, оно необходимо только для разогревания печи после ремонта или в случае длительной остановки агрегата, чтобы предохранить от остывания рабочее пространство. Главную роль в процессе плавки играет кислород. Роторная печь очень экономична: не требует огромного помещения и длительных сроков строительства; стоимость установки намного меньше стоимости мартеновской печи. Роторная печь позволяет выплавлять сталь с широкими пределами содержания углерода.

Выход годного металла из роторной печи составляет значительно больший процент, чем при конверторном производстве стали, а кислорода расходуется гораздо меньше. Обслуживают роторную печь всего 2 – 3 человека. Роторная печь вращается медленно – от 0,1 до 4 оборота в минуту. При плавке стали: в разогретую печь загружают руду и известь, затем заливают жидкий чугун и в жидкую массу металла поверху подают кислород. От загрузки печи до выхода стали проходит 50 – 60 мин, следовательно, роторная печь позволяет производить не менее 24 плавков за сутки.

В роторной барабанной печи осуществляется:

- очищение расплава от газовых и неметаллических включений в результате непрерывного перемешивания расплава, жидким флюсом и обмывание расплавом загруженной шихты;

- обеспечение удаления магния из расплава за счет реакции с составляющими флюса;
- снижение потерь металла в печи за счет интенсивного обмывания шихтовых материалов солевым раствором, что способствует удалению оксидных включений из расплава;
- интенсификация тепло- и массообмена между факелом и жидкой ванной вследствие увеличения контактирующей поверхности, что увеличивает КПД печи как теплотехнического агрегата;

- полная механизация операций загрузки шихтовых материалов, контроль температурного режима плавки, выдачи расплавленного металла и удаления из печи шлака;

- полное исключение настывеобразования на футеровке печи, так как она непрерывно очищается расплавленным металлом и флюсом;

- герметичность рабочего пространства печи, исключение выбивания газов в помещение цеха;

- Высокая скорость плавления достигается благодаря улучшенному теплообмену в барабане печи. Это, в основном, достигается за счёт возврата продуктов сгорания внутри барабана печи. Благодаря увеличенному времени пребывания, смешивание газов с частицами происходит более интенсивно, что обеспечивает отличный теплообмен;

- Короткое время цикла для шихтовки, слива металла достигается благодаря наличию большой загрузочной двери и контролю за процессом опрокидывания барабана печи.

Пониженный расход флюса возникает из-за того, что наружная поверхность расплава, по отношению к его общему весу меньше, чем в других печах. Так как роторно-поворотная барабанная печь снабжена вращающимся барабаном, то для неё действуют все рекомендации по металлургии и стандартные технологии.

По сравнению со стационарными плавильными агрегатами роторно-наклонные плавильные печи имеют следующие технико-экономические показатели:

- 25 %-ая экономия топлива.
- 50 %-ое увеличение производительности.
- 30 %-ая экономия времени при шлакоудалении.

- 50 %-ая экономия при флюсовании.

Уменьшение трудоемкости и полная автоматизация процессов загрузки, плавки, слива металла и скачивания шлака.

УДК 693.22

### Анализ работы формовочно-выбивного участка цеха серого чугуна

Студент гр. 104318 Левчук С.В.

Научный руководитель – Невар Н.Ф.

Белорусский национальный технический университет

г.Минск

Основной задачей анализа работы формовочно-выбивного участка цеха серого чугуна является правильный выбор оборудования. Благодаря выбору правильного оборудования можно достичь максимальной эффективности работы участка в частности и цеха в целом.

Главным оборудованием на формовочно-выбивном участке является формовочный автомат. Из перечня предлагаемого оборудования можно выделить 3 типа машин: ZFA-SD, EFA-SD и DAFM-SD.

ZFA-SD – это машина, которая за каждый рабочий такт изготавливает одну комплектную пару опок. В принципе она состоит из двух отдельных формовочных машин, которые в стесненном помещении устанавливаются на одной станине. Опоки продвигаются через машину в один ряд, но парами, посредством двойного хода. Подъемный стол поднимает модельные плиты, опоки и наполнительные рамки к бункерам-дозаторам, которые заполняют пространства для формы отмеренным количеством смеси. Затем бункеры-дозаторы отводятся к транспортеру для смеси, а над опоками устанавливаются прессовые головки. После уплотнения смеси модели опускаются вниз. Для ускорения смены моделей машина может оснащаться возвратной тележкой для моделей. Управление всеми операциями по изготовлению форм производится из заранее введенной программы. Сдвоенный формовочный автомат ZFA-S используется в формовочных линиях очень высокой производительности. Технические характеристики машин типа ZFA-SD показаны в таблице 1.

Таблица 1– Технические характеристики машин типа ZFA-SD

Тип машины	ZFA-SD2	ZFA-SD3	ZFA-SD4	ZFA-SD5	ZFA-SD6
Размер опок, (мм)	500×400	650×500	800×650	1000×800	1250×1000
Производительность, (форм/ч)	250	220	200	250	250

EFA-SD – это машина, которая может применяться для работы со всеми принятыми размерами опок. Она оборудована поворотным столом и с быстрой последовательностью изготавливает верхние и нижние полуформы. Опоки поочередно продвигаются через машину. Подъемный стол поднимает модельную плиту, опоку и наполнительную рамку к отверстию в бункере-дозаторе, который заполняет пространство для формы отмеренным количеством смеси. Затем бункер-дозатор отводится к транспортеру для смеси, а место над опокой занимает прессовая головка. После уплотнения смеси модель опускается вниз. Управление всеми операциями по изготовлению формы производится посредством введенной заранее программы. Технические характеристики машин типа EFA-SD показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики машин типа EFA-SD

Тип машины	EFA-SD2	EFA-SD3	EFA-SD4	EFA-SD5	EFA-SD6	EFA-SD7
------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Размер опок (мм)	500×400	650×500	800×650	1000×800	1250×1000	1600×1250
Производительность, (форм/ч)	140	140	120	120	100	80

DAFM-SD– это машина для автоматического изготовления средних и больших форм. Она оснащена поворотным модельным столом и предназначена для последовательного изготовления верхних и нижних полуформ. Опoki по очереди проходят через машину. Для заполнения песком пустая опока на модельной плите подводится к машине. Таким образом обеспечена возможность выполнения ручных манипуляций с открытой опокой. Одновременно с этим в машину попадает опока, наполненная песком. Она поднимается, уплотняется и при опускании модели снова ставится в ряд опок. Технические характеристики машин типа DAFM-SD показаны в таблице 3.

Таблица 3– Технические характеристики машин типа DAFM-SD

Тип машины	DAFM-SD3	DAFM-SD4	DAFM-SD5	DAFM-SD6
Размер опок, (мм)	650×500	800×650	1000×800	1250×1000
Производительность, (форм/ч)	80	70	60	50

Проанализировав технические характеристики представленных машин, можно сделать вывод, что наиболее эффективным является сдвоенный формовочный автомат ZFA-SD. Этот автомат обладает лучшей производительностью по сравнению с другими.

УДК 693.22

#### **Анализ технологических процессов смесеприготовления чугунолитейного цеха**

Студент гр. 104318 Сахаревич А.Н.  
 Научный руководитель – Невар Н.Ф.

Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Вихревые смесители (рисунок 1) предназначены для приготовления песчано-глинистых формовочных смесей в цехах с серийным и массовым производством литья. Смесители возможно применять и для приготовления смесей для строительной отрасли.

Автоматизированные смесеприготовительные комплексы (АСК) предназначены для работы в цехах с серийным и массовым характером производства и оснащены вихревым смесителем, комплектом дозаторов компонентов смеси, комплектом приборов автоматического контроля свойств смеси, программным обеспечением обеспечивающим работу комплекса в автоматическом и наладочном режиме, сбор и учет статистических параметров приготовленной смеси.

Вихревое смешивание отличается высокими линейными и вращательными скоростями движения частиц наполнителя. Распределение связующего в объеме смеси и по поверхности зерен наполнителя происходит под воздействием высоких динамических энергий создаваемых вихревой головкой. Интенсивное разнонаправленное поступательно-вращательное движение всей смеси, ее микрообъемов и каждой отдельной частицы обеспечивает получение высококачественной смеси, отличающейся высокой степенью однородности и безупречным покрытием каждого зерна. Высокие скорости движения зерен и непрерывное соударение частиц приводит к так называемой механической активации связующего комплекса, обеспечивая тем самым повышение прочностных характеристик смеси.

Непрерывная аэрация смеси во время перемешивания улучшает ее формуемость и уплотняемость, позволяет готовить высокопрочные смеси до 2 МПа практически при сохранении производительности смесителя.

Смесители вихревого типа используются, как правило, для приготовления прочных и высокопрочных песчано-глинистых смесей. Также как в роторных смесителях, и смесителях вихревых практически исключается перетирание и измельчение зерновой основы смеси, имеющее место в катковых смесителях.

Формовочная смесь в зависимости от выбранной технологии может состоять из следующих компонентов, дозирование которых необходимо строго контролировать: отработанная формовочная смесь, свежий песок, сухой бентонит, вода, глинистая суспензия, крахмалит, графит, мазут и т.д.

Качество формовочной смеси зависит в первую очередь от первого этапа процесса смесеприготовления – точности дозирования компонентов в смеситель и состава дозирующего оборудования и во вторую очередь, не менее важную – интенсивности перемешивания.

Схема смесеприготовительного комплекса представлена на рисунке 1.

Вихревой смеситель, по сравнению с катковым, обладает более высокой (в 1,5 – 2 раза) производительностью и обеспечивает повышение качественных характеристик формовочной песчано-глинистой смеси:

- газопроницаемость в 1,2 – 1,5 раза;
- прочность на 10 – 15 %;
- уплотняемость на 15 – 20 %.

Удельное энергопотребление вихревого смесителя в 1,5 – 2 раза ниже, чем каткового, а время замеса составляет 1 – 1,5 минуты с загрузкой и выгрузкой смеси. Экономия энергозатрат по сравнению с катковыми смесителями с массой замеса 1 т за 1 год составляет до 100 тыс. кВт/час в год при двухсменном режиме;

Непрерывная аэрация смеси во время перемешивания улучшает ее формуемость и уплотняемость, позволяет готовить высокопрочные смеси до 2 МПа практически при сохранении производительности смесителя.

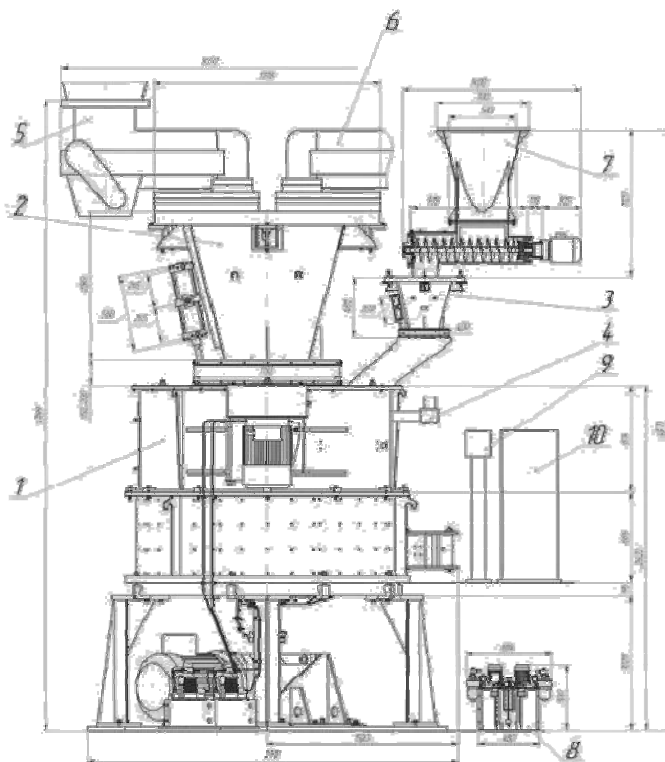




Рисунок 1 – Вихревой смеситель:

- 1 – вихревой смеситель модели 4843; 2 – весовой дозатор отработанной формовочной смеси и свежего песка, совмещенный до 1000 кг; 3 – весовой дозатор сухих компонентов;
- 4 – электромеханический счетчик воды; 5 – питатель отработанной формовочной смеси;
- 6 – питатель свежего песка; 7 – питатель сухих добавок; 8 – маслостанция; 9 – пульт управления; 10 – электрошкаф

УДК 621.74.045

### Наполнители противопригарных покрытий

Студент группы 104318 Мизгир А.Г.

Научный руководитель – Николайчик Ю.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В настоящее время при производстве отливок используется большое разнообразие противопригарных покрытий на основе высокоогнеупорных наполнителей, которые при определенной технологии изготовления отливок обеспечивают предотвращение образования пригара и других дефектов на их поверхности. Для приготовления противопригарных покрытий в качестве твердофазной основы используются следующие порошкообразные наполнители.

Циркон – природный минерал класса силикатов с химической формулой  $ZrSiO_4$ , его плотность составляет  $4500 - 4700 \text{ кг/м}^3$ . В литейном производстве для приготовления противопригарных покрытий применяют порошкообразный цирконовый концентрат марки КЦП (ТУ 47-10-115-98 [1]), который получают путем помола обогащенных цирконовых песков. Цирконовый концентрат обладает высокой огнеупорностью (около  $2200 \text{ }^\circ\text{C}$ ).  $ZrSiO_4$  – дефицитный и дорогой материал, поэтому он находит применение, как правило, при производстве крупных и ответственных стальных отливок. Существенным недостатком цирконового концентрата является экологическая небезопасность, связанная с присутствием в его составе радиоактивных примесей тория и урана. Необходимо отметить, что по данным А.Н. Цибрика [2] в некоторых случаях покрытия на основе циркона могут вызывать образование на поверхности отливок шероховатого слоя, трудноудаляемого даже металлическими щетками.

Электрокорунд – оксид алюминия  $\alpha$ -модификации ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ). Огнеупорность электрокорунда  $2050 \text{ }^\circ\text{C}$ , плотность  $3900 - 4000 \text{ кг/м}^3$ . Электрокорунд – синтетический материал, который получают путем плавления бокситов или технического глинозема в электропечах, после чего производят его дробление, помол и разделение на фракции. Для приготовления противопригарных покрытий, используемых при производстве стальных отливок, применяют электрокорунд марки ПЭЛ-1 (ТУ 2-043-992-86 [3]) либо мелкодисперсные электрокорундовые порошки марок М5, М7. Следует отметить, что вследствие высокой стоимости и дефицитности электрокорунд широкого применения для приготовления противопригарных покрытий не получил [4].

Кварц пылевидный (маршалит)  $SiO_2$  получают путем помола кварцитов или же чистого кварца-песка. Плотность кварца  $2700 \text{ кг/м}^3$ , температура плавления  $1713 \text{ }^\circ\text{C}$ . Молотый пылевидный кварц, согласно ГОСТ 9077-82 [4], выпускают трех марок: КП-1, КП-2 и КП-3. При температуре  $575 \text{ }^\circ\text{C}$  кварц претерпевает полиморфные превращения (переход из  $\beta$ -модификации в  $\alpha$ -модификацию), сопровождающиеся резким увеличением объема, что может приводить к образованию трещин в противопригарном покрытии. Более того, кварц химически активен к оксидам расплава. В связи с этим область его применения в качестве наполнителя противопригарных покрытий ограничена тонкостенными стальными и чугунами отливками.

Хромит ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) находит применение в составах противопопригарных покрытий для крупных толстостенных стальных и чугунных отливок. Противопопригарные свойства хромита связывают с большей, чем у кварца огнеупорностью 1900 – 2000 °С, при плотности материала 4100 – 4300 кг/м<sup>3</sup>. Однако при использовании хромита необходимо иметь в виду, что в смеси с кварцем он вызывает образование пригара [5], поэтому покрытия на его основе рекомендуется наносить на литейную форму пульверизатором во избежание смешивания создаваемого защитного слоя с формовочной смесью, что зачастую оказывается трудновыполнимым условием.

Тальк представляет собой магнезиальный силикат ( $3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Получают его путем измельчения горной породы талькомагнезита. Огнеупорность талька 1200–1300 °С, плотность 2700 кг/м<sup>3</sup>. В литейном производстве для приготовления противопопригарных покрытий используют тальк среднего помола марки ТП ГОСТ 21235–75 [6]. Область применения талька ограничена противопопригарными покрытиями, предназначенными для изготовления тонкостенных чугунных отливок.

### Литература

1. Концентрат цирконовый порошкообразный КЦП. Технические условия: ТУ У 14-10-015-98.
2. Цибрик, А.Н. Физико-химические процессы в контактной зоне металл-форма / А.Н. Цибрик. – Киев: Наукова думка, 1977. – 211 с.
3. Порошок электрокорундовый литейный ПЭЛ-1. Технические условия: ТУ 2-043-992-86.
4. Кварц молотый пылевидный. Общие технические условия: ГОСТ 9077-82. – Введ. 01.07.83. – М: Гос. ком. СССР по стандартам, 1983. – 8 с.
5. Борсук, П.А. Исследование условий образования пригара на отливках из спецсталей / П.А. Борсук // Сб. науч. тр. ЦНИИТМАШ – М., 1960. – № 6. – С. 33–46.
6. Тальк и талькомагнезит молотые. Технические условия: ГОСТ 21235-75 – Введ. 01.01.77 – М: ИПК издательство стандартов, 2003. – 6 с.

УДК 621.74

### Моделирование технологии изготовления отливки «Вал коленчатый» на автоматической формовочной линии «DISA230X»

Студент гр. 104318 Разумов Е.А.  
Научный руководитель – Николайчик Ю.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В Статье представлены результаты моделирования технология изготовления отливки «Вал коленчатый» двигателя внутреннего сгорания автомобиля ВАЗ (рисунок 1) на автоматической формовочной линии «Disa 30X». Для моделирования литейных процессов использован пакет СКМ «Полигон».

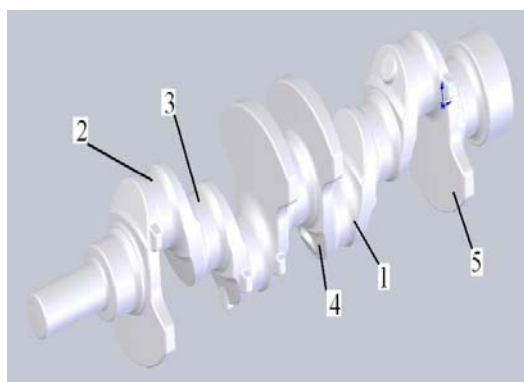


Рисунок 1 – 3D модель отливки «Вал коленчатый»

Подготовку файлов, описывающих начальные и граничные условия, проводили с использованием модуля «Сплав» СКМ «Полигон». Модуль «Сплав» позволяет синтезировать теплофизические свойства железоуглеродистых и цветных сплавов по задаваемому химическому составу [4]. Начальные и граничные условия, использованные при моделировании литейных процессов технологии изготовления отливки «Вал коленчатый» приведены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1 – Теплофизические свойства литейной формы

Материал литейной формы	Теплоемкость, КДж/м <sup>3</sup> ·К	Теплопроводность, Вт/м·К
Песчано-глинистая смесь с влажностью 3,5 %	1400,0 – 1400,360	0,6 – 1,5

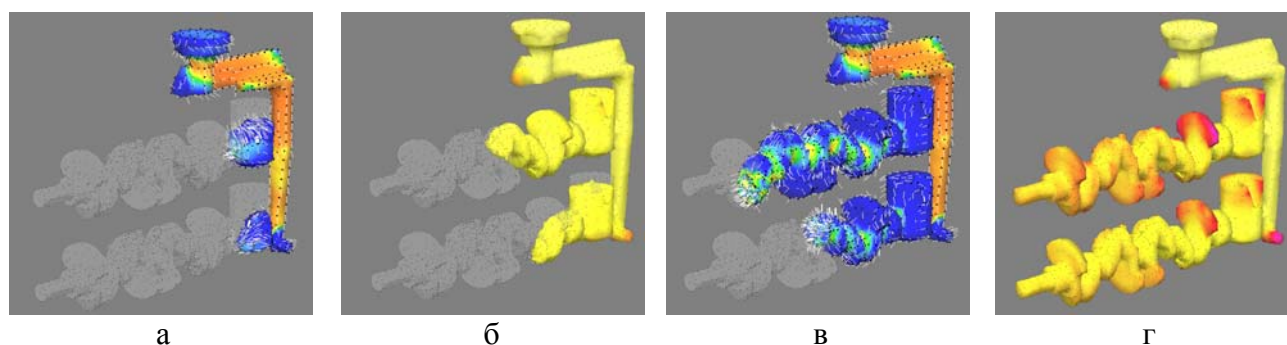
Таблица 2 – Теплофизические свойства ВЧ-70

Плотность	Удельная теплоемкость, КДж/кг·К	Теплопроводность, Вт/м·К	Теплота затвердевания	T <sub>лик</sub> , °С	T <sub>сол</sub> , °С
7075	720	40,53 – 50,6	238000	1211,1	1152,7

Таблица 3 – Начальные условия

Температура заливки, °С	Температура литейной формы, °С	Линейная скорость заливки, м/с	Коэффициент температуропроводности через границу контакта отливка/форма, Вт/м <sup>2</sup> ·К
1320	20	0,2	800

Моделирование гидродинамических процессов заполнения литейной формы выполнено с использованием модуля «Эйлер 3D». Результаты моделирования приведены на рисунке 2.



а

б

в

г

Рисунок 2 – Результаты расчета процесса гидродинамики заполнения литейной формы:  
а – 1,1с (распределение скоростей); б – 2,3с (распределение температур); в – 3,2 с  
(распределение скоростей); г – 4,1с (распределение температур)

В результате моделирования уточнено время заполнения полости формы расплавом, которое при заданной линейной скорости заливки составило 4,106 с. Анализ изменения скорости в процессе заполнения показывает, что применяемая литниковая система обеспечивает ламинарный режим движения расплава при заполнении полостей отливок (скорость движения расплава не превышает 0,5 м/с). Максимальная скорость движения расплава наблюдается в литниковой системе и составляет 1,8 м/с.

Установлено, что верхняя отливка «Вал коленчатый» заполняется на 0,5 с раньше нижней. Градиент падения температуры расплава за период заполнения составляет 43 °С. Минимальная температура (за период заполнения) фиксируется на поверхности противовеса со стороны подвода металла верхней отливки и составляет 1277 °С. Температура 1295 °С зафиксирована на поверхности зумпфа литниковой системы. Анализ скоростей движения расплава показывает, что в указанных местах образуются застойные зоны с минимальной скоростью движения расплава 0,1 м/с, что и обуславливает начало процессов кристаллизации расплава.

Моделирование процессов кристаллизации расплава выполнено с использованием модуля «Фурье 3D». При расчете процессов кристаллизации использованы данные о распределении температуры в литейной форме и отливках, полученные при моделировании процесса заполнения. В результате моделирования установлено, что время затвердевания до температуры  $T_{\text{сол}}$  составляет 734 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 «Вал коленчатый», которая предусматривает ее изготовление на автоматической формовочной линии DISA230X. При выполнении проекта рассчитана литниково-питающая система, построены 3D модели отливки, литниково-питающей системы, формы в сборе. Промоделированы процессы заполнения литейной формы, уточнено время заполнения ( $\tau_{\text{зап}} = 4,106\text{с}$ ), проанализирован характер движения расплава. Промоделированы процессы затвердевания, установлено время затвердевания до температуры  $T_{\text{сол}}$  ( $\tau_{\text{зат}} = 734\text{ с}$ ).

Анализ вероятности образования усадочных дефектов показал, что отливка «Вал коленчатый» может быть получена по разработанной технологии без дефектов.

### Литература

1. Д.М.Кукуй, В.А.Скворцов, В.Н.Эктова Теория и технология литейного производства. - Минск, Дизайн ПРО, 2000 – 416с.
2. ГОСТ 7292-85 – Чугун с шаровидным графитом для отливок.
3. Технологический справочник фирмы DISA.
4. Справочная система СКМ ЛП «ПолигонСофт».

УДК 621.74.045

### Пригар – дефект отливок

Студент гр. 104318 Соловей Г.В.  
Научный руководитель – Николайчик Ю.А.  
Белорусский национальный технический университет

Пригар является одним из самых часто встречаемых дефектов на отливках из разных сплавов. Несмотря на многочисленные работы, пока так и не найдены способы полного устранения пригара. Это связано, в первую очередь, с тем, что пригар зависит от множества факторов, и учесть их все зачастую просто не представляется возможным.

Пригаром обычно называют прочную корку на поверхности отливки, которая состоит из зерен формовочного материала и цементирующего вещества. Пригар условно разделяют: на механический, термический и химический. Условно это деление потому, что в реальных отливках можно обнаружить существование всех трех, или, по крайней мере, двух видов пригара.

Механический пригар образуется в следствии попадания расплавленного металла в поры формы. При этом на поверхности отливки возникает сетка из зерен формовочной смеси и заливаемого расплава. Но это возможно лишь при условии того, что металлостатическое давление расплава будет больше суммы давления капиллярного и давления газов, возникающих вследствие испарения жидкости формы от воздействия высоких температур. Металлостатическое давление, при котором расплав заполняет поры, называют критическим. Так же не малую роль играет и смачиваемость зерен смеси металлом.

Термический пригар возникает вследствие оплавления материалов формы от воздействия теплоты залитого металла. Как правило, возникает в тех случаях, когда используют формовочные материалы недостаточной огнеупорностью. Преимуществом такого вида пригара является то, что он является легкоотделимым, т.е. легко удаляется с поверхности отливок. Недостатком является то, что при оплавлении выделяется большое количество газов, что ведет к образованию газовых дефектов.

Химический пригар возникает в отливках с высокой температурой плавления в результате реакций между металлом, его окислами и материалом формы. В отличие от механического пригара зерна песка в пригоревшем слое связываются продуктами реакций между окислами металла ( $FeO$ ) и окислами формы ( $SiO_2$ ). Это происходит, в большей степени, из-за того, что металл плохо раскислен. Такой вид пригара возникает на отливках среднего развеса, именно на их поверхности возникает достаточный слой окислов для протекания реакции и получения сложно отделяемого пригара.

Считается [1, 2, 3], что процесс образования пригара состоит из нескольких этапов: окисление расплава атмосферой литейной формы в период заполнения (рисунок 1, а); фильтрация окисленного расплава в капилляры литейной формы (рисунок 1, б); образование в контактной зоне «расплав – литейная форма» оксидной пленки (рисунок 1, в) и цементирующих соединений (рисунок 1, г). Если скорость образования оксидов будет превышать скорость их расхода на образование цементирующих соединений, то на границе раздела формируется зазор (слой оксидов достаточной толщины), по которому пригарная корка легко отделяется от отливки.

Видов борьбы с пригаром в настоящее время существует очень много и они не являются универсальными для всех сплавов и видов пригара. В общем случае можно увеличивать огнеупорность формовочных материалов. Так же следует применять формовочные материалы, обеспечивающие восстановительную атмосферу внутри формы, с целью не допустить образование окислов. Для предотвращения взаимодействия окислов формы и материала отливки так же используют противпригарные краски и покрытия, что является наиболее эффективным методом предотвращения пригара.

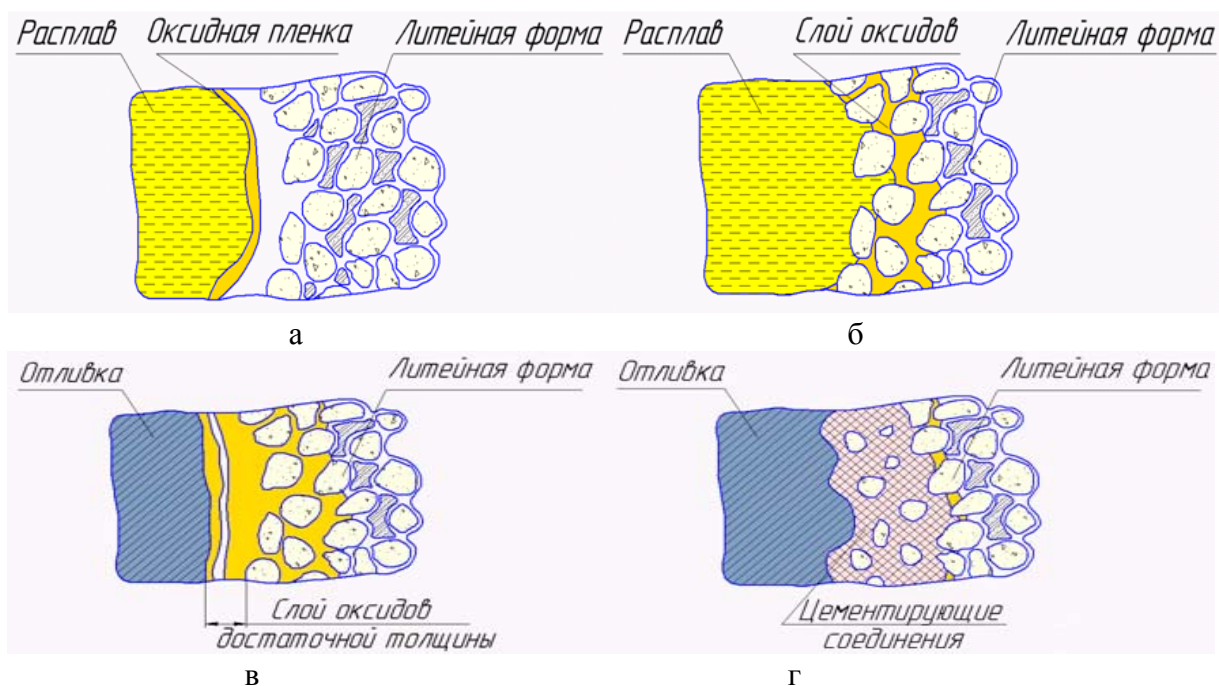


Рисунок 1 – Схема многостадийного процесса взаимодействия расплава и литейной формы: а – этап окисления расплава в период заполнения литейной формы; б – этап фильтрации расплава в капилляры литейной формы; в – этап формирования оксидной пленки; г – этап образования легкоплавких цементирующих соединений типа фаялита

### Литература

1. Васин, Ю.П. Окислительные смеси в конвейерном производстве стального литья / Ю.П. Васин, З.Я. Иткис. – Челябинск: Южно-Уральск. кн. изд-во, 1973. – 154 с.
2. Дорошенко, С.П., Получение отливок без пригара в песчаных формах/ С.П. Дорошенко, В.Н. Дробязко, К.И. Ващенко. – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
3. Валисовский, И.В. Пригар на отливках / И.В. Валисовский. – М.: Машиностроение, 1983. – 192с.

УДК 621.745

### Анализ эффективности жидкостекольных формовочных и стержневых смесей

Студент гр. 104318 Никитенкова А.О., аспирант Гуминский Ю.Ю.  
 Научный руководитель – Кукуй Д.М.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г.Минск

В настоящее время в литейных цехах обострилась экологическая обстановка. Это связано в первую очередь с предпочтительным применением смоляных связующих для приготовления формовочных и стержневых смесей. Поэтому сейчас введутся поиски более экологически безопасных заменителей смоляных связующих.

Одно из направлений улучшить экологию на литейных предприятиях, это вновь начать использование жидкостекольных смесей, избавившись от недостатков, какими они обладают.

Цель доклада: обобщить имеющуюся информацию по жидкостекольным формовочным и стержневым смесям, а так же найти пути повышения их качества и эффективности.

Впервые жидкое стекло в литейном производстве было применено в 40-х годах прошлого века в Чехословакии. В нашей стране применение, жидкого стекла в качестве связующего для смесей практически началось с 1949 года после разработки сотрудниками ЦПИИТМаш составов смесей для изготовления форм и стержней.

Широкое распространение жидкостекольные смеси получили в мелкосерийном и индивидуальном производстве на предприятиях энергетического и транспортного машиностроения.

Известно, что к связующим материалам, используемым в литейном производстве, предъявляются повышенные требования по обеспечению прочности форм и стержней, необходимой для выполнения технологических операций, а также способности противостоять тепловому и силовому воздействиям горячего металла. Наиболее полно данным требованиям удовлетворяет жидкое стекло. Кроме того, жидкие стекла отличаются низкой стоимостью, доступностью и хорошими экологическими показателями.

Однако из-за недостатков, которыми обладают жидкие стекла, как связующие, применение жидкостекольных смесей было сильно сокращено. К ним относятся, большая хрупкость (в связи с точечными контактами между глобулами), большим количеством ввода жидкого стекла в смесь (для формовочных смесей 5 – 8 %, для стержневых 6 – 9 %), затрудненной выбивкой, а так же дорогостоящей регенерацией. По избавлению от этих недостатков, в настоящее время, и ведутся работы.

Жидкое стекло – коллоидный раствор силиката натрия. Точный состав жидкого стекла, который определяет основные свойства последнего, может быть выражен суммарным содержанием веществ, то есть содержанием кремнезема, окиси натрия и воды. Общий состав жидкого стекла может быть представлен формулой:



где  $m$  – число молекул  $\text{SiO}_2$ , приходящихся на одну молекулу  $\text{Na}_2\text{O}$ ;  
 $n$  – число молекул  $\text{H}_2\text{O}$ , приходящихся на одну молекулу  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Повысить прочность жидкостекольных смесей можно введением различных наполнителей, способствующих образованию коагуляционных структур и увеличивающих число контактов в единице объема смеси. Снизить прочность смеси до минимального значения можно введением стабилизаторов коллоидных частиц (обычно это ПАВ).

Под модифицированием жидкого стекла понимается воздействие на структуру и свойства путем введения в щелочные силикатные растворы добавок-модификаторов. При этом процесс модифицирования должен обеспечить улучшение поверхностных свойств связующего, повышение когезии и снижение величины внутренних напряжений после отверждения, а также уменьшение остаточной прочности после термообработки. Наличие требуемого комплекса свойств связующего создает возможность получать высокопрочные легковыбиваемые формовочные и стержневые смеси.

Упрочнение жидкостекольных смесей происходит при дегидратации. Кварцевый песок при приготовлении смеси с жидким стеклом должен содержать влагу для лучшего смачивания поверхности песчинок и обеспечения условий протекания реакции между углекислым газом и жидким стеклом. Раствор жидкого стекла, являясь коллоидным раствором, способен терять влагу с образованием геля. Это вызывает увеличение вязкости раствора и упрочнение коллоидной системы. Следовательно, для придания прочности жидкостекольной смеси необходимо удалить из нее влагу.

Существуют три основных процесса упрочнения жидкостекольных смесей:

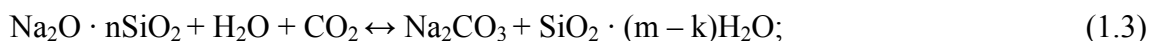
1) Упрочнение жидкостекольных смесей тепловой сушкой. Основное количество влаги теряется в интервале температур 90-250 °С, а практически полная потеря влаги – при 650...800 °С. Влагу из смеси можно удалить не только нагревом, но и продувкой сухим воздухом, а также с помощью адсорбентов или вакуумной экстракции. Конечный

результат каждого из этих методов позволяет считать одинаковым механизм упрочнения смеси.

Интересно отметить, что прочность жидкостекольной смеси после удаления влаги значительно превышает прочность тех же смесей после отверждения их углекислым газом. Это связано с тем, что когезионная прочность силиката натрия выше прочности силикагеля кремневой кислоты, образующейся при продувке жидкого стекла углекислым газом.

2) Упрочнение жидкостекольных смесей продувкой газом  $CO_2$ . Обработка смеси углекислым газом (химическое твердение смеси) основано на свойстве жидкого стекла разлагаться от действия на него даже слабых кислот или ангидридов. При продувке жидкостекольной смеси  $CO_2$  происходит разложение силиката натрия ( $Na_2O \cdot nSiO_2$ ) и образование бикарбоната натрия ( $Na_2CO_3$ ) с выделением свободного кремнезема ( $nSiO_2$ ).

Выделившийся кремнезем, соединяясь с водой, образует гидрат диоксида кремния ( $nSiO_2 \cdot mH_2O$ ), который в процессе продувки теряет часть влаги и переходит в кремнегель:



Пленка геля на зернах песка связывают их в прочную массу, смесь быстро твердеет и приобретает прочность.

Прочность смеси, отверждаемой  $CO_2$ , зависит от силикатного модуля жидкого стекла и режима продувки. В качестве упрочняющих добавок используют акриловые и метакриловые полимеры, моно- и полифосфаты натрия и др. Избыточная продолжительность продувки приводит к возникновению в связующих пленках значительных внутренних напряжений, которые ослабляют прочность смеси. Поэтому на практике время продувки смеси  $CO_2$  ограничено и в зависимости от содержания жидкого стекла в смеси составляет 1 – 2 мин.

Смеси, продутые углекислым газом, гигроскопичны, так как продукты отверждения – карбонаты и силикагель – гидрофильны и частично растворимы в воде.

3) Жидкие самоотвердеющие смеси. Как следует из их названия, сочетают в себе свойства жидкости, позволяющей получать стержни и формы свободной заливкой смеси, и способность самоотвердевать на воздухе в заданное время.

При использовании ЖСС исключается трудоемкое ручное или машинное уплотнение смеси, а процесс изготовления стержней и форм сводится к простой операции заливки жидкой смеси в стержневой ящик или в опоку с подмодельной плитой.

Важное свойство жидкой смеси – самоотвердевание на воздухе – в свою очередь дает возможность отказаться от тепловой сушки стержней и форм (при применении самовысыхающих красок) или ограничиться кратковременной подсушкой водных красок. Все это вместе взятое позволяет в несколько раз повысить производительность труда на участках изготовления стержней и форм.

Жидкостекольные смеси имеют ряд преимуществ перед другими видами смесей. Основными, которые можно выделить – это высокая экологичность и низкая стоимость связующего. Но на ряду с преимуществами жидкое стекло имеет и определенные недостатки, основные из которых: высокая хрупкость пленки и затрудненная выбиваемость стержней из отливки. Поэтому является целесообразным искать методы совершенствования жидкостекольных смесей и самого жидкого стекла как связующего.



**Машины  
и технология обработки  
металлов давлением**

**Навивка пружин и гибка проволоки на автоматах**

Студенты гр.104419 Волосевич В.В., Копьев С.Ю., Макаревич Е.В.

Научный руководитель – Шиманович О.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Технология изготовления метизов штамповкой на универсально-гибочных автоматах позволяет, как правило, получить полностью законченные изделия. Некоторые гибочные автоматы оснащены поперечной (дополнительной) подачей материала, усиленным ползуном реза, устройствами для нарезания резьбы, клепки, сварки, вращающимися оправками для навивки пружин, ползунами, резцовыми головками и другими устройствами, значительно повышающими технологические возможности автоматов. Преимущество штамповки на гибочных автоматах – высокая производительность, особенно для мелких деталей с малой подачей. По типу конструкции и технологическим возможностям универсально-гибочные автоматы можно разделить на четырехползунковые автоматы с горизонтальным движением ползунков и многоползунковые автоматы с движением ползунков в вертикальной и наклонной или наклонной плоскости.

Способом холодной навивки можно изготавливать пружины из проволоки или горячекатаной сортовой стали круглого сечения диаметром до 16 мм. Пружинную проволоку применяют как предварительно упрочненную до навивки, так и в отожженном состоянии. При изготовлении из упрочненной проволоки пружины после навивки подвергают низкотемпературному отпуску, при котором уменьшаются остаточные напряжения изгиба и увеличиваются упругий участок нагружения, стойкость к релаксации нагрузки и динамическая прочность. При навивке из неупрочненной проволоки пружины подвергают закалке и отпуску.

Для упрочнения проволоки применяют в основном два способа: деформационное упрочнение в процессе волочения и мартенситное превращение в результате закалки и отпуска. В зависимости от механических свойств установлены четыре класса проволоки: I, II, IIА и III. Проволока класса IIА имеет меньше вредных примесей и повышенную пластичность. Для ответственных (клапанных) пружин применяют проволоку диаметром 1,2 – 5,5 мм, упрочненную закалкой и отпуском. Такая проволока несмотря на более низкое временное сопротивление стабильнее сохраняет упругую характеристику вследствие более высоких упругих свойств. Для холодной навивки пружин, подвергающихся затем закалке, применяют стальную легированную пружинную проволоку диаметром 0,5 – 14 мм.

Навивку на вращающуюся оправку (рисунок 1а) как наиболее простой способ применяют в единичном и мелкосерийном производстве; применяют также в автоматах для навивки пружин кручения. Развод витков осуществляют смещением оправки по стрелке А или смещением направляющей втулки. Если осуществлять скручивание проволоки (по стрелке Б), то можно получить пружины с межвитковым давлением (с предварительной нагрузкой). Для получения пружин растяжения с большим межвитковым давлением применяется способ навивки с отгибом и обкаткой роликом (рисунок 1б). Недостатками навивки на оправку являются трудности в автоматизации изготовления пружин сжатия и невозможность регулирования диаметра без смены оправки. Способы навивки по схеме «сжатие+изгиб» не имеют этих недостатков и получили наибольшее распространение. Для подачи проволоки можно использовать подающие ролики с канавками или клещевой зажим. На рисунке 1в приведена одноштифтовая (одноупорная) схема навивки. Проволока в этом случае перегибается через оправку, т.е. касается ее. Если увеличить угол  $\varphi_1$  установки упора, то при некотором угле  $\beta \approx \beta_{кр}$  проволока отрывается от оправки и необходим второй упорный штифт

(рисунок 1г), т.е. схема докритическая переходит в закритическую, в которой оправка нужна только как внутренний нож.

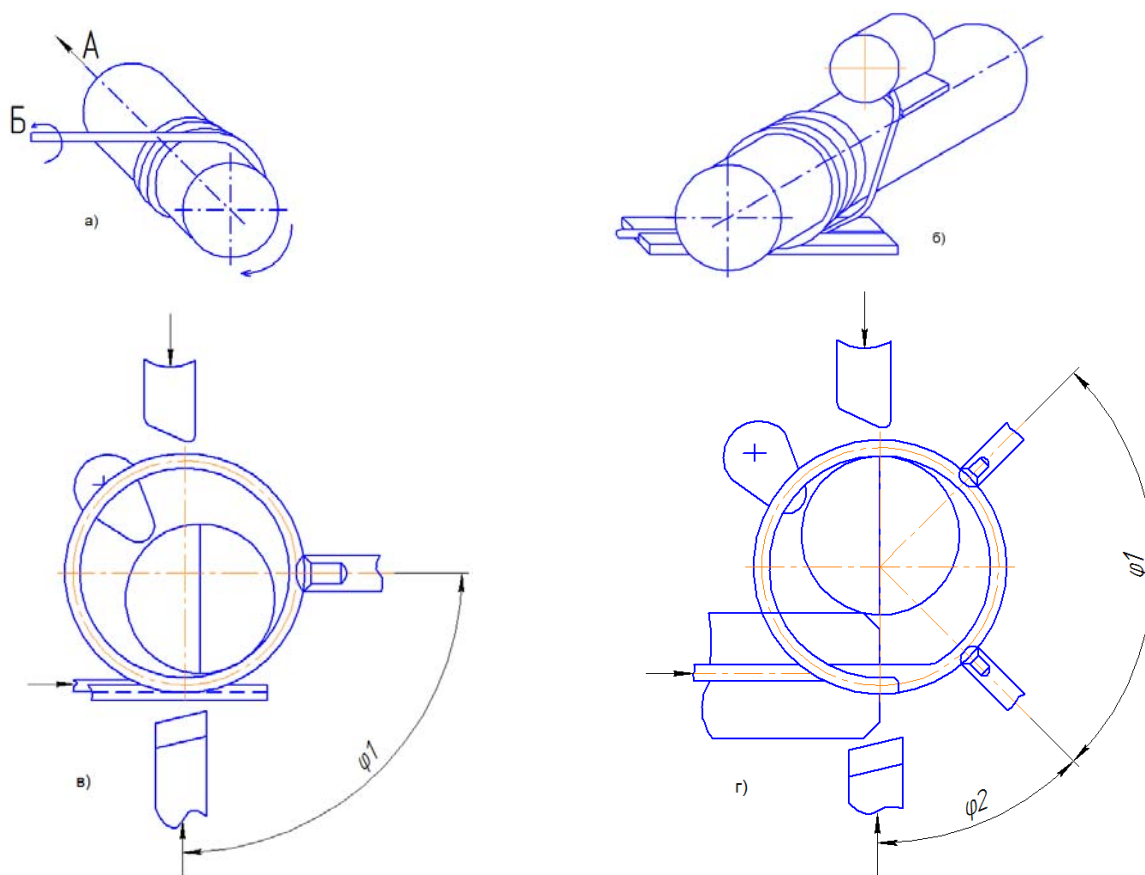


Рисунок 1 – Схемы навивки пружин

Пружинонавивочные автоматы для холодной навивки пружин, работающих по схеме «сжатие+изгиб», могут быть двух типов: кулисные и муфтные. В автоматах кулисного типа длина заготовки навиваемой пружины регулируется изменением радиуса кривошипа, т.е. изменением угла качания зубчатого сектора кулисы. В автоматах муфтного типа подача регулируется изменением времени включения и выключения муфты подачи, управляемой регулируемыми кулачками. К преимуществам автоматов кулисного типа можно отнести высокую производительность при навивке пружин с небольшой длиной развертки, точность подачи по длине (0,5 – 2 мм), бесступенчатое и точное регулирование длины подачи, бесшумность работы, надежность. Недостатком автоматов муфтного типа является неточность подачи по длине заготовки (5 – 30 мм) вследствие неравномерности проскальзывания муфты и проволоки при ударном включении.

Основные параметры и размеры пружинонавивочных автоматов регламентированы ГОСТ 9224–74. Универсальные автоматы должны обеспечивать навивку цилиндрических, конических и бочкообразных пружин с постоянным и переменным шагом, правой и левой навивки из проволоки круглого сечения. Скорость подачи проволоки устанавливаются в зависимости от вида, размера, точности и материала пружин. Для навивки пружинных шайб широкое применение нашли автоматы типа АПП, работающие по схеме одноопорной навивки с прерывистой роликовой подачей.

**Исследования остаточных напряжений 1 рода при прокатке**

Студенты гр. 104419 Григорович С.А., Брецкий А.С., Ловцов И.В.  
 Научный руководитель – Овчинников П.С.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

При пластическом деформировании силы трения между инструментом и металлом затрудняют течение поверхностных слоев изделия в сравнении с внутренними, с связи с чем в очаге деформации возникают дополнительные напряжения. После разгрузки упругая часть рабочих напряжений остается в металле изделия. Это остаточные напряжения. Если они относятся к слоям металла, это напряжения 1-го рода.

При прокатке в зоне опережения очага деформации силы трения между валками и прокатываемым металлом сдерживают деформацию поверхностных слоев, внутренние слои деформируются, интенсивнее. В результате в прокатанной полосе внешние слои будут испытывать воздействие растягивающих напряжений остаточных, внутренние – сжимающих.

В данной работе исследовали остаточные напряжения 1-го рода в изделиях, полученных прокаткой. Прокатывали сдвоенную полосу с исходной толщиной 2 мм из стали 50. Прокатывали заготовки с абсолютным обжатием 1,1; 1,5; 1,8 мм полосы исходной толщины 4 мм, чему соответствовали степень деформации по толщине 27,5; 37,5; и 45 %. После выхода полосы из валков заготовка раздваивалась, образуя две дуги окружности с центрами, находящимися с внешней стороны.

Такой изгиб половин полосы объясняется следующим. При прокатке в зоне опережения силы трения между валками и металлом тормозят поверхностные слои заготовки, в результате чего в поверхностной части изделия, создаются дополнительные напряжения сжатия, а во внутренней – растяжения. После разгрузки в каждой половине полосы остаточные напряжения вызовут изгиб полосы. Если полагать, что при изгибе нейтральный слой будет расположен по середине полосы, можно рассчитать относительные деформации поверхностных слоев вдоль оси прокатки после изгиба по выражению:

$$\varepsilon = \pm \frac{0,5S}{R_{в} + 0,5S},$$

где  $S$  – толщина полосы после прокатки;  $R_{в}$  – внутренний радиус кривизны.

Для приведенных выше обжатий значения  $S$  составили 1,45; 1,25; 1,1 мм, а радиусы  $R_{в}$  – 280; 263; 257 мм. Степень деформации  $\varepsilon$  получила значения 0,00214; 0,00237; 0,00258.

Можно рассчитать соответствующие им напряжения по выражению:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon;$$

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Эти напряжения составляют 428; 464 и 516 МПа.

Это напряжения, которые снялись после изгиба. Можно отметить, что они соответствуют пределу упругости с учетом наклепа.

Если бы остаточные напряжения были пропорциональны расстоянию от поверхности, эпюра распределения остаточных напряжений, а она должна быть уравновешенной, выглядела бы, как показано на рисунке 1.

Чтобы проверить эпюру распределения остаточных напряжений по толщине полосы, прокатывали заготовку, состоящую из 4-х слоев толщиной каждого 2 мм. Величину обжатия приняли 2,2 мм.

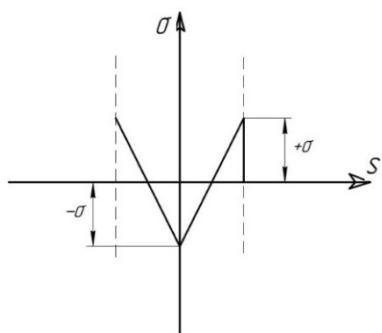


Рисунок 1

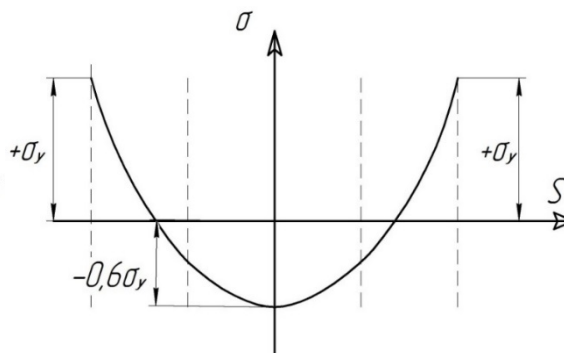


Рисунок 2

Если бы остаточные напряжения распределялись в соответствии с рисунком 1, радиусы изгиба обеих полос после разгрузки были бы одинаковые. Получено же для наружной полосы  $R_b = 287$  мм, что соответствует напряжению на внутренней поверхности внутренней полосы  $\sigma = -258$  МПа  $\approx -0,6\sigma_y$ . Для нашего случая получается эпюра, приведенная на рисунке 2, что соответствует параболе.

УДК 621.983.321/324

### **Комбинированная вытяжка полых двухслойных изделий с повышенной прочностью соединения слоев**

Студенты гр. 104419 Зубрицкий А.А., Каражан Е.С., Лозовенко Р.Ю.  
 Научный руководитель – Любимов В.И.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

В современной технике все более широкое применение получают различные композиционные материалы, к числу которых относятся и биметаллы. Их применение, с одной стороны, позволяет получать изделия с таким сочетанием свойств, которое не может быть достигнуто при использовании традиционных однокомпонентных материалов. С другой стороны, использование многослойных материалов позволяет сократить расход дорогостоящих и дефицитных металлов и сплавов. В биметаллах основной слой обеспечивает прочность и жесткость системы, а плакирующий слой, толщина которого составляет от 5 до 50 % общей толщины, – стойкость против различного рода воздействий. В номенклатуре продукции, которую целесообразно изготавливать из слоистых металлов, значительную долю составляют изделия типа тонкостенных оболочек, подшипники, теплообменники, изолирующие экраны, сосуды, гильзы и т.п., которые находят применение в электронике, электротехнике, приборостроении, двигателестроении и других отраслях промышленности.

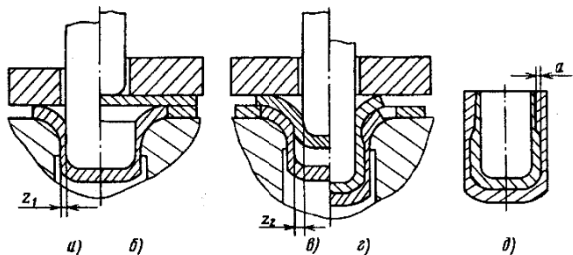
В качестве исходного материала для изготовления полых слоистых изделий применяют биметаллический прокат (листы, трубы). Однако использование биметаллов ограничивается недостаточной номенклатурой их выпуска, а также высокой стоимостью, которая обусловлена сложностью технологии создания металлической связи между слоями. Во многих случаях, особенно в условиях серийного и мелкосерийного производства, это делает применение биметаллов нерентабельным. Кроме того, биметаллический прокат имеет, как правило, пониженную пластичность, обусловленную невозможностью проведения его

полного отжига при резко отличающихся физико-химических свойствах слоев и наличием хрупкой интерметаллидной зоны между ними.

При изготовлении целого ряда двухслойных изделий наличие металлической связи не является обязательным. В этом случае для изготовления полых многослойных изделий вместо биметаллических заготовок могут быть использованы составные заготовки из обычного проката, не имеющие металлической связи между слоями. Использование составных заготовок существенно расширяет технологические возможности 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. Кроме того, указанный подход позволяет значительно снизить себестоимость многослойных изделий и сделать рентабельным их изготовление даже в условиях мелкосерийного и единичного производства.

На кафедре "Машины и технология обработки металлов давлением" Белорусского национального технического университета проводятся исследования, связанные с разработкой технологических процессов изготовления полых двухслойных изделий методом комбинированной вытяжки из обычного листового проката. Проведенные исследования показали, что комбинированная вытяжка позволяет изготавливать полые тонкостенные многослойные изделия практически с любым сочетанием материалов слоев и требуемым соотношением их толщин без специальной подготовки контактных поверхностей заготовок.

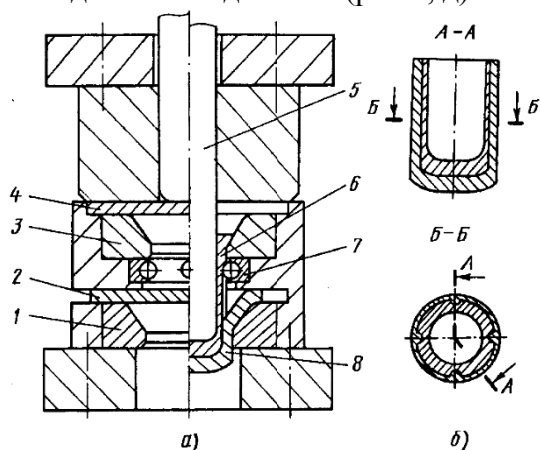
В данной работе рассматривается возможность изготовления комбинированной вытяжкой тяжелонагруженных полых двухслойных изделий, требующих весьма высокой прочности соединения слоев. Высокая прочность сцепления слоев обеспечивается созданием на межслойной поверхности замковых соединений, которые препятствуют относительному смещению слоев. Необходимым условием создания замкового соединения в процессе пластической деформации служит преимущественное пластическое течение одного из материалов. Прочность соединения слоев определяется как величиной упругого натяга, так и суммарной площадью выступов замковых соединений. Замковое соединение в двухслойном изделии может быть получено как при одновременной вытяжке составной двухслойной заготовки, так и при последовательной вытяжке однослойных заготовок. В обоих случаях на поверхности заготовки твердого слоя наносят рифления или канавки. Направление канавок выбирается таким, чтобы образуемое замковое соединение препятствовало смещению слоев в направлении наибольших сдвигающих усилий, действующих в процессе эксплуатации изделия. При пластическом деформировании материал мягкого слоя затекает в углубления твердого слоя, обеспечивая прочное механическое зацепление слоев.



На рисунке 1 приведена схема последовательно-совмещенной вытяжки изделий с наружным расположением мягкого слоя. На первом этапе осуществляется неполная вытяжка заготовки более твердого наружного слоя (рис.1, а). На втором этапе на полученный полуфабрикат укладывается заготовка внутреннего слоя (рис.1, б), после чего осуществляются сначала вытяжка совмещенной вытяжки двухслойных изделий с повышенной прочностью слоев в осевом направлении (рис.1, в), а затем совместная вытяжка обоих слоев (рис.1, г). На первом этапе вытяжки и в начальной стадии второго

этапа, когда происходит раздельное деформирование заготовок, толщину стенки каждого из слоев можно регулировать размерами инструмента. На завершающей стадии второго этапа, когда происходит совместная вытяжка с утонением обеих заготовок, соотношение толщин слоев зависит от соотношения механических свойств материалов слоев. В результате этого в

начальный момент совместного деформирования заготовок происходит перераспределение толщин слоев, приводящее к образованию уступа на границе раздела, который обеспечивает их надежное соединение (рис.1, д).



На рисунке 2 представлена схема штампа для изготовления полых деталей с наружным расположением мягкого слоя и высокой прочностью соединения слоев в окружном направлении. В начале рабочего хода пуансон 5 осуществляет вытяжку с утонением заготовки 4 внутреннего слоя через матрицу 3. При дальнейшем движении пуансона вытянутая заготовка внутреннего слоя проходит через обойму 7 с шариками, которые, вдавливаясь в заготовку, приводят ее во вращение и образуют на наружной боковой поверхности заготовки внутреннего слоя продольные канавки. Далее пуансон с находящимся на нем вытянутым слоем осуществляет вытяжку двухслойных изделий с повышенной прочностью слоев в окружном направлении. При этом материал полуфабриката 8 наружного слоя заполняет сформированные на

предыдущем этапе продольные канавки. Прочность соединения слоев в этом случае определяется количеством канавок, их шириной и прочностью на срез материала мягкого слоя.

УДК 621.771

### Прокатка порошковых материалов

Студенты гр. 104419 Малей Е.А., Стрелкина-Макаревич В.А.

Научный руководитель – Белявин К.Е.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Биметаллическими материалами называются комбинированные материалы на металлической подложке, на которой формируется рабочий слой. Существующие способы получения биметаллических антифрикционных материалов (сварка взрывом, заливка легкоплавкого металла по тугоплавкому, погружение тугоплавкого металла в расплавленный легкоплавкий металл, плазменное напыление) имеют ряд недостатков, к которым можно отнести: недостаточную прочность изделия; большой расход смазочного материала; неравномерный износ подшипника; применение дорогостоящих материалов.

Передовым решением в разработке самосмазывающихся материалов является метод порошковой металлургии для создания на стальной подложке пористого бронзового слоя толщиной 0,25 – 1,0 мм. При этом возможно получить пористый слой бронзы самого разнообразного состава с последующей пропиткой его смазочным материалом или полимером. Такие материалы промышленно выпускаются в России и за рубежом, в виде лент. Заполнение пор бронзового слоя композициями на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) с различными наполнителями позволяет создавать материалы, способные работать без смазки в широком диапазоне температур при высоких давлениях. Однако при трении без смазки долговечность подшипников из таких материалов значительно снижается при повышении скорости скольжения выше 1 – 2 м/с, из-за развивающейся

высокой температуры в зоне трения. Еще один недостаток промышленных аналогов - рост коэффициента трения с течением времени, так как по мере изнашивания площадь, занимаемая бронзовым каркасом в рабочем слое материала, изменяется (увеличивается). Причиной этих недостатков является большое содержание бронзы в пористом рабочем слое, которое для аналогов составляет 80 – 85 %. Столь высокое содержание бронзы зависит от способа получения материалов, в которых пористый слой бронзы получают свободным насыпанием сферического порошка бронзы на ленту и его свободное спекание. В результате можно получить только одну структуру пористого слоя. Изменение данной структуры, с целью улучшения эксплуатационных свойств подшипника, является одной из задач проведения исследований в области получения биметаллического антифрикционного материала методом прокатки и порошковой металлургии.

Предложенная технология включает в себя:

- подготовку поверхности материала стального слоя подшипника скольжения, с целью устранения оксидной пленки, а также нанесения рельефа в виде сетки с зубом наклоном  $45^\circ$ , глубиной 0,2 – 0,5 мм для увеличения удельной поверхности;

- спекание образцов. Антифрикционный порошковый слой на пластину наносится свободной насыпкой на специальном приспособлении для получения равномерного по толщине слоя. После чего пластины с антифрикционным порошковым слоем подвергается термической обработке (спеканию) в защитно-восстановительной атмосфере эндогаза при температуре 750 – 780 °С, в течении 50 – 60 мин;

- прокатку полученной композиции.

Микроструктурный анализ образцов показывает, что в структуре бронзового слоя наблюдаются сферические частицы с различной степенью деформации – большая пористость у поверхности и незначительная у плоскости контакта со стальным основанием. Это связано с рельефом предварительно сформированной поверхности пластины (рисунок 1), что способствует лучшему взаимодействию компонентов двухслойного материала, при сохранении способности насыщения поверхностного слоя жидкими смазками.



Рисунок 1 – Микроструктура двухслойного материала с неравномерной пористостью

В перспективе, т.к. разрабатываемый метод положительно отличается от аналогов простотой, то он может быть внедрен на любом ремонтном или промышленном предприятии как основной или дополнительный технологический процесс производства антифрикционных материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками.



УДК 621.73.073

## **Процесс изотермической штамповки крупногабаритных поковок сложной формы из трудно деформируемых сплавов**

Студенты гр. 104419 Митько Е.Е., Жданович С.А., Мытько И.Л.  
Научный руководитель – Карпицкий В.С.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Сущность процесса и его возможности. Процессы изотермического деформирования отличаются от обычных, традиционных способов горячей штамповки тем, что формирование нагретой заготовки осуществляют в инструменте, нагретом до температуры деформации заготовки. Термин «изотермическая штамповка» характеризует суть процесса, а не температуру штампуемого металла, которая в процессе деформирования будет повышаться вследствие теплового эффекта деформации. Высокотемпературным изотермическим деформированием из легированных сталей, титановых и жаропрочных сплавов можно получать заготовки разнообразных конфигураций. Особенности изотермического деформирования обуславливают область его применения:

- для малопластичных металлов, не поддающихся обработке давлением в обычных условиях, и штамповки заготовок;
- для деталей с элементами небольшой толщины (высокие и узкие ребра, тонкие полотна), которые в обычных условиях можно получить только с большими напусками;
- при требованиях повышенной точности, особенно для деталей из дорогостоящих материалов;
- для крупногабаритных деталей, требующих в обычных условиях оборудования повышенной мощности;
- для изделий, к качеству и надежности которых предъявляются повышенные требования.

При этом скорость деформации может быть сколь угодно малой, нижний предел ее ограничен только производительностью процесса. Уменьшение скорости деформации приводит к снижению сопротивления металла деформированию по сравнению с условиями горячей штамповки, что позволяет использовать для изотермической штамповки менее мощное оборудование и экономить производственные площади и энергию. Это особенно важно при получении крупногабаритных и сложных поковок типа балок, дисков, кронштейнов и т. д. Штамповка таких деталей в обычных условиях бывает невозможной из-за недостаточной мощности оборудования, что приводит к необходимости большого числа нагрева и переходов или к созданию нового, часто уникального и дорогостоящего оборудования большой мощности.

Практическое осуществление процесса изотермического деформирования стало возможным благодаря развитию металлургии конструкционных сплавов с высокой жаропрочностью, которые можно использовать в качестве штамповых материалов, работающих в условиях высоких температур.

Изотермические условия можно создать в специальных штамповых блоках, позволяющих со сравнительно небольшими затратами энергии нагревать инструмент до температуры деформации. Штамповыми материалами служат литейные жаропрочные сплавы на никелевой основе. Заготовки нагревают в автономном нагревателе или непосредственно в штамповом блоке.

Изотермическая штамповка металлов и сплавов имеет преимущества по сравнению с обычной штамповкой. В изотермических условиях скорость деформирования значительно меньше, чем при обычной штамповке. Это позволяет проводить штамповку при меньшем сопротивлении металла деформированию и, соответственно, меньшем усилии. Кроме этого, при изотермической штамповке удается достичь более равномерной деформации штампуемого металла.

Важным преимуществом изотермического деформирования является повышение пластичности обрабатываемого материала, что связано с более полным разупрочнением, а также «залечиванием» микротрещин вследствие диффузии в металле при пониженных скоростях деформации. Это позволяет получать в изотермических условиях детали сложной формы с тонкими элементами и ребрами. Скорость деформирования менее 0,005 м/с.

В процессе штамповки инструмент и заготовка нагреты до одной и той же высокой температуры. Высокая точность штамповки заготовок сложных конфигураций, особенно тонкостенных поковок, характеризующихся большим отношением площади поверхности к объему.

Точность и качество заготовок, штампованных в изотермических условиях, достигается в результате:

- уменьшения упругих деформаций системы пресс-штамп из-за снижения сопротивления деформированию штампуемого металла и усилия штамповки;
- уменьшения колебаний температуры деформации;
- снижения остаточных напряжений в объеме штампованной поковки, что уменьшает ее поводки при остывании и термообработке.

Изотермическая штамповка позволяет изготавливать:

- поковки непосредственно из исходного литого материала, имеющего плохую пластичность;
- поковки с небольшими штамповочными уклонами или без них, с резкими перепадами сечений, малыми радиусами переходов и припусками на обработку резанием
- осуществлять горячее изостатическое прессование для устранения микропористости, встречающейся обычно в алюминиевых отливках;
- позволяет штамповать металлы в сверхпластичном состоянии.

УДК 621.771.075

### **Особенности прокатки длинномерных заготовок в четырехвалковом калибре**

Студенты гр.104419 Нилов В.В., Ковалева Е.Ф.

Научный руководитель – Кудин М.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Особенность и оригинальность прокатного стана с четырехвалкового (СП4В) – в конструкции кассеты, совмещающей шестеренную и рабочую клетки обычного прокатного стана [1]. Валковая кассета (рисунок 1) состоит из двух стальных плит 1 толщиной 20 мм, в восемь прямоугольных отверстий которых посажены с натягом концы восьми балок 2. Торцы каждой балки стянуты с плитами болтами. В отверстия балок установлены втулки-подшипники 3 (бронза БрОФ10-1), в которые в свою очередь посажены ступицами шесть конических зубчатых колес 4 (40ХН; HRC38-40) и две концевые втулки 5. В шлицевые отверстия конических зубчатых колес 4 и втулок 5 установлены валы 6, фиксируемые торцевыми шайбами. На валах установлены валки-диски 7 со ступицами 8. Привод валков-дисков осуществляется через три конические зубчатые передачи от полый двойной полумуфты 9, на одном конце которой выполнен фланец муфты редуктора, а на второй – кулачки, входящие в зацепление с кулачками, выполненными на торце ведущего конического колеса. Стягивание торца зубчатого колеса с кулачковой полумуфтой

обеспечивается торцевой шайбой 11 посредством винта. Принятая конструкция валковой кассеты привода обеспечила разгрузку валов от действующих в зубчатых передачах усилий и равномерное распределение момента привода валков-дисков. Валки-диски с номинальным диаметром 400 мм (расстояние между осями параллельно расположенных валов) имеют образующий 0,25 калибра рабочий профиль и две фаски. По фаскам валки-диски сопрягаются между собой, образуя замкнутый профиль калибра.

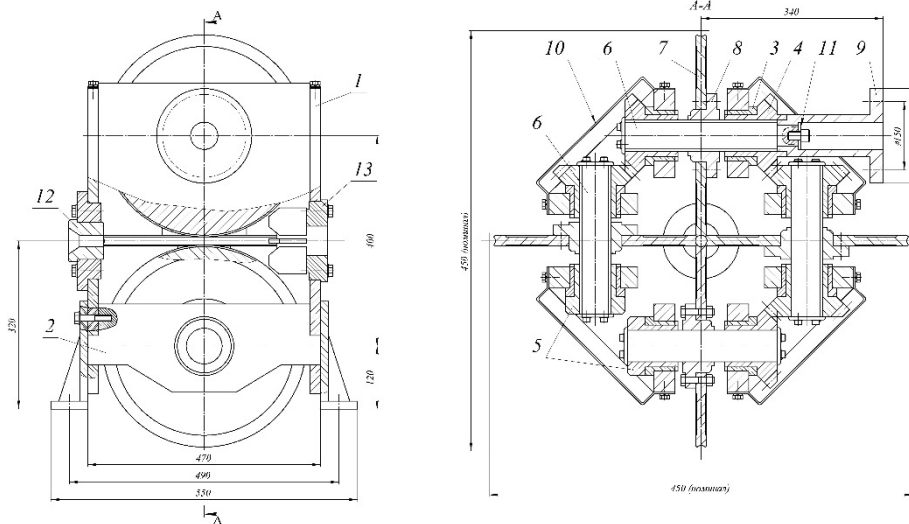


Рисунок 1 – Рабочая клетка стана с многосторонним обжатием

Одним из параметров, определяющих технологические возможности прокатного стана СП4В, является диаметр бочки валков. С увеличением диаметра бочки валков, при всех прочих равных условиях, возрастает длина дуги захвата, а, следовательно, поверхность контакта прокатываемой заготовки с валками и действующие на них усилие и крутящий момент привода валков. С другой стороны увеличение длины дуги захвата увеличивает глубину проработки высокой заготовки при сравнительно малых ее обжатиях. Исходя из этих соображений в разработанной конструкции принят номинальный диаметр валков  $D_b = 400$  мм. При планируемой холодной прокатке прутков с обжатием за проход в среднем равным  $\Delta h = 2$  мм угол захвата по наименьшему катающему радиусу, равному  $R_m = 189 - 190$  мм, составляет  $\alpha_m = 5,9^\circ = 0,103$  рад, а длина дуги захвата  $l_d = \alpha_m R_m = 19,56$  мм. При средней высоте прокатываемой заготовки  $h_{cp} = 20 - 30$  мм отношение  $l / h_{cp} = 19,56 / (20 - 30) \approx 1 - 0,65$ , что согласно известных работ Н.А. Соболевского, С.И. Губкина, Т.М. Голубева, А.П. Чекмарева и других «деформация сжатия» распространяется по всей высоте сечения прокатываемой заготовки [2]. Это одно из условий получения качественных, без внутренних дефектов непрерывно литых заготовок.

Расчет систем мнговалковых калибров, основан на соотношениях профиля вписанной фигуры исходной заготовки большего сечения в образованной валками калибр меньшего сечения при исключении образования заусенцев. Это предопределяет многопроходность прокатки с неполным заполнением калибра на первых проходах и подачу в чистовой калибр заготовок, вписываемых в сечение захвата полости калибра.

Вариант калибровки валком представлен на рисунке 2, где наибольший катающий радиус  $R_k$  уменьшается на величину 0,2 мм за счет подрезания центрирующих фасок валков-дисков на величину  $0,2 \sin 45^\circ = 0,14$  мм.

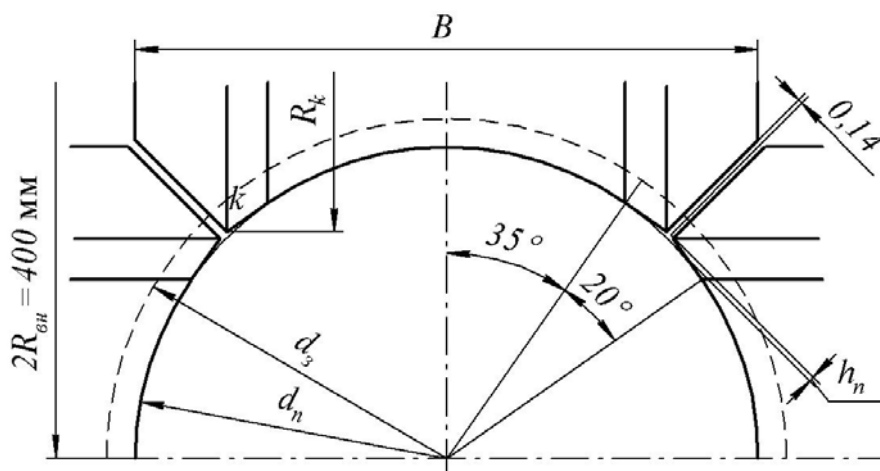


Рисунок 2 – Схема калибровки «круг-круг» с подрезанием фасок

Результаты экспериментов прокатки литых прутков показали, что выполнение калибров по предложенному варианту при обжатиях за один проход, не превышающих 18 – 20 %, позволяет получать по схеме «круг-круг» круглые прутки.

### Литература

1. Ложечников Е.Б., Кудин М.В., Клевжиц А.С., Боровнев С.В. Обработка непрерывно литых прутков латуни прокаткой с многосторонним обжатием // *Материалы, технологии, инструменты*. – 2005 – №1, С. 81 – 83.
2. Губкин С.И. Теория обработки металлов давлением. – М.: Металлургиздат, 1947. – 531 с.

УДК 621.93

### Вытяжка деталей с нагревом зоны пластической деформации

Студенты гр. 104419 Свистун А.А., Мазур Д.С., Торопыгин И.А.  
 Научный руководитель – Логачев М.В.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

При вытяжке деталей наибольшее радиальное растягивающее напряжение не должно превышать критического напряжения текучести  $\sigma_s$ , при котором происходит локальная потеря устойчивости (появление шейки) в зоне передачи усилия, а именно – в опасном сечении вытягиваемого изделия. Используя экспериментально установленную зависимость  $\sigma_s^* = (1,1 - 1,2) \sigma_B$ , указанное условие без учета сил трения может быть представлено в следующем виде:

$$\beta \sigma_s \ln(R/r) = 1,1 \sigma_B \quad (1)$$

откуда при  $\beta = 1,1$

$$R/r = K_B = \exp(\sigma_B / \sigma_s), \quad (2)$$

где  $\sigma_s$  – напряжение текучести в очаге деформации;  $\sigma_B$  – временное сопротивление разрыву в зоне передачи усилия.

Анализ условия (2) показывает, что коэффициент вытяжки увеличивается с ростом  $\sigma_B$  в зоне передачи усилия и уменьшением  $\sigma_s$  в зоне пластической деформации. С учетом этого разработаны два способа вытяжки: с локальным нагревом зоны пластической деформации (с целью уменьшения  $\sigma_s$  в этой зоне) и с локальным охлаждением зоны передачи усилия (с целью увеличения  $\sigma_B$  на этом участке).

Штамповку с нагревом зоны пластической деформации применяют, в основном, в производстве деталей летательных аппаратов, изготавливаемых из магниевых и алюминиевых сплавов. С локальным нагревом проводят вытяжку высоких цилиндрических и коробчатых деталей из плоских заготовок, а также обжим и раздачу трубчатых заготовок. Кроме того, осуществляют «выворот» и осадку трубчатых заготовок, что позволяет получать детали сложной формы.

Температура нагрева зоны деформации зависит от материала заготовки. Для алюминия и его сплавов она составляет 400 – 450 °С, для магниевых сплавов – 360 – 380 °С. Время выдержки для нагрева заготовки зависит, в основном, от ее толщины. Для заготовок из алюминиевых сплавов время выдержки определяют из расчета 6 – 8 с на 1 мм толщины. При вытяжке нагрев зоны пластической деформации заготовки осуществляют электронагревателями, встроенными непосредственно в штамп (рисунок 1). Для создания возможно большей разности температур в опасном сечении и фланце заготовки пуансон штампа для вытяжки охлаждают проточной водой. В связи со сравнительно большой продолжительностью нагрева заготовки штамповку осуществляют на гидравлических прессах или на прессах для штамповки пластмасс.

Особенно эффективна вытяжка с локальным нагревом при изготовлении некруглых в поперечном сечении деталей: квадратных, прямоугольных, овальных, типа «восьмерки» и др., с малым радиусом скругления угловых участков. При вытяжке с нагревом за одну операцию можно получить некруглые детали более высокие, чем при вытяжке при комнатной температуре.

Установлено, что при вытяжке магниевых сплавов МА1 и МА8 с нагревом фланца до температуры 350 °С критическая степень деформации увеличивается в 3 – 3,5 раза по сравнению с вытяжкой без локального нагрева. При вытяжке температура нагрева очага деформации должна повышаться от внутреннего к внешнему контуру фланца. При этом сопротивление деформированию материала фланца будет увеличиваться в обратном направлении.

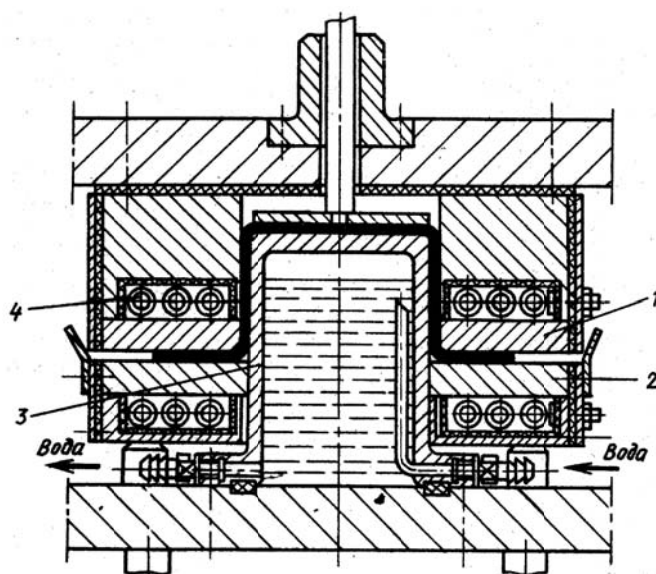


Рисунок 1 – Схема штампа для вытяжки с нагревом зоны пластической деформации:  
1 – матрица; 2 – прижимное кольцо; 3 – пуансон; 4 – электронагреватель

**Камерная печь для концевого нагрева в кипящем слое теплоносителя**

Студенты гр. 104419 Свистун А.А., Мазур Д.С., Торопыгин И.А.  
Научный руководитель – Логачев М.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В последние годы разработаны конструкции камерных печей, где нагрев осуществляется в кипящем слое инертного теплоносителя (рисунок 1). Такая печь предназначена для нагрева под ковку и штамповку концов заготовок диаметром 10 – 70 мм на длину до 200 мм практически любых сечений. Она представляет собой футерованную огнеупорным материалом камеру с двумя сводами. Горелочным устройством является под печи (металлическая газораспределительная решетка, на которой лежит слой огнеупорной крошки размером 0,4 – 1,0 мм (магнезит или другой материал)). Решетка состоит из двух-трех секций, разделенных герметичными перегородками. Каждая секция решетки образует тепловую зону печи. В основную зону (технологическую), где металл нагревается до 1273 – 1573 °К, через решетку подается газоздушная смесь с недостатком воздуха ( $\alpha = 0,45 - 0,5$ ), что создает условия для малоокислительного нагрева металла. Недостаток теплоты в технологической зоне восполняется из соседних зон, где газ полностью сжигается ( $\alpha > 1$ ). При этом теплота переносится теплоносителем, хаотически циркулирующим из зоны в зону вследствие псевдооживления, создаваемого потоком газоздушной смеси. Таким образом в печи интенсивно перемешивается промежуточный теплоноситель, а газовая среда практически не перемещается, поэтому в зоне нагрева сохраняется автономная газовая атмосфера, содержащая СО и Н<sub>2</sub>, которая дожигается под сводом за счет избытка воздуха, поступающего из соседних зон.

Окно загрузки-выгрузки металла оборудовано специальным затвором, препятствующим выносу теплоносителя при перемещении заготовки. В затвор подается сжатый воздух, который сдувает теплоноситель, а затем поступает в подсводовое пространство для дожигания продуктов неполного горения (СО и Н<sub>2</sub>).

Печь оборудована системой теплового контроля и регулирования (температура регулируется изменением расхода газа в зоне нагрева теплоносителя) и обеспечивает безокислительный нагрев заготовок со скоростью, в 2 – 2,5 раза превышающей скорость нагрева в пламенных печах, за счет более интенсивного теплообмена. В отличие от пламенных печей из печи с кипящим слоем исключено излучение на нагревательщика.

Печи с кипящим слоем были разработаны в Минском конструкторско-технологическом и экспериментальном институте Министерства автомобильной промышленности (МКТЭИавтопром) при участии Института тепло- и массообмена Национальной академии наук Республики Беларусь.

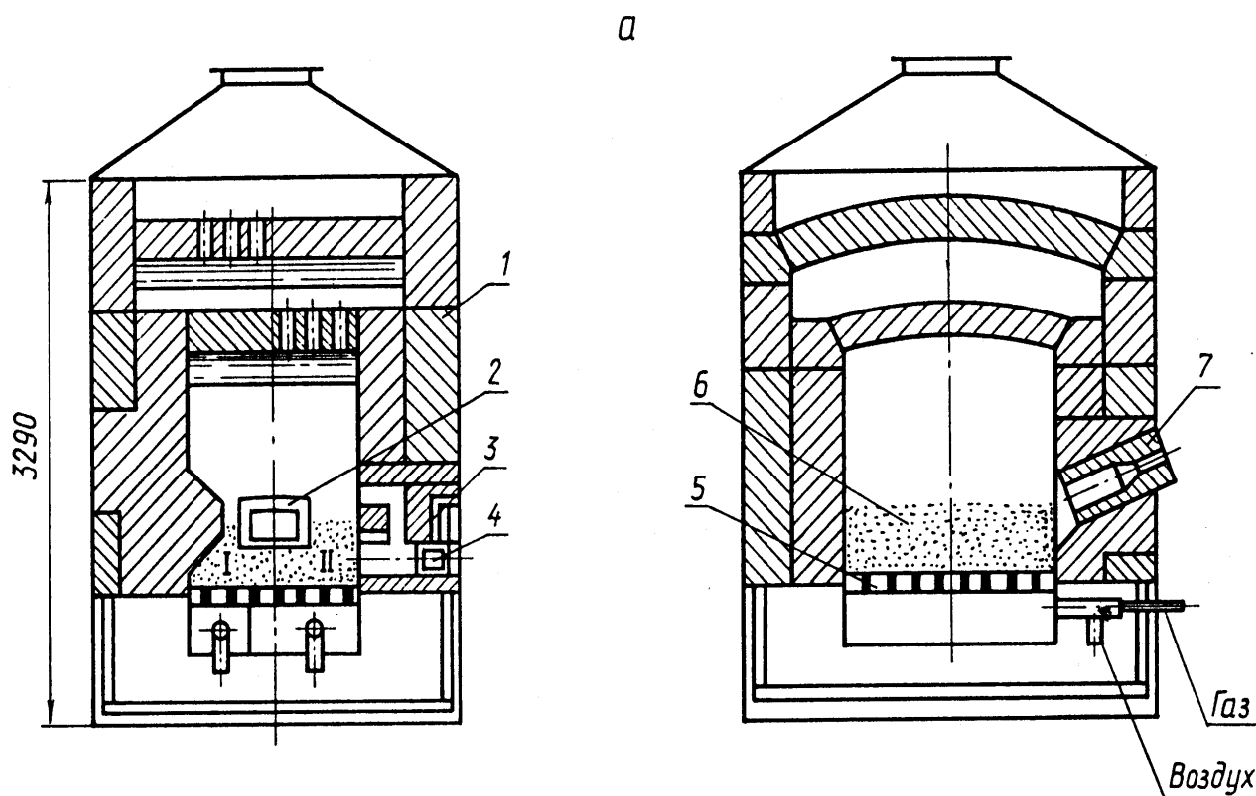


Рисунок 1 – Печь для концевго нагрева в кипящем слое теплоносителя:  
 а – для однократного нагрева концов штанг; 1 – футеровка; 2 – ремонтное окно;  
 3 – воздушный затвор; 4 – загрузочное окно; 5 – газораспределительная решетка;  
 6 – промежуточный теплоноситель; 7 – горелка для разогрева

УДК 621.70

### Механические схемы деформаций

Студенты гр.104419 Сидоренко А.М., Севрук М.С.  
 Научный руководитель – Исаевич Л.А.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Для анализа процессов деформирования при обработке металлов давлением С.И. Губкиным [1, 2] было введено понятие механических схем деформации. Оно дает графическое представление о наличии и знаке главных напряжений и главных деформаций, являясь графической интерпретацией связей между напряжениями и деформациями. Механические схемы деформации представляют собой совокупность схем главных напряжений и схем главных деформаций.

Установлено, что напряженное состояние для данного конкретного процесса обработки металлов давлением характеризуется одной из девяти возможных схем главных напряжений и одной из трех возможных схем главных деформаций. Поэтому при одинаковой схеме напряжений для разных процессов схемы деформаций могут быть различны. С другой стороны, одинаковые схемы деформаций могут быть обусловлены различными схемами напряжений.

Согласно [1, 2] каждая из четырех объемных и трех плоских схем напряжений может сочетаться с любой из трех схем деформаций. Каждая линейная схема напряжений

сочетается лишь с одной из трех возможных схем деформаций. Так, линейная схема с напряжением растяжения имеет объемную схему деформации с одной компонентой удлинения и двумя компонентами укорочения. Линейная схема с напряжением сжатия имеет объемную схему деформации с одной компонентой укорочения и двумя компонентами удлинения.

Таким образом, согласно [1, 2] число возможных механических схем деформации определяется как  $\sigma\varepsilon + (4 + 3)\sigma \cdot 3\varepsilon = 23\sigma\varepsilon$ .

Попытаемся разобраться, так ли это на самом деле. На основании обобщенного закона Гука для случая пластического деформирования [1, 2] можно записать:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{1}{E'} \left[ \sigma_1 - \frac{1}{2}(\sigma_2 + \sigma_3) \right] \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{E'} \left[ \sigma_2 - \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) \right], \\ \varepsilon_3 &= \frac{1}{E'} \left[ \sigma_3 - \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) \right] \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – главные напряжения,  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  – главные деформации,  $E'$  – модуль пластичности первого рода.

Рассмотрим плоскую схему деформаций. Пусть в нашем случае  $\varepsilon_1 = 0$ . Тогда из среднего уравнения системы (1) следует  $\sigma_2 - 1/2(\sigma_1 + \sigma_3) = 0$ , и далее

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad (2)$$

Таким образом, для плоской схемы деформаций характерна объемная схема напряжений, в которой компоненты главных напряжений связаны зависимостью (2).

На основании данной зависимости попытаемся определить соотношения компонент главных напряжений для случая плоского напряженного состояния, когда, например,  $\sigma_2 = 0$ . Тогда из (2) следует что  $\sigma_1 + \sigma_3 = 0$ . Но такое равенство возможно при условии, когда компоненты главных напряжений, стоящие в левой части равенства, будут равны между собой и иметь разные знаки, т.е.  $\sigma_1 = -\sigma_3$ . Такое соотношение между главными напряжениями характерно для чистого сдвига, реализуемого в условиях плоского деформированного состояния.

Следовательно, плоская схема деформаций может сочетаться только с одной из трех схем плоского напряженного состояния (рисунок 1).

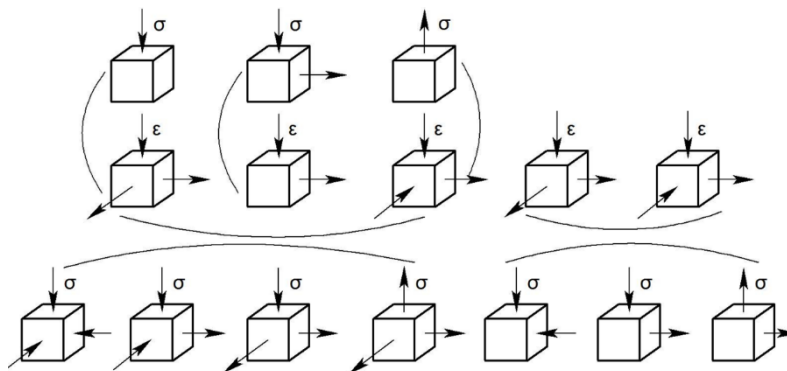


Рисунок 1 – Геометрическая интерпретация механических схем деформаций



Отсюда вытекает, что общее количество механических схем деформаций составляет:

$$4\sigma \cdot 3\varepsilon + 3\sigma \cdot 2\varepsilon + 3\sigma\varepsilon = 21\sigma\varepsilon$$

Процессы обработки металлов давлением считаются механически сравнимыми, если они имеют одну и ту же механическую схему деформаций.

Таким образом, анализ механических схем деформаций позволил установить, что общее их количество равно 21, а не 23, как отмечалось ранее поскольку схема плоской деформации может сочетаться только со схемой плоского напряженного состояния в условиях чистого сдвига.

### Литература

1. Губкин, С.И. Теория обработки металлов давлением / С.И. Губкин. -М.: Metallurgizdat, 1947. - 532 с.
2. Губкин, С.И. Пластическая деформация металлов: в 3 т. / С.И. Губкин. - М.: Metallurgizdat, 1960. - Т. 1. - 376 с. - Т. 2 - 416 с.-Т. 3.-360 с.

УДК 621.771

### Разработка комбинированной технологии изготовления рабочих деталей почвообрабатывающей роторной техники

Студенты гр. 104419 Чиж А.В., Варакса Н.С., гр.104418 Сачко Д.А.

Научный руководитель – Давидович Л.М.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Почвообрабатывающая роторная техника применяется в сельскохозяйственном производстве при бороновании почвы. Боронование, как технологический процесс обработки поверхности почвы, производится для рыхления, выравнивания, уничтожения корки, очистки пашни от сорняков, заделки в почву удобрений. В процессе боронования зубья бороны подвергаются быстрому износу и подлежат замене.

В связи с отсутствием производства зубьев роторных борон в республике, задача создания экономичной технологии этих рабочих органов с заданным комплексом механических свойств является весьма актуальной.

Зуб роторной бороны имеет Г-образную конструкцию и состоит из монтажной и рабочей частей (рисунок 1).

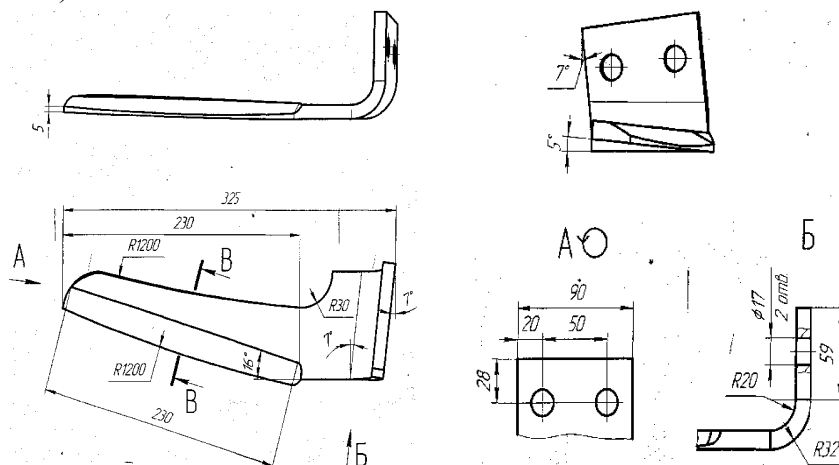


Рисунок 1 – Зуб бороны

Такая конструкция зуба позволяет использовать его с вертикальным и горизонтальным расположением ротора. Однако, из-за высокой энергоемкости роторной бороны с горизонтальным расположением ротора, наиболее часто применяются машины с вертикальным расположением роторов. Такое оборудование выпускается различными иностранными фирмами "Rabe", "Lemken", "Amazon" и др.

Зубья роторных борон работают в условиях высоких ударных нагрузок и испытывают значительные изгибающие напряжения из-за консольного расположения рабочей части зуба. Поэтому требования к качеству этого изделия определяют выбор технологии и материалов для их изготовления.

При выборе материала для изготовления зуба роторной бороны был проведен анализ химического состава и механических свойств зубьев и других почвообрабатывающих органов различных иностранных производителей. Общим для материалов рабочих органов является сравнительно низкое содержание углерода – 0,3 – 0,4 % и наличие кроме легирующих элементов Mn, Si, большого количества микродобавок Mo, Ti, Cr, Co и других.

Для повышения износостойкости при воздействии ударных нагрузок, т.е. увеличения вязких свойств, содержание углерода невелико – всего лишь 0,247 %. В то же время анализ механических характеристик показал, что за счет применения легирующих элементов и микродобавок твердость стали составляет 46 – 48 HRC. При этом распределение твердости по сечению детали равномерное, т.е. она одинакова как на поверхности, так и в сердцевине изделия. Предел прочности стали составляет  $\sigma_b = 1700 - 1800$  МПа, а ударная вязкость  $a_n = 70 - 80$  Дж/см<sup>2</sup>.

По комплексу механических свойств этим требованиям в наибольшей степени соответствуют стали 30ХГСА. Эта сталь применяется для изготовления деталей, к которым предъявляются требования высокой прочности, упругости и износостойкости. После ТПО и закалки с 900 °С с последующим охлаждением в масле и отпуске при 200 °С сталь 30ХГСА имеет предел прочности  $\sigma_b = 1960$  МПа и ударную вязкость 60 Дж/см<sup>2</sup> и способна выдерживать пластические деформации. Применение этого материала для изготовления зуба роторной бороны вполне приемлемо.

Технологический процесс обработки зуба бороны включает в себя плазменную резку заготовки и монтажных конструктивных элементов, индукционный нагрев заготовки до температуры 1150 – 1200 °С, продольно-поперечную прокатку, объемную штамповку детали и термообработку, состоящую из закалки и отпуска.

Приведенная комбинированная технология в настоящий момент внедряется на предприятиях Республики Беларусь.

# **Металлургические процессы**

**Альтернативные технологии производства чугуна**

Студент гр.104139 Буйницкая А.С.  
Научный руководитель – Трусова И.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В развитых странах до 70 % валового национального продукта (ВНП) составляет продукция, содержащая металлы. Причем доля черных металлов среди конструкционных материалов находится в пределах 90 – 92 %. Именно поэтому металлургия является базовой отраслью промышленности. Не оправдались прогнозы XX века о расширении масштабов замены стали пластмассами, алюминием, композитами, керамикой. Реально доля замены сталей альтернативными материалами находится в пределах 2 – 5 %.

Многовековое существование металлургии отягощает ее современный облик устаревшими технологиями, не учитывающими новые экологические требования по защите окружающей среды. Сталь производят на интегрированных заводах из чугуна, используя капиталоемкие кислородные конвертеры или мартеновские печи для удаления углерода. В то же время чугун производят из сырья, не содержащего углерода, но при выплавке в домне по условиям технологии происходит его науглероживание.

В данной работе рассмотрены такие виды производства чугунов, как:

- «HISMELT»;
- «Ромелт»;
- «Finex»;
- «Corex».

COREX® это промышленно и коммерчески опробованный процесс прямого восстановления железа, который допускает экономичное и экологически безвредное производство чугуна непосредственно из железной руды и некоксуемого угля. Процесс был разработан подразделением Siemens VAI и стал единственной альтернативой традиционному доменному производству, включающему установку агломерации, коксовую и доменные печи.

Основными отличиями COREX® от обычного доменного процесса являются: прямое использование в качестве восстановительного агента и источника энергии некоксуемого угля, легкая и практичная загрузка железной руды в технологический процесс в виде кусковой руды, окатышей или агломерата.

FINEX® – это плавильно-восстановительный процесс, основанный на прямом использовании некоксуемого угля и железорудной мелочи и являющийся наиболее востребованной технологией производства чугуна на современном рынке.

Процесс Ромелт – разработанный в Московском государственном институте стали и сплавов под руководством профессора В.А. Роменца одностадийный процесс жидкофазного восстановления неподготовленных железорудных материалов с использованием в качестве восстановителя энергетических углей осуществляется в плавильно-восстановительной печи прямоугольного сечения, работающем с небольшим разряжением в рабочем пространстве, исключая выбросы газов в атмосферу.

В процессе HIs melt металлосодержащий шихтовой материал и твердый углеродосодержащий материал вдувают в расплавленную ванну через ряд фурм/сопел, которые наклонены относительно вертикали таким образом, чтобы проходить вниз и внутрь через боковую стенку плавильного агрегата и в нижнюю область агрегата, так чтобы доставлять, по меньшей мере, часть твердого материала в слой металла на дне агрегата. Агрегат включает в себя футерованные огнеупорами панели с водяным охлаждением на боковых стенках и своде агрегата, причем вода непрерывно циркулирует в панелях по замкнутой схеме.

УДК 62-611

## Альтернативные источники энергии сталеплавильного производства

Студент гр. 104139 Синькевич Е.Л.  
Научный руководитель – Трусова И.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В данной работе рассмотрены такие методы как электросталеплавильный, мартеновский, конвертерный.

World Steel Association (Worldsteel) подвела итоги развития мировой металлургической отрасли в 2012 году. По ее данным, в 62 странах, подающих информацию о своих объемах производства в WSA, в прошлом году было выплавлено 1510,2 млн. т стали, что на 1,4 % превышает показатели годичной данности. В то же время, в ассоциации указывают и другую цифру – 1548 млн. т, на 1,2 % больше, чем в 2011 году. Впервые в мировой истории объем выплавки стали превысил отметку полтора миллиарда тонн. В настоящее время кислородно-конвертерное производство стали занимает 60 %, мартеновское 2 %, в электродуговых печах около 30 %.

Основными энергоносителями в конвертерном процессе производства стали являются кислород (20...35 %), электрический ток (20...30 %), топливо (10...30 %). При наличии подтопки котло-охлаждателей конвертерных газов доля топлива может достичь 50 %. Энергозатраты на техническую воду и воду оборотного цикла газоочистки составляют 2...10 %. Потребление теплоты в виде пара и горячей воды оценивается в 4...20 %. Около 50 % энергозатрат приходится на газоотводящий тракт. В ходе продувки кислородом из конвертера выделяется газ, содержащий 90 % CO и 10 CO<sub>2</sub> (по объему). В расходной части теплового баланса конвертерной плавки конвертерному газу соответствует 35...38 % теплоты. Степень использования теплоты данного газа в значительной мере определяет энергетическую эффективность технологического процесса.

Энергетическая и технологическая эффективность кислородно-конвертерного производства стали в значительной мере зависит от условий взаимодействия кислородной струи с металлургической ванной, определяющих удельный расход кислорода. На эти условия влияет ряд факторов; основными из них является давление кислорода, конструктивные характеристики конвертерной фурмы, положение фурмы над уровнем расплава. Перспективное направление экономии кислорода – сокращение доли чугуна в шихте конвертеров путем дожигания конвертерного газа в полости конвертера. При освоении систем использования химической энергии конвертерного газа, отводимого без дожигания оксида углерода, возможен нагрев лома этим газом и вне конвертера.

Мартеновский процесс сыграл огромную роль в производстве стали в XIX – XX веках. Однако в современных условиях у него можно отметить ряд недостатков. Во-первых, низкая производительность, во-вторых, большие трудности в синхронизации плавки стали в мартеновской печи и разлива стали на МНЛЗ, в-третьих, большой расход огнеупорных материалов и доля ручного труда при ремонтах печей, в-четвертых, более тяжелые условия труда. По этим причинам мартеновский процесс неуклонно вытесняют кислородно-конвертерный и электросталеплавильный. В значительных объемах мартеновское производство сохранилось лишь в Китае, России и Украине, что объясняется недостатком финансовых средств при модернизации сталеплавильного производства. К 2020 г. планируется полная ликвидация мартеновского производства.

В настоящее время в сталеплавильном производстве широко используются электродуговые печи переменного тока (ДСП) и постоянного тока (ДППТ). Эти печи имеют аналогичные исполнения основных конструктивных элементов, одинаковые схемы загрузки шихты и разлива металла, используют одни и те же огнеупорные материалы, позволяют применить одни и те же технологические процессы плавления и доводки металла.

**Современное производство трубной продукции**

Студент гр. 104139 Ярош К.А.  
Научный руководитель – Трусова И.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В начале XXI века в мировой трубной промышленности происходят процессы коренной модернизации и реконструкции с учетом критериев «ресурсосбережение» и «энергосбережение». Примерно 97 % общего количества стальных горячекатаных труб в настоящее время производится на трубопрокатных агрегатах четырех видов: около 40 % на трубопрокатных агрегатах с автоматическим станом или станом тандем; более 22 % - на трубопрокатных агрегатах с непрерывным оправочным станом; примерно 18 % – трубопрокатных агрегатах с пилигримовым станом; до 10 % – трубопрокатных агрегатах с трехвалковым станом.

Металлические трубы изготавливают прокаткой, сваркой (или пайкой), прессованием, волочением и комбинацией этих способов, а также вытяжкой из расплавленного металла и литьем. При этом следует иметь в виду, что трубная продукция получается не только круглая, но и фасонная, а также переменного сечения, как по диаметру, так и по толщине стенки. Для производственных и строительных нужд изготавливаются металлические трубы с прямоугольным, квадратным и овальным сечениями. Металлургические заводы выпускают трубы из углеродистых, легированных и высоколегированных сталей, цветных металлов и сплавов сложного состава, биметаллические трубы и др.

В зависимости от условий изготовления и марки конструкционной стали металлических труб, позволяет разделить их на следующие виды:

- ✓ горячедеформированные круглые трубы;
- ✓ холоднодеформированные круглые трубы;
- ✓ водогазопроводные металлические трубы;
- ✓ электросварные металлические трубы;
- ✓ нержавеющие трубы.

Определяющие тенденции эволюции структуры производства в современных условиях определяются двумя группами критериев:

- ✓ количественные критерии – уровень производства и темпы роста производства;
- ✓ качественные критерии – расходные коэффициенты материалов и энергии,

производительность труда.

Мировая трубная промышленность интенсивно развивается за счет внедрения современных ресурсосберегающих технологий и прогрессивного технологического оборудования на действующих предприятиях, строительства новых современных высокопроизводительных производств, с высоким уровнем механизации и автоматизации.

В мировой практике применяют различные подходы к реализации эффективных инвестиционно-инновационных проектов.

В основе этих конкретных проектов лежат современные концепции, разрабатываемые с учетом мировых тенденций и специфических условий каждого проекта.

В работе рассмотрены основные технологические схемы производства горячекатаных труб и методы повышения конкурентоспособности трубной продукции, базирующиеся на снижении энергоемкости и улучшения качества трубной продукции.

**Пути снижения себестоимости производства стали**

Студент гр. 104139 Василевич Е.О.  
Научный руководитель – Румянцева Г.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В современных условиях становления рыночной экономики и совершенствования управления, выработки новой стратегии развития предприятий усиливаются роль и значение экономико-статистического анализа себестоимости продукции.

Успех предприятия зависит от формирования себестоимости по нескольким причинам:

- затраты на производство изделия выступают важнейшим элементом при определении справедливой и конкурентоспособной продажной цены;
- информация о себестоимости часто лежит в основе прогнозирования и управления их затратами

Основную долю (60 – 70 % и более) себестоимости стали составляет стоимость сырья, прежде всего чугуна, особенно в конвертерном процессе. Расходы собственно сталеплавильного передела обычно не превышают 15 – 20 %, поэтому существенное снижение стоимости стали невозможно только интенсификацией сталеплавильного производства. Для этого необходимо, прежде всего, снижение стоимости основного вида сырья – чугуна. При сохранении получения чугуна в доменных печах, для эффективной работы которых требуется только высококачественное железорудное сырье (окатыши, агломерат) и топливо (кокс), снижение его себестоимости ни сейчас, ни в будущем не представляется возможным, наоборот, можно ожидать дальнейшего повышения стоимости, причем не меньше, чем в прошлом.

Металлургический комплекс, включающий все четыре звена, может обеспечить снижение себестоимости стали в 1,5 – 2 раза. Это будет достигнуто главным образом благодаря замене дорогостоящих видов первичного сырья дешевыми: кокса – энергетическими углями, агломерата и окатышей – порошкообразной железной рудой (без обогащения или после неглубокого обогащения), а также в результате применения вторичных энергоресурсов для плавления лома. Исключение или упрощение обогащения железной руды позволит также снизить безвозвратные потери железа, извлеченного из недр, в два-три раза (эти потери составляют до 50 %, из них 30 – 35 % приходится на процесс обогащения).

В расходах по переделу большую часть составляют условно-постоянные расходы, т.е. расходы, абсолютная величина которых не изменяется с увеличением или уменьшением общего объема производства. Следовательно, повышение производительности печей и цеха в целом в результате уменьшения доли этих расходов обеспечит снижение себестоимости.

**Логистика в металлургическом комплексе**

Студент гр. 104139 Волошко П.В.  
Научный руководитель – Ратников П.Э.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Развитие металлургии в странах СНГ с рыночными отношениями началось совсем недавно. Сегодняшняя логистика в металлургическом комплексе – отрасль довольно молодая

и имеет ряд проблем. Для того, чтобы металлопродукция была востребована на международном рынке и могла конкурировать во времена быстро сменяющихся и новых технологий, предприятие вынуждено снижать цену на выпускаемую продукцию. Дабы оставаться «на плаву» предприятие должно искать пути снижения издержек (затрат). Одним из краеугольных составляющих снижения затрат и является отрасль производственного процесса – логистика.

В данной работе раскрывается широкое понимание части экономической науки – логистики. Рассматриваются ее виды, цели и задачи. В сжатом виде была сделана попытка затронуть и проанализировать тему роли логистики на промышленном, в частности на металлургическом, предприятии; проблем построения логистических схем, существующих ныне; путей выхода из рассмотренных проблем.

Логистика – часть экономической науки, предмет которой заключается в организации рационального процесса продвижения товаров и услуг от поставщиков сырья к потребителям, функционирования сферы обращения продукции, товаров, услуг, управления товарными запасами, создания инфраструктуры товародвижения.

С позиции менеджмента организации логистику можно рассматривать как стратегическое управление материальными потоками в процессе закупки, снабжения, перевозки, продажи, и хранения материалов, деталей и готового инвентаря, техники и прочего. Понятие включает в себя также управление соответствующими потоками информации, а также финансовыми потоками. Логистика направлена на оптимизацию издержек и рационализацию процесса производства, сбыта и сопутствующего сервиса как в рамках одного предприятия, так и для группы предприятий.

Содержанием логистики как науки является установление причинно-следственных связей и закономерностей, присущих процессу товародвижения, в целях определения и реализации на практике эффективных организационных форм и методов управления материальными и информационными потоками.

В многообъемлемом понимании термина логистической науки можно выделить ряд подотраслевых её форм, каждой из которой присущи свои области задач и их решения. В металлургическом комплексе наиболее важными и актуальными подотраслями логистики являются: закупочная, транспортная, распределительная, складская, сбытовая и комплексная.

Логистика в металлургических компаниях строится особым образом. Конечно, единого решения для всех быть не может – слишком специфичны и отрасль, и каждое принадлежащее ей предприятие. Тем не менее принципы построения системы существуют и здесь.

В силу специфических особенностей металлургических производственных процессов логистическая инфраструктура – внутризаводской транспорт и топология складского хозяйства – играет важнейшую роль в производстве. Инфраструктура непосредственно влияет и на ход выполнения производственной программы, и на себестоимость готовой продукции.

Главным считается обновление технологического оборудования основного производственного цикла, а решению логистических задач придается второстепенное значение. Тогда как известно: организация производства в соответствии с логистическими принципами способна привести к сокращению издержек на внутризаводские перемещения до 30 %.



УДК 62-112.6

### **Современные тенденции печестроения**

Студент гр. 104139 Шкода В.С.  
Научный руководитель – Ратников П.Э.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

К настоящему времени в области конструирования и автоматизации промышленных печей произошли столь значительные изменения и усовершенствования, которые с полным на то основанием можно охарактеризовать как технически революционные, обеспечивающие, высокие технологии в печестроении. В данной работе будут продемонстрированы некоторые из этих достижений на примере таких ответственных печных агрегатов как термические печи. Как известно, именно на так называемом четвертом переделе в металлургии - на этапе термообработки формируются и закрепляются многие важные эксплуатационные свойства стали и сплавов.

Приведем основные изменения на современном этапе, касающиеся как конструкции печей, так и технологии нагрева.

1. Резко возросли требования к равномерности нагрева. Эти требования касаются в равной степени как статической неравномерности – по объему садки, по сечению заготовки, так и динамической – динамических отклонений температуры в результате внесения возмущающих воздействий и работы регуляторов-стабилизаторов.

2. Существенно возросли требования к материалам футеровки печей и технологических агрегатов. Эти требования предусматривают, прежде всего, увеличение стойкости футеровки, снижение ее аккумулирующей способности, уменьшение сроков сооружения печей, снижение эксплуатационных затрат. Произошло существенное изменение подходов к выбору огнеупорных и теплоизоляционных материалов, к конструкции металлического каркаса и режимам эксплуатации печей.

3. Существенно расширились возможности горелочных устройств, как в выборе технического оснащения, так и в оснастке. Это, прежде всего автоматизированное импульсное отопление, обеспечение автоматическим розжигом, контролем пламени, как правило, индивидуальные запорные и регулирующие исполнительные органы, высокий подогрев воздуха.

4. Изменились и требования к автоматизации горелочных устройств в совокупности с управлением тепловыми режимами печи. При этом, предусматривается использование быстродействующих управляющих устройств для горелок импульсного отопления, совершенных цифровых регуляторов, использование контроллеров с разветвленными возможностями программного управления, создание эффективного информационного обеспечения функционирования печи.

УДК 62-03

### **Современные технологии производства листовой продукции**

Студент гр. 104139 Косач Д.Е.  
Научный руководитель – Кабишов С.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Современная промышленность выпускает множество самых разнообразных изделий из металла. Начиная с 60-х годов прошлого века, всё большую долю в мировом производстве металла играет выпуск металлического профиля. По разным оценкам на его долю приходится от 40 до 60 % всего выпускаемого в мире металла. В самом широком смысле под профилем понимают любое изделие, получаемое прессованием, формовкой, прокаткой.

Существует два метода получения листовой стали – горяче- и холоднокатанный. Первый известен гораздо дольше, второй отличается повышенной экономичностью. Как отмечают специалисты, при холодной прокатке металла удастся снизить его расходы на 10 – 15 %.

Среди современных технологий производства листовой продукции в настоящее время используется совмещение непрерывной разливки и прокатки тонких слябов и тонкой полосы с использованием литейно-прокатных модулей.

Технологическая система на базе ЛПМ может быть представлена следующим образом: выплавка стали в дуговой печи (или конвертере) > доводка стали на установке «ковш-печь» > (вакуумирование стали в ковше) > разливка стали на сляб (толщина сляба 50 – 70 мм) и его горячая прокатка в технологической цепочке ЛПМ > прокатка на станах холодной прокатки. При этом, как показала практика, для получения 1 тонны холоднокатаного листа достаточно 1,10 – 1,12 тонны жидкой стали, а значительный энергосберегающий эффект достигается, главным образом, за счет сокращения технологической цепочки и исключения дополнительных циклов охлаждения и нагрева заготовки.

В литейно-прокатном модуле (для металлургического мини завода) заложены современные технические решения, обеспечивающие экономическую эффективность производства при ограниченной годовой производительности.

Надёжность и эффективность эксплуатации оборудования, снижение капитальных затрат при сооружении комплекса, а также экономия электроэнергии и топлива достигается следующими техническими решениями:

- применением современных мощных дуговых печей с удельным расходом электроэнергии до 800 кВт/т и временем расплавления не превышающим 60 мин;
- применением для получения слитков горизонтальной машины непрерывного литья;
- применением совмещённого процесса непрерывного литья и прокатки, обеспечивающего энергосберегающую технологию;
- применением компактной обжимной клетки винтовой прокатки;
- применением технологии, обеспечивающей резку проката на мерные длины непосредственно после прокатки;
- применением участка термоупрочнения в потоке стана, обеспечивающего высокие механические свойства конечной продукции с прокатного нагрева.

По сравнению с традиционными методами получения листовой продукции (на крупных металлургических предприятиях), металлургический мини-завод имеет ряд преимуществ:

Мини-заводы позволяют достичь предельного снижения удельных показателей:

- по капиталоемкости;
- по энергозатратам;
- по расходу материалов на единицу готовой продукции;
- по инфраструктуре и кадрами;
- по срокам ввода в эксплуатацию.

Это становится возможным за счёт модульного принципа построения оборудования и технологического процесса.

## **Перспективы использования и переработки отработанных аккумуляторных батарей**

Студент 4 курса Литвинов Д.А.  
Научный руководитель – Малашонок И.Е.  
Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Свинец относится к числу металлов, которые многократно включаются в сферу материального производства, так как относительно мало теряются в процессе промышленного использования. Большая часть потребности в свинце в нашей стране, где природные свинецсодержащие источники отсутствуют, удовлетворяется за счёт переработки лома автомобильных аккумуляторных батарей, на изготовление которых расходуется основная доля производимого металлического свинца.

Свинцово-кислотные аккумуляторы, срок эксплуатации которых недолговечен, представляют собой экологическую опасность. Причина этого заключается в токсичности содержащегося в них свинца (до 60 % от массы аккумулятора) и химически агрессивного кислотного электролита – раствора серной кислоты. Отработанная свинцовая батарея дает лом приблизительного состава: 66 мас. % Pb, 15 % PbO<sub>2</sub>, 12 % PbSO<sub>4</sub> [1] и некоторые другие компоненты. Неблагоприятная экологическая ситуация, складывающаяся, в густонаселенных регионах и крупных городах, заставляет обратить особое внимание на проблему утилизации большого количества ежегодно выходящих из строя свинцово-кислотных аккумуляторов.

Изношенность отработанных аккумуляторов приводит к образованию огромного количества высокотоксичных отходов, поступающих в окружающую среду в виде соединений, содержащих свинец. Обоснованную тревогу вызывает не только бесконтрольный (из-за отсутствия современной нормативной базы) оборот свинцово-кислотных аккумуляторов, но и процесс их переработки, сопровождающийся образованием вредных выбросов. Как показали исследования [1], в процессе переработки отработанных свинцовых аккумуляторов из печи уносятся свинец и его соединения (PbSO<sub>4</sub>, PbCO<sub>3</sub>, PbS, PbO, PbO<sub>2</sub>), представляющие опасность для окружающей среды. Размер оксидов свинца составляет 0,1 – 0,5 мкм. Такие мелкие частицы легко уносятся газом и парами в атмосферу.

Переработка свинецсодержащих отходов с получением вторичного свинца диктуется не только экологическими соображениями, но и экономической эффективностью использования этого сырья. Извлечение свинца путем переработки аккумуляторных батарей по энергозатратам гораздо выгоднее, чем при металлургическом переделе концентратов, полученных из природных свинцовых руд.

В последнее время появилась тенденция к замене свинцовых аккумуляторных батарей менее экологически опасными литий-ионными, литий-полимерными и никель-металгидридными. Литиевые аккумуляторы имеют ряд преимуществ: выдают до 100 % своей емкости, легче, быстрее перезаряжаются, имеют низкий уровень саморазряда, увеличенный срок службы. В развитых странах автоконцерны вкладывают огромные инвестиции в совершенствование и производство альтернативных химических источников тока, в том числе разрабатываются варианты принципиально новых видов электрических батарей, в которых литий будет заменен соединениями магния и серы. Однако, несмотря на это, свинцово-кислотные аккумуляторы по-прежнему массово производят и применяют, а аккумуляторный лом составляет более 70 % в общем балансе свинцового вторичного сырья.

### **Литература**

1. В. А. Ашуйко, И. Е. Малашонок, С. К. Протасов. Некоторые проблемы плавки аккумуляторного кека во вращающейся печи // Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ, №3 (141) – Минск, 2011. – Вып. XVII. – С. 30–33.

УДК 669.04

**Анализ технико-экономической целесообразности частичной модернизации методических газопламенных печей в условиях кузнечного производства машиностроительного предприятия**

Студент гр.104138 Понятовский Е.С.

Научный руководитель – Менделев Д.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Существующие мировые тенденции в машиностроении свидетельствуют о том, что назрела необходимость перевооружения машиностроительной отрасли с целью энергосбережения и повышения конкурентоспособности продукции как в Республике Беларусь, так и в большинстве стран СНГ с энергоемким внутренним валовым продуктом (Российская Федерация, Украина и др.). Так, например, коэффициент полезного действия газопламенных нагревательных и термических печей, функционирующих в машиностроительном комплексе Республики Беларусь, крайне низок и составляет в подавляющем большинстве случаев 8 – 12 %, средний удельный расход условного топлива для нагревательных печей находится на уровне 310 – 320 кг у.т./т, для термических печей – около 113 кг у.т./т. Эти показатели для лучших зарубежных аналогов составляют 45 – 50 % и 55 – 60 кг у.т./т соответственно.

Низкие теплотехнические показатели, такие как удельный расход условного топлива и коэффициент полезного действия в нагревательных и термических печах машиностроительной отрасли Республики Беларусь, обусловлены рядом причин. В частности, это моральный и физический износ оборудования, отсутствие систем рекуперации дымовых газов и систем автоматизированного управления, отвечающих современным мировым аналогам. Среди других причин можно отметить потери теплоты излучением через открытые окна загрузки и выгрузки заготовок; отсутствие энергоэффективной теплоизоляции печей, снижающих потери теплоты вследствие процессов переноса и аккумуляции теплоты; применение горелок, не соответствующих по своим конструктивным параметрам современным требованиям.

Ниже приведен анализ внедрения наиболее эффективных мероприятий в рамках Программы модернизации по повышению энергоэффективности методических газопламенных печей под обработку металла давлением в условиях кузнечного цеха машиностроительного предприятия:

1. Использование конструкций горелочных устройств, позволяющих функционировать как одно целое (рекуперативные горелки) либо по отдельности с системой рекуперации теплоты уходящих газов является основным направлением снижения энергозатрат и позволяет добиваться годового экономического эффекта до 60 тыс. долл. США на печь.

2. Удлинение методической зоны печи в 1,5 раза. Реализация данного мероприятия не требует значительных затрат и вполне осуществима в условиях действующего кузнечного производства при наличии свободных площадей собственными силами предприятия. Годовой экономический эффект (с учетом стоимости дополнительной кладки и каркаса печи) от удлинения методической зоны нагревательной печи непрерывного типа действия (4 т/ч) на 50 % по сравнению с базовой длиной зоны составляет около 30 тысяч долл. США. При этом следует отметить, что удлинение методической зоны той же печи на 100 % удваивает затраты на каркас и кладку печи, а годового экономического эффект при

этом остается приблизительно на том же уровне, что автоматически устанавливает предел целесообразности удлинения методической зоны.

3. Применение энергоэффективных конструкций футеровок из волокнистых материалов. Данное мероприятие теоретически могло бы дать ощутимый экономический эффект лишь в случае работы методических печей в периодическом режиме, связанном с технологическими простоями или ремонтом оборудования.

4. Применение систем автоматического управления технологическими процессами (АСУТП). Безусловно, с точки зрения повышения теплотехнического и технологического уровня печного оборудования данное мероприятие очевидно и неизбежно. Однако на практике в условиях машиностроительного предприятия Республики Беларусь установка АСУТП на действующие методические печи в рамках частичной модернизации нецелесообразна, поскольку неизбежно будет предполагать замену горелочных устройств, установку системы рекуперации дымовых газов и т.д., что фактически будет сводиться к установке новой печи.

В настоящее время проведение частичной модернизации нагревательных печей в условиях крупного машиностроительного завода Республики Беларусь (с сохранением объемов производства), как правило, проводится собственными силами. Практика показывает, что в среднем за год модернизируется одна печь. Соответственно для проведения частичной модернизации, например, двадцати печей на одном предприятии может потребоваться около двадцати лет, в то время как Программа модернизации (с учетом продления) рассчитана на десять лет. Помимо этого, в условиях машиностроительных предприятий планируется установка мобильных кузнечных индукционных нагревательных блоков, что по оценкам специалистов-практиков позволит сэкономить время, производственные площади и материальные средства. Однако энергоэффективность таких мероприятий требует дополнительной экспертной оценки.

УДК 62-1

### **Пути снижения энергоемкости металлопродукции**

Студент гр. 104139 Романовская А.П.

Научный руководитель – Корнеев С.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Из всех известных видов энергии в практике непосредственно используются всего четыре вида: тепловая (около 70...75 %), механическая (около 20 – 22 %), электрическая (около 3 – 5 %) и электромагнитная – световая (менее 1 %).

В настоящее время главным источником энергии является химическая энергия минеральных органических горючих (уголь, нефть, природный газ и др.), которые называют первичной энергией или энергетическим топливом.

Общие запасы энергии, на которые может рассчитывать человечество, оцениваются ресурсами, которые можно разделить на две большие группы – невозобновляющиеся и возобновляющиеся.

К первой группе следует отнести запасы органического топлива, ядерной энергии деления. К этой группе некоторые специалисты относят также и геотермальную энергию.

Возобновляющаяся энергия:

- падающая на поверхность Земли солнечная энергия;
- геофизическая энергия (ветра, рек, морских приливов и отливов);
- энергия биомассы – это древесина, отходы растениеводства, отходы животноводства, хозфекальные стоки.

Под энергоемкостью металлургической продукции понимается удельный расход топлива и электроэнергии на натуральную единицу продукции.

Для оценки энергоёмкости продукции используют технологическое топливное число, т.е. затраты тепловой и электрической энергии на всех переходных периодах от добычи сырья из недр до получения товарной продукции.

Таблица 1 – Технологические топливные числа для основных разновидностей металлопродукции

№ п.п.		кг у.т/т
1	Окатыши	150 – 190
2	Чугун (передельный и литейный)	1050 – 1150
3	Ферросплавы	2500 – 3000
4	Сталь (слитки и заготовки)	600 – 1400
5	Прокат	1100 – 1600
6	Сортовой прокат	1500 – 2500
7	Рельсы	1300 – 1400
8	Обсадные трубы	1200 – 1900

Рост энергоемкости металлургической продукции вызван как объективными, так и субъективными факторами. К последним следует отнести нерациональное использование действующих мощностей.

Для отечественной металлопродукции характерна достаточно высокая энергоемкость, расходы на потребляемые энергоресурсы в структуре себестоимости различных предприятий составляют от 30 до 50 % и даже более, что на 20 – 25 % превышает общемировые уровни этого показателя.

**Порошковые  
и композиционные  
материалы, покрытия  
и сварка**

**Высокопроизводительные способы сварки**

Студент гр. 104811 Адериха Д.С.  
Научный руководитель – Голубцова Е.С.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Сварка как способ неразъемного соединения твердых металлических частей известна человечеству с самых древних времен. Как только люди научились выплавлять и обрабатывать железо ковкой в горячем состоянии (приблизительно IV тысячелетие до н. э.), им сразу же пришлось иметь дело и с процессом сварки, который стали широко использовать сначала для объединения отдельных крупниц или кусочков металла в общую болванку-заготовку, а затем и для соединения различных металлических поделок друг с другом.

Чтобы повысить производительность труда и облегчить труд сварщика применяют различные высокопроизводительные способы сварки.

Целью настоящей работы является представление некоторых приемов повышения производительности ручной дуговой сварки.

Один из таких приемов является сварка с глубоким проплавлением. Благодаря такому методу производительность труда возрастает примерно на 50 – 70 %, в его основу положено уменьшение объема наплавленного металла на единицу длины сварного шва.

Чтобы добиться этого, применяют электрод с увеличенной толщиной покрытия. Поскольку его стержень расплавляется быстрее, чем покрытие, то последнее образует своеобразный «чехольчик», опираясь на который сварщик перемещает электрод вдоль шва, причем совершать колебательные движения не требуется. При сварке электрод надо наклонять к линии шва под углом в 70 – 80 °. В процессе сварки расплавленный металл под давлением газов стремится в сторону, противоположную движению электрода, и формирует валик шва. Одновременно с этим основной металл открывается и оказывается под непосредственным воздействием сварочной дуги. Для образования узкого шва необходимо увеличить нажим на электрод в направлении сварки, а для получения широкого шва – ослабить его.

Глубина проплавления основного металла возрастает за счет короткой дуги и значительной концентрации теплоты. При этом «чехольчик» препятствует разбрызгиванию металла и снижает его потери на угар. Сварочный ток повышают на 40 – 60 %, что тоже способствует увеличению глубины проплавления.

Применение одновременно двух или нескольких электродов. Сдвоенный электрод образуют два стержня длиной 450 мм, изготовленные из электродной проволоки. Их складывают вместе и наносят общий слой покрытия, вес которого должен составлять 25 % от веса стержней. Приемы сварки не отличаются от тех, что ведутся одиночным электродом (это касается и сварочного тока, который может быть как постоянным, так и переменным).

Основная разница заключается в том, что:

- сдвоенный электрод держат так, чтобы оси его стержней попадали в плоскость оси шва;
- электродержатель должен поддерживать контакт с обоими стержнями электрода;
- шов располагают под небольшим углом (5 – 10 °);
- рабочий ведет сварку по направлению к себе и наклоняет электрод под углом в 60 – 70 ° к поверхности металла.

Сварка сдвоенными электродами обладает следующими преимуществами:

- позволяет работать при повышенном токе, благодаря чему объем наплавленного металла и производительность труда возрастают на 50 – 80 %;



- время полезного горения дуги увеличивается вдвое, поскольку можно сказать, что работа ведется электродом длиной 900 мм. Следовательно, время на смену электрода сокращается в 2 раза;
- снижаются потери металла (при сварке одиночным электродом они составляют 20 – 25 %, а при сдвоенном – 8 – 10 %);
- условия труда улучшаются, потому что при стабильном горении сварочной дуги электрод не перегревается, а жидкий металл меньше разбрызгивается;
- за один проход можно сварить металл толщиной до 12 мм.

Количество электродов можно увеличить. В этом случае сварку осуществляют пучком электродов, которые складывают и прихватывают в точке контакта с электродержателем, вследствие чего одновременно все электроды обеспечиваются током (хотя корневой шов следует накладывать одиночным электродом). Благодаря такой работе производительность сварки повышается примерно в 2 раза, а расход электроэнергии снижается приблизительно на 20 – 30 %.

*Сварка трехфазной дугой.* Ее применяют при выполнении швов со значительным объемом наплавленного металла (например, при заварке дефектов стального литья, наплавке и др.).

Суть данного способа заключается в том, что к двум электродам и основному металлу подключается переменный ток одновременно от трех фаз источника тока (две фазы к электродержателю, одна — к основному металлу). Это означает, что возбуждаются три сварочные дуги: две между электродами и металлом, а третья – между электродами. Благодаря такому способу сварки увеличиваются количество выделяющейся теплоты, скорость плавления электродов и производительность труда (в 2 – 3 раза). Для такой сварки необходимы особые электроды.

*Сварка наклонным и лежащим электродами.* В первом случае электрод устанавливают в штангу с подвижной обоймой, в ней его наклонно фиксируют и подводят через нее ток. При плавлении он будет опускаться вниз, совершая параллельные самому себе движения и сохраняя угол наклона. Одновременно с ним по штанге будет скользить и обойма. Для возбуждения дуги используют вспомогательный, например угольный, электрод. При сварке электрод опирается на основной металл козырьком, который образует плавящееся покрытие, благодаря чему поддерживается стабильное горение дуги. Чем больше угол наклона электрода относительно изделия, тем шире наплавленный валик. Для получения уширенного валика применяют не один электрод, а гребенку из 3 – 5 штук. Величину тока увеличивают на 50-70% по сравнению с обычной ручной сваркой. Такой способ сварки эффективен при выполнении коротких швов.

Во втором в разделку укладывают толстопокрытый электрод (1,5 – 3 мм). Дугу возбуждают вспомогательным электродом. Она горит под слоем покрытия и перемещается по длине электрода по мере того, как он плавится. Если осуществляется многослойная сварка, то в шов можно заложить несколько электродов, причем каждый из них будет работать от отдельного источника питания.

Все это предъявляет повышенные требования к квалификации специалистов в области сварки, в особенности рабочих-сварщиков, так как именно они непосредственно осваивают новые способы и приемы сварки, новые сварочные машины.

## Выбор для механизированной дуговой сварки стали 09Г2С для изготовления борта автомобиля МАЗ-5551

Студент гр.104818 Войтенков Д.Н.

Научный руководитель – Голубцова Е.С.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью настоящей работы является предложение по замене смеси  $\text{CO}_2$  на  $\text{Ar} + \text{CO}_2$ , используемой при механизированной дуговой сварке стали 09Г2С плавящимся электродом.

Материал, который используется для изготовления борта заднего автомобиля МАЗ-5551 – сталь марки 09Г2С. Это низколегированная сталь, которой не требуется термообработка до и после сварки. Она хорошо сваривается дуговой сваркой в защитных газах и автоматической сваркой под флюсом. Качество сварных соединений хорошее по сравнению с другими видами низколегированных сталей. Сталь 09Г2С хорошо подвергается механической обработке и имеет невысокую себестоимость. Для сварки рассматриваемого борта автомобиля в настоящее время применяется дуговая сварка в углекислом газе плавящимся электродом.

При выборе метода и разработке технологии сварки, наряду с предотвращением дефектов металлургического характера (пор и кристаллизационных трещин) необходимо особое внимание уделить получению требуемых эксплуатационных свойств сварного шва.

Выбор способа и технологии сварки зависит от технических требований предъявляемых к узлу, удобства эксплуатации, химического состава и технологических свойств свариваемой стали, возможности механизации и автоматизации процесса и его экономичности.

Сварка в  $\text{CO}_2$  является основным и наиболее распространенным способом сварки плавлением на машиностроительных предприятиях. Она экономична, обеспечивает достаточно высокое качество швов, особенно при сварке низкоуглеродистых сталей, требует более низкой квалификации сварщика, чем ручная, позволяет выполнять швы в различных пространственных положениях. Схема процесса сварки полуавтоматом приведена на рисунке 1. Защитный газ 2, выходя из сопла 1 вытесняет воздух из зоны сварки. Сварочная проволока 3 подается роликами 4, которые вращаются двигателем подающего механизма. Подвод сварочного тока к проволоке осуществляется через скользящий контакт 5.

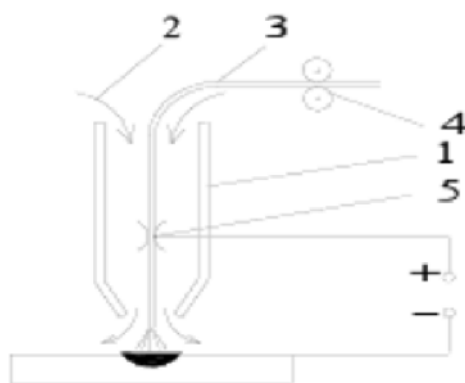


Рисунок 1 – Схема процесса сварки в защитных газах плавящимся электродом

Сварка в  $\text{CO}_2$  имеет ряд особенностей. В зоне дуги углекислый газ диссоциирует с образованием  $\text{CO}$  и  $\text{O}_2$ . В свою очередь они взаимодействуют с расплавленным металлом

сварочной ванны с образованием оксидов железа FeO.

Окисление сварочной ванны ухудшает механические свойства шва и в первую очередь его пластичность. Для предотвращения этого процесса в сварочную ванну вводят элементы – раскислители, которые хорошо взаимодействующие с кислородом. Обычно это марганец и кремний. Раскислители выводят в шлак избыток кислорода и на участках сварочной ванны, имеющих пониженную температуру, восстанавливают железо из оксидов. Введение раскислителей в сварочную ванну в данном случае осуществляется через проволоку.

Свои особенности имеет также перенос электродного металла при сварке в  $\text{CO}_2$ . В зоне дуги происходит диссоциация углекислого газа, которая сопровождается поглощением тепла.

Кроме того, углекислый газ обладает достаточно высокой теплопроводностью. Эти процессы приводят к интенсивному отводу тепла от внешней поверхности дуги, в результате чего она сжимается. Анодное пятно разогревает только центральную часть капли, не захватывая боковые поверхности проволоки. Поэтому процессу сварки в  $\text{CO}_2$  характерен перенос электродного металла достаточно крупными каплями. В связи с этим процессом переноса тесно связан процесс разбрызгивания металла при сварке.

Повышенное разбрызгивание является недостатком сварки в  $\text{CO}_2$ , т.к. требует дополнительных затрат на зачистку от брызг свариваемого металла и сопла горелки полуавтомата, причем брызги довольно сильно привариваются к металлу.

При сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей применение защитной смеси  $\text{Ar} + (18 - 25 \%) \text{CO}_2$  по многим параметрам более рационально, чем использование чистого  $\text{CO}_2$ . Процесс сварки в смеси  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  более стабилен, чем в чистых газах, перенос электродного металла более мелкокапельный, разбрызгивание минимальное. Процесс расплавления сварочной проволоки в смеси  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  близок к сварке в  $\text{Ar}$  и происходит с охватыванием дугой боковых поверхностей проволоки, конец которой хорошо прогревается, что способствует отрыву более мелких капель по сравнению со сваркой в  $\text{CO}_2$ . Наличие в смеси углекислого газа повышает давление в дуге, что не позволяет капле расти до больших размеров. Поэтому разбрызгивание меньше, чем при сварке в  $\text{CO}_2$  и при сварке в  $\text{Ar}$ . Вышеперечисленных недостатков можно избежать при использовании в качестве защитного газа смеси  $\text{Ar}$  и  $\text{CO}_2$ .

Испытания механических свойств полученных сварных соединений свидетельствуют о том, что показатели прочности при изменении состава защитной среды практически не меняются, а показатели пластичности (угол загиба) при сварке в смеси  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  в 1,8 раза выше, чем при сварке в  $\text{CO}_2$ .

При температуре  $T = 233 \text{ K} (-40 \text{ }^\circ\text{C})$  ударная вязкость швов, сваренных в смеси  $\text{Ar} + \text{CO}_2$ , в два раза выше, чем при сварке в  $\text{CO}_2$ . Это показывает особую целесообразность применения смеси  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  для сварки конструкций, эксплуатирующихся при отрицательных температурах в условиях переменных и ударных нагрузок.

Несмотря на то что смесь  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  дороже чистого технического  $\text{CO}_2$ , при выборе рациональной схемы снабжения предприятия смесью и с учетом затрат на зачистку металла от брызг, сварка в смеси  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  в ряде случаев оказывается дешевле сварки в чистом углекислом газе.

Таким образом, анализируя вышеперечисленные преимущества сварки в смесях над сваркой в чистом  $\text{CO}_2$ , в предложенном варианте в качестве защитного газа считаю целесообразным использовать смесь  $\text{Ar} + 18 \% \text{CO}_2$ .

### Нанотехнологии в медицине

Студент гр. 104610 Щербо А.С., Демидова П.В., Важнова А.И.  
Научный руководитель – Голубцова Е.С.  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск

Технический прогресс направлен в сторону разработки более мощных, быстрых, компактных и изящных машин. Пределом такого развития можно считать машины, размером с молекулу. Машина, построенная из ковалентно связанных атомов, чрезвычайно прочна, быстра и мала. Разработкой, созданием и управлением такими машинами занимается молекулярная нанотехнология. Эта отрасль открывает невиданные ранее, фантастические перспективы взаимодействия человека с миром.

Целью данной работы является представление особенностей физических процессов в области нанотехнологий, их влияния на людей и применения в недалеком будущем на примере медицины.

На сегодняшний день в мире нет точного определения, описывающего, что такое нанотехнологии, что такое нанопродукция. Предполагают, что это:

- знание и управление процессами, как правило, в масштабе 1 нм, но не исключающее масштаб менее 100 нм в одном или более измерениях;

- использование свойств объектов и материалов в нанометровом масштабе, которые отличаются от свойств свободных атомов или молекул, а также от объемных свойств вещества, состоящего из этих атомов или молекул, для создания более совершенных материалов.

С практической точки зрения, это производство устройств и их компонентов, необходимых для создания, обработки и манипуляции атомами, молекулами и наночастицами. Греческое слово "нанос" примерно означает "гном". При уменьшении размера частиц до  $100^{-10}$  нм и менее, свойства материалов (механические, каталитические и т.д.) существенно изменяются.

"Обычная" промышленность работает с тоннами и кубометрами, к чему все привыкли.

Наноматериалы – продукт нанотехнологий – это нечто особое, что гораздо сложнее атомов и молекул, а как продукт высоких технологий не требует многотоннажного производства, поскольку даже один грамм такого вещества способен решить множество проблем. Заблуждением является то, что наноматериалы – это просто очень мелкие, "нано" частицы. На самом деле, многие наноматериалы являются не отдельными частицами, они могут представлять собой сложные микро и макрообъекты, которые наноструктурированы на поверхности или в объеме. Такие наноструктуры рассматриваются в качестве особого состояния вещества, так как свойства материалов, образованных с участием структурных элементов с наноразмерами, не идентичны свойствам обычного вещества.

Изменения основных характеристик веществ и материалов обусловлены не только малостью размеров, но и проявлением квантовомеханических эффектов при преобладающей роли удельной поверхности. Эти эффекты наступают при таком критическом размере, который соизмерим, например, с длиной свободного пробега электронов, размерами магнитного домена или зародыша твердой фазы и др.

В перспективе, любые молекулы будут собираться подобно детскому конструктору. Для этого планируется использовать нано-роботов (наноботов). Любую химически стабильную структуру, которую можно описать, на самом деле, можно и построить. Поскольку нанобот можно запрограммировать на строительство любой структуры, в частности, на строительство другого нанобота. Работая в огромных группах, наноботы смогут создавать любые объекты и высокой точностью.

В медицине проблема применения нанотехнологий заключается в необходимости изменять структуру клетки на молекулярном уровне, т.е. осуществлять "молекулярную хирургию" с помощью наноботов. Ожидается создание молекулярных роботов-врачей, которые могут "жить" внутри человеческого организма, устраняя все возникающие повреждения, или предотвращая возникновение таковых.

В мире уже созданы ряд технологий для наномедицинской отрасли. К ним относятся – адресная доставка лекарств к больным клеткам, лаборатории на чипе, новые бактерицидные средства.

Адресная доставка лекарств к больным клеткам позволяет медикаментам попадать только в больные органы, избегая здоровые, которым эти лекарства могут нанести вред. Например, лучевая терапия и химиотерапевтическое лечение уничтожая больные клетки, губит и здоровые.

Лаборатории на чипе, разработанные рядом компаний позволяют очень быстро проводить сложнейшие анализы и получать результаты, что крайне необходимо в критических для пациента ситуациях. Эти лаборатории, производимые ведущими компаниями мира, позволяют анализировать состав крови, устанавливать по ДНК родство человека, определять ядовитые вещества. Технологии создания подобных чипов родственны тем, что используются при производстве микросхем, с поправкой на трехмерность.

Американская компания C-Sixty Inc. проводит предклинические испытания средств на основе фуллереновых наносфер C<sub>60</sub> с упорядоченно расположенными на их поверхности химическими группами. Спектр возможных применений чрезвычайно широк. Он включает борьбу с вирусными заболеваниями такими, как грипп и ВИЧ, онкологическими заболеваниями, остеопорозом, заболеваниями сосудов. Например, наносфера может содержать внутри атом радиоактивного элемента, а на поверхности – группы, позволяющие ей прикрепиться к раковой клетке.

Новые бактерицидные средства создаются на основе использования полезных свойств ряда наночастиц. Так, например, применение серебряных наночастиц возможно при очистке воды и воздуха, или при дезинфекции одежды и спецпокрытий.

В настоящее время достигнуты успехи в изготовлении наноматериала, имитирующего естественную костную ткань. Материалы с наноструктурированной поверхностью могут использоваться для замены тех или иных тканей. Клетки организма опознают такие материалы как "свои" и прикрепляются к их поверхности.

Важной особенностью металлических наноматериалов, играющей ключевую роль при их использовании в медицине, является низкая токсичность этих наноматериалов. Например токсичность наночастиц металлов во много раз меньше токсичности ионов металлов: медь в 7 раз, цинк в 30 раз, а железо в целых 40 раз. Это проверено российскими учеными на многочисленных экспериментах с соблюдением всех норм.

Представляет интерес разработка материалов, которые обладают противоположным свойством: не позволяют клеткам прикрепляться к поверхности. Одним из возможных применений таких материалов это изготовление биореакторов для выращивания стволовых клеток, а также участия стволовых клеток костного мозга в регенерации различных тканей, миграции в поврежденный орган.

Рынок здравоохранения является одним из самых значительных в мире, в то же время он слабо структурирован и в принципе "не насыщаем", а решаемые задачи носят гуманитарный характер.

**Применение сварочных работ при врезке ответвлений в газопроводы под давлением**

Студент гр. 104818 Новик А.Н.  
Научный руководитель – Голубцова Е.С.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью настоящей работы является представление основных этапов технологии проведения сварочных работ при врезке ответвлений в газопроводы под давлением.

Реконструкция и развитие газопроводных систем, присоединение новых потребителей природного газа, а также выполнение ремонтных работ часто связаны с подключением ответвлений в действующие газопроводы. Традиционная технология выполнения подключений основана на прекращении транспортировки продукта и стравливании в атмосферу значительных объемов газа.

Современные предприятия, поставляющие природный газ, должны гарантировать бесперебойное снабжение потребителей и исключать экологические загрязнения. Этим требованиям отвечает технология производства врезки ответвлений в действующие газопроводы без прекращения транспорта газа под давлением.

Согласно этой технологии поверхность трубы, находящейся под давлением, на всю длину участка газопровода в котловане очищают от остатков грунта, изоляции на расстоянии не менее 100 мм в каждую сторону от границ предполагаемых сварных соединений узлов врезки. Очистку производят вручную либо пескоструйными установками, скребками, другими инструментами безударного действия.

Для выполнения работ по врезке отводов (перемычек, лупингов, переходов), байпасов, запорных устройств «Стопл» на газопроводах под давлением применяют различные конструкции узла врезки исходя из предварительно вычисленных кольцевых напряжений  $\sigma_{кц}$  в стенке газопровода в предполагаемом месте монтажа узла врезки  $\sigma_{кц}$  по формуле:

$$\sigma_{кц} = \frac{PD_n}{2\delta},$$

где  $P$  – проектное рабочее давление газа в газопровode в предполагаемом месте врезки;  
 $D_n, d$  – соответственно, наружный диаметр и толщина стенки газопровода в предполагаемом месте врезки.

Все конструктивные детали узлов врезки желательно выполнять из сталей с эквивалентом углерода [С]э не более 0,46.

До проведения сварочных работ на газопровode под давлением на каждый узел врезки проводят производственную аттестацию технологии сварки в конкретных условиях, которая обеспечивает получение качественных сварных швов с необходимыми механическими свойствами и внешним видом.

На основании положительных результатов производственной аттестации специализированная организация, выполняющая сварочные работы, разрабатывает и утверждает операционную технологическую карту сборки и сварки узлов и/или деталей узлов врезки, в соответствии с которой проводят подготовку, сборку и сварку узлов и/или деталей узлов врезки на газопроводах под давлением.

До начала выполнения прихваток независимо от температуры окружающего воздуха с целью удаления влаги (конденсата) производят просушку и предварительный подогрев свариваемых кромок узлов и/или деталей узлов врезки и поверхности газопровода в месте монтажа узлов врезки.

Последовательность выполнения процедур предварительного и сопутствующего подогрева, периодичность, режимы и параметры сопутствующего подогрева с применением типов и марок специального оборудования для подогрева отражают в операционной технологической карте сборки и сварки узлов и/или деталей узлов врезки.

До начала сварочных работ с целью уточнения времени нахождения свариваемых кромок и стенки газопровода в установленном интервале температур подогрева и периодичности сопутствующего подогрева производят замер времени снижения температуры с максимального до минимального уровня. Для этого при данном технологическом режиме работы участка газопровода в предполагаемом месте приварки узла врезки производят нагрев поверхности трубы с использованием газовой горелки до выбранного верхнего предела температурного интервала предварительного нагрева и замер времени снижения температуры поверхности до нижнего предела (обычно делают шесть замеров и вычисляют среднее значение).

Подогрев поверхности основной трубы для приварки узла врезки к телу газопровода под давлением производят в интервале температур 100 – 250 °С, в зависимости от конструктивного исполнения узла врезки и термической обработки материала узла.

При снижении температуры подогретой поверхности трубы газопровода ниже минимального значения температурного интервала сварку следует прекратить и произвести подогрев поверхности трубы в пределах указанного температурного интервала. Контроль температуры предварительного подогрева свариваемых стыков производят при помощи контактных термометров или термокарандашей.

Ручную дуговую сварку (прихватку) продольных стыковых, угловых, нахлесточных сварных соединений, наложение наплавленных слоев шва приварки узлов и/или деталей узлов врезки к газопроводу под давлением выполняют электродами с низким содержанием водорода с основным видом покрытия по ГОСТ 9466. Назначение сварочных электродов производят исходя из класса прочности стали узлов и/или деталей узлов врезки и труб газопровода, толщин стенок, зазоров сварных соединений и слоев шва. Подбор электродов для приварки продольных сварных швов тройника (муфты) производят по металлу тройника (муфты).

Сварку выполняют с применением сварочного оборудования преимущественно инверторного типа, на постоянном токе обратной полярности («+» на электроде). Количество слоев в продольных швах узлов и/или деталей узлов врезки зависит от толщины стенки и параметров сборки (зазоры). Количество слоев в угловых и нахлесточных швах узлов и/или деталей узлов врезки с газопроводом зависит от толщин свариваемых кромок.

В процессе сварки на газопроводах под давлением обеспечивают строгий контроль параметров режима сварки. При сварке перерывы в работе не допускаются. В случае вынужденных перерывов необходимо поддерживать температуру предварительного нагрева в месте сварки. Не допускается прекращать сварку до полного выполнения шва. В процессе сварки каждый слой шва зачищают от шлака и брызг наплавленного металла механическим способом с использованием шлифмашинок с набором дисковых проволочных щеток. По окончании сварки сварные швы накрывают теплоизолирующим поясом до полного остывания и они, как правило, не подвергаются термической обработке.

Внешний осмотр рассматриваемого типа сварных соединений на отсутствие недопустимых дефектов производят визуально с помощью шаблонов, угольников и других инструментов и приспособлений, а также применяют автоматизированный ультразвуковой и рентгенотелевизионный методы контроля.

Студент гр. 104829 Щавелева О.А., Снарский А.А.  
Научный руководитель – Голубцова Е.С.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Углерод и все основные легирующие элементы отрицательно влияют на свариваемость. Однако пределы содержания различных легирующих элементов в стали, с которых начинается активное ухудшение свариваемости для разных элементов, различны. Кроме того, эти пределы зависят и от уровня легирования стали другими элементами. Лучше всего сваривается сталь с низким содержанием углерода. Повышение содержания углерода в нелегированной стали до 0,15 % С несколько улучшает свариваемость за счет того, что при этом ограничивается рост зерна феррита. В нелегированной и низколегированной стали содержание углерода до 0,25 % несущественно ухудшает свариваемость. Заметное ухудшение свариваемости наступает при повышении содержания углерода сверх 0,3 %. Особенно плохо свариваются стали с содержанием 0,5 % С и более. Для сварки таких сталей нужны специальные технологические меры, обеспечивающие получение качественного сварного соединения. Отрицательное влияние углерода на свариваемость связано с повышением склонности стали к образованию горячих и холодных трещин, с повышением хрупкости металла в зонах теплового влияния, из-за образования неравновесных структур.

Цель этой работы – оптимизация условий сварки конструкционной легированной хромистой стали 40Х, обеспечивающих создание требуемого уровня механических свойств металла сварного соединения, и предотвращение образования нежелательных структурно-фазовых превращений в зоне термического влияния (ЗТВ), а также сравнение с её заменителем сталью 45.

Сталь 40Х также как и сталь 45 является доэвтектоидной, т.е. структура данной стали состоит из зерен перлита и феррита. Исходные микроструктуры обеих сталей 45 и 40Х представлены на рисунке 1.

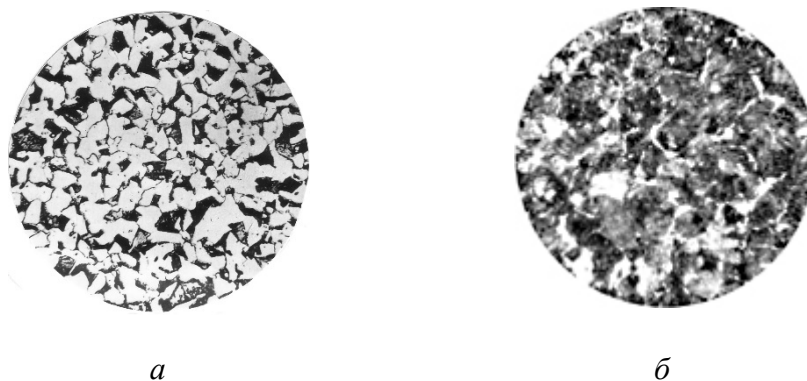


Рисунок 1 – Микроструктуры сталей 45 (а) и 40Х(б) ( $\times 300$ )

Отличия сталей по химическому составу связано с наличием хрома. В стали с 0,1 – 0,12 % С содержание до 3 % Cr сохраняет хорошую свариваемость стали. При содержании 5 % Cr сталь сваривается удовлетворительно. При повышении содержания углерода (до 0,25 %) содержание хрома до 2 % сохраняет у стали достаточно хорошую свариваемость. При большем содержании хрома свариваемость стали значительно ухудшается. Влияние хрома на ухудшение свариваемости связано с несколькими факторами. Хром повышает склонность к закалке стали в зоне теплового влияния сварки. Карбиды, содержащие хром, более трудно растворимы,



чем  $Fe_3C$  и поэтому при сварочном нагреве аустенит в зоне теплового влияния (ЗТВ) будет менее однородным, чем в нелегированной стали, например, стали 45. При высоком содержании хрома сильно возрастает неоднородность свойств в ЗТВ, появляются участки с низкотемпературным мартенситом, и повышается склонность к образованию холодных трещин. Это приводит к повышению уровня остаточных напряжений в сварном соединении.

Химический состав сталей 45 и 40X различается только содержанием хрома, в стали 40X хрома содержится примерно в 4 раза больше. Получение качественного сварного соединения при участии стали 40X потребует дополнительные операции: предварительный подогрев до  $150\text{ }^{\circ}C$ ; термообработка после сварки – отжиг.

Измеренные значения микротвердости в сварных соединениях стали 40X представлены на рисунке 2.

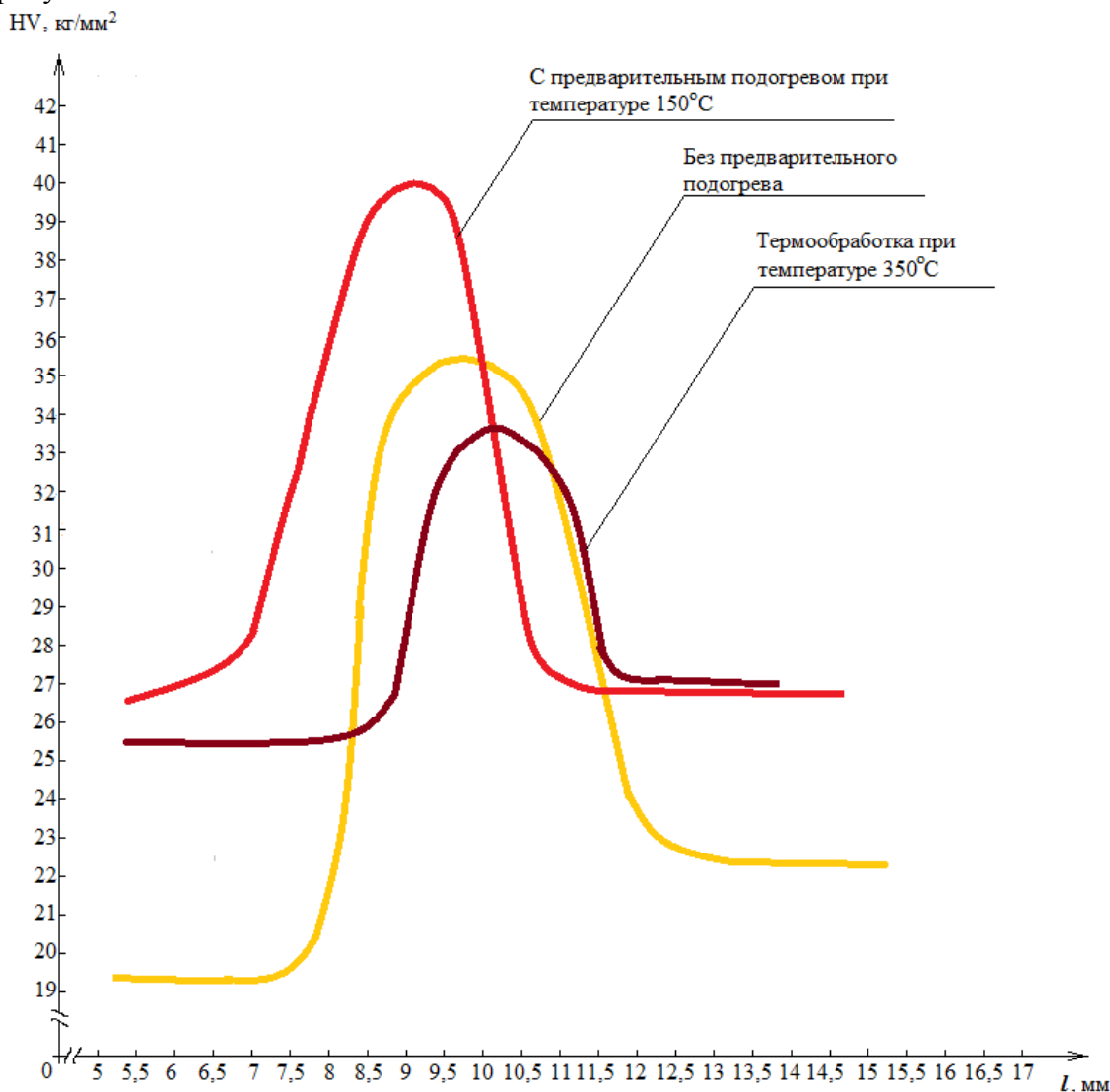


Рисунок 2 – Распределение в сварных соединениях из стали 40X

Возможность получения качественного сварного соединения с надлежащими свойствами зависит от состава свариваемой стали, технологии и условий сварки, толщины свариваемого металла, конструкции объекта и др. Даже трудно свариваемая сталь, склонная к образованию закалочных структур и холодных трещин при сварке, может быть с успехом сварена получением сварного соединения, удовлетворяющего всем требованиям, если обеспечить при сварке необходимую скорость нагрева и главное замедленное охлаждение или (и) провести термообработку сварного соединения сразу после сварки.

## **Исследование защитных свойств модифицированных лакокрасочных покрытий**

Студентка 11 группы 5 курса Сечная И.В.

Научный руководитель – Иванова Н.П.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

В настоящее время нанесение лакокрасочных покрытий является одним из самых распространенных и надёжных способов защиты металлических поверхностей от коррозии. Лакокрасочные покрытия являются дешевыми по сравнению с другими видами защитных покрытий, легко могут быть восстановлены при повреждении во время эксплуатации, отличаются разнообразием внешнего вида и цвета.

Одним из перспективных направлений при разработке эффективных лакокрасочных покрытий является применение лакокрасочных материалов на органической основе. Они обладают комплексом таких ценных свойств, как высокая адгезия к металлическим и неметаллическим поверхностям, стойкость к действию воды, щелочей, кислот, ионизирующих излучений, малая пористость, незначительная влагопоглощаемость и высокие диэлектрические показатели. Их применяют для получения ответственных покрытий самого различного назначения, в том числе и для получения химически стойких, водостойких, электроизоляционных и теплостойких покрытий [1].

Химическое строение и невысокая вязкость эпоксидных смол обеспечивает широкие возможности для регулирования их свойств путем введения модифицирующих добавок, что позволяет достигать максимального соответствия получаемого материала необходимым требованиям.

Известно, что на испытание защитных свойств покрытий в эксплуатационных условиях уходит много времени, что не удовлетворяет ни разработчиков, ни производителей. Ускоренные испытания позволяют получить информацию о стойкости покрытия в условиях его принудительного разрушения, моделирующего естественный механизм старения за короткое время испытания. В качестве таких ускоренных методов испытания применяют электрохимические методы [2].

Для оценки защитных свойств и выбора концентрации модификатора в полимерном покрытии в работе использовано изучение временной зависимости стационарного потенциала системы основа–покрытие в течение 24 ч. Значения потенциалов определяли при температуре  $19 \pm 1$  °С в шкале хлорсеребряного электрода сравнения, затем пересчитывали в шкалу стандартного водородного электрода. Снятие анодных поляризационных кривых в 0,5 % HCl проводили с использованием потенциостата ПИ–50–1.1 и программатора задающего напряжение ПР–8 в трехэлектродной электрохимической ячейке в потенциостатическом режиме при ступенчатом изменении потенциала через 20 мВ с выдержкой тока при каждом потенциале в течение 1 мин.

В качестве объектов исследования использовали пластинки из углеродистой стали 08кп с нанесенным с двух сторон эпоксидным полимерным покрытием. Для повышения защитной способности вводили модификатор в концентрации 0,5 – 5 %. Подготовку поверхности подложки осуществляли механическим (шлифование) и химическим (обезжиривание) способом. Края образцов защищали исследуемым материалом. Лакокрасочные композиции наносили в один слой ручным способом (окрашивание кистью), толщина покрытия составляла 20 – 25 мкм, сушку производили при 110 °С в течение 140 мин. Перед электрохимическими исследованиями образцы обезжиривали ацетоном и высушивали на воздухе.

Нанесение на поляризационные кривые измеренного стационарного потенциала (рисунок 1) позволяет определить скорость коррозии. Углеродистая сталь 08кп в 0,5 % HCl корродирует со скоростью  $1,94 \text{ mA/cm}^2$ . Введение модификатора в полимерное покрытие позволяет повысить коррозионную стойкость системы, при этом плотности тока коррозии уменьшаются, а поляризационные кривые сдвигаются в область меньших токов. Нанесение эпоксидного полимерного покрытия с модификатором с концентрацией 5 мас.% снижает скорость коррозии углеродистой стали марки 08 кп в 0,5 % HCl на 54,4 %.

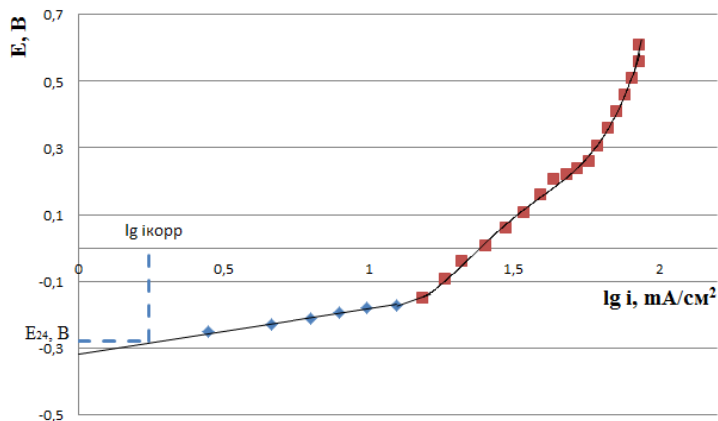


Рисунок 1 – Анодная поляризационная кривая, снятая в 0,5 % HCl.  
Образец: основа (углеродистая сталь 08кп) – ЛКП + 1 % модификатора.

С увеличением концентрации модификатора в полимерном покрытии повышается коррозионная стойкость системы, при этом плотности тока коррозии уменьшаются (рисунок 2).

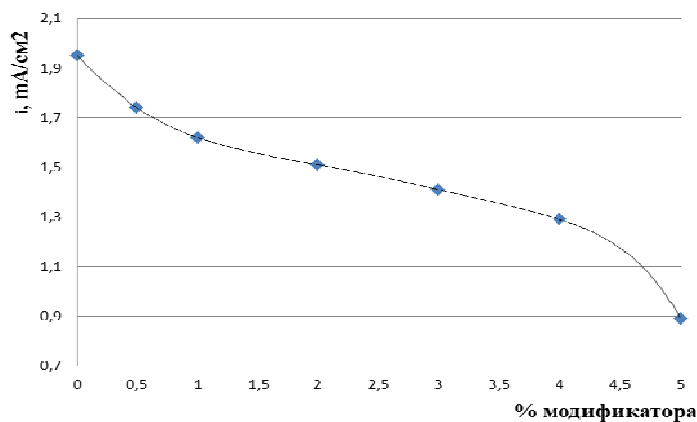


Рисунок 2 – Зависимость тока коррозии от процентного содержания модификатора в лакокрасочном покрытии

С учетом требуемых физико-механических свойств и коррозионной стойкости лакокрасочного покрытия оптимальной концентрацией модификатора в полимерном эпоксидном покрытии является 1 масс. %.

Электрохимические методы дают дополнительную оценку защитных свойств лакокрасочных покрытий, позволяют получить более полное представление о коррозионных процессах, протекающих под покрытием и оценить влияние модификатора на защитные свойства получаемых покрытий.

## Литература

1. Яковлев, А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий / А.Д. Яковлев. – Л.: Химия, 1981. – 352 с.
2. Будников, Г. К. Основы современного электрохимического анализа / Г. К Будников. – М.: Мир: Бином ЛЗ, 2003 – 592 с.

УДК 667.613.3:620.197.6.

### **Электрохимическое исследование защитных свойств полимерных лакокрасочных покрытий**

Студенты 11 группы 5 курса Аникеенко Е.С., 11 группы 3 курса Егорова Ю.А.  
Научный руководитель – Иванова Н.П., Великанова И.А.  
Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Защитные действия лакокрасочного покрытия заключаются в создании на поверхности металлического изделия сплошной пленки, которая препятствует агрессивному воздействию окружающей среды и предохраняет металл от разрушения [1].

Постоянно возрастает доля лакокрасочных материалов на основе пленкообразующих поликонденсационного типа: эпоксидных, алкидных и др. Это обеспечивает создание материалов с высокой химической стойкостью к агрессивным средам и ставит задачу проведения объективной оценки долговечности получаемых защитных систем.

На испытания защитных свойств покрытий в эксплуатационных условиях уходят годы, что не удовлетворяет ни разработчиков, ни производителей. Ускоренные испытания позволяют получить информацию о стойкости покрытия в условиях его принудительного разрушения, моделирующего естественный механизм старения за короткое время испытания. В качестве таких ускоренных методов испытания применяют электрохимические, которые основаны на измерении электрических параметров исследуемой системы. Измерение потенциала системы осуществляют с помощью электрохимической ячейки, представляющей собой сосуд с исследуемым раствором, в который помещены электроды.

Для оценки защитных свойств и выбора толщины полимерного покрытия – эпоксидного или алкидного – в работе использовано изучение временной зависимости стационарного потенциала системы и снятие поляризационных кривых. Измерение потенциалов системы металл – покрытие проводили при температуре  $19 \pm 1^\circ\text{C}$  в шкале хлорсеребряного электрода сравнения в течение 24 часов, затем значения пересчитывали в шкалу стандартного водородного электрода.

Снятие анодных поляризационных кривых в 3 % NaCl проводили в трехэлектродной электрохимической ячейке с использованием потенциостата ПИ–50–1 и программатора задающего напряжения ПР–8. Исследования проводили в потенциостатическом режиме при ступенчатом изменении потенциала через 20 и 50 мВ с выдержкой тока при каждом потенциале в течение 1 мин. Плотность тока коррозии  $i_{\text{корр}}$  в системе металл – покрытие определяли графически: путем пересечения значения стационарного потенциала, измеренного в течение 24 ч ( $E_{24}$ ), и прямолинейного участка анодной поляризационной кривой, который при необходимости экстраполировали [2].

В качестве объектов исследования использовали пластинки из углеродистой стали 08 кп толщиной 0,8 – 1,0 мм, размером 10 × 50 мм с нанесенным с двух сторон эпоксидным или алкидным полимерным покрытием (однослойные и двухслойные). Подготовка поверхности подложки осуществлялась механически – шлифованием, а затем химически – обезжиривание. Края образцов защищали исследуемым материалом. Лакокрасочные покрытия (ЛКП) наносили в один и два слоя ручным способом (окрашивание кистью). Перед

электрохимическими исследованиями образцы обезжировали ацетоном и высушивали на воздухе.

Для образцов с алкидными и эпоксидными полимерными покрытиями значение стационарного потенциала принимает более электроположительное значение по сравнению с углеродистой сталью (рисунок 1).

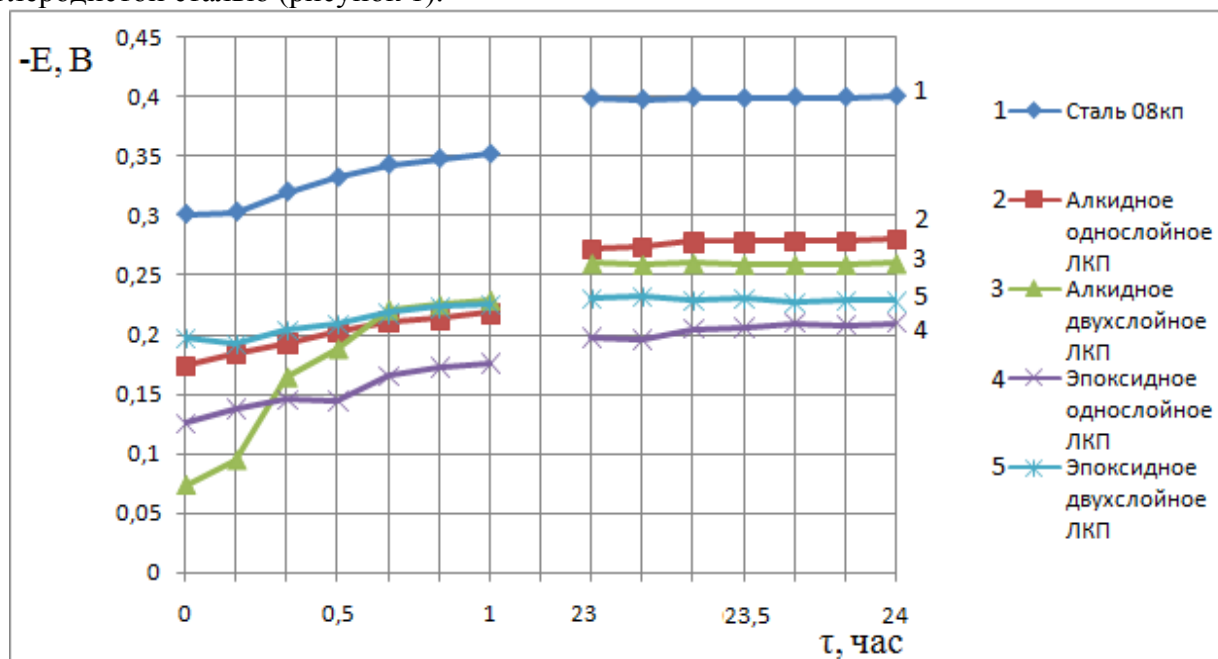


Рисунок 1 – Зависимости стационарного потенциала системы основа – ЛКП в 3 % NaCl

Результаты по исследованию анодного и катодного поведения стали с исследуемыми лакокрасочными покрытиями в растворе 3 % NaCl представлены на рисунке 2.

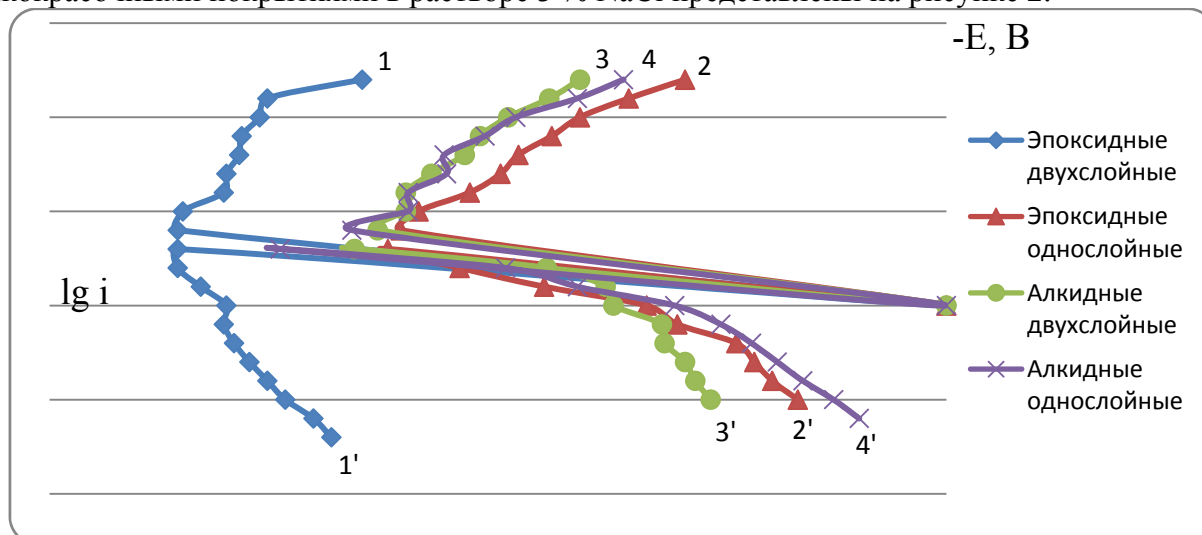


Рисунок 2 – Катодные (1, 2, 3, 4) и анодные (1', 2', 3', 4') поляризационные кривые системы сталь – покрытие

Из полученных данных, можно сделать вывод о том, что полимерные (как алкидные, так и эпоксидные) покрытия тормозят коррозию основы. Углеродистая сталь 08 кп в 3 % NaCl корродирует со скоростью 17 мкА/см<sup>2</sup>. Эпоксидное двухслойное покрытие наиболее эффективно защищает основу от коррозионной среды, что подтверждают полученные результаты о снижении скорости коррозии стали до 0,6 мкА/см<sup>2</sup>.

## Литература

1. Семенова, И.В. Коррозия и защита от коррозии. / И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов; под ред. И.В. Семенова. – Москва: Физматлит, 2006. – 328 с.
2. Дамаскин, Б. Б. Электрохимия: учебное пособие для хим. фак. университетов. / Б. Б. Дамаскин, О. А. Петрий. – Москва: Высшая школа, 1987 – 295 с.

УДК 621.793

### **Изменение структуры и свойств алюминия и его сплавов при прошивании компактного материала сгустками порошковых частиц**

Студент гр. 104618 Бондаровец М.А.  
Научный руководитель – Ушеренко Ю.С.  
Белорусский национальный технический университет.  
г. Минск

Высокая теплопроводность алюминия в сочетании с более чем удовлетворительной химической стойкостью сделали его перспективным материалом для теплообменников, волноводов и других изделий. Высокая отражательная способность алюминия использовалась при изготовлении на его основе мощных рефлекторов, больших телевизионных экранов, зеркал.

Алюминий это один из самых распространенных и дешевых металлов. Предел прочности чистого алюминия составляет 150 МПа, он способен образовывать прочные сплавы. Алюминий технологичен, хорошо поддается обработке: ковке, штамповке, прокату, волочению, прессованию.

Алюминий создает сплавы с различными металлами. Первым алюминиевым сплавом был сплав с кремнием, полученный еще в 50-х годах 19-го века. Силумины это сплавы на основе алюминия с большим содержанием кремния (Si). При своих относительно невысоких прочностных характеристиках силумины обладают наилучшими из всех алюминиевых сплавов литейными свойствами. Они используются там, где необходимо изготовить тонкостенные или сложные по форме детали.

Доказано, что алюминиевые крылья самолетов удерживаются в воздухе метастабильными зонами или метастабильными частицами, и если в результате нагрева вместо метастабильных зон и частиц появятся стабильные выделения, крылья потеряют свою прочность и просто согнутся.

Качественно новые сплавы алюминия появляются тогда, когда обнаруживают новые фазы то есть упрочнители. Вредные окисные включения изменяют свое качество, при превращении в наитончайшие пленки. В алюминии найдено совсем немного фаз – меньше десятка. Предполагают, что новые фазы можно создать только при условии растворимости соответствующих элементов в алюминии.

Традиционные подходы при создании алюминиевых материалов за счет легирования, пластической деформации и термической обработки, в настоящее время, исчерпали свои возможности. Неоднократно предпринимались попытки изменить уровень физико-химических свойств за счет дополнительного воздействия: ультразвуком, потоками высокоэнергетических ионов, плазмой, электрическими разрядами, сверхбыстрой закалкой. Был получен ряд результатов. Однако специфические особенности алюминия и его сплавов, например, низкий уровень концентрации легирующих элементов для достижения значительного уровня изменений структуры и свойств не были полностью использованы. Отсутствие комплексного подхода при технологической обработке при использовании сложного, энергоемкого и дорогостоящего оборудования не позволили найти эффективное техническое решение, которое позволяет в промышленных масштабах производить новые алюминиевые материалы с повышенным уровнем физико-химических свойств. Особенностью современных методов регулирования физико-химических свойств алюминия

и его сплавов является использование высокоскоростного (динамического) воздействия и локализация воздействия в зонах макротела. Поэтому при современных подходах обработки алюминия и его сплавов создаваемый материал является композиционным. Наличие в металлической матрице зон с различным размером структурных элементов с различным уровнем свойств, предопределяет создание композиционного материала.

Известен нетрадиционный метод порошковой металлургии, когда порошковый материал в форме дискретных сгустков используется в качестве нового физического инструмента. В диапазоне сверхглубокого проникания сгустки порошковых частиц создают в металлах и сплавах множество зон высокого давления (до 8 – 20 ГПа), окруженных зонами низкого давления (до 1 ГПа). Частицы порошка формируют в зонах высокого давления каналы структурные элементы и движутся в них. При этом, нестандартном подходе реализуется прошивка заготовок из литейных алюминиевых сплавов, например АК12, на глубины в сотни миллиметров. Происходит локальное легирование и формирование композиционного материала.

Сплав АК12 часто используют для изготовления волноводов. Однако, внутренняя поверхность волновода должна иметь высокую точность и высокую отражательную способность. Но этот сплав имеет низкую пластичность и за этого ограничивает использование современных технологических решений. При процессе сверхглубокого проникания сгустков порошковых частиц прошивает заготовку.

Порошковые составы влияют на процесс прошивки и объемного легирования заготовки. В армирующих – легированных зонах концентрация легирующих элементов достигает 26 %, и концентрация легирующих элементов в матрице сохраняется на уровне до 13 %. В результате можно управлять физико-химическими свойствами композиционного материала. Одновременно, в продольном и поперечном направлениях дробятся армирующие пластинки кремния.

В заданной зоне (диаметр до 50 мм и длина до 180 мм) пластичность силумина значительно увеличивается. Поэтому создание точной внутренней поверхности волновода с высокой отражательной способностью, на основе алюминиевого - кремниевого сплава, можно успешно реализовать за счет известных технологий.

УДК 621.793

### **Процесс динамической перестройки и упрочнения инструментальной стали Р6М5**

Студент гр. 104618 Демидов Д.В.

Научный руководитель – Ушеренко С.М.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Традиционная порошковая металлургия предусматривает использование порошковых материалов для изготовления матричного материала деталей. Технология традиционной порошковой металлургии состоит из следующих операций: формование из порошкового материала заготовки, спекание заготовки для достижения конструкционной прочности, калибровка спеченной заготовки для получения конечных размеров, механическая обработка (шлифовка) поверхности.

Преимуществом традиционной порошковой металлургии является уменьшение отходов материалов и получение материалов, которые сложно получить с использованием других технологий. Основными недостатками традиционной технологии является: значительные затраты энергии на процесс спекания, рост размера зерен при длительном процессе спекания.

Нетрадиционная порошковая металлургия, заключается в использовании порошковых материалов в качестве физического инструмента, применение которого существенно меняет физико-химические свойства обрабатываемого компактного (матричного) материала.

Преимуществами такого технологического подхода в основном являются: уменьшение затрат энергии на создание композиционного материала, исключение из технологического процесса операции спекания, легирование армирующих зон композиционного материала, химическими элементами и метастабильными соединениями, которые синтезируются в зонах взаимодействия между частицами порошка и матричным материалом. Основным недостатком нетрадиционной технологии является ее малая практическая база.

В основу одного из нетрадиционных вариантов порошковой металлургии это технологии динамического легирования положено малоизвестное физическое явление «сверхглубокое проникание сгустков порошковых частиц» (СГП). В рамках СГП при соударении сгустков или струй дискретных порошковых частиц с преградами из металлов и сплавов реализуется создание в объеме твердого тела высокий градиент полей давления и переноса в «солитонах» высокого давления вводимых частиц на глубины в десятки и сотни миллиметров. Классические представления об ударных взаимодействиях строятся на существовании барьерного ограничения при проникании на уровне 6 – 12 калибров (размеров) частиц.

В настоящее время известно более чем 20 -ти моделей процесса СГП, которые являются объяснениями отклонения экспериментальных результатов от классических представлений об ударных взаимодействиях. В рамках сверхглубокого проникания стабильно реализуются глубины внедрения частиц порошка в 100 – 10000 калибров.

При технологических вариантах с внедрением порошков в стальные заготовки при средних скоростях удара – 1000 м/с глубина проникания легирующих порошков достигает 200 мм. Увеличение неравномерности структуры и разноплотности матричного материала приводит к кумуляции давления и локального легирования. В объеме матричной инструментальной стали Р6М5 формируются длинномерные продольные и поперечные зоны, которые имеют повышенную концентрацию легирующих элементов, например до 45% Mn. Свойства армирующих зон существенно отличаются от свойств матричной стали, а сталь Р6М5 после обработки в режиме СГП преобразуется в композиционный материал.

При этом повышается влияние операции термической обработки. Это вызвано тем, что воздействие сгустков порошков при СГП длится в период времени 20 – 1000 мкс, за это время диффузионные процессы не успевают завершиться. В течении отпуска стали Р6М5 – 3 раза по 1 часу завершается диффузия легирующих материалов в высокодефектную канальную зону. Уровень физико-механических свойств волокон, формирующихся на основе структурного канального элемента, возрастает в разы.

Такой материал можно использовать в качестве основы металлорежущего и горнорежущего инструмента. В горнорежущем инструменте режущая вставка должна быть ориентирована в резце вдоль оси по направлению максимального уровня износостойкости. Поскольку прочность на изгиб и ударная вязкость упрочненной инструментальной стали всегда выше, чем в твердом вольфрамокобальтовом сплаве, то повышение износостойкости упрочненной стали позволяет успешно заменить твердый сплав в горнорежущем инструменте.

Выполненные натурные испытания на ПО «Беларускалий» показали повышения уровня эксплуатационной стойкости модифицированного горного инструмента в 1,9 раза и соответственно, скорости добычи калийной руды до 3,2 м/с.

Поэтому на основе нетрадиционной порошковой металлургии целесообразно создать вариант технологии и промышленное производство нового инструментального материала и горного инструмента.



УДК 621.7(075.8)

## **Обработка ППД восстановленных цилиндрических деталей способом алмазного выглаживания**

Курсант гр. 115111 Ермоленко Н.С.  
Научный руководитель – Горохов В.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

После восстановления размеров изношенной детали полученную ремонтную заготовку необходимо обработать. Разберём процесс обработки ремонтной заготовки на примере пальца шатунно-поршневой группы ДВС. Полученная после восстановления ПД изношенной поверхности ремонтная заготовка обычно подвергается закалке, шлифованию, доводке и полированию. Но наше внимание привлекла отделочно-упрочнительная обработка ППД, исключая доводку и полирование. Для улучшения эксплуатационных свойств восстановленных пальцев была предложена новая технология, состоящая из обеспечивающего цилиндрическую форму бесцентрового шлифования после закалки и бесцентровое алмазное выглаживание на специальном станке. При обработке ППД искажается структура материала, создаются благоприятные сжимающие напряжения, повышается твёрдость на 2 – 3 единицы HRC, степень упрочнения и толщина подповерхностного упрочнённого слоя. Кроме изменения физико-механических свойств подповерхностного слоя металла, при обработке ППД происходит сглаживание неровностей оставшихся от предшествующей обработки, значительно уменьшается время обработки и приработки заготовки.

В настоящее время используются различные способы обработки ППД, в том числе основанные на трении качения и трении скольжения инструмента по обрабатываемой поверхности, без вибрации и с вибрацией инструмента, ударным воздействием рабочих тел и инструмента на обрабатываемую поверхность, а также комбинированные и совмещённые процессы обработки с применением ППД. В настоящее время для обработки закалённых заготовок наибольшее распространение получили алмазное выглаживание и вибровыглаживание.

Способ выглаживания поверхностей алмазными наконечниками можно применять при обработке заготовок из металлов различной твёрдости, включая закалённые стали, и нельзя для обработки титановых сплавов, циркония и ниобия, что связано со специфическими свойствами этих металлов и возможным воздействием их с алмазом.

Автоматизированное оборудование для обработки заготовок ППД наиболее эффективно при применении в массовом и крупносерийном производствах. Примером станка для алмазного выглаживания является станок-автомат мод. 115ФСС (рисунок 1). Он состоит из бункера 8 с трубчатым питателем 9, двух валков 12, привода 2,3 с клиноременной передачей 13 и каретками с поджимающим 11 и выглаживающим 10 устройствами. Устройства загрузочной зоны смонтированы наклонно к станине 1 так, что при загрузке создаётся гравитационный поток, облегчающий прохождение заготовки самоподачей их при выглаживании. Бесцентровое выглаживание заготовок реализуется с помощью выглаживающего устройства и двух приводных валков размещённых на станине. Вращение валков осуществляется электродвигателем 2 через одноступенчатый редуктор и клиноременную передачу 4. Для

обеспечения бесступенчатой продольной подачи заготовок приводные валки установлены таким образом, что их оси в вертикальной плоскости перекрещиваются под определённым углом, значение которого может регулироваться. Обрабатываемые заготовки поджимаются к приводным валкам двумя подпружиненными упорами устройства 11. Автоматизированная подача заготовок в зону обработки производится из загрузочного бункера к трубчатому питателю.

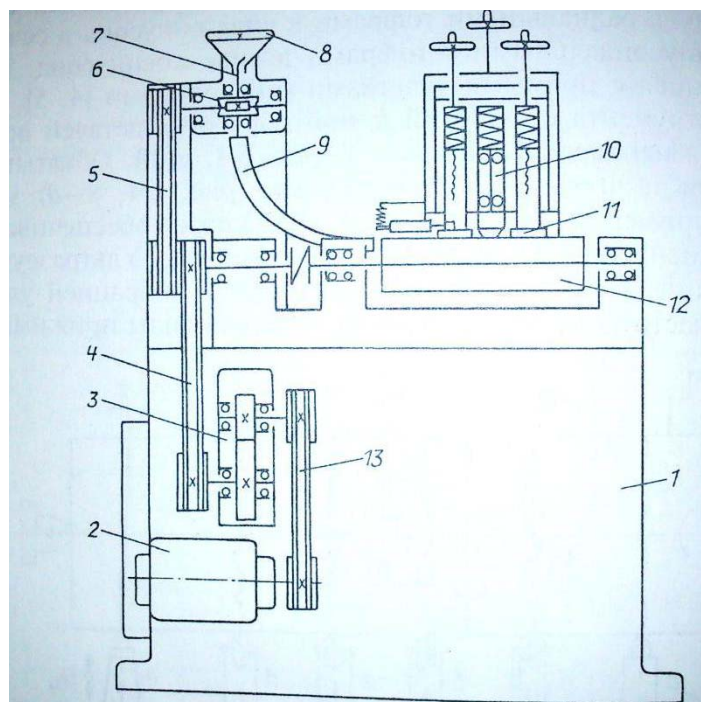


Рисунок 1 – Станок-автомат мод. 115ФСС для бесцентрового алмазного выглаживания пальцев

Для обеспечения заполнения заготовками последнего в загрузочном бункере предусмотрен ворошитель 7, приводимый в действие посредством червячного редуктора 6 и клиноременной передачи 5, необходимая сила поджима алмазного выглаживателя к обрабатываемой поверхности обеспечивается размещённой в устройстве тарированной пружины, сжатие которой регулируется.

Станок позволяет обрабатывать заготовки диаметром 10 – 20 мм и длиной 40 – 65 мм. Сила прижима инструмента 200 – 220 Н; частота вращения приводных валков 40 мин<sup>-1</sup>; подача – 0,1 – 0,01 мм/об; производительность 100 – 210 шт/ч.

Для реализации технологий восстановления изношенных пальцев ДВС в ряде зон СНГ созданы автоматизированные участки, примером которых может служить участок, планировку которого можно увидеть на экране.

Таким образом технология обработки с использованием ППД является прогрессивной, высокопроизводительной и эффективной.

УДК 631.3004.67(075.8)

### Электрогидравлическая раздача поршневых пальцев

Курсант гр. 115111 Слабодчиков В.В.  
 Научный руководитель – Горохов В.А.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Восстановление размеров элементов изношенных деталей – ремонтных заготовок деформированием за счёт перемещения микрообъёмов материала из общего объёма заготовки в зону износа включает подготовку заготовки, нагрев (при необходимости), приложение необходимого воздействия и последующую обработку для восстановления формы и размера восстанавливаемых деталей типа тел вращения: гильз, цилиндров, поршневых пальцев двигателей внутреннего сгорания и других.

В зависимости от вида энергии, затрачиваемой на пластическое деформирование, различают механическое, электрогидравлическое, и другие виды воздействия. Наиболее рациональным методом восстановления детали типа пальцев является восстановление электрогидравлической раздачей.

Электрогидравлическая раздача поршневых пальцев двигателей основана на эффекте Л.А.Юткина. Сущность эффекта заключается в инициировании в жидкости, заполняющей внутреннюю полость ремонтной заготовки, электрического разряда, создающего высокое гидравлическое давление. Которое в свою очередь вызывает пластическое деформирование материала заготовки и обеспечивает припуск на последующую обработку.

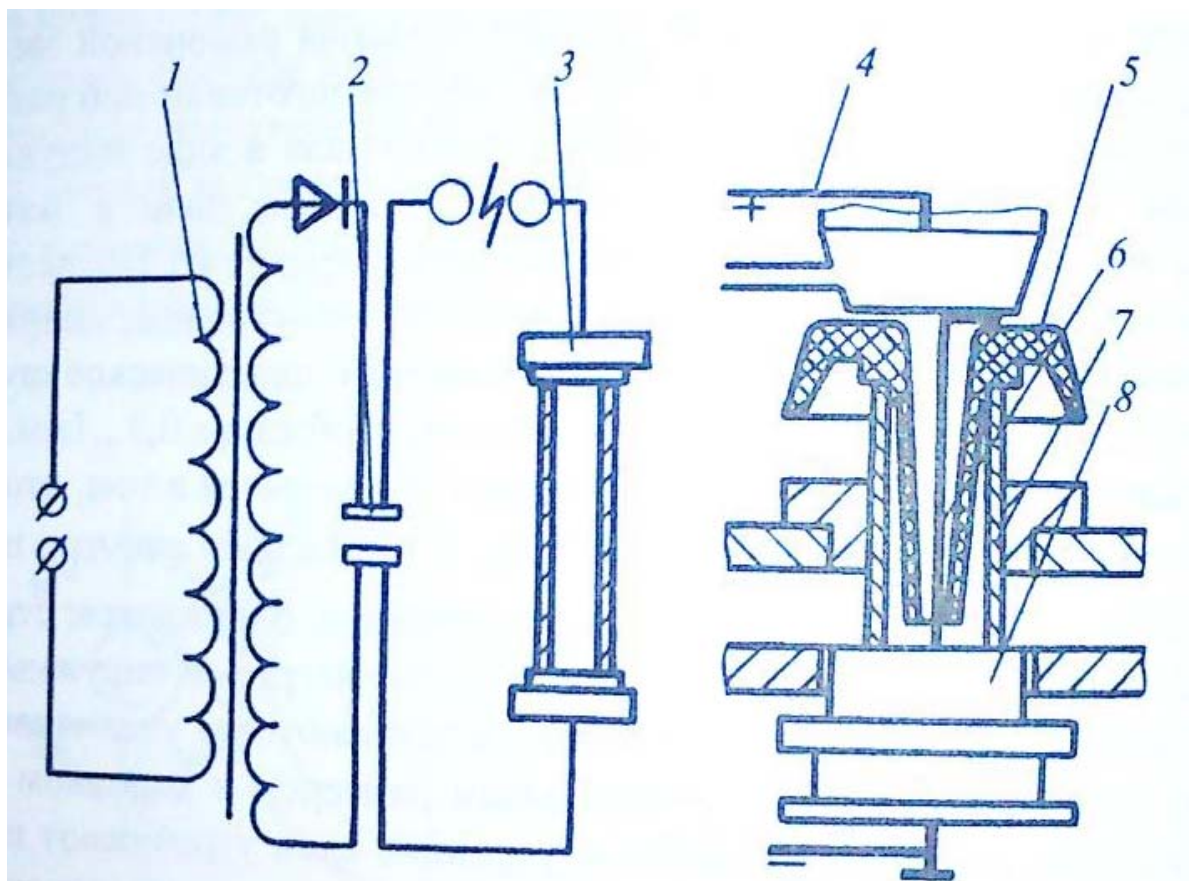


Рисунок 1 – Устройство для электрогидравлической раздачи поршневых пальцев

Устройство для электрогидравлической раздачи (рисунок 1) включает следующие основные элементы: источник энергии 1, накопитель энергии 2 (батарея конденсаторов) и технологический узел 3 с положительным 4 и отрицательным 8 электродами, между которыми установлена заготовка 7 с проводником 6 и пластмассовым патроном 5.

Технологической жидкостью, заполняющей внутреннюю полость заготовки, является вода, напряжение разряда контура 37 кВ, ёмкость батареи конденсаторов 6 мкФ. Взрывной патрон изготовлен из полиэтилена марки ПЭВ-500, а инициирующий проводник – из алюминиевой проволоки диаметром 0,7 мм. При указанных параметрах раздачи наблюдается

увеличение диаметра ремонтной заготовки пальцев, изготовленных из стали 15Х, на 0,12 мм, а деталей из стали 45 – на 0,2 мм.

После проведения термопластической раздачи поршневой палец необходимо подвергнуть термической обработке – закалке ТВЧ до твердости 58 – 65 HRC на глубину 1,0 – 1,5 мм и выравниванию наружной поверхности шлифованием, и отделочно-упрочняющей обработке – алмазному выглаживанию.

Метод ППД по сравнению с другими имеет ряд преимуществ:

- позволяет четырёх-шестикратное восстановление изношенных пальцев не только дизельных, но и карбюраторных двигателей внутреннего сгорания, что недопустимо, например, при термопластическом восстановлении;

- не требует нанесения на поршневой палец дополнительного материала путём наплавки, напыления и т. п., обеспечивая тем самым снятие припуска менее затратным и трудоёмким.

Таким образом, рассмотренный метод электрогидравлической раздачи изношенных пальцев легче осуществлять в условиях любого ремонтно-восстановительного производства, а последующая обработка ремонтных заготовок осуществляется с минимальным припуском. Отделочно-упрочняющая обработку ППД алмазным выглаживанием рабочей поверхности пальца осуществляется вообще без снятия слоя металла. В целом описанную технологию восстановления изношенных пальцев можно отнести к энергоресурсосберегающим процессам.

УДК 621.793

### Потеря массы алмаза и защита его от окисления и графитации

Студентка гр. 104618 Жарикова К.В.

Научный руководитель – Ковалевский В.Н.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Рассмотрено сопротивление порошков алмаза АСМ 14/10 и АСМ7/5 при 780 – 800 °С с покрытием аморфной и аморфнокристаллической структурой, нанесенным магнетронным распылением Si + C (в течение 1ч.). На рисунке 1 приведено изменение массы алмазных порошков с покрытием при нагреве (1ч.) в атмосфере O<sub>2</sub> при 780 – 800 °С для различных видов обработки, включая предварительную – обработку плазмой тлеющего разряда при отключении магнитной системы и распыление комбинированного катода в жестких режимах магнитной индукции (ток индукционной катушки до 1А) при низком давлении аргона 0,3Па.

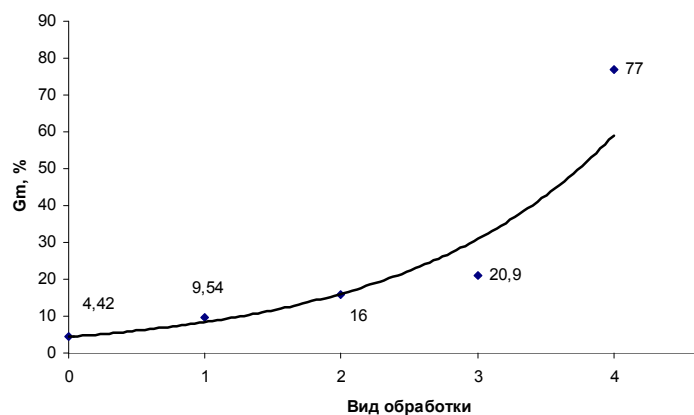


Рисунок 1 – Изменение массы порошка алмаза АСМ 14/10 и АСМ7/5, покрытого Si+C (1ч.) в атмосфере O<sub>2</sub>:

точка 0 вакуум 780 °С АСМ14/10; т.1 АСМ7/5(9,54), АСМ14/10(6.3) 800 °С слой Si + C (20 мин) + обработка плазмой TP (15мин.); т. 2 АСМ14/10(11,7) и 7/5(16) слой Si + C (1ч) + спекание в вакууме 850 °С ( $\alpha$  – SiC); т. 3.АСМ14/10(8,5) и 7/5(20,9) слой Si+C (1ч.) и Al (15 мин); т. 4. АСМ14/10(58,0) и 7/5(77,0) слой Si + C (1ч) 780 °С.

Установлено, что при кратковременном нанесении покрытия не все поверхности алмаза защищены. При длительно распылении (свыше 1ч.) наносятся слой (Si + C) вероятность покрытия возрастает. В т. 1 потери алмаза < 3 %. В т. 2 (4 – 6 %) повышается стойкость к графитации алмазов. В т. 4 реакция Si и C (850 °С). По результатам исследования рекомендовано для защиты от окисления при хранении и транспортировки, дополнительно наносить слой Al до 20нм.

УДК 621.45.669.13

### **Особенности формования и спекания сферических порошков с нанопокрытием из смеси кремния, углерода, молибдена**

Студент гр. 104619 Шарецкий А.В.

Научный руководитель – Ковалевский В.Н.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Нанесение конденсата на активированную поверхность сферических частиц порошка стали 12Х18Н9Т из смеси Si, (Si + C) или (Mo – Si) осуществляли магнетронным распылением при низком давлении аргона (0,35 Па) комбинированных катодов в условиях отдельного синтеза, размещая перемешивающее устройства в зоне плазменной тени. Управление процессом распыления проводили изменением индукцией магнитного поля в пределах 70 – 80 мТл, при линейной зависимости вольтамперной характеристики. Морфология поверхности частиц при длительно распылении определяет возможность их формования, так как конденсат осаждается в виде кластеров или капельной фазы (дисперсных частиц). Активированная плазмой тлеющего разряда с удалением адсорбированных газов и тонких пленок оксидов поверхность частиц основы обуславливает диффузионную подвижность атомов и ускоряет процесс спекания. При нагреве до 650 °С образуется тонкий слой SiC, который препятствует дальнейшей реакции. При 850 °С возобновляется реакция за счет диффузии углерода через слой SiC. При изотермическом нагреве через слоистое покрытие Si и (Si – C) или (Mo – Si) протекает диффузия компонентов. Неравномерность покрытия сопровождается разрушением каркасного покрытия при нагреве. Вязкое течение материала частиц и усадка в покрытии связана также с образованием SiC. При образовании дисилицида молибдена MoSi<sub>2</sub> происходит вязкое течение слоя конденсата, что сопровождается заполнением зазора между частицами как высокотемпературным припоем. Для композиции (Mo – Si) образование MoSi<sub>2</sub> происходит при 940 °С, образуя мостики схватывания и шейки спекания. Морфология поверхности полученных композиций подтверждает более высокий уровень прочности соединения частиц с нанопокрытием. В качестве прослойки, обеспечивающей высокие свойства изделия, рекомендуется применять конденсат из смеси кремния с углеродом или молибденом. Формование одновременно сферических частиц фракций различного размера способствует при последующем спекании активному протеканию диффузионных процессов, так как крупные частицы формируют каркас изделия, а мелкие частицы размещаются между крупными, увеличивая количество и площадь контактов.

УДК 621.793

## Исследование механических свойств образцов пористых порошковых материалов из порошка титана и разработка технологии активации спекания

Студент гр. 104618 Кашаед Е.А.  
Научный руководитель – Тумилович М.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Рассмотрено влияние введения легирующих добавок на механические свойства пористых порошковых материалов на основе порошка титана и разработка технологии спекания.

Одним из путей повышения механической прочности пористого порошкового материала является его легирование. Наиболее часто применяемым порошком для изготовления азраторов и фильтрующих элементов является порошок титана марки ТПП-5, поэтому именно он был выбран в качестве материала порошка для исследований.

В качестве добавок для исследований были выбраны следующие легирующие вещества: Al, ZnO, TiH<sub>2</sub>. Для получения шихты использовали порошок титана марки ТПП-5 с размером частиц 0,63 – 1,0 мм, а также легирующих элементов и соединений с размером частиц менее 50 мкм. Содержание легирующих добавок изменяли в интервале от 0,1 до 3 масс. %. Шихту получали путем механического перемешивания в смесителе типа «пьяная бочка» в течение восьми часов.

Формование образцов для исследований производили в металлической прессформе при давлении прессования 100 – 120 МПа. Образцы получали в форме диска диаметром 30 и высотой 5 мм. Спекание проводили в вакуумной печи при температуре 1150 °С в течение двух часов, а также в инертной атмосфере аргона при температуре 1050 °С в течение двух часов.

Результаты исследований представлены на рисунке 1:

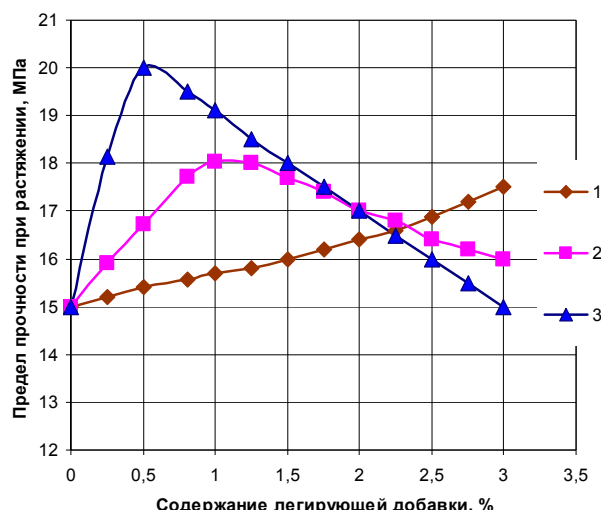


Рисунок 1 – Влияние содержания легирующих добавок на временное сопротивление при растяжении пористого титана:  
1 – Ti + Al; 2 – Ti + ZnO; 3 – Ti + TiH<sub>2</sub>.

Анализ приведенных на рисунке 1 данных показывает, что введение в шихту добавки  $TiH_2$  в размере 0,5 % обеспечивает увеличение механической прочности в 1,33 раза по сравнению с образцами, изготовленными только из порошка титана. В этом случае происходит релаксация пиковых концентраторов напряжений при зарождении в их зоне пластических сдвигов. Кроме того, при спекании происходит уменьшение толщины оксидной пленки на поверхности частиц за счет взаимодействия водорода, содержащимся в гидриде титана с кислородом, что обеспечивает уменьшение скорости диффузии кислорода в металл в зоне контакта спекаемых частиц титана, увеличение его пластичности, а, следовательно, и механической прочности.

Исследовано влияние режимов и атмосферы спекания на механическую прочность пористого титана при растяжении. Результаты исследований представлены в таблице 1 (средние значения по результатам трех опытов).

Таблица 1 – Влияние режимов и атмосферы спекания на механическую прочность пористого титана при растяжении

Режим спекания	Атмосфера спекания	Временное сопротивление $\sigma_B$ , МПа
1150 °С, 2 ч	вакуум	16,5
1050 °С, 2 ч	аргон	8,9

Из таблицы 1 видно, что образцы, спеченные в вакууме, имеют механическую прочность в 1,85 раза выше, чем образцы, спеченные в атмосфере аргона. Это объясняется тем, что при спекании в вакууме с большей полнотой и скоростью протекают процессы высокотемпературного крипа и дегазации прессовок от адсорбированных поверхностью частиц порошка газов, особенно от водорода, чего нельзя достичь при спекании в аргоне.

Проведенные исследования позволили оценить оптимальное содержание легирующих добавок в шихте, влияющих на процесс спекания и разработать технологию активации спекания, заключающуюся в применении для получения пористых образцов на основе титана добавок  $TiH_2$  в размере 0,5 %.

УДК 674.055

### **Результаты триботехнических испытаний твердосплавных резцов при фрезеровании древесных материалов**

Студенты гр. МА 2 Кеник В.Г., Фатеенков А.Д.

Научный руководитель – Рудак П.В.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

При разработке составов эффективных вакуумно-плазменных покрытий дереворежущего инструмента, следует учитывать особые условия его эксплуатации, в частности величины усилий, действующих на поверхностях режущего клина. Эти усилия могут быть рассчитаны по известным аналитическим соотношениям теорий резания древесины и древесных материалов. Точность данных расчетов решающим образом зависит от достоверности констант, в том числе и коэффициентов трения.

Особенности трения в условиях резания древесных материалов по сравнению с обработкой других материалов ставят серьезные ограничения на применение стандартных методик определения триботехнических свойств дереворежущих лезвий.

Древесный материал обладает высокой упругостью – в зоне резания возникают упругие восстановления, причем, в связи с волокнистым строением древесной основы, процесс

резания начинается только после достижения в волокнах достаточных механических напряжений – до этого лезвие сминает частицы обрабатываемого материала.

В связи с особенностями технологии изготовления физико-механические свойства древесностружечной плиты (ДСтП) плоского прессования неравномерны по толщине, а, как следствие, лезвие инструмента испытывает неравномерные механические, тепловые и др. нагрузки по своей длине – коэффициенты трения непостоянны.

Наличие в ДСтП твердых частиц законденсированного связующего (как правило, 8 – 12 % карбамидоформальдегидной смолы) оказывает значительное влияние на процесс резания – возможна реализация механизмов контактной усталости. Низкая влажность древесной основы плиты, наличие законденсированного полимера в условиях высокой цикличности процесса резания могут приводить к электроэрозионному износу.

Указанные особенности процесса резания древесных материалов значительны и уникальны – не могут быть всецело воссозданы на испытательных машинах для исследования триботехнических характеристик по стандартным методикам.

Таким образом, коэффициент трения следует устанавливать по результатам экспериментальных исследований в условиях реального процесса резания. Такие данные отсутствовали.

При исследованиях триботехнических свойств непереключаемых твердосплавных пластин с вакуумно-плазменными покрытиями, с целью разработки составов эффективных покрытий, совершенствования режущего инструмента целесообразно определять среднее значение коэффициента трения за периоды покоя и скольжения.

При проникновении лезвия в древесный материал на контактной поверхности лезвия создаются нормальное давление и силы трения. Передняя поверхность лезвия деформирует срезаемый слой, создает в нем напряжения и удаляет стружку. Сжатие срезаемого слоя и стружки при резании происходит в полузакнутом пространстве. В теории резания древесины и древесных материалов принимают, что давление стружки на переднюю поверхность распределено равномерно.

Задняя поверхность лезвия испытывает нормальное давление со стороны обрабатываемого материала вследствие упругого восстановления обработанной поверхности. Так как деформации под задней поверхностью упругие, то эпюру нормальных давлений на ней можно принять треугольной.

При обработке ДСтП фрезерованием образуется крупковидная стружка. Характер стружкообразования практически не зависит от толщины стружки. Трение стружки такого вида по передней поверхности лезвия невелико, при этом износ лезвия происходит по задней поверхности с образованием характерной фаски износа.

В связи с этим, при исследованиях триботехнических свойств непереключаемых твердосплавных пластин с вакуумно-плазменными покрытиями, с целью разработки составов эффективных покрытий, целесообразно определять значение коэффициента трения задней поверхности лезвия и примыкающей к ней части режущей кромки.

Разработанная на кафедре материаловедения и технологии металлов БГТУ методика определения коэффициента трения  $f$  задней поверхности лезвия и примыкающей к ней части режущей кромки при фрезеровании ДСтП основывается на синхронном динамометрировании касательной и нормальной сил резания по задней поверхности лезвия в процессе фрезерования с нулевой высотой снимаемого припуска.

Отличительной особенностью методики является использование для исследований коэффициентов трения разработанной экспериментальной установки на основе современного деревообрабатывающего центра с двумя рабочими столами.

Регистрирующий прибор экспериментальной установки – тензометрическая измерительная система EX – UT10 с i.Link интерфейсом (SONY, Япония), опрашивает тензодатчики универсального динамометра и позволяет определять действующие в зоне резания усилия по



трех взаимно перпендикулярным направлениям, а также величину момента в горизонтальной плоскости.

Поскольку регистрирующий прибор выдает оцифрованные данные, то рационально использовать цифровые способы фильтрации сигналов. Для обработки сигнала от измерительной системы применена фильтрация методом усреднения накопленных значений с накоплением 128 сэмплов с использованием цифрового запоминающего осциллографа TEKTRONIX TDS 2024B (США).

Режущие элементы, используемые в качестве основы для нанесения покрытия TiN – неперетачиваемые пластины вольфрамокобальтового твердого сплава SMG 02. После каждого эксперимента фреза с ножом смещалась относительно заготовки (заменялся нож) – обработка велась острой областью режущего элемента.

Перед динамометрированием выполнялось фрезерование закрепленных встык заготовок на первом и втором столах станка со снятием припуска 3 мм для устранения погрешностей установки заготовок. Следующий проход выполнялся по прежней траектории при отсутствии снятия припуска. Регистрировались силовые параметры взаимодействия лезвия с обрабатываемой поверхностью. Данные подвергались математической фильтрации, после чего рассчитывались коэффициенты трения.

На первом этапе исследовались зависимости коэффициента трения соответственно от частоты вращения хвостовой фрезы и скорости подачи.

На втором этапе исследовалось влияние толщин  $h$  вакуумно-плазменных покрытий TiN на коэффициент трения.

Исследованные диапазоны частот вращения инструмента – 10000 – 18000 мин<sup>-1</sup>, скоростей подачи – 2 – 10 м/мин, толщин вакуумно-плазменных покрытий – 1 – 4 мкм.

Установлено, что при малых значениях толщины покрытия коэффициент трения повышенный, что, по-видимому, связано с износом покрытия на стадии снятия припуска с заготовки. По мере увеличения толщины покрытия более 2 мкм происходит монотонный рост значения коэффициента трения, что связано с увеличением радиуса закругления режущей кромки пластины, увеличивающей площадь контакта при трении.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод о рациональности применения режима резания – скорость подачи 4 – 7 м/мин, частота вращения фрезы – 10 000 – 14 000 мин<sup>-1</sup> с точки зрения минимизации коэффициента трения, и триботехнической рациональности применения вакуумно-плазменных покрытий толщиной 1,5 – 2,5 мкм, которые характеризуются наименьшим коэффициентом трения. С точки зрения повышения износостойкости следует назначать покрытие большей толщины в указанном диапазоне. Таким образом, оптимальная толщина покрытия должна составлять значение 2 – 2,5 мкм.

УДК 693.22.004.18

### **Структура и свойства псевдосплавов сталь-медь после термической обработки**

Студентка гр.104619 Колодинская Н.С.

Научные руководители – Дьячкова Л.Н., Керженцева Л.Ф.

Белорусский национальный технический университет  
г.Минск

Для повышения механических свойств порошковых сталей и композиционных материалов их, также как и компактные, подвергают термической обработке (закалке, отпуску, отжигу). Процессы термической обработки псевдосплавов существенно отличаются от таковых как для компактных (из-за наличия значительного количества фазы на основе меди), так и порошковых сталей (из-за невысокой - менее 5 – 7 % - пористости).

В работе особенности термической обработки изучили на псевдосплавах с каркасом из порошковой углеродистой стали (0,5; 1; 2 % графита) с исходной плотностью каркаса 75 и 85 %. Инфильтрацию проводили медью и оловянистой бронзой. Отпуск проводили при температурах 200, 300, 400, 500, 550, 600, 650, 700 °С в течении 1 ч, кроме того, при температурах отпуска 500 – 650 °С выполняли выдержку в течении 3 ч. После отпуска образцы охлаждались на воздухе. Нагрев образцов осуществляли на воздухе, так как псевдосплавы обладают повышенной коррозионной стойкостью. Отжиг выполняли при температуре 650 – 700 °С, 1 ч с медленным охлаждением с печью.

Установлено, что инфильтрация порошковых сталей медным сплавом приводит к понижению температуры фазового превращения на 50 – 100 °С, что говорит об увеличении устойчивости переохлажденного аустенита и уменьшении количества продуктов диффузионного превращения. Такой же эффект отмечали и авторы, которые отмечают, что в псевдосплавах подавляется превращение аустенита в феррит, стимулируется бейнитное превращение и увеличивается температурный интервал перлитного превращения. Термокинетическая диаграмма сдвигается вправо от оси ординат, на ней появляется бейнитная область, а температуры мартенситного превращения снижается на 50 °С, что объясняется повышением однородности структуры за счет образования жидкой фазы и ускорения диффузионных процессов.

Необходимо отметить, что в порошковых сталях в силу их строения собирательная рекристаллизация замедлена, поэтому они обладают низкой склонностью к росту зерна, т.е. являются наследственно мелкозернистыми. Это обстоятельство позволяет избежать роста зерна в порошковых сталях при нагреве под закалку до более высокой температуры по сравнению с обычно применяемой для данного состава компактной стали, а также при длительных выдержках при отжиге и высоком отпуске. Поэтому температура закалки псевдосплавов составляла 850 °С, что на 60 – 90 °С выше, чем необходимо для исследуемых материалов – псевдосплавов углеродистая сталь (0,5; 1; 2 % графита) – медь или оловянистая бронза. Однако это является оправданным, поскольку термообработке подвергались образцы небольшого размера, которые, благодаря повышенной теплопроводности псевдосплавов, до закалки успевают остыть.

Анализ результатов испытаний материала после различных режимов термической обработки выявил, что применение термической обработки позволило повысить прочность псевдосплавов в 1,3 – 1,8 раза в зависимости от состава и исходной плотности стального каркаса, при этом влияние температуры отпуска на свойства псевдосплавов зависит от содержания углерода в каркасе (рисунок 1).

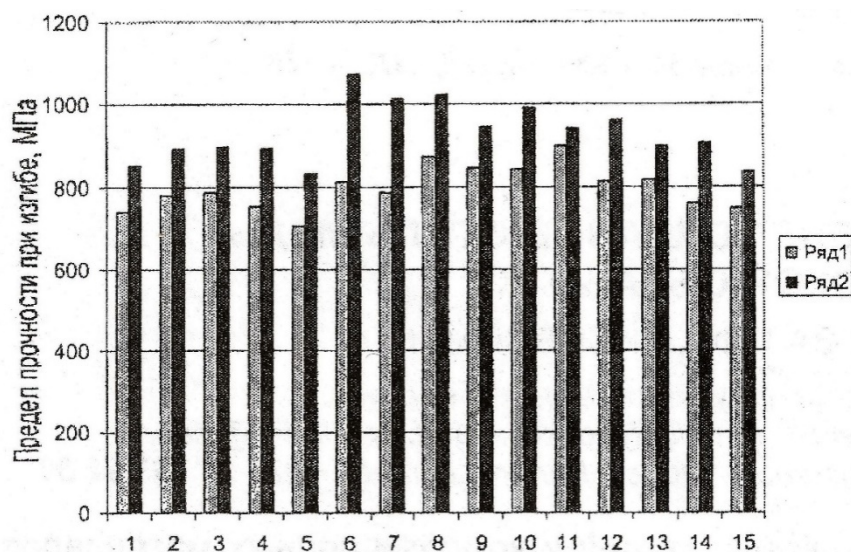


Рисунок 1 - Влияние режимов термообработки на прочность псевдосплавов среднеуглеродистая сталь (1 % графита) – оловянистая бронза:

ряд 1 – плотность каркаса 75 %; ряд 2 – плотность каркаса 85 %; 1 – пропитка; 2 – закалка; 3 – отпуск 200 °С; 4 – отпуск 300 °С; 5 – отпуск 400 °С; 6 – отпуск 500 °С, 1ч; 7 – отпуск 500 °С, 3ч; 8 – отпуск 550 °С, 1ч; 9 – отпуск 55 °С, 3ч; 10 – отпуск 600 °С, 1ч; 11 – отпуск 600 °С, 3ч; 12 – отпуск 650 °С, 1ч; 13 – отпуск 650 °С, 3ч; 14 – отпуск 700 °С, 1ч; 15 – отпуск 700 °С, 3ч.  
УДК 621.762.8

### Исследование триботехнических свойств порошковых материалов на основе меди

Студент гр.104618 Сманцер Р.В.

Научные руководители – Дьячкова Л.Н., Керженцева Л.Ф.

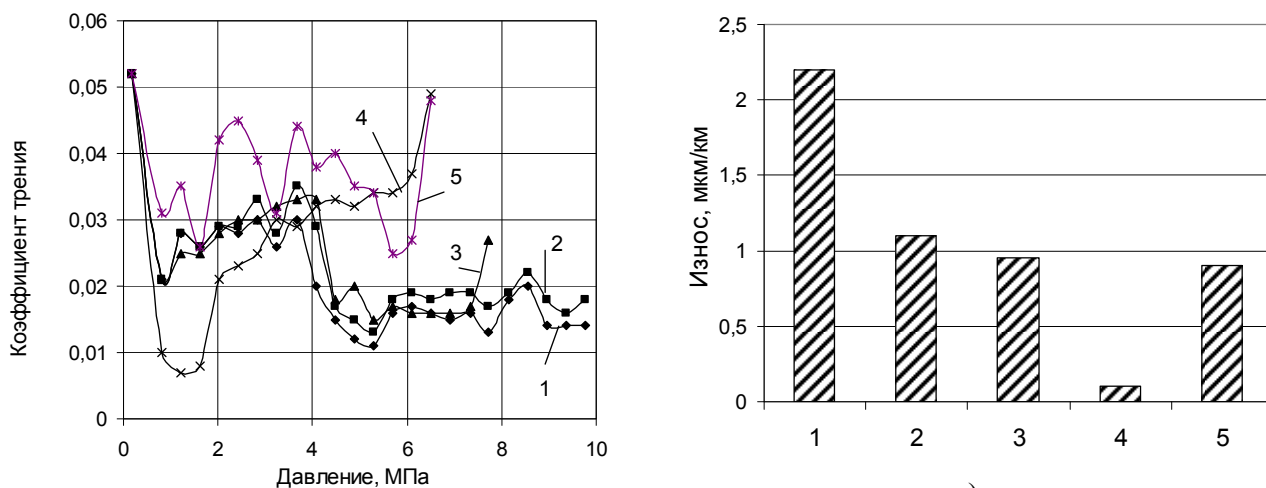
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью работы является исследование триботехнических свойств порошковых материалов на основе меди и железа, предназначенных для изготовления вкладышей подшипников скольжения, работающих в условиях высоких нагрузок и агрессивной среды.

В качестве объекта исследования использовали порошковые композиционные материалы на основе меди с добавкой 10 % олова и 3 % свинца (ПА-БрО10С3); 25 % олова, 2 или 4 % графита, 0,5 % дисульфида молибдена, 2 % железа (ПА-БрО27Г4Мс0,5Ж2, ПА-БрО27Г2Мс0,5Ж2). Для сравнения триботехнических характеристик использовали компактную бронзу БрО12.

Триботехнические характеристики материалов изучали на машине трения МТ-3 при скорости вращения 6 м/с с умеренной подачей смазки и без нее. Смазка подавалась каплями в центр нижнего вращающегося диска (контртело из закаленной стали 45 твердостью 42 – 45 HRC) и под действием центробежных сил растекалась по всей его поверхности. Интенсивность подачи смазки составляла 8 – 10 капель в минуту, в качестве смазки служило масло И-20. Перед испытанием рабочие поверхности образцов в сборе с диском и контртела шлифовались. Износ образцов измеряли на оптиметре с точностью 0,001 мм. Образцы замеряли до и после испытания в сборе с верхним диском. Для исследования триботехнических свойств изготавливали образцы диаметром 10 мм, высотой 12 мм. Образцы прессовали до плотности 82 – 85 %, спекали в эндогазе при температуре 700 °С (материалы на основе меди). Инфильтрацию спрессованного из смеси порошков железа, графита карандашного, дисульфида молибдена до плотности 83 % каркаса псевдосплава проводили в эндогазе при температуре 1080 °С. Образцы из компактной бронзы вырезали из прутка.

Проведенные исследования выявили, что состав и количество вводимых добавок влияет на механизм изнашивания материалов на медной основе и соответственно на их коэффициент трения (рисунок 1 а).



а)

б)

Рисунок 1 – Триботехнические свойства порошковых материалов на основе меди (1–3), железа (5, 6) и компактной бронзы (4):

1 – ПА-БрО27Г4Мс0,5Ж2; 2 – ПА-БрО27Г2; 3 – ПА-БрО10С3; 4 – компактная бронза БрО12; 5 - ЖГр4Д45О5; 6 – псевдосплав ЖГр2Д15О5

При давлении 1 – 3 МПа минимальным коэффициентом трения 0,007 – 0,009 обладает псевдосплав ЖГр2Д15О5, при больших давлениях – порошковый материал на медной основе ПА-БрО27Г4Мс0,5Ж2, который при давлениях 1 – 4 МПа имеет коэффициент трения 0,03. Снижение коэффициента трения при больших нагрузках, когда повышается температура и начинаются процессы окисления, связано, с увеличением прослойки графита и на поверхности трения. При трении благодаря слабому сопротивлению графита срезу по плоскостям.

Снижение количества графита до 2 % привело к незначительному повышению коэффициента трения и практически не повлияло на износостойкость материала. Положительное влияние на коэффициент трения оказывает также наличие в материале дисульфида молибдена, действие которого аналогично графиту, так как кристаллическая решетка дисульфида молибдена подобна решетке графита: между атомами молибдена и серы имеются тесные связи, в то время как расстояние между слоями атомов серы относительно больше.

Введение в материал дисульфида молибдена и железа снижает отрицательное влияние графита на его трещиностойкость, так как графит при спекании взаимодействует с железом и молибденом, образуя карбиды. Благодаря действию твердых смазок графита и дисульфида молибдена и более высокой твердости материала за счет легирования железом и оловом износостойкость его также выше (рисунок 1 б), чем материала без добавок железа и дисульфида молибдена и с меньшим содержанием графита ПА-БрО27Г2, а также материала с добавкой свинца ПА-БрО10С3.

Порошковые материалы на основе железа обладают большей износостойкостью, чем на основе меди, так износостойкость пористого материала ЖГр4Д45О5 в 1,6 раз, а псевдосплава ЖГр2Д15О5 практически в восемь раз выше. Однако установившийся коэффициент трения псевдосплава составляет 0,01 – 0,02, а ЖГр4Д45О5 – 0,02, предельное давление схватывания – 7 и 2,8 МПа соответственно. Столь низкое давление схватывания материала ЖГр4Д45О5 объясняется его низкой прочностью вследствие высокой пористости, увеличивающейся при спекании вследствие эффекта медного роста [5, 6], а также низкой трещиностойкостью, вызванной неоднородностью структуры, большим содержанием графита, образованием цементитной сетки, невзаимодействием меди с графитом. Псевдосплавы лишены этого недостатка, так как остаточная пористость в них не превышает 5 – 7 %, а медная фаза равномерно распределена в межчастичном и межзеренном пространстве стального каркаса. Временное сопротивление порошковых материалов приведено в таблице 1.

Триботехнические свойства компактной бронзы существенно ниже, чем порошковых материалов (рисунок 1, б), коэффициент трения составляет 0,035 – 0,04, износостойкость – более чем в 2 раза ниже, чем материала ПА-БрО27Г4Мс0,5Ж2 и существенно ниже, чем псевдосплава ЖГр2Д15О5.

Таблица 1 – Временное сопротивление порошковых материалов на основе меди и железа

Состав материала	Пористость, %	Временное сопротивление, МПа
ПА-БрО27Г4Мс0,5Ж2	15-17	180
ПА-БрО10С3	15-17	150
ЖГр4Д45О5	18-20	210
Псевдосплав ЖГр2Д15О5	5-7	470

*Заключение.* Состав и количество вводимых добавок влияет на механизм изнашивания порошковых материалов на основе меди и железа и соответственно на их триботехнические

свойства. Введение в порошковые материалы на основе меди олова, железа, графита и дисульфида молибдена позволило получить коэффициент трения в два раза ниже, а износостойкость более чем в два раза выше, чем у компактной оловянистой бронзы. Существенно большую износостойкость, чем порошковые материалы на основе меди обладает псевдосплав, полученный инфильтрацией сплавом медь – 5 % олова каркаса из порошковой углеродистой стали с добавкой твердой смазки в виде дисульфида молибдена.  
УДК 621.787.52

### **Влияние времени выдержки на толщину и структуру цинкового покрытия при термодиффузионном цинковании в порошковых средах с использованием цинксодержащих отходов**

Студенты гр. 104118 Розенберг Е.В., гр. 104119 Комарова Т.Д.  
Научный руководитель – Урбанович Н.И., Басалай И.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Существующие в настоящий момент технологии цинкования приводят к накоплению в больших количествах цинксодержащих отходов. Так, например, на ОАО «Речицкий метизный завод» в процессе горячего цинкования образуется ежегодно порядка 400 тонн отходов в виде изгари, гартцинка и пусьеры (цинковой пыли). Рециклинг данных отходов актуален для республики Беларусь, т.е. не существует источников сырья для производства цинка и предприятия вынуждены тратить на закупку цинка валютные средства. В работах авторов [1,2] была установлена возможность использования гартцинка в качестве дешевого заменителя чистого цинка для цинкования в порошковых средах, разработана и оптимизирована порошковая композиция на основе гартцинка, состоящая (% по массе) 40 гартцинк + 59Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + NH<sub>4</sub>Cl.

Известно, что толщина цинкового слоя и соотношение его фазовых составляющих зависит не только от состава насыщающей среды, но и от температуры и времени цинкования.

Целью данной работы являлось установление экспериментальной зависимости продолжительности процесса при термодиффузионном насыщении в системе гартцинк-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на толщину цинкового покрытия и ее структуру

В опытах по определению влияния продолжительности выдержки на толщину и структуру исследуемых покрытий применяли диффузионную смесь, состоящую из 40 % гартцинка, 59 % оксида алюминия и 1 % хлористого аммония. Опыты проводили на образцах в виде пластин из Ст3. Термическую обработку осуществляли в муфельной электропечи. Продолжительность выдержки при оцинковании составляла 1, 2, 3, 4 часа, температура – 450 °С. После соответствующей выдержки контейнер с образцами охлаждали на воздухе. Проведенные исследования показали, что длительность выдержки в пределах от 1 до 4 часов изменяет толщину цинкового слоя и способствует росту фаз.

Зависимость роста толщины цинкидного слоя от продолжительности процесса представлена на рисунке 1, анализ которой показал, что толщина слоя при выдержке в течение одного часа составила 17 мкм, а при 4-часовой выдержке – 89 мкм. Данная зависимость носит экспоненциальный характер, при этом более интенсивный рост слоя происходит после трехчасовой выдержки.

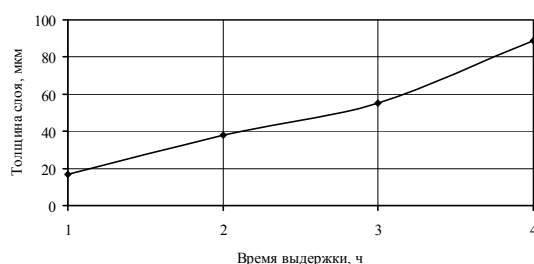


Рисунок 1 – Влияние продолжительности выдержки при термодиффузионном цинковании в системе гартцинк +  $Al_2O_3$  на толщину цинкового слоя

На рисунке 2 представлена зависимость увеличения размера образца от времени выдержки. Анализ представленной зависимости позволяет отметить, что с увеличением времени выдержки происходит и увеличение размеров образцов.

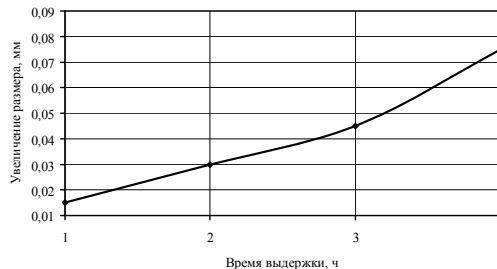
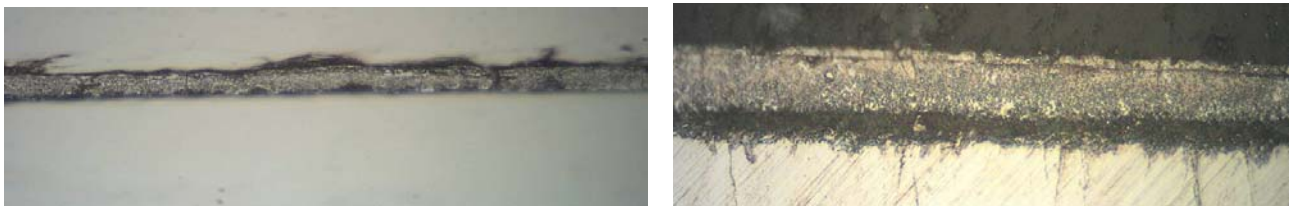


Рисунок 2 – Влияние продолжительности выдержки при термодиффузионном цинковании в системе гартцинк+ $Al_2O_3$  на увеличение размеров образцов

При сопоставлении полученных зависимостей наблюдается формирование слоев, толщина которых превышает увеличение размеров образца. Более интенсивный рост слоя внутрь образца происходил после 3-х часовой выдержки и составил 0,014 мкм, т.е. примерно 15 % от толщины слоя. Следует отметить что формирование слоя внутрь образца имеет весьма важное значение для сохранения геометрических размеров, особенно для резьбовых поверхностей.

Микроструктурный анализ цинковых покрытий, представленных на рисунке 3, показал, что цинковое покрытие состоит из слоев  $\alpha$ ,  $\Gamma$ ,  $\delta$  и  $\xi$ -фаз.



а

б

Рисунок 3 – Влияние продолжительности выдержки при термодиффузионном цинковании в системе гартцинк +  $Al_2O_3$  на микроструктуру цинкового слоя (x500):

а – 1 час; б – 3 часа

Следует отметить, что рост толщины покрытия с увеличением времени выдержки происходит в основном за счет  $\delta_{1к}$ -фазы, имеющей мелкокристаллическую структуру, которая является наиболее благоприятной и способствует повышению защитных свойств. При этом столбчатые зоны  $\delta_{1п}$ -фазы не наблюдается.

Таким образом, анализ результатов исследований позволил установить, что продолжительность времени выдержки при термодиффузионном насыщении в системе гартцинк- $Al_2O_3$  приводит к росту толщины слоя и размеров образцов. При этом наблюдается рост толщины слоя внутрь образца, причем наиболее интенсивный рост слоя происходит после трехчасовой выдержки. Установлено, что рост слоя происходит за счет увеличения  $\delta_{1к}$ -фазы, имеющей мелкокристаллическую структуру. Отмечено также, что продолжительность не влияет на структуру цинкового покрытия, которое во всех случаях состоит из слоев  $\alpha$ ,  $\Gamma$ ,  $\delta$ -фаз и предположительно  $\zeta$ -фазы.

## Литература

1. Влияние насыщающего компонента в системе гартцинк-  $Al_2O_3$  на толщину покрытия, изменение размеров и массы образцов при термодиффузионном цинковании / Н.И. Урбанович [и др.] // Литье и металлургия-2011.-№2.-С.54-56
- 2.Басалай, И.А. Использование отходов горячего цинкования при термодиффузионной обработки металлов /И.А. Басалай, Н.И. Урбанович // Тезисы докладов науч.-техн. конф. «Промышленная экология», 13-14 сентября 2012 г. Белор. национ. техн. ун-т,-Минск, 2012.-с.17





# **Охрана труда и промышленная безопасность**

Магистрантка Автушко А.С.  
Научный руководитель – Науменко А.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Безопасные условия труда в логистических центрах при хранении холодильных установок могут быть обеспечены только при строгом соблюдении норм безопасности, промышленной санитарии и противопожарной безопасности.

При *складировании баллонов с холодильным агентом* необходимо неукоснительно соблюдать следующие правила техники безопасности.

Склады для хранения аммиака в баллонах должны оборудоваться сигнализатором аварийной концентрации паров аммиака с установкой блока управления и сигнализации в машинном (аппаратном) отделении. При концентрации аммиака в помещении склада равной или превышающей ПДК (20 мг/куб.м) блок управления должен включить предупредительную световую сигнализацию, при достижении концентрации 10ПДК (200 мг/куб.м) – предупредительную световую и звуковую сигнализации, а при достижении концентрации аммиака более 5 мг/куб.м – предупредительную, световую и звуковую сигнализацию и автоматические средства локализации аварии (спринклерную систему орошения).

В помещение склада для хранения баллонов разрешается входить только с противогазом марки КД.

Лицо, ответственное за хранение наполненных баллонов на складе, несёт ответственность за их надлежащее содержание в период нахождения на складе и при отправке со склада, а также производит осмотр наполненных баллонов один раз в месяц, а осмотр помещения – ежедневно.

Склад для хранения аммиака в баллонах должен иметь естественную вентиляцию, спринклерную систему осаждения паров аммиака, должен быть оборудован молниезащитой и быть обеспечен средствами пожаротушения.

Наполненные баллоны с насаженными на них башмаками необходимо хранить в вертикальном положении. Для предохранения от падения баллоны устанавливают в специально оборудованных гнездах, клетках или ограждают их барьерами.

Баллоны, не имеющие башмаков, можно хранить в горизонтальном положении на деревянных рамах или стеллажах с прокладками между рядами баллонов. В этом случае высота штабелей должна быть не более 1,5 м, а все вентили должны быть защищены колпаками и обращены в одну сторону.

Разрешается совместное хранение баллонов с аммиаком и баллонов с негорючими газами (углекислым газом, азотом).

В помещении склада должны быть вывешены инструкции и правила по обращению с баллонами, находящимися на складе, а также плакаты о запрещении курения и проведения огневых работ. Аммиачные баллоны должны быть окрашены в жёлтый цвет и меть надпись чёрного цвета «Аммиак».

Склад баллонов с аммиаком необходимо запирать на ключ и содержать в чистоте. Запрещается даже временное хранение в нём каких-либо предметов или материалов, кроме баллонов с инертными газами. Допускается блокирование склада для хранения аммиака в баллонах и склада смазочных масел в общем здании при условии их торцевого примыкания и устройства между ними глухой капитальной стены. Входы в оба склада должны быть предусмотрены с противоположных торцевых сторон здания.

Хранение баллонов с аммиаком в машинном и аппаратном отделениях, а также в

других помещениях, не являющихся специальными складами для хранения баллонов с аммиаком, запрещается.

В помещениях, где хранятся хладагенты, не допускается использование открытых источников пламени и курения. Ресиверы, предназначенные для хранения аммиака, должны быть защищены кровлей и жалюзийными стенками от солнечных лучей и осадков, а также оборудованы сигнализатором аварийной концентрации паров аммиака, спринклерной системой и обустроены по периметру полв бортиками (поддонами) высотой не менее 20 см. Также, необходимо исключить доступ к баллонам посторонних лиц. При этом используют сеточные ограждения.

Запрещается хранить баллоны с холодильным агентом в местах, где температура воздуха может превысить показатель калибровки клапана сброса. При этом уделяют особое внимание холодильным агентам, находящимся под высоким давлением таким как аммиак, бутан и другие токсичные и воспламеняемые вещества.

Баллоны не должны соприкасаться с токоведущим кабелем.

Ресиверы должны иметь визуальные указатели уровня, манометры, предохранительные клапаны и сливные трубопроводы.

Через ресиверы аммиак не должен циркулировать (они должны быть «в тупике»). Ресиверы необходимо оборудовать сигнализацией максимально и минимально допустимого уровня аммиака.

Общая ёмкость должна быть минимальной и определяться исходя из годовой потребности в аммиаке и периодичности его доставки.

Ёмкость отдельных сосудов не должна превышать 25 куб.м, заполнение их допускается не более чем на 80 %.

При *подъёме оборудования запрещается* использовать подъёмный кран под линией электропередачи либо вблизи неё. До этого необходимо проверить по документации, полученной от изготовителя агрегата, его вес перед подъёмом для определения соответствия подъёмного устройства требованиям реквизита, проверить расположение центра тяжести агрегата и учесть особые инструкции по подъёму, проверить состояние всех компонентов и устройства для подъёма, убедиться в отсутствии людей в направлении перемещения. Запрещается поднимать компрессор или собранный агрегат только за одни ушки.

Меры индивидуальной безопасности:

- очищать рабочее место от мусора, опилок, кусков металла и пр.;
- соблюдать меры предосторожности при пользовании приставной лестницей. В этом случае работать необходимо обязательно вдвоём;
- в любой момент знать место нахождения коллег по бригаде;
- всегда надевать каску при наличии потенциальной опасности падения или отскока предметов;
- не прикасаться к электрооборудованию влажными или мокрыми руками, либо стоя на мокром полу;
- не надевать кольца, цепочки, браслеты, галстуки, широкополую одежду при работе с электроагрегатами или при контакте с движущимися или вращающимися частями машин и механизмов.

Необходимо знать и всегда помнить:

- при несоблюдении требований техники безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности в логистических центрах у субъекта хозяйствования может быть аннулировано и изъято разрешение (лицензия) на соответствующий вид деятельности;
- лица, виновные в нарушении правил по охране труда несут ответственность а порядке, установленном правилами внутреннего распорядка в организации и в соответствии с законодательством Республики Беларусь;

## Мониторинг несчастных случаев на предприятиях РБ

Студенты гр. 113539 Заранка Т.А., Малышева М.Н.  
Научный руководитель – Науменко А.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

По оперативным данным Департамента государственной инспекции труда в 2011 году в организациях республики в результате несчастных случаев на производстве погибли 197 работников, что на 37 человека меньше, чем в 2010 году.

Мониторинг происшествий, приведших к гибели работников, показывает, что:

24,9 % – погибло в результате воздействия движущихся (разлетающихся, вращающихся) предметов, деталей и тому подобного;

15,7 % – падения с высоты;

14,2 % – падения (обрушения) конструкций, зданий и сооружений, обвалов предметов, материалов, грунта.

Кроме того от поражения электрическим током и в дорожно-транспортных происшествиях на производстве погибли по 19 человек.

В результате пожара погибли – 10 человек, еще восемь – в результате взрыва.

### Мониторинг несчастных случаев

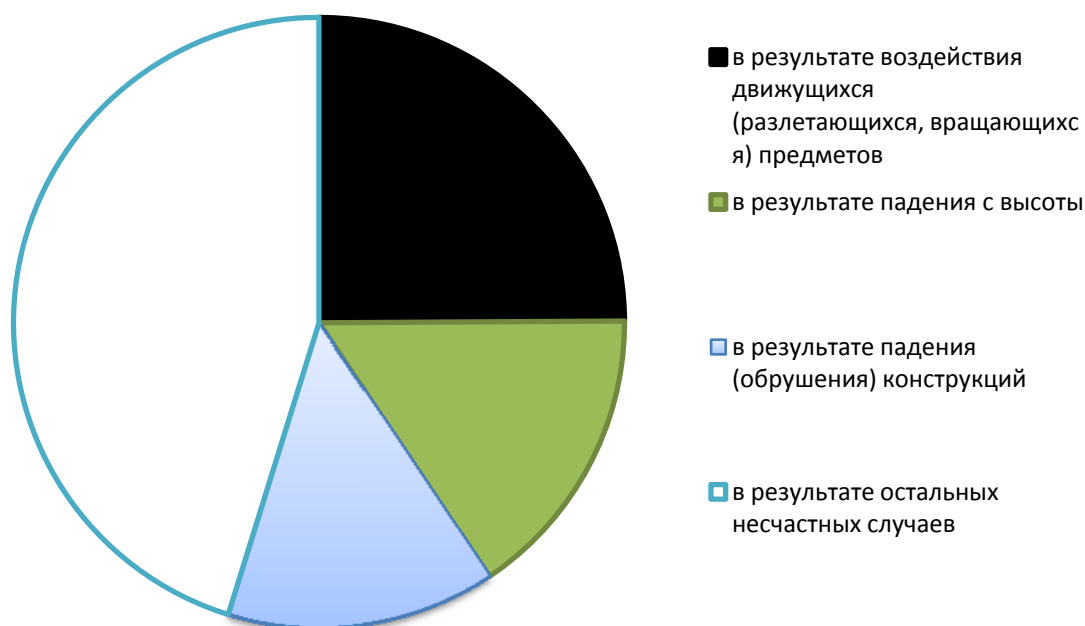


Диаграмма 1 – Мониторинг несчастных случаев на 2011 год

По оперативным данным Департамента государственной инспекции труда в 2012 году в организациях республики в результате несчастных случаев на производстве погибли 172 работников, что на 25 человек больше по сравнению с 2011 годом.

Мониторинг происшествий, приведших к гибели работников, показывает, что:

26,3% – в результате движущихся (разлетающихся, вращающихся) предметов, деталей;

19,3 % – в результате падения с высоты;

15,8 % – в результате дорожно-транспортных происшествий;

14,9 % – из-за обрушения конструкций зданий и сооружений, обвалов предметов, материалов, грунта и тому подобного.

В результате поражения электрическим током погибли восемь человек.

### Мониторинг несчастных случаев

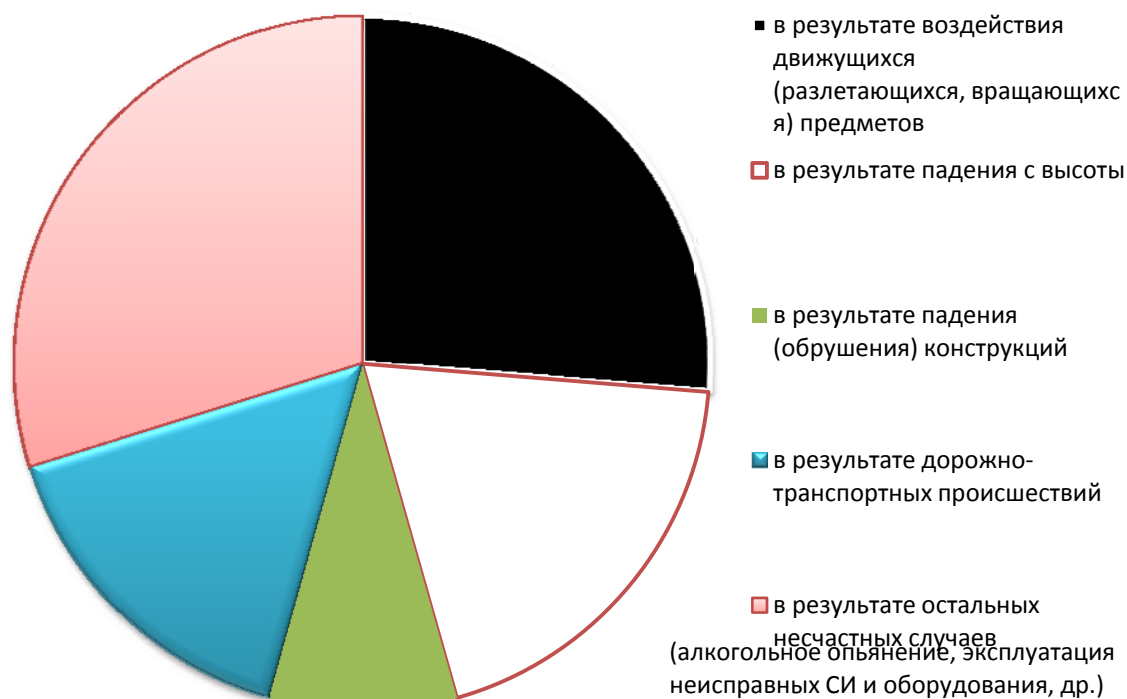


Диаграмма 2 – Мониторинг несчастных случаев на 2012 год

В 2012 году по сравнению с 2011 – м допущен рост погибших на производстве в организациях Минлесхоза – 8 человек (в 2011 году – 3 человека), концерна «Белнефтехим» – 5 (4), Минторга и Госкомвоенпрома – по 1 (ни полного), а также в организациях, расположенных на территориях, подведомственных Гродненскому облисполкому – 19 (13).

Основными причинами несчастных случаев со смертельным исходом явились невыполнение руководителями и специалистами обязанностей по охране труда, нарушение потерпевшими трудовой и производственной дисциплины, инструкций по охране труда.

Основные задачи на 2013 год:

- обеспечение сопровождения проекта Закона Республики Беларусь «О внесении дополнений и изменений в Закон Республики Беларусь «Об охране труда» в Палате представителей Национального собрания Республики Беларусь;

- разработка нормативных правовых актов, направленных на реализацию Закона Республики Беларусь «О внесении дополнений и изменений в Закон Республики Беларусь «Об охране труда» после его принятия;

- проведение в г. Витебске белорусско – российской научно – практической конференции «Состояние и проблемы гармонизации законодательства об охране труда Республики Беларусь и Российской Федерации»;

- обеспечение формирования базы данных автоматизированной информационной системы «Мониторинг условий труда на предприятиях Республики Беларусь».

**Влияние излучения медицинского оборудования на человека**

Студенты гр.113519 Седельник И.В.

Научный руководитель – Науменко А.М.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Современный этап развития человечества характеризуется неблагоприятным экологическим состоянием окружающей среды. Среди всех экологических проблем радиационный фактор играет очень важную роль, обуславливая дополнительное негативное лучевое воздействие на организм человека. Среди всех аспектов радиационного использования ионизирующего излучения медицинское занимает ведущее место (таблица 1).

Таблица 1 – Основные источники излучения и обусловленные ими дозы современного облучения населения

Виды и источники облучения	Средняя индивидуальная эффективная доза, мЗв/чел в год		
	Беларусь	Весь мир	Индустриально развитые страны
Природные	2,4	2,4	2,4
Медицинские	1,1	0,4	0,6
Техногенные	0,005	0,0007	0,004
Аварийные	0,022	0,007	0,005
Итого	3,5	2,8	3,0

Именно медицинские источники ответственны практически за всю дозу техногенного облучения. Говоря о медицинском облучении, следует учитывать тот факт, что ионизирующее излучение используется в медицине, как в диагностических, так и в лечебных целях.

Говоря о медицинском облучении, следует иметь в виду, что ее можно условно разделить, во-первых, на диагностическое (включая профилактическое) и терапевтическое и, во-вторых, облучение персонала и пациентов. Терапевтическое облучение исключено из оценки уровня облучения населения ввиду, во-первых, его незначительного вклада, несмотря на высокие локальные дозы облучения больных и, во-вторых, отличия дозиметрических критериев при его проведении. В частности, при лучевой терапии используется концентрация эквивалентной, а не эффективной дозы, то есть действуют законы высоких доз облучения или так называемые детерминистские эффекты. Кроме того, терапевтическое излучение используется, как правило, при лечении онкологических больных (таблица 2).

Таблица 2 – Средние дозы медицинского диагностического облучения персонала и пациентов

Категория	Облучаемые лица	Средняя индивидуальная эффективная доза	Коллективная доза, мЗв доза, челЗв	Вклад в дозу
Персонал	Категория А	2,6	342	0,2
	Категория Б	0,33	19,5	0,01
	Всего	1,90	362	0,2
Пациенты	Рентгенодиагностика	1,52	136910	93,8
	Радионуклидная диагностика	5,00	8750	6,0
	Всего	1,76	145660	99,8
Все население	Рентгенодиагностика	1,0	137270	94,0
	Радионуклидная диагностика	0,1	8750	6,0

	Всего	1,1	146020	100
--	-------	-----	--------	-----

Медицинское облучение населения является одним из наиболее значимых среди всех видов облучения человека. Во-первых, оно сопровождает человека так же, как и природное, в течение всей его жизни и, во-вторых, характеризуется такой же мощностью дозы, как и аварийное облучение.

Среди особенностей медицинского облучения следует назвать дополнительные:

- воздействие на ослабленный, больной организм4 многократность воздействия;
- действие на все население, включая его наиболее радиочувствительные контингенты, в том числе детей;
- действие, как правило, на одни и те же органы, в том числе радиочувствительные, такие как легкие, щитовидная и молочная железы и др.;
- зависимость дозы облучения от квалификации врача и технических средств.

Исключительная значимость медицинского облучения определяется однако не только размерами его вклада в популяционную дозу, но также наличием самых крупных, экономически не обременительных и вполне реальных возможностей уменьшить этот вклад, а значит значительно снизить общую лучевую нагрузку на все население без всякого ущерба для полезного медицинского эффекта, обеспечиваемого лучевой диагностикой в виде получаемой клинической информации.

Таким образом, медицинское диагностическое облучение людей выступает как одно из наиболее важных, но вместе с тем опасных среди различных областей человеческой деятельности.

УДК 621.74:628.517

#### **Оценка влияния шума на работающих в литейных цехах**

Студенты гр. 104318 Бобровник А.А., Козловский Д.В.  
 Научный руководитель – Лазаренков А.М.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Одним из вредных производственных факторов, определяющих условия труда в литейных цехах и неблагоприятно воздействующих на работающих, является шум, который при длительном воздействии на организм человека может привести к патологическим изменениям, а затем и профессиональному заболеванию – невриту слухового органа.

Результаты исследований шума литейного оборудования показали, что параметры шума основных видов оборудования смесеприготовительных, стержневых, формовочных, плавно-заливочных, выбивных и обрубочно-очистных участков превышают допустимые значения. Наибольшие превышения допустимого уровня отмечаются на рабочих местах у стержневых и формовочных встряхивающих машин (на 10 – 21 дБА), у выбивных решеток (на 14 – 24 дБА), у обрубочно-очистного оборудования (на 16 – 27 дБА). Шум, создаваемый основными литейными машинами, является широкополосным, звуковое поле неоднородно в связи с наличием источников шума, различных по уровню акустической мощности и характеру спектра. Шум, создаваемый оборудованием с ударным режимом работы, непостоянный, с максимальным уровнем звуковой мощности в области средних и высоких частот. Это говорит о значительном воздействии шума на формовщиков, выбивальщиков форм, обрубщиков и чистильщиков литья. Степень влияния шума на работающих определяется и характером производства литейных цехов. Анализ результатов исследований позволил выявить некоторые особенности распределения уровней шума в зависимости от характера производства.

В литейных цехах массового производства у оборудования создаются значительные шумовые зоны, охватывающие практически все места плавильно-заливочных, формовочных, выбивных и обрубочно-очистных участков и которые наблюдаются практически в течение всей рабочей смены. Особенности литейных цехов серийного производства является то, что несмотря на большое число технологических процессов, меньший уровень автоматизации и механизации этих процессов позволяет выбрать более рациональное и, как правило, изолированное расположение оборудования, создающего повышенные уровни шума. А это в свою очередь приводит к повышенным шумам на отдельных участках или зонах, концентрирующихся непосредственно у шумного оборудования, в меньшей степени воздействуя на других работников этих участков. Кроме того следует отметить, что в этих цехах работа оборудования происходит циклично (т.е. не постоянно, как в литейных цехах массового производства) и эквивалентные уровни шума будут иметь меньшие значения. Так в цехе среднего и крупного литья шум встряхивающих машин наблюдается только в первую смену и в течение примерно 1,5 часов во время изготовления необходимого количества полуформ. Выбивные решетки работают в третью смену, когда происходит только выбивка отливок из форм.

На основании проведенных исследований сделан вывод о том, что шум оказывает влияние на работающих в литейных цехах, степень воздействия которого определяется применяемыми технологическими процессами и оборудованием различных участков цехов, а также характером производства. В цехах массового производства наибольшее число профессиональных заболеваний связано с воздействием на работающих чрезмерного шума от используемого литейного оборудования, более высоким уровнем механизации и автоматизации и более продолжительным воздействием. Наиболее высокая заболеваемость невритом слухового органа приходится на профессии обрубщиков, формовщиков, стерженщиков, плавильщиков и чистильщиков литья. Группа ремонтников также имеет наиболее высокий коэффициент заболеваемости, так как им приходится непосредственно контактировать с шумным оборудованием.

УДК 621.74:658.382

### **Исследование параметров микроклимата литейных цехов**

Студенты гр. 104318 Пархимович Д.В., Степутенко А.А.  
Научный руководитель – Лазаренков А.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Немаловажная роль в обеспечении нормальных условий труда работающих в литейных цехах принадлежит поддержанию в заданных пределах параметров метеорологических условий, которые определяются совокупностью температуры воздуха, его относительной влажности и скорости движения, интенсивности теплового излучения. Влияние нагревающего микроклимата на организм человека в условиях литейных цехов может привести к серьезным изменениям со стороны сердечно-сосудистой, центральной нервной и других систем, вызывая уменьшение массы человека, сгущение крови, нарушение солевого баланса, развитию витаминного дефицита, недостаточному кровообращению сердца, снижению секреции желудочного и поджелудочного сока, желчи, ослаблению внимания, ухудшению координации движений, замедлению реакций, тепловым ударам.

Исследования параметров микроклимата рабочих мест литейных цехов показали, что фактические значения интенсивного теплового излучения в большинстве случаев превышают допустимые величины. В таблице 1 приведены результаты исследований параметров микроклимата на рабочих местах литейных цехов в холодный и теплый периоды года. Анализ



результатов исследований показывают, что в теплый период года в литейных цехах с любым характером производства температура воздуха соответствует нормативным значениям на всех участках, за исключением рабочих мест плавно-заливочного участка, где она в среднем выше на 5 – 9 °С. Кроме того отмечено превышение допустимых температур в среднем на 3 – 5 °С в термообрубных отделениях (на участках отжига отливок на 3 – 6 °С и при съеме отливок с эпрон-конвейеров на 6 – 8 °С) литейных цехов массового производства, на 2 – 3 °С выше на выбивном участке литейных цехов серийного производства (выбивка средних и крупных отливок, которые остаются в помещении участка и отдают значительное количество тепла).

Аналогичное положение отмечается и в холодный период года, однако значения превышений допустимых температур фиксируются большие (нормативные величины в этот период имеют меньшие абсолютные значения). В тоже время на рабочих местах шихтовых отделений литейных цехов всех характеров производства температура воздуха ниже нормативных значений, что объясняется практически постоянно открытыми въездными воротами, вывозом больших объектов формовочных и шихтовых материалов и отсутствием источников тепловыделений.

Недостаточные температуры воздуха отмечаются и на большинстве участков литейных цехов с серийным и мелкосерийным характером производства, которые расположены у наружных стен помещения (смесеприготовительный, формовочный). Причем на этих участках, как правило, нет источников со значительными тепловыми выделениями. Кроме того, как показали исследования, действующие системы отопления не обеспечивают поддержания требуемых температур в помещениях литейных цехов в холодный период года, так как в начале первой смены температура воздуха фиксировалась ниже нормативной.

Превышение допустимых температур отмечается на участках всех литейных цехов, где имеются источники значительных тепловых излучений. Также следует отметить, что в таблицах приведены средние значения температур и отклонений их от нормативных. В процессе проведения экспериментальных замеров установлены значительно большие значения температур, достигающие 37 – 42 °С в летний период на рабочих местах плавилиськов и заливщиков. Но указанные температуры имели место только при некоторых технологических операциях (выпуск металла, наполнение ковшей, заливка форм, очистка шлака).

Таблица 1 – Отклонение значений температуры воздуха на рабочих местах участков литейных цехов от нормативных величин

Участок цеха	Величина отклонения температуры воздуха от допустимых значений, °С					
	теплый период года			холодный период года		
	производство			производство		
	массовое	серийное	мелкосерийное	массовое	серийное	мелкосерийное
Шихтовый	соответствует норме			на 2-5° ниже	на 5-8° ниже	на 4-6° ниже
Смесеприготовительный	соответствует норме			соотв. норме	на 2-4° ниже	на 3-5° ниже
Плавно-заливочный	на 6-8° выше	на 5-7° выше	на 7-9° выше	на 7-10° выше	на 5-8° выше	на 6-9° выше
Стержневой	соответствует норме			на 2-5° выше	соответствует норме	
Формовочный	соответствует норме			соответствует норме		
Выбивной	соотв. норме	на 2-3° выше		соотв. норме	на 2-4° выше	
Обрубочно-очистной	на 3-5° выше	соответствует норме		на 3-6° выше	на 2-4° выше	на 1-3° выше

Сравнение скоростей движения воздуха на рабочих местах участков литейных цехов с нормативными величинами также позволило установить ряд закономерностей. В таблице 2 приведены превышения допустимых значений скоростей движения воздуха на рабочих

местах участков исследуемых цехов, которые показаны как соответствующие нормам или превышающие их во столько-то раз, так как допустимые величины для работ разной категории тяжести отличны друг от друга.

Таблица 2 – Превышение допустимых значений скоростей движения воздуха на рабочих местах участков литейных цехов

Участок цеха	Кратность превышения допустимых значений скорости движения воздуха на цеха рабочих местах					
	теплый период года			холодный период года		
	производство			производство		
	массовое	серийное	мелкосерийное	массовое	серийное	мелкосерийное
Шихтовый	2-4	1,5-3	2-3	1,6-2,0	2,0-2,5	1,5-2
Смесеприготовительный	1,1-1,6	1,1-1,4	1,1-1,3	1,1-1,3	1,1-1,4	1,1-1,2
Плавильно-заливочный	1,2-1,4	1,3-1,4	1,6-2,0	1,2-1,3	1,1-1,4	1,5-1,8
Стержневой	1,1-1,3	1,2-1,4	1,3-1,6	соответствует норме		
Формовочный	1,1-1,3	1,2-1,5	1,4-1,7	соответствует норме		1,2-1,4
Выбивной	1,2-1,4	1,4-1,8	1,6-2,0	1,1-1,3	1,3-1,5	1,4-1,6
Обрубочно-очистной	1,3-1,5	1,4-1,6	1,5-2,0	соответствует норме		1,2-1,5

Анализ результатов исследований показал, что в холодный период года на большинстве участков литейных цехов не отмечается значительной подвижности воздуха, когда ворота, двери, светоаэрационные фонари и окна закрыты. Исключением является шихтовый и плавильно-заливочный участки всех цехов независимо от характера производства. Значительные скорости движения воздуха на рабочих местах шихтовых дворов объясняются открытыми или неплотно закрытыми въездными воротами для транспорта и как правило с двух сторон участка, что приводит к сквознякам. На рабочих местах плавильно-заливочных отделений всех литейных цехов также отмечены превышения допустимых скоростей движения воздуха, хотя и меньшие, чем на шихтовых дворах. Однако источником таких скоростей здесь является применение установок воздушного душирования на рабочих местах плавильщиков и заливщиков.

В теплый период года в цехах массового производства в основном картина аналогичная холодному периоду сохраняется. Только отмечаются большие превышения допустимых скоростей особенно на участках, расположенных у открытых въездных ворот (шихтовый, смесеприготовительный, выбивной и др.).

В литейных цехах серийного и мелкосерийного производства в теплый период отмечаются повышенные скорости движения воздуха на всех участках. Причиной этого является неизолированность участков цеха друг от друга, расположение большинства участков у наружных стен, что при открытых воротах и светоаэрационных проемах приводит к постоянным воздушным потокам, которые и были зафиксированы при проведении исследований.

Исследование влажности воздуха рабочих зон участков цехов показало, что она практически на всех рабочих местах соответствовала нормативным значениям, за исключением рабочих мест на шихтовых дворах литейных цехов, где в холодный период года отмечалось превышение допустимых значений влажности. Такая картина объясняется поступлением холодного влажного воздуха через въездные ворота.

Полученные данные свидетельствуют о том, что в литейных цехах не приняты все необходимые меры по стабилизации микроклимата на рабочих местах. Такое положение приводит к тому, что при увеличении скорости наружного воздуха в помещениях цеха появляются сквозняки, при жаркой погоде в цехе душно, а в холодный период года – холодно. Все это приводит к снижению работоспособности в цехе и к росту количества простудных заболеваний.

На основании представленных выше данных можно сделать вывод, что параметры микроклимата оказывают значительное влияние на работающих в литейных цехах, степень воздействия которого определяется уровнем механизации и автоматизации, применяемыми технологическими процессами и оборудованием для изготовления стержней, плавки и заливки металла, выбивки литья, приводя к увеличению острых респираторных инфекций и заболеваний верхних дыхательных путей, радикулитам и др. Общая заболеваемость работающих в литейных цехах превышает общезаводские показатели в 1,2 – 1,5 раза.

УДК 620.9:658.345

### **Исследование условий труда электротехнического персонала**

Студенты гр. 106339 Бондаренко Г.С., Демяненко А.Н.  
Научный руководитель – Филянович Л.П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Трудовая деятельность электротехнического персонала протекает в неблагоприятных условиях. При этом оборудование, обслуживаемое персоналом, является источником опасны и вредных производственных факторов: шум, вибрация, дискомфортный микроклимат из-за повышенной и пониженной температуры и влажности воздуха; запыленность и загазованность воздушной среды, ЭМП, ЭСП и т.д.

Условия труда как часть окружающей человека внешней среды складываются из санитарно-гигиенических факторов и факторов, связанных с трудовой деятельностью (психофизиологические факторы: неудобная рабочая поза, нервно-эмоциональное напряжение, напряжение внимания и т.д.), которые принято называть вредными и опасными факторами. Как известно, опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работающих в определенных условиях приводит к травме или другому внезапному ухудшению здоровья. Вредный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работающих в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению работоспособности.

К санитарно-гигиеническим факторам, характеризующим условия труда относятся: вредные химические вещества; запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; вибрация; уровень шума; инфразвук; ультразвук; микроклимат в помещении – температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового (инфракрасного) излучения.

Исследования показали, что электротехнический персонал, обслуживающий оборудование птицефабрик, животноводческих комплексов, предприятий мясоперерабатывающей промышленности (котельные, компрессорные, механические мастерские, кузнечно-прессовое оборудование, системы отопления и вентиляции, трубопроводы горячей и холодной воды) подвергаются воздействию повышенных уровней шума, вибрации и других санитарно-гигиенических факторов.

Исследования показали, что уровни звукового давления и вибрации, на обслуживаемом оборудовании превышают допустимые значения. При норме 80 дБА фактические значения уровней звукового давления составляют 83 – 88 дБА (80 % рабочих мест); уровней виброускорения – при норме 50 дБ фактические значения в зонах обслуживаемого оборудования составляют 51 – 53 дБ (40 % рабочих мест). В зонах обслуживания оборудования имеет место также повышенная температура (у котлов, паропроводов, трубопроводов горячей воды).

Одновременно для каждого рабочего места также необходима оценка психофизиологических факторов. К ним относятся следующие: физическая динамическая

нагрузка за смену; вес поднимаемого груза; статическая физическая нагрузка за смену; рабочая поза и перемещение в пространстве; темп работы; напряженность внимания; напряженность анализаторных функций; эстетический дискомфорт; нервно-эмоциональное напряжение; монотонность труда.

Исследование и анализ трудовой деятельности электротехнического персонала с точки зрения воздействия лишь санитарно-гигиенических опасных и вредных производственных факторов – подход односторонний. Решать проблему улучшения условий труда и обеспечения безопасности трудовой деятельности необходимо комплексно. Влияние на организм работающих целого комплекса факторов санитарно-гигиенических в сочетании с психофизиологическими вызывают самые разнообразные негативные изменения в организме. Например, сочетание шума и высокой нервно-эмоциональной напряженности приводит к серьезным нарушениям центральной нервной системы, сердечно-сосудистой и вегетативной систем.

Каждый из перечисленных факторов в процессе длительного воздействия на человека вызывает в его организме различные патологические изменения, которые в сочетании с указанными выше психофизиологическими перегрузками при некоторых обстоятельствах могут привести к ошибкам в управлении и, как следствие, к несчастным случаям. А, учитывая специфику работы электрооборудования последствия таких ошибок могут быть самыми непредсказуемыми. Постоянное влияние такого комплекса факторов может приводить к нарушениям центральной нервной системы, профессиональным заболеваниям и др. Необходимо также отметить, что электротехнический персонал подвергается также высокому нервно-эмоциональному напряжению, связанному со сменностью работы и большой ответственностью за нормальный режим работы оборудования.

УДК 621.311:658.345

### **Факторы пожарной опасности электроустановок**

Студенты гр. 106319 Кульчинский Н.И., Горновский И.Н.

Научный руководитель – Филянович Л.П.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Перед электроэнергетикой стоит важнейшая задача – усиление эффективности и повышение качества профилактической работы в электроустановках с целью предотвращения возникновения пожаров. Вопросы пожарной и взрывобезопасности являются одним из приоритетных направлений в вопросах эксплуатации энергетического оборудования. Несвоевременное тушение электроустановок приводит не только к перебоям в электроснабжении, но и большому материальному ущербу.

Пожарная опасность электроустановок обусловлена наличием в них большого количества горючих материалов (масла различных марок, изоляция электрических кабелей, использование в качестве топлива природного газа, мазута) и источников зажигания, которые возникают в результате различных аварийных ситуаций (перегрузки, короткие замыкания (КЗ), образование больших местных переходных сопротивлений, электрические искры и дуги и др.). Растекание горящих масел на большой площади также создает опасность перехода огня на другие электроустановки. Сложность пожарной обстановки и наличие большого количества электрооборудования различного напряжения существенно затрудняют действия пожарных подразделений, добровольных пожарных дружин при локализации и ликвидации пожаров на энергообъектах.

Необходимо также отметить, что при возникновении пожара выделяющиеся продукты сгорания могут быть причиной тяжелого травматизма как для обслуживающего персонала,

так и для лиц, участвующих в его тушении. Выделяющийся дым содержит в себе самые разнообразные газы, отличающиеся друг от друга степенью вредного воздействия на организм человека.

Среди множества газообразных вредных продуктов горения следует отметить такие, как углекислый газ, угарный газ, хлористый водород, бензол, цианистый водород, сероводород, аммиак и др. По физиологическому воздействию они могут быть разбиты на три группы: удушающего действия; удушающего действия с разрушающим воздействием на легкие; действующие на кровь, нервную систему, клетки.

Понятие «пожарная опасность электрических установок» включает в себя способность их при определенных условиях быть причиной зажигания (электрические дуги, искры, нагрев токоведущих элементов и т.п.) и способность их распространять горение (например, вдоль электрических проводов и кабелей). Кроме того, некоторые типы электрооборудования характеризуются большой пожарной нагрузкой (например, силовые масляные трансформаторы, выключатели, кабельные потоки и т.п.). Пожарная опасность электроустановок обуславливается также и теми последствиями, которые могут быть значительными, а порой и тяжкими (происходит остановка производства, выходит из строя технологическое оборудование, не обеспечивается поставка электрической энергии и т.п.).

Наиболее частыми причинами пожаров, возникающих при эксплуатации электроустановок, являются: короткие замыкания в электропроводах и электрическом оборудовании; токовые перегрузки электрических кабелей и электрооборудования; воспламенение горючих материалов, находящихся в непосредственной близости от электроприемников, включенных на продолжительное время и оставленных без присмотра; большие переходные сопротивления в местах контактных соединений; появление напряжения на строительных конструкциях и технологическом оборудовании; попадание раскаленных частиц на горючие материалы и др.

Исходя из вышеизложенного рассмотрим факторы, обуславливающие пожарную опасность электроустановок.

Короткое замыкание (КЗ) – это всякое не предусмотренное нормальными условиями работы замыкание через малое сопротивление между фазами или нескольких фаз на землю (или нулевой провод). Ток при этом резко возрастает, вызывая разогрев и даже плавление проводников.

Перегрузки – это явления, когда по проводам и кабелям течет рабочий ток, превышающий значение допустимого тока. При двукратной и более перегрузке проводников с горючей изоляцией происходит ее воспламенение.

Искрение наблюдается при размыкании электрических цепей под нагрузкой, при пробое изоляции, между щетками и коллектором электрических машин. Искры и электрическая дуга при наличии в помещении легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ) или горючих газов могут быть причиной пожара или взрыва.

Пожарная опасность переходных сопротивлений – возможность воспламенения изоляции или других горючих близлежащих материалов от тепла, возникающего в месте большого переходного сопротивления (в переходных клеммах, переключателях и др.).

Пожарная опасность переходных сопротивлений усугубляется тем, что эти места трудно обнаружить, а защитные аппараты электрических сетей и электроустановок, даже правильно выбранные, не могут предупредить возникновение пожаров, так как ток в цепи не возрастает, а нагрев происходит только за счет повышения сопротивления. Особенно интенсивное окисление происходит во влажной среде и с химически активными средами, а также при нагреве контактов выше 70 – 75 °С.

Вихревые токи. Они могут быть очень большими и сильно нагревать сердечники машин и аппаратов, что может привести к разрушению изоляции проводников и даже ее воспламенению.

Пожарная опасность перенапряжения обусловлена нагреванием токоведущих частей за счет увеличения токов, проходящих через них, за счет увеличения перенапряжения между отдельными элементами электроустановок.

Пожарная опасность токов утечки обусловлена локальным нагревом изоляции между отдельными токоведущими элементами и заземленными конструкциями.

Путей снижения пожарной опасности электроустановок несколько. К ним можно отнести: правильный выбор и расчет электрической защиты, соответствующее исполнение и размещение электроустановок, использование огнезащитных покрытий, внедрение высокоэффективных систем извещения о пожарах и возгораниях и автоматических систем пожаротушения.

УДК 331.45

### **Влияние освещения на здоровье человека**

Студентка гр. 113538 Гиль Н.Н., студент гр. 113021 Адамович А.Р.  
Научный руководитель – Журавков Н.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Освещение становится все более актуальной темой исследований в архитектуре и строительстве вследствие его преимуществ, связанных с психологией и физиологией человека, так как оно способно смягчать стрессы, уменьшать тревожность, повышать настроение и производительность труда, улучшая самочувствие пользователей зданий. В последнее время широкое распространение получили осветительные установки на основе светодиодной техники. Однако согласно ТКП 45-2.04-153 «световые приборы на основе светодиодов могут применяться в рекламном, рабочем, аварийном, эвакуационном освещении, сигнальных устройствах и для достижения выразительности архитектурно-художественных решений». Вопросы использования полупроводниковых источников света в детских учреждениях, больницах, офисах и жилых помещениях находятся в стадии обсуждения, что связано с до конца не изученными влияниями их спектров излучения на организм человека.

Основопологающим документом, действующим на территории Республики Беларусь и нормирующим параметры освещения, является ТКП 45-2.04-153-2009. Согласно ТКП 45-2.04-153-2009 в осветительных установках промышленных предприятий нормируется показатель ослепленности  $P$ , равный отношению пороговых разностей яркости при наличии и отсутствии слепящих источников в поле зрения. В данном документе показатель ослепленности лежит в пределах от 20 до 60. Одним из важных параметров нормирования является параметр освещенности. Основным показателем измерения освещенности является  $L_k$  – люкс. В ТКП 45-2.04-153-2009 основные показатели варьируются от 50  $L_k$  до 500  $L_k$ , но при особо ответственных условиях, например при производстве особо точных деталей комбинированная освещенность может достигать 2000  $L_k$ .

Действие света на человеческий организм включает зрительное восприятие, воздействие на психофизиологическое и эмоциональное состояние, а также возможное поражение элементов глаза и кожи и отдалённые последствия для физического здоровья в целом (фотобиологическая опасность). Сетчатка глаза человека состоит из нервных окончаний имеющих вид палочек и колбочек. Колбочки создают ощущения различных цветовых тонов, но обладают малой светочувствительностью. Палочки обладают большей светочувствительностью, но создают при действии на них любых излучений ощущение только черно-белых тонов. Около десяти лет назад был открыт новый класс фоторецепторов в

сетчатке позвоночных, включая человека, – меланопсин, влияющий на незрительные механизмы восприятия света, с максимальной чувствительностью в диапазоне от 446 до 477 нм (голубая область видимого спектра). Нейроанатомические процессы учитываются в стандартах СIE 009/E:2002 и СIE 027:2004. Существуют различия между спектральными чувствительностями палочек и колбочек. Колбочки подразделяются на три типа в зависимости от того, к излучению какого спектрального состава они чувствительны, и обозначаются греческими буквами  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $\rho$ . Кривые спектральной чувствительности палочек и колбочек приведены на рисунке 1.

Дневное и ночное зрение – стандартизированные понятия, они определены в Международном электротехническом словаре следующим образом. «Дневное зрение – зрение нормального глаза при его адаптации к различным уровням яркости по крайней мере в несколько кандел с одного квадратного метра. Ночное зрение – зрение нормального глаза при его адаптации к уровням яркости, меньшим нескольких сотых канделы с квадратного метра».

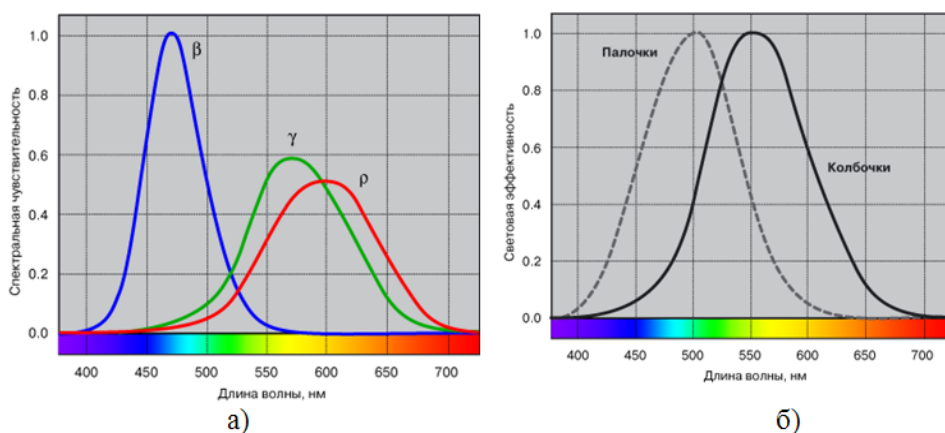


Рисунок 1 – Кривые спектральной чувствительности:  
 а– для колбочек, нормированные к единице; б – для палочек  
 (пунктирная линия) и колбочек

Для дневного зрения используется модель относительной световой эффективности (кривая видности), определяющая соответственно общую чувствительность человеческого глаза к свету (см. рисунок 1 б). При переходе от дневного к сумеречному или ночному зрению происходит изменение функции относительной спектральной световой эффективности – эффект Пуркине, длина волны максимальной эффективности перемещается в сторону коротких длин волн. Данный эффект проявляется в том, что происходит уменьшение светлоты преимущественно длинноволновых цветовых стимулов по сравнению со светлотой преимущественно коротковолновых цветовых стимулов, когда яркости уменьшены в одинаковой пропорции от уровня дневного зрения до уровня сумеречного или ночного зрения, без изменения соответствующих величин относительного спектрального распределения данных световых стимулов.

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что при разработке осветительных систем и требований к ним необходимо в первую очередь учитывать особенности субъективного восприятия света различного спектрального состава и интенсивности конечным потребителем наружного освещения, то есть человеком. Кроме того, с изобретением искусственного освещения в ряде случаев произошло нарушение естественного ритма дня и ночи. Имеются данные, что радикальные изменения обычного циркадного ритма человека в течение продолжительного времени могли бы привести к негативным последствиям для здоровья.

УДК 658.345(076.5)

### **Прогрессивные способы огнезащиты древесины**

Студентка гр.112318 Гончаренко О.Г.  
Научный руководитель – Ушакова И.Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Для уменьшения пожарной опасности строительных конструкций из древесины разработаны и успешно используются специальные методы и средства огнезащиты: оштукатуривание методом торкретирования, увеличение поперечного сечения конструкций, устройство теплоотражающих экранов, облицовка строительных конструкций теплоизоляционными материалами. Огнезащиту строительных конструкций производят обработкой антисептиками, такими как, эмали, краски, лаки, обмазки, покрытия, пропитки. При воздействии высоких температур антисептики образуют вспучивающуюся поверхность, которая препятствует проникновению тепла к материалу и затрудняет распространение пламени по поверхности древесины. Распространенным способом огнезащиты деревянных конструкций является нанесение на поверхность древесины антипиренов. Различают два основных способа огнезащиты древесины с помощью антипиренов: пропитка древесины водным раствором огнезащитных солей и покрытие древесины огнезащитными красками, лаками и обмазками на основе антипиренов.

Наиболее эффективным методом огнезащиты является «пропитка» древесины. Принцип работы «пропиток» состоит в том, что при определенных температурах в этих составах проходит реакция замещения с поглощением энергии, которая и сдерживает горение. Существует несколько видов пропитки. При пропитке под давлением - древесина «консервируется», пропиточный раствор проникает в нее достаточно глубоко. При поверхностной пропитке, после просушивания слой разрушается, защита пропадает. При пропитке под давлением гарантируется «неразрушимость» при трещинах до 1.5 сантиметрах. Пропитку осуществляют способом вымачивания, а также способом подогрев-холодная ванна. Вызывает интерес пропитка изделий способом вакуум-атмосферное давление-вакуум. Недавно на отечественном рынке появился новый строительный материал, именуемый «жидкое дерево», который имеет высокую огнестойкость. Это экологически чистый комбинированный материал, производимый из полимерных смол и мелко измельченной древесины (до 80-ти процентов). «Жидкое дерево» имеет преимущества перед деревом, пластмассой, бетоном, металлом. Материал не требует отдельного ухода: покраски, пропитки маслами и другими средствами. «Жидкое дерево» обладает высокой пожаробезопасностью, устойчивостью к механическим повреждениям, ударам, выгоранию, к поражению бактериями и грибами. «Жидкое дерево» применяется в строительстве коттеджей, яхт-клубов, бассейнов, бань, саун, причалов и других объектов строительства.

УДК 621.181

### **Эксплуатация котлов, работающих на газе**

Студенты гр. 106519 Дальков А.В., Гуторов М.С., 106529 Варнель К.Я., Воронович Д.П.  
Научный руководитель – Винерский С.Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск



Надежность и безаварийную эксплуатацию объектов, работающих в котельной, обеспечивают начальник котельной, операторы (машинисты) котлов, старшие по смене и другой эксплуатационный персонал.

В каждой котельной должен иметься утвержденный начальником котельной график работы дежурного персонала, при этом замена одного дежурного другим допускается лишь с разрешения лица, утвердившего график.

Дежурный (оператор, машинист котла и другой эксплуатационный персонал), приступая к работе, должен принять смену, а после окончания работы сдать ее. Сдача и приемка смены оформляется в сменном журнале подписями сдавшего и принявшего смену (таблица 1).

Таблица 1 – Форма оперативного (сменного) журнала

Дата и время записи	Содержание записей в течение смены и подписи о сдаче и приеме смены	Визы и замечания начальника котельной

Во время пуска и остановки оборудования приемка и сдача смены допускается только с разрешения вышестоящего дежурного персонала, а во время ликвидации аварий, при выполнении переключений и операций по включению и отключению оборудования не производится.

Оперативный журнал предназначен для записи в хронологическом порядке произведенных за смену операций, переключений и других работ, распоряжений подчиненному персоналу, полученных от начальника котельной, а также периодических операций по проверке, осмотру и опробованию оборудования, осуществляемых сменным персоналом.

В течение смены работа машиниста котла производится в соответствии с картами, инструкциями по охране труда, технологическими указаниями и другими нормативными актами.

Инструкции составляются в соответствии с требованиями действующих правил, на основе заводских данных, типовых инструкций по охране труда, с учетом опыта эксплуатации и результатов испытаний оборудования, после согласования с инженером по охране труда и профсоюзами (либо другим исполнительным или распорядительным органом), утверждаются руководителем организации и выдаются под роспись эксплуатационному персоналу.

Режимные карты составляются наладочными организациями на основании испытаний котла.

В функции машиниста котла входит постоянный контроль за работающим оборудованием по показаниям контрольно-измерительных приборов и приборов автоматики, опробование работоспособности предохранительных клапанов и осмотр оборудования во время регулярных обходов.

Одним из условий нормальной эксплуатации котлоагрегата является соблюдение необходимого давления и температуры пара, так как при работе котла на газе изменяются условия работы пароперегревателя в связи с изменением температурного и аэродинамического режима по газовому тракту по сравнению с работой на другом топливе.

Дефекты и неполадки при эксплуатации оборудования в течение смены вносятся в журнал для записи дефектов и неисправностей оборудования. В журнале записываются также дефекты, устраненные силами сменного персонала (таблица 2).

Под записями за каждую смену ставит подпись старший по смене.

Таблица 2 – Форма журнала для записи дефектов и неисправностей оборудования

Дата и время записи	Оборудование, сущность дефектов, необходимые мероприятия по их	Визы и замечания начальника	Подпись мастера по ремонту	Отметка мастера об устранении

	устранению, подписи ответственных (старших по смене)	котельной		дефектов (дата, что сделано, подпись)

Дефекты и неисправности в работе КИП и автоматики, устранение которых не может быть осуществлено дежурным персоналом, вносятся в журнал для записи дефектов и неисправностей в работе КИП и автоматики (таблица 3).

Таблица 3 – Форма журнала для записи дефектов и неисправностей в работе КИП, автоматики и электрооборудования

Дата	Наименование неработающего прибора или место повреждения автоматики	Характер повреждения	Кому и когда сообщено о дефекте, подпись	Запись мастера об устранении дефекта с указанием даты, подпись

Работа машиниста котла традиционно выполняется в потенциально жизне- и травмоопасных условиях из-за риска, связанного с возможностью аварийных ситуаций, в неблагоприятных санитарно-гигиенических условиях труда во всех зонах обслуживания:

- в воздухе рабочей зоны на всех отметках (у щита управления, возле газового и питательного узла, на площадках обслуживания котла) присутствуют оксиды азота, углерода, серы;

- уровни шума в точках обслуживания котла превышают предельно допустимые значения (80 дБА), установленные для рабочих мест Санитарными нормами, правилами и гигиеническими нормативами «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки»;

- интенсивность инфракрасного (теплого) излучения и температура воздуха не отвечают требованиям СанПиН 9-80 РБ 98 «Гигиенические требования к воздуху рабочей зоны производственных помещений».

УДК 621.74

### Анализ шума в литейном цехе

Студенты гр. 106529 Куцко Т.С., Чемерюков А.С.  
 Научный руководитель – Винерский С.Н.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Оценка шумового режима в производственных помещениях литейного цеха и уровней звука на рабочих местах производилась в соответствии с общепринятой методикой путем сравнения результатов исследований с предельно допустимыми эквивалентными уровнями звука, установленными Санитарными нормами, правилами и гигиеническими нормативами «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки»,

утвержденными постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 16 ноября 2011 г. № 115.

Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни шума оборудования литейного цеха

Наименование оборудования	Эквивалентный уровень звука, дБА (I)
1. Машина формовочная модели:	
- 271	94
- 232	98
2. Пескомет модели 293М	90
3. Бегуны модели ЗСМ 112	87
4. Вагранка 10-ти тонная	78
5. Заливщик форм	77
6. Решетка выбивная модели МР-9	115
7. Решетка выбивная инерционная модели 120-1	111
8. Барабан галтовочный	97
9. Молоток рубильный пневматический	98
10. Камера дробебетная	86

Шум в цехе – широкополосный, звуковое поле неоднородно в связи с наличием источников шума, различных по уровню акустической мощности. Шум, создаваемый оборудованием и инструментом с ударным режимом работы – непостоянный, импульсный, а остального оборудования – непостоянный, колеблющийся во времени.

Наибольшее превышение уровней шума характерно для выбивного участка. Так, на рабочих местах операторов выбивных решеток уровень звука превышает предельно допустимый (75 дБА) на 36 – 40 дБА, причем уровень шума постоянно изменяется по частоте и интенсивности в зависимости от стадии выбивки горелой земли.

В обрубочно-очистном отделении на рабочих местах у галтовочного барабана превышение предельно допустимого звука (80 дБА) составляет 17 дБА, причем под воздействием этого шума оказываются все работающие в отделении.

Пневматические рубильные молотки генерируют шум, превышающий предельно допустимый (75 дБА) на 23 дБА.

На участке мелкого литья источниками наиболее интенсивного шума являются формовочные машины, при этом уровень шума зависит от модели оборудования, технического состояния машин, колеблется в зависимости от характера выполняемой операции и стадии уплотнения смеси и превышает предельно допустимый (75 дБА) на 19 – 23 дБА.

Анализ шумового режима цеха показывает, что наличие зон с повышенным уровнем шума и рабочих мест с неблагоприятным акустическим климатом связано, в основном, с ударным режимом работы перечисленных машин и ручного пневмоинструмента.

УДК 621.785

**Воздушная среда в кузнечно-штамповочных и термических цехах и мероприятия по ее оздоровлению**

Студент гр. 106519 Лазук Д.А.  
Научный руководитель – Винерский С.Н.  
Белорусский национальный технический университет

Самыми распространенными вредными веществами, выделяющимися в воздух рабочей зоны кузнечно-штамповочных (далее – КШЦ) и термических цехов, являются оксиды азота, углерода, серы, углеводороды и пыль.

Оксиды азота, серы, углерода, как правило, выделяются в результате нагрева заготовок и являются продуктами полного или неполного сгорания топлива.

Нагрев заготовок, поковок, штамповок в КШЦ, в термических цехах и термических отделениях КШЦ производится в электрических либо пламенных печах.

В качестве топлива в этих цехах на наших градоопределяющих заводах, в основном, используется газ, как наиболее дешевое и экологически чистое, с точки зрения сжигания, топливо, но сам процесс сжигания газа характеризуется выделением дымовых газов, в которых присутствуют вышеперечисленные оксиды.

Количество выделяющихся в рабочую зону КШЦ и термических цехов вредных веществ зависит от конструкции печей, режимов их работы и степени механизации и автоматизации технологических процессов, но выделение их в воздух КШЦ и термических цехов неизбежно.

Известно, что в цеху остается до 10 % общего количества вредных веществ, выделяющихся при сгорании топлива. Кроме того, в воздух рабочей зоны КШЦ попадает масляный аэрозоль, образующийся во время смазывания штампов, продукты сгорания смазочных материалов; пыль окалины, частицы графита, сдуваемые сжатым воздухом с поверхности штампов, поковок, штамповок, и другие вредные вещества.

Воздух рабочей зоны химико-термических цехов и термических отделений КШЦ загрязняется не только продуктами сгорания топлива, но и различными химическими веществами, состав которых определяется операциями химико-термической обработки. Так, при работе с контролируруемыми атмосферами в воздух термических цехов выделяются оксид углерода, диоксид серы, аммиак, сероводород, бензол и другие вещества.

При цементации изделий с использованием цианида натрия или калия, а также при цианировании в ваннах с расплавленными солями цианистой кислоты происходит выделение цианидов. В присутствии влаги, кислот, а также при наличии уголекислоты, содержащейся в воздухе, цианистые соли выделяют цианистый водород.

Закалка в масле сопровождается выделением паров углеводородов и продуктов их пиролиза.

Азотирование сопровождается выделением в воздух помещения аммиака.

Перечень веществ, выделяющихся в воздух рабочей зоны термических цехов, очень широк, а загазованность этих цехов – обычное явление.

Основными мероприятиями, обеспечивающими снижение содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны и в целом по цеху, являются:

- использование электронагрева вместо газового нагрева;
- установка над загрузочными окнами у щелевых отверстий всех без исключения нагревательных печей (работающих на газе и электропечах сопротивления независимо от их загрузки в смену) зонтов-козырьков, вытяжных зонтов и отсосов разных конструкций;
- использование системы аэрации в те периоды, когда она эффективна, и применение системы механической вентиляции (путем удаления воздуха из верхней зоны помещений) в остальное время;
- применение местных вытяжных устройств, снижающих концентрацию вредных веществ в воздухе рабочей зоны, непосредственно у молотов, КГШП за счет удаления вредных газов, образующихся от сгорания смазочных материалов при горячей штамповке;
- использование поворотных кольцевых и бортовых отсосов у ванн для химико-термической обработки и т.д.

Режим работы в КШЦ и термических цехах (участках) характеризуется неблагоприятными температурными условиями.

Параметры метеоусловий не соответствуют требованиям СанПиН 9 – 80 РБ 98 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» ни в теплый, ни в холодный период года.

Температура воздуха на рабочих местах в КШЦ в летнее время года составляет 30 – 40 °С, а на рабочих местах при плохо организованной системе вентиляции и неблагоприятных погодных условиях (при жаркой погоде) достигает 40 – 55 °С.

Зимой, наряду с высокой температурой на рабочем месте, имеют место сквозняки.

В термических цехах температурные показатели не столь высоки, но они тоже превышают допустимые значения. Это, в первую очередь, объясняется высокой плотностью размещения термоагрегатов и печей на существующих площадях цехов.

Одновременно с воздействием высоких температур работающие в горячих цехах подвергаются облучению инфракрасными лучами через открытые проемы нагревательных и термических печей, от нагретых поверхностей печей, заготовок, поковок, штамповок.

Интенсивность теплового облучения у открытых проемов нагревательных печей достигает 5 – 7 кВт/Вт<sup>2</sup>, у мест складирования поковок, штамповок – 1 – 2 кВт/м<sup>2</sup>, при штамповке (от нагретых заготовок, поковок, штамповок – 0,6 – 0,7 кВт/м<sup>2</sup>, от нагретых поверхностей печей, термоагрегатов – 0,2 – 0,3 кВт/м<sup>2</sup>).

Анализ этих данных свидетельствуют о значительном превышении допустимых величин. Так, в соответствии с СанПиН 9 – 80 РБ 98 допустимая интенсивность теплового облучения работающих от поверхностей технологического оборудования, нагретых до темного свечения на рабочих местах не должна превышать 35 Вт/м<sup>2</sup> при облучении 50 % поверхности тела и более, 70 Вт/м<sup>2</sup> – при величине облучаемой поверхности от 25 до 50 % и 100 Вт/м<sup>2</sup> – при облучении менее 25 % поверхности тела.

Интенсивность теплового облучения работающих от источников, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.), не должна превышать 140 Вт/м<sup>2</sup>, при этом облучению не должно подвергаться более 25 % поверхности тела.

Приведенные цифры теплового облучения работающих на рабочих местах в КШЦ и термических цехах (участках) показывают, что практически реализация решений, связанных с улучшением температурных условий, затруднена, и в первую очередь ограничена критериями процесса нагрева и штамповки.

В качестве факторов оздоровления воздушной среды в рабочей зоне, как правило, рекомендуются следующие мероприятия:

- создание рациональной системы вентиляции;
- улучшение теплоизоляции стенок печей и термоагрегатов;
- водяное охлаждение кожухов и заслонок печей и устройство водяных завес у загрузочных окон и проемов печи;
- использование различных экранов (теплоотражающих, теплопоглощающих и теплоотводящих);
- применение воздушного душирования. Для усиления охлаждающего эффекта в струю воздушного потока можно подать распыленную воду;
- автоматизация или механизация отдельных операций технологического процесса, там, где это возможно, что позволяет не только снизить долю ручного труда, но и удалить работающего от источников теплоизлучения, исключив его вредное воздействие.

УДК 621.873

### **Барьеры безопасности на АЭС**

Студенты гр. 106819 Лещина К.В., Лешок В.И., Размыслович В.В.  
Научный руководитель – Винерский С.Н.  
Белорусский национальный технический университет

Атомная промышленность имеет дело с большими количествами потенциально опасных радиоактивных материалов. Основопологающей целью обеспечения безопасности ядерных установок является удержание радиоактивности в границах установленных барьеров при любых обстоятельствах.

На ядерных установках существуют классические риски, связанные, например, с возникновением пожара, падением груза или разрывом паропровода. Эти события могут быть опасны для здоровья работников, но могут также повредить системы, обеспечивающие удержание радиоактивности. Соответственно, на ядерных установках установлен исключительно жесткий контроль для предотвращения таких рисков.

Кроме того, ядерные установки оснащены усиленной защитой от внешних рисков, возникновение которых может быть связано или с человеческой деятельностью (падение самолета, ударная волна взрыва за пределами атомного объекта либо террористическая атака), или с природными явлениями (наводнения, бури, смерчи, землетрясения и т. п.).

Также существует риск возникновения самоподдерживающейся цепной реакции, являющейся неотъемлемым свойством деления ядра (ядерная опасность). Протекание цепной реакции в реакторах должно быть полностью контролируемым и управляемым.

Необходимо учитывать, что радиоактивный распад сопровождается выделением тепла, часто называемого «остаточным тепловыделением», что требует постоянного отвода этого тепла, даже после остановки реактора (и прекращения цепной реакции).

Ядерная безопасность включает в себя комплекс мер, выполняемых на всех стадиях проектирования, строительства, эксплуатации и вывода из эксплуатации ядерных установок и систем транспортировки ядерных материалов в целях предотвращения аварийных ситуаций и ограничения последствий, если авария произойдет. Ответственность за соблюдение мер ядерной безопасности полностью лежит на организациях, эксплуатирующих ядерные объекты, но государственные органы осуществляют надзор за соблюдением мер ядерной безопасности.

Безопасность эксплуатации установки в случае какого-либо отказа оборудования или возникновения иной опасности обеспечивается наличием достаточно мощных «линий защиты», или барьеров. Их устойчивость является результатом не только высокого качества исполнения, но и проектирования. Основопологающим является следующий принцип: любая отдельная система безопасности, какой бы надежной она ни была, все равно уязвима и должна быть продублирована или подкреплена дополнительной системой. Именно на этом фундаментальном постулате «глубоко эшелонированной защиты» и строится ядерная безопасность.

На АЭС можно выделить следующие барьеры безопасности:

- первый барьер – это керамическая топливная таблетка, удерживающая большую часть радиоактивных продуктов и заключенная в герметичную металлическую оболочку;

- второй барьер сформирован толстостенными стальными конструкциями, удерживающими теплоноситель первого контура;

- третий барьер – это собственно реакторное здание, укрывающее первый контур и другие компоненты реактора мощной железобетонной оболочкой, которая способна выдержать высокое давление и нагрузки от внешних воздействий или нападений. Это, так называемый, контайнмент реактора, оболочка абсолютно герметичная и часто двойная.

Для поддержания целостности каждого из этих различных барьеров были разработаны три типа систем, которые применяются в различных сочетаниях.

Система первого типа основана на природных физических явлениях, не требующих внешнего вмешательства. Реакторы спроектированы таким образом, что любое увеличение температуры активной зоны, вызванное излишком тепловой мощности, спонтанно заглушает

цепную реакцию. Точно также и любая значительная утечка воды из активной зоны останавливает цепную реакцию.

Система второго типа использует устройства «пассивной» защиты, такие, как автоматическое падение стержней управления, и защиты, которые поглощают нейтроны и останавливают цепную реакцию в активной зоне, или автоматическая подача воды из баков системы аварийного расхолаживания активной зоны при разгерметизации первого контура.

Система третьего типа использует активные механизмы защиты, действующие от источников электрической или пневматической энергии и инициируемые сигналами соответствующих датчиков. Например, в случае утечки воды из активной зоны эта система безопасности включает инжекторные насосы высокого давления (позднее они были заменены на «пассивные» баки с концентратом борной кислоты).

Значимость систем безопасности на АЭС рассмотрим на примере аварий на блоке №4 Чернобыльской АЭС и на АЭС Фукусима-1.

26 апреля 1986 г. операторы блока №4 Чернобыльской АЭС проводили эксперимент на реакторе при малой мощности, что потребовало отключения части защитных систем.

Для завершения эксперимента любой ценой операторы еще более ухудшили ситуацию и нарушили ряд требований инструкции по безопасности, что спровоцировало неконтролируемый и очень быстрый скачок мощности блока №4: вода в активной зоне моментально испарилась, произошел паровой взрыв, а часть активной зоны была выброшена и пробила крышу реакторного здания. Поступление с воздухом кислорода вызвало воспламенение перегретого графита, начался пожар, длившийся много дней и отправивший в атмосферу – вплоть до стратосферы – значительное количество радиоактивных аэрозолей.

11 марта 2011 г. на АЭС Фукусима-1 вследствие землетрясения и удара цунами были выведены из строя внешние средства электроснабжения и резервные дизельные генераторы, что явилось причиной неработоспособности всех систем нормального и аварийного охлаждения и привело к расплавлению активной зоны реакторов на энергоблоках №1, №2 и №3. Без достаточного охлаждения во всех трёх работавших до аварийного останова энергоблоках начал снижаться уровень теплоносителя и стало повышаться давление, создаваемое образующимся паром. Для недопущения повреждения реактора высоким давлением пар сбрасывали в гермооболочку, в которой давление возросло до 840 кПа при расчётном значении в 400 кПа. Чтобы гермооболочка не разрушилась, пар пришлось сбрасывать в атмосферу. Однако при этом в обстройку реакторного отделения проникло большое количество водорода, образовавшегося в результате оголения топлива и окисления циркониевой оболочки. В результате на блоках №1, №3 произошел взрыв. Уровень радиации превысил допустимые значения.

Столь большое различие в последствиях аварий на блоке №4 Чернобыльской АЭС, на блоках №1, №2 и №3 АЭС Фукусима-1 драматически иллюстрирует значение контейнента.

УДК 621.181

### **Требования безопасности при эксплуатации системы предочистки водоподготовительной установки нового типа**

Студенты гр. 106429 Мальгин А.В., Павловская А.А.  
Научный руководитель – Винерский С.Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Надежность и экономичность работы теплоэнергетического оборудования зависит от организации водного режима, а водоподготовка начинается с установки предварительной очистки воды.

Предочистка воды препятствует поступлению на обессоливающую установку органических веществ и необходима для удаления из воды крупнодисперсных и коллоидных примесей и снижения солесодержания воды.

Традиционно на ТЭЦ предочистка начинается в осветлителе с коагуляции сернокислым алюминием  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  при использовании в качестве флокулянта полиакриламида, а затем осветленная вода поступает на осветлительные фильтры, заполненные сульфоуглем, где и происходит удаление из нее взвешенных веществ.

Коагулянт (порошкообразная масса зеленовато-голубых кристаллов) и флокулянт (желеобразное вещество) относятся к ядовитым и взрывоопасным веществам, неумелое или небрежное обращение с которыми может привести к тяжелым последствиям (отравлению работающих) или возможности возникновения взрыва или пожара в помещениях хранения реагентов и легковоспламеняющихся жидкостей и помещениях приготовления растворов предварительной обработки воды.

Концентрированный раствор коагулянта готовится в специальных ячейках, в которых сухой продукт разводится в воде и перемешивается за счет подачи сжатого воздуха.

Хлопчатобумажные ткани под действием раствора коагулянта разрушаются, поэтому при попадании на ткань, ее нужно немедленно промыть водой либо смочить 2 – 4 % раствором фосфата натрия. А так как раствор коагулянта имеет кислую реакцию и, попав на кожу или в глаза, может вызвать раздражение или даже привести к временной нетрудоспособности, то персонал должен использовать средства индивидуальной защиты: защитные очки, прорезиненный фартук, резиновую обувь, резиновые перчатки.

При работе с полиакриламидом необходимо использовать в качестве средств индивидуальной защиты защитные очки, резиновые перчатки, респираторы типа РУ-60М, «Астра-2».

Хранение всех реагентов предусматривается отдельно в отдельных складах:

- коагулянта и флокулянта – в специальных резервуарах;
- сульфоугля – в упаковке изготовителя в закрытом складском помещении в штабелях (без упаковки при контакте с воздухом он способен возгораться).

Согласно ПУЭ складские помещения относятся к классу П-1 по пожароопасности и к классу В-Ia по взрывоопасности.

В предочистке водоподготовительной установки нового типа одна из ступеней предварительной очистки фильтров заполнена органопоглощающей смолой, которая при очистке хорошо поглощает органику и также легко отдает ее во время регенерации, а существовавшие в схеме водоподготовки механические фильтры используются для механической фильтрации воды. Регенерацию органопоглощающей смолы проводят смесью 10 % NaCl и 2 % NaOH.

Однако и в этой схеме учитывая то, что NaOH (либо в виде твердого вещества, либо в виде концентрированного раствора) вызывает сильные ожоги кожи, а при попадании щелочи в глаза может привести к ожогам глаз или даже потере зрения, персонал должен использовать средства индивидуальной защиты: защитные очки, прорезиненный фартук, резиновую обувь, резиновые (кислотно-щелочестойкие) перчатки или рукавицы.

Хранение едкого натра должно предусматриваться в изолированных от рабочих помещений складах-цистернах или в баках, на которых должны быть четкие надписи с наименованием реагента.

Выгрузка, транспортировка внутри склада и подача органопоглощающей смолы к фильтрам осуществляется автоматически, что повышает безопасность обслуживания оборудования.



УДК 621.165

### Условия труда машиниста турбины Оршанской ТЭЦ

Студенты гр. 106519 Ясько А.С., Бегляк В.В.  
Научный руководитель – Винерский С.Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Машинист турбины относится к оперативному дежурному персоналу, поэтому он должен принять смену от предыдущего дежурного машиниста, а после завершения работы сдать смену следующему дежурному машинисту с учетом 3-сменного графика.

Принимая смену, машинист турбины должен:

- получить информацию от сдающего смену об оборудовании, за которым необходимо вести тщательное наблюдение, чтобы исключить или предупредить нарушения в его работе;
- выяснить перечень работ, выполняемых на ремонтируемом оборудовании;
- ознакомиться с состоянием и режимом работы оборудования, находящимся в его оперативном управлении в объеме, определяемом инструкциями, с записями и распоряжениями, сделанными за время, прошедшее со своего предыдущего дежурства;
- принять инструмент, ключи от помещений, оперативную документацию;
- доложить начальнику смены о вступлении на дежурство, отметив недостатки и нарушения, выявленные при приемке смены;
- оформить прием-сдачу смены записью в журнале, заверив ее своей подписью и подписью машиниста турбины, сдающего смену.

Машинист турбины должен хорошо знать устройство, принцип действия, техническую характеристику, обслуживаемого турбоагрегата, производственную инструкцию по эксплуатации турбинной установки, устройство, режим работы всего оборудования, находящегося в его оперативном управлении, схему трубопроводов и устройство их арматуры, место установки и принцип действия контрольно-измерительных приборов и т.д.

В течение смены он должен по утвержденным графикам осуществлять контроль за работающим оборудованием (производить опробование, осмотр оборудования, контроль показаний контрольно-измерительных приборов, приборов автоматики), а при нарушениях в режиме его работы немедленно принять меры к восстановлению нормального режима его работы, а затем сообщить о происшедшем начальнику смены или начальнику котлотурбинного (турбинного) цеха (отделения).

При этом его работа выполняется:

- при регулярно чередующейся 3-х сменной работе (с ночной сменой), связана с постоянным нервно-эмоциональным напряжением, вызываемом риском возможных аварийных ситуаций, и в неблагоприятных санитарно-гигиенических условиях труда:
  - в воздухе рабочей зоны на всех отметках (у турбины, у бойлеров, у подогревателей высокого давления, у сетевых и питательных насосов, масло- и воздухоохладителей, на площадке обслуживания деаэраторов, РОУ и даже на главном щите управления) присутствуют оксиды азота ( $\text{ПДК}_{\text{NO}_2} = 2 \text{ мг/м}^3$ ), серы ( $\text{ПДК}_{\text{SO}_2} = 10 \text{ мг/м}^3$ ), углерода ( $\text{ПДК}_{\text{CO}} = 20 \text{ мг/м}^3$ ) в концентрациях, превышающих 0,3 ПДК этих веществ, установленных Санитарными нормами,

правилами и гигиеническими нормативами «Перечень регламентированных в воздухе рабочей зоны вредных веществ», утвержденных постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 31 декабря 2008 г. № 240;

- уровни шума в различных точках рабочей зоны везде превышают предельно допустимый уровень (80 дБА), установленный для постоянных рабочих мест на 7 – 21 дБА, а на главном щите управления (ПДУ = 65 дБА) на 2 – 3 дБА Санитарными нормами, правилами и гигиеническими нормативами «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки, утвержденными постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 16 ноября 2011 г. № 115;

- при температуре, превышающей допустимые значения, установленные СанПиН 9 – 80 РБ 98 «Гигиенические требования к воздуху рабочей зоны производственных помещений».

УДК 331-45

### **Безопасность в строительстве водозаборных скважин**

Студент гр. 115510 Денисов О.Д.

Научный руководитель – Крук С.Л.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Подземные воды используются для водообеспечения большей части населенных пунктов и промышленных предприятий в Республике Беларусь. Наиболее распространенным водозаборным сооружением для добычи подземной воды являются буровые скважины. Так в настоящее время эксплуатируются 13800 водозаборов подземных вод как источников централизованного водоснабжения, в том числе 132 групповых водозабора.

Водозаборные скважины (трубчатые колодцы) предназначены для добычи подземной воды в различных гидрогеологических условиях. Скважины сооружаются бурением в грунте вертикальных цилиндрических выработок с последующим укреплением стенок выработок обсадными трубами.

На территории Беларуси, из-за ее территориального расположения, преобладают следующие виды грунта: суглинки, супеси, пески, песчано-гравийные отложения, торф, ил, сапропели, гитии. Иными словами, преобладающими являются грунты характеризующиеся небольшой плотностью, относительно малой мощностью и высокой пористостью. В связи с этой особенностью, в стране распространены такие виды бурения скважин на воду как роторное и шнековое.

*Роторное бурение* – это наиболее распространенный способ бурения, составляющий до 80 процентов общего объема буровых работ. При этом способе бурения скважин порода разрушается при помощи вращающегося бура. Ротор, расположенный на поверхности, с помощью колонны бурильных труб передает вращение на бур. Использование долот различного диаметра дает возможность производить бурение внутри обсадных труб. При осыпающихся грунтах во избежание обрушения стенок скважины и для перекрытия верхних водоносных горизонтов, в нее опускают обсадную трубу и дальнейшее бурение производят внутри обсадной трубы долотом меньшего диаметра. После чего в скважину опускают следующую обсадную колонну, затем эксплуатационную колонну, которая будет находиться в водоносном слое. Бурение производится различными долотами диаметром от 76 до 215 мм, начиная с большего. Этот метод позволяет разрушать даже включения подземных скальных пород. После прокачки до визуально чистой воды скважина может считаться готовой к эксплуатации. Через 2 – 3 недели необходимо произвести анализ воды из скважины, когда химический состав воды стабилизируется. Этот способ бурения более пригоден для бурения артезианских скважин (скважин на известняк). Бурение глубоких скважин обычно

производится буровыми передвижными установками на базе ЗИЛ, МАЗ и др. гидравлическим методом с последующей промывкой буровым раствором. Производительность бурения при использовании роторного способа – около 10 метров в смену.

Для бурения песчаных скважин чаще всего применяется *шнековое бурение*. Бурение производится при помощи шнека: разрушаемая буром порода выносится вверх лопастями шнека – стальной ленты, навитой на буровую штангу. Внешне шнек напоминает штопор или ледобур используемый рыбаками. Бурится песчаная скважина шнековым методом 1 – 2 дня, так что вода в вашем доме может появиться в рекордно короткие сроки, буквально через несколько дней после обращения в буровую компанию. Шнековый способ бурения экономичен, однако у него есть существенный недостаток: при встрече шнека с подземными валунами могут возникнуть проблемы. Этот способ эффективен при сооружении неглубоких скважин (до 50 м) в мягких песчано-глинистых грунтах. Производительность бурения скважины шнековым методом при использовании самоходных установок – до нескольких десятков метров за смену.

Работы по бурению скважины могут быть начаты только на законченной монтажом буровой установке при наличии геологотехнического наряда и после оформления акта о приеме буровой установки в эксплуатацию.

*Требования безопасности при проведении бурения скважин.*

При строительстве скважин методом *шнекового бурения*, необходимо выполнять следующие требования безопасности:

Во время перемещения станков, подъема и опускания мачты вращатель должен быть закреплен в крайнем нижнем положении.

Забуривание скважины производится:

- а) с обязательным применением направляющего устройства;
- б) после проверки соосности шнека и шпинделя.

Шнеки, составляющие буровой снаряд выше устья скважины, должны перед использованием тщательно очищаться от шлама.

Разъединение шнеков при подъеме или при наращивании в процессе бурения производится только после посадки их на вилку или ключ-скобу.

*Запрещается:*

- а) бурить шнеками, имеющими трещины и надрывы на трубе или на спирали шнека;
- б) применять шнеки с изношенными соединительными элементами (хвостовиками, муфтами, пальцами), а также с неисправными фиксаторами пальцев, не обеспечивающими достаточной жесткости колонны;
- в) удерживать вращатель на весу с помощью подъемной лебедки без дополнительного закрепления его в направляющих, а также находиться под поднятым вращателем;
- г) очищать от шлама шнеки руками или какими-либо предметами во время вращения;
- д) производить бурение с неогражденным шнеком»

*Аварии* в скважине происходят из-за нарушения её нормального состояния или работоспособности находящегося в ней бурового инструмента. Аварии приводят к временному прекращению процесса бурения, а в ряде случаев, к непредусмотренному закрытию скважины. На ликвидацию аварий затрачивается много времени и средств, что в конечном счёте повышает стоимость буровых работ. При ликвидации аварий возникают дополнительные повышенные нагрузки на буровое оборудование, сооружения и инструмент, что отрицательно сказывается на их надёжности и снижает безопасность проведения работ. Поэтому необходимо принимать все меры по предупреждению аварий.

Наиболее распространенные виды аварий, которые происходят в скважине с основным буровым инструментом, приведены ниже:

- а) по вине бурового персонала;
- б) вследствие геологических осложнений;

- в) по техническим причинам;
- г) в результате несоблюдения рациональной технологии сооружения скважин;
- д) из-за нерациональной организации работ.

УДК 621.791

### **Использование защитно-улавливающих сеток в строительстве**

Студенты гр. 112170 Дорохович М.С. и Ринейская О.И.  
Научный руководитель – Вершеня Е.Г.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В течение ряда лет одной из основных причин травматизма на строительных площадках республики со смертельным и тяжелым исходом является работа на высоте. Отрасль, к сожалению, остается одной из самых травмоопасных.

Президиум республиканского комитета Белорусского профсоюза работников строительства и промышленности строительных материалов обратился в Министерство архитектуры и строительства, Министерство труда и социальной защиты Республики Беларусь с предложением разработать нормативные правовые акты, обязывающие работодателей использовать при строительстве высотных зданий и сооружений защитно-улавливающие сетки.

Использование защитно-улавливающих сеток на строительных объектах республики позволит кардинальным образом улучшить ситуацию по обеспечению безопасности труда в отрасли.

Защитно-улавливающая сетка (ЗУС) по ТУ 5225-048-004611221-2006 применяется как дополнительное к другим приспособлениям средство защиты работающего в случае его падения с высоты 6 м непосредственно на сетку, а не на металлическую опору крепления сетки, а также для его защиты от падающих строительных отходов в процессе возведения и реконструкции зданий и сооружений.

Разрывы сетки и тип опоры для ее закрепления определяются ППР в зависимости от конструктивных решений и методов возведения зданий и сооружений.

ЗУС с опорами ВП-5, ВП-6 и ВП-8 являются мобильными и передвигаются по ходу возведения здания вверх начиная с третьего этажа. Эти сетки должны быть установлены таким образом, чтобы расстояние по высоте между поверхностью их установки и монтажным горизонтом, включая рабочие места на опалубках и других элементах, не превышало 7 м.

ЗУС с опорами ВП-6М и ВП-7 предназначены для стационарной установки сетки на весь период возведения здания на уровне пола 3-го этажа или потолка 2-го этажа по всему периметру здания или в местах массового прохода людей или движения автотранспорта.

Монтаж и демонтаж ЗУС необходимо производить в строгом соответствии с технологией и с соблюдением мер безопасности, приведенными в конструкторской документации.

Применение сетки не отменяет необходимость использования при работе на высоте средств индивидуальной защиты (пояса предохранительные строительные, удлинители стропа, ловители и др.), а также средств коллективной защиты (страховочные канаты, подмости, люльки и др.).

В процессе эксплуатации ЗУС необходимо предохранять:

- сетку – от воздействия нефтепродуктов, высоких температур (более 100 °С) и от механических воздействий;
  - от контакта с кислотами и щелочами аккумуляторов, батарей и другими агрессивными химическими веществами;
  - стальной канат для закрепления низа сетки – от контакта с токоведущими элементами (электрокабели, сварочные электродержатели и другие различные токоведущие элементы).
- Еженедельно перед началом эксплуатации и систематически в процессе эксплуатации необходимо проверять визуально состояние ЗУС в целом и отдельно каждый из ее элементов.
- При обнаружении повреждений ЗУС следует браковать, изъять из эксплуатации и заменить новыми без попытки отремонтировать.

УДК 628.742

### **Инновационные технологии противодействия пожарам**

Студенты гр. 112110 Казимиров К.И., Бурак И.К.  
Научный руководитель – Вершеня Е.Г.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Пожары приносят большие убытки, а часто ставят под угрозу и человеческую жизнь. Обеспечение пожарной безопасности объектов сегодня не ограничивается тушением возгораний, а предусматривает проведение самых различных мероприятий, позволяющих предотвратить их возникновение и распространение. Существующие методы противодействия пожарам, в которых применяются инновационные технологии, способствуют успеху в решении данных задач.

Пожар – это огонь, вышедший из-под контроля человека. Для того, чтобы пожар начался, должны совпасть три условия: наличие горючего материала, необходимого количества кислорода для поддержания горения и зажигание от источника тепла. При отсутствии одного из указанных факторов горение исключается. Если в защищенном помещении уменьшить концентрацию кислорода, то процесс горения становится невозможным. Уменьшая концентрацию кислорода, например за счет закачивания азота в защищаемое помещение, можно создать условия, при которых горение будет невозможно. Остаточная концентрация кислорода определяется исходя из типа материала, находящегося в помещении.

Выбор азота определяют следующие факторы:

- это основной компонент воздуха;
- быстро и равномерно распределяется по объему помещения;
- может быть легко получен непосредственно на месте.

Типовой вариант реализации защиты за счет уменьшения концентрации кислорода в воздушной среде путем нагнетания в помещение азота предполагает установку компрессора, генератора азота (использующего молекулярную мембрану), а также системы автоматики, которая должна контролировать концентрацию кислорода в защищаемом помещении, обеспечивать запуск и остановку компрессора и генератора азота.

В качестве дополнительных мер защиты предполагаются:

- определенная герметизация помещения;
- замкнутое кондиционирование воздуха;
- минимизация поступлений наружного воздуха в защищаемое помещение и, при необходимости, шлюзование.

Основными объектами применения систем предупреждения возгорания за счет уменьшения концентрации кислорода в воздушной среде являются:

- серверные;
- телекоммуникационные сетевые узлы;

- распределительные станции;
- телефонные станции;
- центры управления;
- архивы электронных данных;
- музейные хранилища;
- библиотеки;
- банковские хранилища и т.п.

Данные системы предупреждения возгорания особенно эффективны для защиты помещений больших объемов, где стоимость этого решения оказывается в несколько раз ниже тех, которые основаны на использовании систем газового или водяного пожаротушения. В связи с применением для защиты помещения метода, базирующегося на уменьшении концентрации кислорода, возникает вопрос о медицинских противопоказаниях данной системы. Как свидетельствуют результаты исследований, все люди, кроме тех, у кого имеются болезни сердца, сосудов и дыхательных путей, могут длительное время (более 6 часов) находиться в помещениях, где объемная концентрация кислорода составляет от 17 до 20,9 %. Люди, имеющие стандартные медицинские показатели здоровья, могут более 6 часов находиться в помещениях, где объемная доля кислорода не ниже 13 %. Конкретное время нахождения в помещениях, оснащенных подобными системами, указывается в документации производителей данного класса оборудования.

УДК 614.841.4

#### **Воздействие электромагнитного излучения и основные методы защиты от него**

Студент гр. 106619 Замулко П.В.  
 Научный руководитель – Мордик Е.В.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

При эксплуатации электроэнергетических установок в пространстве вокруг токоведущих частей действующих электроустановок возникает сильное электромагнитное поле, влияющее на здоровье людей.

При больших интенсивностях электромагнитные волны вызывают тепловой эффект, что приводит к нежелательным последствиям, таким как: нагрев органов и тканей, термическое поражение.

При воздействии на организм электромагнитных волн малой интенсивности наблюдается своеобразное специфическое действие, проявляющееся возбуждением блуждающего нерва и синапсов. Экспериментальные данные показывают особую чувствительность нервной системы, затем миокарда, дистрофические изменения половых желез, изменение иммунобиологических реакций организма.

Микроволны нарушают устойчивость к различным неблагоприятным факторам и некоторые важные приспособительные реакции.

Повторные воздействия дают кумулятивный эффект.

Установлено, что биологическое действие одного и того же по частоте электромагнитного поля зависит от напряженности его составляющих (электрической и магнитной). Это является критерием для определения биологической активности электромагнитных излучений. Для этого электромагнитные излучения с частотой до 300 МГц разбиты на диапазоны, для которых установлены предельно допустимые уровни напряженности электрической, В/м, и магнитной, А/м, составляющих поля.

Для защиты от воздействия электромагнитных излучений применяют следующие меры:

-уменьшение излучения непосредственно у источника (достигается увеличением расстояния между источником направленного действия и рабочим местом, уменьшением мощности излучения генератора);

-рациональное размещение СВЧ и УВЧ установок (действующие установки мощностью более 10 Вт следует размещать в помещениях с капитальными стенами и перекрытиями, покрытыми радиопоглощающими материалами – кирпичом, шлакобетоном, а также материалами, обладающими отражающей способностью – масляными красками и др.);

-дистанционный контроль и управление передатчиками в экранированном помещении (для визуального наблюдения за передатчиками оборудуются смотровые окна, защищенные металлической сеткой);

-экранирование источников излучения и рабочих мест (применение отражающих заземленных экранов в виде листа или сетки из металла, обладающего высокой электропроводностью – алюминия, меди, латуни, стали);

-организационные меры (проведение дозиметрического контроля интенсивности электромагнитных излучений – не реже одного раза в 6 месяцев; медосмотр – не реже одного раза в год; дополнительный отпуск, сокращенный рабочий день, допуск лиц не моложе 18 лет и не имеющих заболеваний центральной нервной системы, сердца, глаз);

-применение средств индивидуальной защиты (спецодежда, защитные очки и др.).

УДК 574.2:53.082.9:550.837.3

### **Влияние излучения сотовой связи на человека**

Студенты гр.113519 Пачковская Н.А., Логвинович А.А.

Научный руководитель – Автушко Г.Л.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

С момента открытия радио прошло уже больше 100 лет, и по мощности радиоизлучения Земли стала во много раз ярче Солнца, но основная доля этой мощности пока приходится на сравнительно низкие частоты, к которым человек адаптирован. Поэтому пока не заметны особенно вредные массовые последствия работы мощных радиостанций и мощных телецентров. Гораздо более вредным является высокочастотное излучение сантиметрового диапазона.

Мобильная связь находится пока в самом начале этого диапазона, но постепенно продвигается все дальше.

Непосредственным источником излучения в мобильном телефоне является его антенна. Все остальные источники излучения настолько маломощны, что их можно не принимать во внимание.

СВЧ излучение непосредственно нагревает организм. Ток крови уменьшает нагрев, но к примеру хрусталик глаза не омывается кровью и при значительном нагреве – разрушается. Эти изменения необратимы. Данный процесс сопровождается резью в глазах и шумом в голове.

К счастью СВЧ мощность излучаемая телефоном не велика и до перегрева хрусталика и мозга дело не доходит. Но телефон в отличие от СВЧ печи излучает сложный модулированный сигнал, который несет в себе информацию.

В настоящее время появилось сообщение, что минимальная вредная плотность потока мощность составляет  $100 \text{ мкВт/см}^2$ . Но вопрос о вредном воздействии СВЧ излучения изучен не так уж и хорошо.

Пиковая мощность телефона колеблется для разных моделей от 1 до 2 Вт. Но GSM телефоны не постоянно излучают данную мощность. Примерно каждые 4 – 6 секунд телефон изменяет

выходную мощность. И старается держать ее минимально необходимой для связи. Данная функция экономит батарею, бережет здоровье, и улучшает качество сети в целом.

В современных аппаратах антенны стараются делать значительно короче. Но чем короче антенна, тем больше ее добротность. Добротность определяет величину запасенной энергии и эта запасенная энергия находится в ближнем поле, то есть вблизи антенны и не излучается. Поэтому голове достается и излученная мощность и запасенная (или реактивная) энергия. За счет поглощения части запасенной энергии головой, наличие головы около короткой антенны несколько снижает ее добротность и передатчику легче работать.

Из средств защиты можно использовать либо отражающий экран, либо поглощающий экран, либо их комбинацию.

Некоторые меры безопасности:

- разговор по мобильному телефону необходимо сделать коротким;
- в машине рекомендуется использование внешней антенны.

Антенна ретранслятора провайдера постоянно излучает достаточно мощный сигнал во все стороны. Следует переселиться подальше от антенны или жить в панельном доме.

Применение комплектов Mini Hands Free уменьшает облучение головы и перераспределяет его на все тело.

УДК 614.8

### **Требования безопасности при работе с открытыми источниками ультрафиолетового излучения**

Студент гр. 104818 Подлипский С.Н.

Научный руководитель – Данилко Б.М.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Производственные источники ультрафиолетового излучения подразделяются на открытые и закрытые. Повышенную опасность для человека представляют открытые производственные источники, работа с открытыми требует тщательного соблюдения требований охраны труда, применение средств индивидуальной и коллективной защиты и пр.

Ультрафиолетовое излучение представляет собой электромагнитное излучение оптического излучения с длиной волны 200 – 400 нм, включает в себя спектр УФА с длиной волны 315 – 400 нм, спектр УФВ с длиной волны 280 – 315 нм и спектр УФС с длиной волны 200 – 280 нм.

Ультрафиолетовое излучение оказывает физио-химическое и биологическое воздействие: УФА-лучи отличаются небольшим биологическим действием, УФВ-лучи обладают сильным эритемным действием, могут вызвать заболевания кожи. УФС-лучи активно воздействуют на тканевые белки и нарушают кальциевый обмен. УФ-лучи с длиной волны менее 315 нм оказывают вредное воздействие на глаза, вызывают электроофтальмию глаз, которая представляет собой воспаление слизистой оболочки глаз, резкую боль, ухудшение зрения, головную боль.

Производственными источниками ультрафиолетового излучения являются электросварочные процессы, плазменные технологии, газопламенная обработка и др. Ручная дуговая электросварка, механизированная электросварка в защитных газах, плазменная резка являются основными источниками УФ-излучения, т.к. эти технологические процессы широко применяются в промышленности. Интенсивность ультрафиолетового излучения зависит от способов сварки и силы сварочного тока. Наиболее мощное ультрафиолетовое излучение наблюдается при механизированной сварке в углекислом газе и при



аргодуговой сварке плавящимся и неплавящимся электродом, в несколько раз больше чем при ручной электродуговой сварке.

Санитарными нормами установлены показатели УФ-излучения. В частности допустимая интенсивность УФ облучения при наличии незащищенных участков поверхности кожи не более  $0,2 \text{ м}^2$  при общей продолжительности воздействия излучения не более 50 % времени смены и длительности однократного облучения свыше 5 минут не должно превышать  $10,0 \text{ Вт/м}^2$  для области УФА и  $0,01 \text{ Вт/м}^2$  для области УФВ. Излучение в области УФС не допускается. Однако для электросварочных работ допустимая интенсивность установлена, которая в области УФВ и УФС суммарно не должна превышать  $1,0 \text{ Вт/м}^2$ .

При проведении электросварочных работ фактическая интенсивность УФ- облучения превышает допустимую.

В связи с этим при выполнении электросварных работ и плазменных процессов необходимо использовать специальную одежду и защитные лицевые щитки и маски. Рабочие места, где проводится такие работы, должны быть оборудованы специальными отражающими щитами и экранами с покрытиями, поглощающими УФ-излучения. На рабочем месте и в помещении с наличием источников УФ-излучения должно быть информация о фактических параметрах излучения.

УДК 628.742

### **Особенности аэрозольного пожаротушения**

Студентка гр. 114618 Смугалева А.А.

Научный руководитель – Заволокина А.Н.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Аэрозольное пожаротушение предполагает устранение огня с помощью специального огнетушащего аэрозоля, который не только безвреден для людей, но и благодаря химической нейтральности не оказывает негативных воздействий на окружающую среду. Данный способ тушения пожара используется для устранения возгорания в местах, где есть электрооборудование, которое находится под напряжением.

Впервые применение аэрозольных средств для тушения пожаров описано в 1819 г. Шумлянским, который использовал для этих целей дымный порошок, глину и воду. В 1846 г. Кюн предложил коробки, снаряженные смесью селитры, серы и угля (дымный порошок), которые рекомендовал бросать в горящее помещение и плотно закрывать дверь. Вскоре применение аэрозолей было прекращено вследствие их низкой эффективности, особенно в негерметичных помещениях.

Аэрозольное пожаротушение имеет несколько существенных преимуществ перед другими видами локализации неконтролируемого огня. Он экологически безвреден и не токсичен. Это значительно снижает риск отравления персонала при пожаротушении. Во-вторых, струя пара образует на предметах пленку, сквозь которую не может проникнуть огонь. Она хорошо стирается обычными средствами.

Аэрозольное пожаротушение так же выгодно с материальной точки зрения. Его установка не требует значительных затрат. Стоимость всех технических средств и их установка обычно ниже, чем у других систем пожаротушения. Кроме того, аэрозольное пожаротушение не требует эксплуатационных затрат.

Установки объемного аэрозольного пожаротушения не обеспечивают полного прекращения горения (ликвидации пожара) и не должны применяться для тушения:

- волокнистых, сыпучих, пористых и других горючих материалов, склонных к самовозгоранию и (или) тлению внутри слоя (объёма) вещества (древесные опилки, хлопок, травяная мука и др.);
- химических веществ и их смесей, полимерных материалов, склонных к тлению и горению без доступа воздуха;
- гидридов металлов и пирофорных веществ;
- порошков металлов (магний, титан, цирконий и др.).

Запрещается применение установок:

- в помещениях, которые не могут быть покинуты людьми до начала работы генераторов;
- помещениях с большим количеством людей (50 человек и более);
- помещениях зданий и сооружений III и ниже степени огнестойкости по СНиП 21-01-97 установок с использованием генераторов огнетушащего аэрозоля, имеющих температуру более 400 °С за пределами зоны, отстоящей на 150 мм от внешней поверхности генератора.

У аэрозольного пожаротушения есть один недостаток – генерирование аэрозоля сопровождается тепловыделениями и высокой температурой, которые при неправильной эксплуатации или монтаже этих систем могут создать непредвиденные ситуации. Это вызвало ряд преград для их применения.

Генераторы огнетушащего аэрозоля (ГОА) – это один из видов локализации огня, которые применяются в системах пожаротушения. ГОА предназначен для тушения электроприборов, легковоспламеняющихся жидкостей, твердых веществ. Этот вид пожаротушения оптимально подходит для офисных помещений, складов с горюче-смазочными материалами, автомобильных моек и так далее.

Генераторы огнетушащего аэрозоля чаще всего приводятся в действие с помощью электрического сигнала. После этого в помещение поступает специальный раствор, который локализует огонь.

Главными достоинствами генераторов огнетушащего аэрозоля являются низкая стоимость установки и эксплуатации, а так же экологическая безвредность в рабочей концентрации.

Генераторы огнетушащего аэрозоля (ГОА) относятся к средствам объемного тушения пожаров классов А2 и В по ГОСТ 27381. Высокая огнетушащая эффективность аэрозолеобразующих составов обусловлена комплексным воздействием на очаг пожара целого ряда факторов, среди которых можно выделить:

- ингибирование цепных реакций, протекающих при горении;
- снижение температуры пламени (тепловой механизм) за счет высокой удельной поверхности частиц и эндотермических реакций их разложения;
- разбавление зоны реакций горения инертными газами, входящими в состав аэрозоля и образующимися при разложении частиц аэрозоля.

Автоматическая установка аэрозольного пожаротушения (УАП) – автоматическая установка пожаротушения на основе генераторов огнетушащего аэрозоля (ГОА) с электрическим пуском, с применением автоматических средств обнаружения пожара, в которой в качестве огнетушащего вещества используется огнетушащий аэрозоль.

Конструкции генераторов аэрозолей зависят от конкретных задач использования. В зависимости от условий работы распыление может производиться как с помощью распыленного вещества, так и без него. Для распыления вязких жидкостей применяется эмульсирование жидкостей: создание мелкодисперсной эмульсии из рабочей жидкости и распыляемых веществ (газа или другой жидкости, имеющей более высокое давление насыщенных паров). Заданные физические свойства обеспечиваются соответствующим сочетанием механических, химических, оптических, магнитных и радиотехнических характеристик рабочих веществ (унитарных или сложного состава). Расход рабочего вещества от  $10^{-3}$  до 20 кг/сек. Разработаны методы регулирования расхода жидкости и

заданного распределения жидкости по факелу распыла. Технология управляемого распыления основана на использовании магнитных жидкостей и суспензий и воздействии на них внешним магнитным полем.



# **Химические технологии**

**Изучение антиоксидантных свойств витаминов и эфирного масла лимона в эмульсии, содержащей рапсовое масло**

Студентка 8 гр. ф-та ТОВ Алексеева О.Ю.

Научные руководители – Бондаренко Ж.В., Эмелло Г.Г.  
Белорусский государственный технологический университет,  
г. Минск

До настоящего времени актуальной остается проблема предотвращения протекания процессов перекисного окисления липидов в косметических эмульсионных средствах, а, следовательно, и увеличения сроков хранения таких систем. Одно из возможных решений данной проблемы – использование антиоксидантов, в качестве которых могут выступать витамины, биофлавоноиды, катехины и другие природные соединения [1, 2].

Цель данной работы – изучение влияния витаминов А (ретинолпальмитат), Е ( $\alpha$ -токоферол) и эфирного масла лимона на устойчивость к окислению косметической эмульсии, содержащей рапсовое масло.

В качестве компонентов эмульсий использовали самоэмульгирующуюся основу Lipoderm 4/1, рафинированное дезодорированное рапсовое масло, цетилпальмитат и воду; их расход был постоянным и составлял соответственно 10, 5, 2 и 83 мас. %. Расход антиоксидантов изменяли в интервале: витамины Е и А (соотношение 3:1) – 0,134 – 0,536 г /50 г эмульсии; эфирное масло лимона – 0,05 – 0,35 г /50 г эмульсии.

Образцы эмульсий получали диспергационным методом по способу «горячий/горячий» [3], антиоксиданты (витамины А и Е, эфирное масло лимона) вводили после охлаждения систем до температуры 30 – 35 °С с последующим дополнительным диспергированием в течение 1 мин. Полученные эмульсии подвергали ускоренному старению путем термообработки по следующей методике: эмульсию помещали в стеклянный стакан и при температуре 60 °С перемешивали на магнитной мешалке (1000 мин<sup>-1</sup>, 70 мин) [3]. Пробы для анализа устойчивости к окислению отбирали в контрольных временных точках – 0, 10, 30, 50, 70 мин.

Устойчивость к окислению косметических эмульсий оценивали на основании содержания малонового диальдегида (МДА), отражающего присутствие в системе продуктов вторичного окисления. Определение данного показателя проводили в соответствии с методикой, представленной в [4]. Полученные данные представлены на рисунке 1.

Из представленных на рисунке данных видно, что с увеличением содержания антиоксидантов в образцах косметической эмульсии наблюдается снижение окислительных процессов, о чем свидетельствует уменьшение содержания в них малонового диальдегида. На этот показатель влияет как вид и количество используемого антиоксиданта, так и продолжительность ускоренного старения образцов.

На рисунке 1а показана зависимость МДА от содержания витамина Е. При этом все системы содержали дополнительно витамин А при соотношении Е и А 3:1. При введении в анализируемые эмульсии смеси витаминов в суммарном количестве 0,4 г/50 г образца (витамин Е 0,3 и витамин А 0,1 г/50 г) происходит снижение содержания МДА в зависимости от продолжительности ускоренного старения в 5 – 14 раз. При дальнейшем увеличении расхода витаминов в образцах, независимо от изученного интервала продолжительности ускоренного старения, содержание МДА практически не изменяется. Это свидетельствует о том, что суммарный расход витаминов 0,4 г/50 г образца эмульсии и более предотвращает образование вторичных продуктов окисления в эмульсиях, т.е. обеспечивает их защиту.

Введение эфирного масла лимона в количестве 0,05 г/50 г эмульсии (рисунок 1б) приводит к значительному уменьшению содержания малонового диальдегида во всех образцах. При дальнейшем увеличении расхода эфирного масла лимона от 0,05 до 0,35 г/50 г показатель

МДА имеет очень близкие значения, т.е. практически не зависит от продолжительности ускоренного старения и количества введенного эфирного масла.

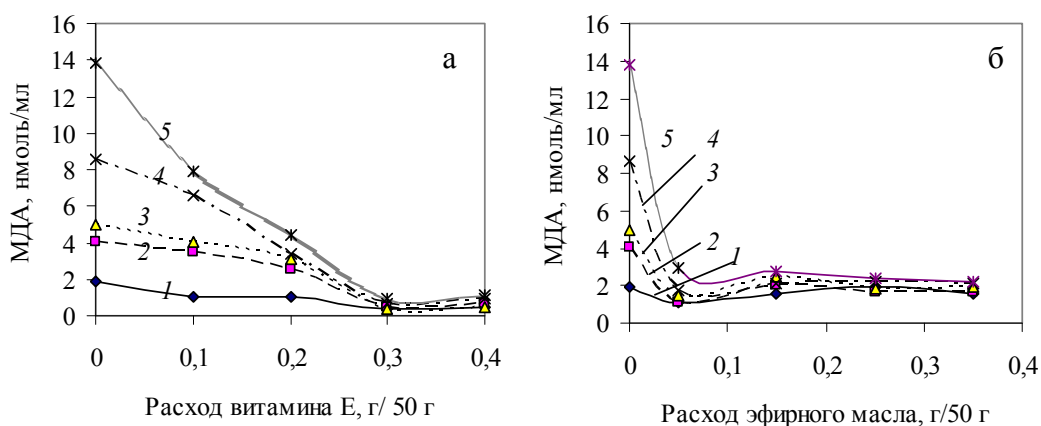


Рисунок 1 – Содержание МДА от расхода витаминов и эфирного масла лимона при различной продолжительности старения, мин.:  
 1 – 0; 2 – 10; 3 – 30; 4 – 50; 5 – 70;

Сравнивая между собой антиоксидантное действие смеси витаминов и эфирного масла лимона в эмульсии, содержащей рапсовое масло, следует отметить, что более полно защищают от окислительных процессов витамины Е и А, поскольку их введение позволяет снизить содержание МДА до 0,46 – 1,10 нмоль/мл, в то время как с эфирным маслом лимона минимально достигнутое значение МДА составляет 1,55 – 2,24 нмоль/мл (в зависимости от продолжительности ускоренного старения). Однако расход эфирного масла лимона для достижения этих показателей составляет 0,05 г/50 г, а витаминов Е и А – 0,4 г/50 г эмульсии. Все полученные образцы и образцы после старения были проанализированы по основным органолептическим показателям, а также определена их термическая и коллоидная стабильность [4]. Анализ показал, что введение витаминов Е (0,1 – 0,4 г/50 г) и А (0,034 – 0,136 г/50 г) не отразилось на органолептических и физико-химических показателях. Все отобранные пробы имели белый цвет, однородную кремообразную консистенцию, обладали термостабильностью (42 °С, 24 ч) и коллоидной стабильностью (центрифугирование 5 мин, 6000 мин<sup>-1</sup>). Введение эфирного масла лимона повлияло на запах образцов, при этом расход масла в количестве 0,15 г/50 г и более придавал образцу приятный аромат, маскирующий запах использованных жировых компонентов. Следовательно, эфирное масло лимона выступает также в качестве отдушки. Таким образом, установлено, что витамины Е и А, эфирное масло лимона проявляют антиоксидантные свойства в эмульсии, содержащей рапсовое масло. Считаем, что целесообразно изучить влияние данных компонентов на устойчивость эмульсии к окислению при их совместном присутствии в системе.

### Литература

1. Башура, А.Г. Технология косметических и парфюмерных средств: Учеб. пособие для студ. фармац. спец. высш. учеб. заведений / А. Г. Башура [и др.]. – Х.: Изд-во НФАУ: Золотые страницы, 2002. – 272 с.
2. Основы косметической химии: базовые положения и современные ингредиенты / Т.В. Пучкова [и др.]; под общ. ред. Т.В. Пучковой. – М.: Школа косметич. химиков, 2011. – 399 с.
3. Кутц, Г. Косметические кремы и эмульсии: состав, получение, методы испытаний: пер. с нем. А.С. Филиппова; под ред. М.Ю. Плетнева. – М.: Фирма Кламель, 2004. – 272 с.
4. Ким, В.Е. Практикум по технологии косметических средств: Анализ сырья и готовой продукции. Микробиологический контроль / В.Е. Ким, Н.В. Букарь, И.Б. Горнова; под ред. В.М. Кима, Л.Л. Зильберг, Т.В. Пучковой. – М.: Школа косметических химиков, 2005. – 152 с.

## Поверхностно-активные свойства водных растворов многоатомных спиртов

Студентка 8 гр. 3 курса ф-та ТОВ Ивинская П.В.  
 Научные руководители – Эмелло Г.Г., Бондаренко Ж.В.  
 Белорусский государственный технологический университет  
 г. Минск

Многоатомные спирты используются в производстве многих косметических продуктов. Они нашли широкое применение в косметике как растворители, увлажняющие и дезодорирующие компоненты [1].

Свойства косметической продукции (эмульсий, гигиенических моющих средств), а также их стабильность зависят от поверхностно-активных свойств на границах раздела «жидкость – газ» и «жидкость 1 – жидкость 2». В значительной степени данные свойства определяются поверхностно-активными веществами (ПАВ), входящими в состав многих косметических продуктов, но присутствие многоатомных спиртов может повлиять на их проявление.

Целью данной работы явилось изучение поверхностно-активных свойств водных растворов глицерина и сорбитола.

Сталагмометрическим методом [2] определено поверхностное натяжение ( $\sigma$ , мДж/м<sup>2</sup>) на границе раздела «водный раствор спирта – воздух» при температуре  $21 \pm 1$  °С. Концентрация растворов спиртов составляла 0,001 – 10,000 г/л. Изотермы поверхностного натяжения представлены на рисунке 1.

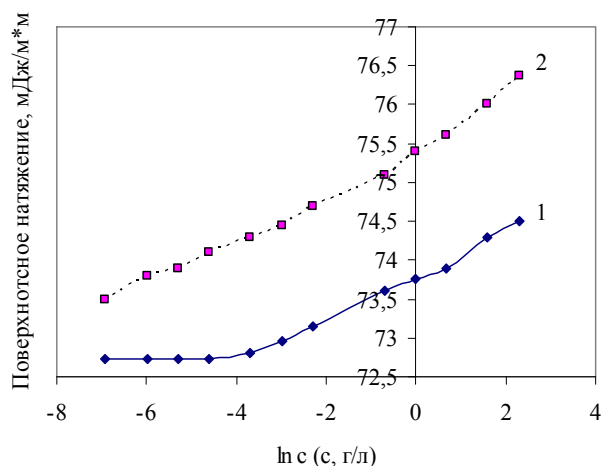


Рисунок 1 – Изотермы поверхностного натяжения водных растворов спиртов

Из рисунка 1 видно, что в области концентраций 0,001 – 0,010 г/л глицерин не влияет на поверхностное натяжение растворителя; увеличение концентрации от 0,01 до 10,00 г/л приводит к повышению  $\sigma$  с 72,72 до 74,49 мДж/м<sup>2</sup>. Сорбитол повышает поверхностное натяжение воды во всем интервале изученных концентраций.

Таким образом, оба спирта проявляют поверхностно-инактивные свойства в водных растворах. Это связано, по-видимому, с гидратацией гидроксильных групп. При этом, чем больше количество гидроксильных групп, тем больше способность спирта повышать поверхностное натяжение воды.

Следует ожидать, что присутствие спирта в составе косметического продукта будет понижать поверхностную активность ПАВ, что может повлиять на его пенообразующие и стабилизирующие свойства. Поэтому исследования в данном направлении предполагается продолжить.

### Литература

1. Самуйлова, Л.В. Косметическая химия: учеб.издания. В 2 ч. Ч.1. Ингредиенты / Л.В. Самуйлова, Т.В. Пучкова. – М.: Школа косметических химиков, 2005. – 336 с.
2. Поверхностные явления и дисперсные системы: лаб. практикум для студентов химико-технологических специальностей / А. А. Шершавина [и др.]. – Минск: БГТУ, 2005. – 106 с.



**Разработка составов масс и технологии получения керамических плиток для облицовки стен с использованием каолинов Республики Беларусь**

Студентка гр. № 9 Бабич Е.В.  
Научный руководитель – Попов Р.Ю.  
Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Основным сырьем для производства керамических плиток являются глинистые материалы (глины и каолины), причем содержание глинистых компонентов в массах составляет не менее 45 – 50 % (здесь и далее по тексту массовое содержание компонента, мас. %), в том числе глин – не менее 30 % при этом содержание каолина может достигать до 10 – 15 %.

В настоящее время керамические предприятия Республики Беларусь используют импортные каолины (месторождения Просьяновское и Глуховецкое). Хотя на территории нашей страны имеется несколько месторождений этого ценного сырья.

Применение местного сырья позволит отказаться от импорта каолина из Украины, обеспечив экономию валютных средств и расширить минерально-сырьевую базу керамической промышленности.

Наибольший интерес представляют такие перспективные месторождения как «Ситница» и «Дедовка».

Природный минералогический состав каолинов месторождений «Ситница» и «Дедовка» представлен в основном каолинитом. В качестве примесных минералов присутствуют кварц, гидрослюда, полевые шпаты.

Недостатком каолинов данных месторождений является сильная запесоченность (содержание  $\text{SiO}_2$  достигает до 70 %) и значительное содержание соединений железа – до 2,12 %.

Целью исследований является получение керамических плиток для облицовки стен с использованием природных каолинов месторождений «Ситница» и «Дедовка».

В качестве исходного состава бралась композиция, применяемая на предприятии ОАО «Керамин», включающая следующие компоненты: глина «ДНПК-1»; глина «Гайдуковка»; кварцевый песок гомельского ГОКа; доломитовая мука «Руба»; полевой шпат «Вишневогорский»; каолин «Глуховецкий».

В экспериментальных составах керамических масс осуществлялась замена импортного каолина отечественным (как природного происхождения, так и обогащенного мокрым методом).

В случае использования природного каолина существовала возможность выведения кварцевого песка их состава масс ввиду минеральных особенностей отечественных каолинов. Содержание природных каолинов варьировалось от 10 до 45 %.

Было установлено, что с увеличением температуры обжига наблюдается закономерное уменьшение водопоглощения и пористости образцов, что способствует повышению прочностных характеристик керамики и объясняется процессом формирования легкоплавких эвтектик в материале при взаимодействии щелочных и щелочноземельных оксидов с оксидами кремния и алюминия.

Увеличение содержания природного каолина в составах экспериментальных композиций выше 25 % (при снижении количества глины ДНПК-1) замедляют процессы спекания, что может объясняться избыточным содержанием свободного кварца, вводимого в композиции с глинистым сырьем. Прочностные характеристики (прочность при сжатии) в указанном концентрационном интервале меняются незначительно и находятся в пределах 30 – 36 МПа для образцов, обожженных при температуре 1100 °С. Увеличение доли огнеупорной глины от 20 до 30 % способствует процессу спекания керамических масс и повышает механическую прочность образцов. Так, для образцов, обожженных при температуре 1100 °С

и содержащих в своем составе от 15 до 25 % каолина, водопоглощение составляет 15 – 17 %, плотность – 1730 – 1820 кг/м<sup>3</sup>, пористость – 28 – 35 %, прочность на сжатие – 37 – 54 МПа. Следует отметить, что эксплуатационных характеристик материалов, синтезированных с использованием отечественных каолинов двух месторождений достаточно близки, однако лучшими показателями свойств характеризуются материалы, в состав которых входит каолин месторождения «Ситница», что, скорее всего, объясняется его минералогическим и гранулометрическим составом.

Исследования керамики, проведенные с помощью РФА, свидетельствуют о том, что фазовый состав экспериментальных образцов и заводского материала идентичен, фиксируется наличие таких кристаллических фаз, как низкотемпературный кварц, а также полевые шпаты – микроклин (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) и альбит (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>).

На основании проведенного исследования можно сделать вывод о возможности и целесообразности использования каолинов отечественных месторождений природного происхождения и обогащенного в качестве исходного компонента масс для производства керамических плиток.

УДК 666.65:549.632

### **Синтез термостойких керамических материалов на основе каолинов Республики Беларусь**

Студентка 5 курса, 9 группы Лященко Е.А.

Научный руководитель – Попов Р.Ю.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Термостойкие керамические материалы можно получить на основе различных систем (литийсодержащая керамика, кордиеритсодержащая керамика). Однако каждая из них имеет свои недостатки и специфику получения. Это может быть высокая температура синтеза, сложность технологических операций, дорогостоящее сырье и т.д.

Материалы на основе системы MgO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub> представляют большой интерес для производства термостойких керамических материалов, способных работать в условиях высоких температур, сохраняя свои технические характеристики. Материалы на основе кордиерита обладают низким значением ТКЛР, хорошей стойкостью к термоударам, высоким удельным сопротивлением, достаточной химической стойкостью и имеют хорошие механические свойства. Ввиду наличия ценных свойств данные изделия применяются в различных отраслях науки и техники. Например, кордиеритсодержащая керамика широко используется в электротехнике, машино- и приборостроении, в качестве конструктивных элементов тепловых агрегатов, как материалы для зеркал в лазерной технике и т.д. [1–3].

В промышленности для масштабного производства кордиеритсодержащих изделий используются огнеупорные глины и каолины, магнийсодержащие, глиноземсодержащие сырьевые материалы.

В Республике Беларусь отсутствует качественное глинистое сырье, однако на юге страны имеется несколько месторождений каолинов, представляющие интерес для организации производства термостойких изделий. К таким месторождениям относятся: «Ситница» (Лунинецкий район Брестской области мощностью 2,53 млн.т) и «Дедовка» (Житковичский район Гомельской области, имеющего мощность первичных каолинов 7,02 млн.т и вторичных каолинов 1,23 млн.т).

Химический состав природных каолинов месторождений «Ситница» и «Дедовка», приведенный в таблице 1, свидетельствует о том, что по содержанию Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в прокаленном состоянии они относятся к группе полуокислого сырья.

Таблица 1 – Химический состав каолинового сырья

Месторождение каолинов	Содержание оксидов, %										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	ппп
«Ситница»	72,31	16,03	2,12	0,49	0,06	0,43	0,83	0,44	0,33	2,82	4,39
«Дедовка»	70,3	19,0	0,46	0,26	0,06	0,09	–	0,02	0,10	6,02	3,99

Минералогический состав природного каолина обоих месторождений не имеет существенных отличий и представлен в основном каолинитом. Основными примесными минералами, входящими в состав являются кварц, гидрослюда, полевые шпаты.

Основными недостатками каолинов указанных месторождений являются – сильная запесоченность (содержание SiO<sub>2</sub> достигает до 70 %) и значительное содержание соединений железа – до 2,12 %.

В связи с этим возникает потребность в проведении обогатительных работ этого ценного глинистого сырья для производства технической керамики. Ввиду того, что каолины характеризуются значительным содержанием кварца, целесообразно провести первоначально мокрое обогащение с последующей очисткой от соединений железа химическим методом.

При этом химическое обогащение возможно осуществлять несколькими методами:

- 1) восстановлением Fe<sup>3+</sup> → Fe<sup>2+</sup> гидросульфитом натрия в солянокислой среде;
- 2) восстановлением Fe<sup>3+</sup> → Fe<sup>2+</sup> гидросульфитом натрия в сернокислой среде с использованием катионита.

В приготовленную каолиновую суспензию вводили переменное количество соляной или серной кислоты. После тщательного перемешивания в суспензию добавляли гидросульфит натрия (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O). Кроме того, во втором случае в суспензию дополнительно вводили катионит. Суспензию тщательно перемешивали, закрывали пленкой для предотвращения доступа кислорода из воздуха и подвергали выстаиванию для взаимодействия с реагентами. Далее суспензию вновь перемешивали и фильтровали под вакуумом. Отфильтрованный каолин промывали трехкратным объемом воды и вновь отфильтровывали под вакуумом. В обогащенных каолинах определяли содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с помощью сканирующего электронного микроскопа JSV-5610 LV с системой химического анализа EDXJED-2201 JEOL.

Результаты исследований показали, что содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в обработанных каолинах находилось в пределах 0,69 – 0,73 %. Образцы оптимального состава характеризовались следующими показателями, %: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,69; SiO<sub>2</sub> – 58,89; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 28,89. Белизна каолина составляла 64,5 %.

Как показывает эксперимент, удалить полностью красящие оксиды не удастся вследствие того, что соединения железа входят в структуру кристаллической решетки каолинита.

В качестве сырьевых материалов для синтеза термостойких материалов использовались каолин глуховецкий – для эталонного образца (состав 1), каолин месторождения «Дедовка», обогащенный мокрым и химическим способом (составы 2 и 3), тальк онотский, гиббсит.

Синтез материалов проводился на основе состава в трёхкомпонентной системе MgO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub>, содержащий оксиды MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> в стехиометрическом соотношении 2:2:5. Образцы получались полусухим прессованием, сушились до постоянной массы, обжигались при температуре 1300 °С.

Свойства синтезированных керамических материалов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики образцов, синтезированных при 1300°С

Свойства	Состав 1	Состав 2	Состав 3
Водопоглощение, %	26,53	15,98	17,88
Плотность, ρ <sub>к</sub> · 10 <sup>-3</sup> , кг/м <sup>3</sup>	1,81	2,01	1,91
Пористость, %	42,61	32,18	34,25
Предел прочности при изгибе, МПа	16,98	21,62	19,84
ТКЛР, α · 10 <sup>6</sup> К <sup>-1</sup>	4,36	4,75	3,12

Проведенные исследования свидетельствуют, что степень спекания изучаемых образцов различна и определяется минеральным и химическим составом исходных компонентов, а также температурой обжига.

Исследования фазового состава опытных образцов позволили сделать вывод о том, что материал представлен преимущественно кордиеритом, в качестве побочных фаз фиксировались кварц, муллит, корунд, энстатит и шпинель.

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать вывод о возможности использования белорусских каолинов для получения кордиеритсодержащей керамики.

### Литература

1 Авакумов Г.Н. Кордиерит – перспективный керамический материал / Г.Н. Авакумов, А.А. Гусев. – Новосибирск: Наука, 1999. – 167 с.

2 Павлов, В.Ф. Исследование фазовых превращений в глинах различного минерального состава в процессе непрерывного нагрева / В.Ф. Павлов, В.С. Минтрохин // Совершенствование технологии и расширение ассортимента производства керамических изделий: тр. НИИстройкерамики. – М., 1975. – Вып. 40–41. – С. 204–221.

3 Балкевич, В.Л. Техническая керамика / В.Л. Балкевич. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.

УДК 666.295.4:666.75

### Использование отечественного сырья для производства тугоплавкого кирпича

Студентка 5 курса, 9 группы Слабко О.В.

Научный руководитель – Попов Р.Ю.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Тугоплавкие изделия широко используются в машиностроительной, металлургической, стекольной, химической и других отраслях промышленности. Основным назначением тугоплавкого кирпича является защита внешней среды и менее стойких элементов конструкции от воздействия высоких температур, горячих газов, расплавов и т. п.

Наиболее широкое распространение среди огнеупорных и тугоплавких материалов получили алюмосиликатные. Такую популярность алюмосиликатные материалы приобрели вследствие относительной простоты их изготовления, дешевизны, а также благодаря высоким эксплуатационным характеристикам.

Основными сырьевыми материалами для их получения являются огнеупорные глины, каолины, глиноземсодержащие компоненты и различные добавки. Тугоплавкие керамические материалы применяются при более низких температурах (1350 – 1580 °С), чем огнеупорные (1580 – 1750 °С). В связи с этим, требования к данным видам изделий не такие жесткие, как огнеупорным, что позволяет использовать для их производства большое разнообразие сырьевых материалов.

В Республике Беларусь нет производства огнеупорных и тугоплавких материалов, они полностью ввозятся из стран СНГ (Россия, Украина). Учитывая большую потребность в таких изделиях, а также высокую стоимость импортных огнеупоров и сырьевых материалов для их получения, неизбежно возникает проблема организации такого производства в нашей республике. В связи с этим использование имеющейся базы Беларуси (тугоплавкие глины, карбонатные породы) с целью получения тугоплавких материалов технологически оправдано и экономически целесообразно.

Для производства тугоплавких алюмосиликатных изделий необходимы качественные огнеупорные глины и каолины. Республика Беларусь располагает месторождениями каолинов, наиболее перспективными из которых являются «Дедовка» и «Ситница».

Разработка составов масс с использованием отечественных каолинов для материалов, применяющихся в качестве футеровочных в тепловых агрегатах, позволит расширить сырьевую базу керамической отрасли, снизить стоимость изделий, а также уменьшить зависимость от поставщиков этого ценного сырья.

Целью исследований является получение тугоплавкого кирпича с заданными эксплуатационными характеристиками для футеровки обжиговых вагонеток с использованием отечественного сырья при пониженных температурах синтеза (1000 – 1150 °С).

Для получения изделий в качестве исходного сырья применялись глина «Керамик-Веско», глина «Осетки», шамот (первая серия составов) и каолин «Дедовка», глина «Осетки», шамот (вторая серия составов).

Глина является основной пластифицирующей составляющей массы, придает некоторую механическую прочность полуфабрикату в высушенном состоянии и обожженным материалам камнеподобные свойства.

Для обеспечения требуемой температуры эксплуатации предусмотрено использование огнеупорной глины «Керамик-Веско» (Украина), которая улучшает формовочные свойства массы, и шамота алюмосиликатного (боя огнеупорных изделий различных предприятий республики с содержанием  $Al_2O_3$  не менее 28 %). Присутствие в шихте шамота уменьшает усадку и растрескивание изделия при нагреве. Введение в исходные массы шамота существенно облегчает сушку и обжиг изделий, позволяет получать изделия правильной формы с точными размерами. Во второй серии составов использовался каолин Дедовка (вместо глины Керамик-Веско). Каолин характеризуется высокой огнеупорностью, низкой пластичностью и связующей способностью.

Экспериментальным путем были изучены различные свойства обожженных образцов в интервале температур от 1000 до 1150 °С.

Значения общей усадки образцов находятся в пределах от 4,4 % до 11,2 %, при этом меньшей усадкой обладают образцы с повышенным содержанием шамота. С увеличением температуры обжига наблюдается закономерное возрастание усадки, что обусловлено тем, что в процессе обжига под действием сил поверхностного натяжения жидкой фазы твердые частицы обжигаемого материала сближаются, объем материала уменьшается.

Анализируя экспериментальные данные по изучению показателей спекания обожженных изделий (плотность, пористость, водопоглощение), можно сделать вывод о том, что степень спекания образцов исследуемых составов керамических масс различна и зависит как от условий обжига, так и от содержания и соотношения компонентов массы. При повышении температуры обжига наблюдается уменьшение значений водопоглощения всех экспериментальных образцов, что определяется интенсификацией процесса спекания за счет формирования легкоплавких эвтектик. В свою очередь фиксируется повышение прочностных характеристик керамических образцов.

Введение дополнительного количества шамота взамен глинистого сырья (глины Керамик-Веско) замедляет процесс спекания, тем самым увеличивает водопоглощение и пористость керамики и снижает плотность и прочность материала.

Использование в качестве сырьевого материала природного каолина «Дедовка» с такими же компонентами массы (шамотом и глиной «Осетки») несколько ухудшает показатель спекания керамики, а также снижает прочностные характеристики синтезируемого материала. Данный факт можно объяснить в первую очередь минеральным составом глинистого сырья, а также наличием в каолине значительного количества кварцевого песка (до 75 %).

Исходя из экспериментальных значений механической прочности можно сделать вывод о том, что замена глины Керамик-Веско на каолин Дедовка (во второй серии) способствовала снижению значений механической прочности образцов. Причиной этого факта является пониженная степень спекания образцов по сравнению с составами, содержащими глину «Керамик-Веско».

Очень важным показателем для тугоплавких изделий является термостойкость. Следует отметить, что основным свойством изучаемых керамических материалов, обеспечивающим высокую термостойкость и долговечность, является температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР). Особенно сильное влияние на значение термического коэффициента линейного расширения оказывает состав композиций и температура обжига, что определяется фазовым составом синтезированной керамики. Для образцов оптимального состава ТКЛР составляет  $(4 - 5) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

Результаты рентгенофазовых исследований образцов позволили определить наличие в образцах таких кристаллических фаз, как гематит,  $\alpha$ -кварц, анортит и муллит. Именно муллит и обеспечивает синтезированной керамике высокую прочность и термостойкость.

Достаточно низкие некоторых составов позволяют сделать выводы о возможности использования их в качестве футеровочных.

Отмечается, что использование в качестве сырьевого компонента отечественного каолина «Дедовка» несколько ухудшает качество изделий. Но при этом позволяет получать керамику с достаточно приемлемыми характеристиками (ТКЛР –  $((4,5 - 5,5) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1})$ ; водопоглощение – 7,4 – 21,7 %; кажущаяся плотность – 1615 – 2087 кг/м<sup>3</sup>; открытая пористость – 13,73 – 35,11 %; предел прочности при сжатии 6,213 – 45,66 МПа).

Таким образом в ходе исследований разработаны составы керамических масс с использованием отечественного сырья для получения тугоплавких материалов с высокими эксплуатационными характеристиками.

УДК 666.192.2

#### **Разработка технологии получения изделий с высокой термической устойчивостью на основе кварцевого стекла**

Студент гр.8 Бразовский И.И.

Научный руководитель – Терещенко И.М.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Кварцевая керамика (керсил) – это единственный керамический материал, основу которого составляет не кристаллическая, а стекловидная фаза.

Керсил обладает рядом ценных свойств: исключительно высокой термостойкостью благодаря низкому коэффициенту линейного расширения, хорошей химической устойчивостью к реагентам и расплавам, благоприятными и стабильными электрофизическими свойствами.

Керсил применяют в качестве теплоизоляционных элементов в тепловых агрегатах, в качестве труб для подачи расплавленного алюминия, форм при литье металлов, существенное распространение получили изделия из керсила в стекольной отрасли: плунжеры, мешалки, горелочные блоки, шиберы, валы.

Технологический процесс изготовления изделий из кварцевой керамики включает основные стадии: получения водной суспензии кварцевого стекла, её стабилизации, формование изделий, сушку, термическую и механическую обработку изделия

Известны следующие методы формования изделий из кварцевой керамики: шликерное литье из водных суспензий, прессование, термопластичное прессование (с применением кремнийорганических смол), термопластичное литье, электрофоретическое формование, трамбование. Применение того или иного метода формования во многом определяется габаритами и условиями эксплуатации изделия.

Целью проводимой работы является получение ИК-нагревателей на основе кварцевого стекла. Поскольку нагреватели имеют относительно небольшие габариты и сложную форму, то наиболее приемлемым является метод литья в гипсовые формы.

Как следует из проведенного обзора литературы, в технологическом процессе производства керсильных изделий, особое внимание следует уделять дисперсности материала, литейным свойствам шликеров и отсутствию кристаллизации. Задачами, решаемыми в ходе исследования являлись: отработка технологических параметров получения водных шликеров из измельченного кварцевого стекла, обеспечивающих получение бездефектных изделий сложной формы, режимов термической обработки, в ходе которой достигается высокая механическая прочность образцов при отсутствии их кристаллизации.

Подготовка шликера осуществлялась методом одностадийного мокрого измельчения кварцевого стекла. Предварительно дробленое и рассеянное кварцевое стекло (фракции 1,0 – 3,0 мм и 0,5 – 1,0 мм, взятые в определенном соотношении) подвергалось мокрому помолу в шаровой мельнице в течении 15 – 27 часов (мельющие тела – высокоглиноземистая керамика).

Контроль дисперсности частиц, в получаемых таким образом шликерах, осуществляется с помощью сита № 0063. В ходе исследований установлена необходимость стабилизации полученных шликеров. Стабилизация шликеров осуществлялась в ходе их длительного (не менее 5 часов) перемешивания в пропеллерной мешалке. Из стабилизированных шликеров осуществлялась отливка образцов в гипсовые формы, смазанные предварительно нитридом бора.

Особенностью мокрого измельчения кварцевого стекла является совмещение в одном агрегате (шаровой мельнице) процессов как дробления, так и тонкого измельчения. Материал по мере измельчения постепенно переходит в состояние суспензии, при этом плотность собственно суспензии возрастает и приближается к рассчитываемой.

Далее после стабилизации шликера, при постоянном перемешивании, производилась отливка образцов в гипсовых формах. Обжиг образцов осуществлялся в электропечи, при температурах 1150 – 1300 °С при скорости нагрева 300 °С в час, и выдержке при конечной температуре в течении 0,6 – 1 часа.

В ходе работы установлено следующее:

1. Качественные отливки с малой усадкой получаются при относительной влажности шликера в пределах 22 – 27 %;
2. Увеличение продолжительности помола приводит к росту механической прочности обожженных образцов, снижению пористости, увеличению плотности за счет повышения дисперсности кварцевого стекла и повышения их реакционной способности (таблица 1).

Таблица 1 – Свойства обожженных образцов

Время помола, ч.	Остаток на сите № 0063, %	$\rho_{\text{каж}}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{\text{изг}}$ , МПа
20	23,6	1780	32,85
25	8,4	1810	37,52
28	2,1	1827	45,78

3. Увеличение температуры обжига приводит к возрастанию механической прочности, увеличению степени спекания (водопоглощение изменяется от 12 – 14 до 6 – 8 %), усадка изделий весьма низка (< 0,5 %);

4. Кристаллизация кварцевого стекла при обжиге отрицательно влияет на ряд свойств полученных изделий. Отмечено усиление кристаллизации (появление кристоболита) при росте температуры обжига и дисперсности молотого продукта. В связи с этим была проведена оптимизация режима отжига отливок (температура и продолжительность) и также помола шликера.

Ниже приведен оптимальный гранулометрический состав кварцевого стекла после помола, определенный на гранулометре «Analizette 22» (таблица 2).

Таблица 2 – Распределение частиц кварцевого стекла по фракциям

0,050	1,000 мкм	3,90%	1,000	2,000 мкм	11,13%	2,000	3,000 мкм	9,48%
3,000	4,000 мкм	4,41%	4,000	5,000 мкм	2,49%	5,000	10,000 мкм	24,64%
10,000	20,000 мкм	24,71%	20,00	50,000 мкм	18,83%	50,000	100,000 мкм	0,41%
100,000	200,000 мкм	0,00%						

Ниже приведены основные характеристики изделий, полученных по оптимизированным режимам помола и обжига:

ТКЛР,  $\alpha \cdot 10^{-6}$  ..... 5,2 K<sup>-1</sup>

пористость закрытая..... 3,7 %

водопоглощение..... 7,2

прочность на изгиб..... 32,85 МПа

наличие кристоболита..... отсутствует

Разработанная технология получения керсила в настоящее время проходит апробацию с целью производства ИК-излучающих элементов.

УДК 666.21:666.112.4

### **Разработка и технологические процессы в области производства накладных цветных стекол для декорирования хрустальных изделий**

Студентка гр.8 Кленицкая Т.В.

Научный руководитель – Терещенко И.М.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

В настоящее время единственным производителем накладных изделий из хрусталя на территории СНГ является ПРУП «Борисовский хрустальный завод». Технологический процесс производства накладных изделий включает следующие основные стадии: варка накладного стекла, получение цветных «леек» – заготовок для наклада, их отжиг, налад «лейки» на формуемую заготовку хрустального изделия, выдувание изделий с накладом, гранение, химическая полировка. В результате сочетания зон цветного и бесцветного стекла создается эффектный внешний вид хрустального изделия, который привлекает потребителя. Традиционно для изготовления цветных накладных стекол используются высокосвинцовые составы, содержащие до 34 – 38 % PbO. Эти составы имеют ряд недостатков, связанных с расслоением стекла при варке, сложностью при выработке (только ручная). Так же немаловажен тот факт, что свинцовый сурик, которым вводится в шихту PbO, является опасным компонентом шихты (1 класс опасности). Это неблагоприятно влияет на окружающую среду и условия труда людей.

На кафедре технологии стекла и керамики разработан бессвинцовый состав цветного накладного стекла для декорирования хрустальных изделий, в ходе апробации которого в условиях ПРУП «Борисовский хрустальный завод» установлено, что его применение обеспечивает ряд преимуществ в сравнении с используемым промышленным составом стекла. Так, например, снижение затрат на сырьевые материалы составляет 37 % за счет вывода PbO из состава стекла, выход годных изделий возрос на 10 – 12 %, улучшаются условия труда. Проблема дороговизны сырья и экологии была решена за счет замены PbO на BaO в составе стекла, поскольку данные оксиды обладают сходными свойствами и выполняют одинаковые функции в составе стекол. Полученные составы являются аналогичными по свойствам с составами содержащими PbO.



В ходе работы также решалась проблема промышленного боя накладных хрустальных изделий, которого на данный момент на предприятии накопилось около 35 тонн. Количество вводимого боя в опытные стекла составляло от 30 до 65 %.

Традиционно введение обратного стеклобоя имеет целью следующее:

- снижение воздействия стекольного производства на экологическую обстановку;
- интенсификация процесса варки, поскольку на плавление боя затрачивается меньше тепла, чем на плавление шихты, в итоге может быть увеличен съём с печи;
- энергосбережение: подсчитано, что введение 10 % стеклобоя позволяет экономить 2,0 – 3,5 % топлива, в зависимости от состава стекла;
- сокращение расхода сырьевых материалов.

Последнее обстоятельство особенно важно для производства накладных стекол для изделий из хрусталя, поскольку в данном случае используется дефицитное дорогостоящее сырьё – углекислый барий, борная кислота, поташ, сода кальцинированная, красители и др.

Состав цветного накладного стекла для хрусталя, используемый в данный момент на производстве, не удовлетворяет некоторым требованиям к накладному стеклу. Например, возникают трудности с разметкой рисунка, а также с нанесением граней, вследствие весьма интенсивного окрашивания стекла. Целью настоящей работы являлась разработка составов окрашенных стекол, на основе разработанных бессвинцовых составов и улучшение их технологических характеристик.

На первом этапе проводилась работа по разработке рецептур окрашивающих смесей для получения синего накладного стекла. Получение оптимального окрашивания и улучшение внешних характеристик, проводилось путём варьирования красящих компонентов, в частности  $\text{CoO}$  и  $\text{MnO}_2$ , а также дополнительного ввода  $\text{TiO}_2$ . В итоге удалось сохранить тональность окраски стекла на прежнем уровне при снижении интенсивности окрашивания. В результате расход дорогостоящего  $\text{CoO}$  был снижен на 0,22 %.

На втором этапе осуществлялась разработка рецептур окрашивающих смесей для получения зелёного накладного стекла за счёт ввода  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{CuO}$ . Первоначально полученные составы не удовлетворяли свойствам необходимым для накладного стекла, так как в тонком слое (наклад) интенсивность окраски была недостаточной, наклад получался практически прозрачным. В связи с этим было увеличено содержание красящих компонентов до 2,5 – 3 % (в сумме). В результате была получена требуемая степень глушения наклада.

Представленная ниже зависимость светопропускания от длины волны отражает чистоту зелёного оттенка, который полностью удовлетворяет требования, предъявляемые к накладному стеклу.

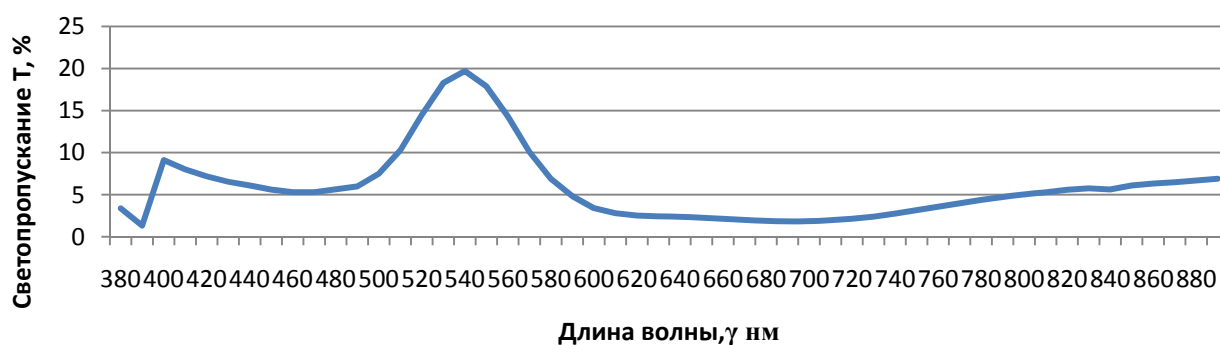


Рисунок 1 – Кривая светопропускания стекла

Проведенное изучение основных свойств сваренного окрашенного накладного стекла дало следующие результаты:

ТКЛР,  $\alpha \cdot 10^7$  .....118,9  $\text{K}^{-1}$   
 показатель преломления n.....1,5785  
 коэффициент плавкости С (по А.Н. Даувальтеру [1])...117  
 микротвердость, Н.....3320 МПа.

Стекла опытных составов прошли все стадии технологического процесса: от формования заготовок (леек) для наклада до химического полирования накладных изделий. Отмечено, что выход годных изделий увеличился с 56 до 68%, в сравнении с промышленным составом. Особое внимание уделялось формированию крупных изделий с накладом, при этом проблем не зафиксировано.

Таким образом, получены составы накладного стекла, включающие до 65 % промышленного боя хрустальных изделий с накладом. Стекла для накладных хрустальных изделий экспериментальных составов по уровню своих характеристик не уступают составу промышленного стекла, используемому на ПРУП «Борисовский хрустальный завод», причем их внедрение позволит увеличить выход годной продукции и снизить потребление дорогостоящих сырьевых материалов – сурика свинцового, борной кислоты, поташа, красителей, которые не производятся в Республике Беларусь.

### Литература

1 Даувальтер, А.Н. Хрустальные цветные и опаловые стекла / А.Н. Даувальтер. – М.: Гизлегпром, 1957. – 235 с.

УДК 54-31+537.32+666.654

#### Термоэлектрические свойства слоистых оксидов $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$ ( $M = 3d$ -металл)

Студенты 5 курса 10 гр. ф-та ХТиТ Бусель Т.С., 1 курса 8 гр. ф-та ХТиТ Галковский Т.В.  
Научные руководители – Богомазова Н.В., Клындюк А.И.  
Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Высокие значения электропроводности, термо-ЭДС и низкая теплопроводность слоистого оксида  $\text{Na}_x\text{CoO}_2$  позволяют рассматривать его как перспективную основу для разработки новых эффективных термоэлектриков [1, 2]. Одним из способов улучшения функциональных свойств (термоэлектрической добротности, химической устойчивости и т.д.) кобальтита  $\text{Na}_x\text{CoO}_2$  является частичное замещение катионов кобальта в его структуре катионами других металлов.

Целью настоящей работы является изучение влияния частичного замещения кобальта другими  $3d$ -металлами на структуру и физико-химические свойства образующихся при этом твердых растворов  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$  ( $M = \text{Sc} - \text{Zn}$ ).

Образцы получали керамическим методом в интервале температур 1133 – 1203 К на воздухе в течение 24 ч по методике [3]. Исходную шихту готовили из карбоната натрия и оксидов  $3d$ -металлов (квалификация не ниже «ч.д.а»). В процессе термообработки образцы теряют часть оксида натрия. Зависимость содержания натрия в керамике  $\text{Na}_x\text{CoO}_2$  от температуры и времени термообработки была изучена в работе [3], в соответствии с результатами которой полученной керамике был приписан состав  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$  ( $M = \text{Sc} - \text{Zn}$ ).

Идентификацию образцов проводили при помощи рентгенофазового анализа (РФА) (рентгеновский дифрактометр D8 Advance Bruker AXS (Германия),  $\text{CuK}_\alpha$  – излучение). Микроструктуру спеченной керамики исследовали при помощи сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV (Япония). Кажущуюся плотность образцов ( $\rho_{\text{эксп}}$ ) рассчитывали по их массе и геометрическим размерам. Тепловое расширение, электропроводность ( $\sigma$ ) и термо-ЭДС ( $S$ ) керамики изучали на воздухе в интервале температур 300 – 1100 К по методикам [3, 4]. Фактор мощности ( $P$ ) образцов находили по формуле  $P = S^2\sigma$ .

Керамику состава  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{V}_{0,1}\text{O}_2$  получить не удалось – образцы полностью разрушались в течение нескольких часов после извлечения из печи; в остальных случаях получалась плотно спеченная керамика, структура которой соответствовала структуре гексагонального

кобальтита натрия  $\gamma\text{-Na}_x\text{CoO}_2$ , а параметры элементарной ячейки изменялись в пределах  $a = 0,2820 - 0,2850$  нм,  $c = 1,087 - 1,104$  нм, что несколько меньше параметров элементарной ячейки незамещенного кобальтита натрия  $\text{Na}_{0,55}\text{CoO}_2$  ( $a = 0,2850$  нм,  $c = 1,116$  нм).

Кажущаяся плотность твердых растворов  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$  ( $M = \text{Sc}, \text{Ti}, \text{Cr} - \text{Zn}$ ) изменялась в диапазоне  $2,81 - 3,59$  г/см<sup>3</sup> и была несколько ниже, чем для незамещенной фазы  $\text{Na}_{0,55}\text{CoO}_2$  ( $\rho_{\text{эксп}} = 3,64$  г/см<sup>3</sup>). Наиболее сильно спекаемость керамики на основе слоистого кобальтита натрия ухудшалась при частичном замещении кобальта скандием и марганцем в его структуре ( $\rho_{\text{эксп}} = 2,81$  и  $2,85$  г/см<sup>3</sup> для керамики состава  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{Sc}_{0,1}\text{O}_2$  и  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{Mn}_{0,1}\text{O}_2$  соответственно).

Кристаллиты полученной керамики имели форму пластин, широкой стороной ориентированных преимущественно перпендикулярно оси прессования; размер пластин составлял  $1 - 10$  мкм для образцов  $\text{Na}_{0,55}\text{CoO}_2$  и  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{Mn}_{0,1}\text{O}_2$  и  $10-25$  мкм для образцов  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{Ti}_{0,1}\text{O}_2$  и  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{O}_2$ . Таким образом, частичное замещение кобальта титаном или цинком в слоистом кобальтите натрия приводит к увеличению степени анизотропии как отдельных кристаллитов, так и керамики  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$  в целом.

Зависимость  $\sigma = f(T)$  для базовой фазы  $\text{Na}_{0,55}\text{CoO}_2$  и твердых растворов  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$  ( $M = \text{Ti} - \text{Cu}$ ) носила полупроводниковый ( $\partial\sigma / \partial T > 0$ ), а для  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$  ( $M = \text{Sc}, \text{Zn}$ ) – металлический характер ( $\partial\sigma / \partial T < 0$ ) (рисунок 1а), а величина электропроводности образцов изменялась в пределах  $0,670 - 71,2$  См/см при комнатной температуре и  $8,08 - 55,9$  См/см при  $1100$  К.

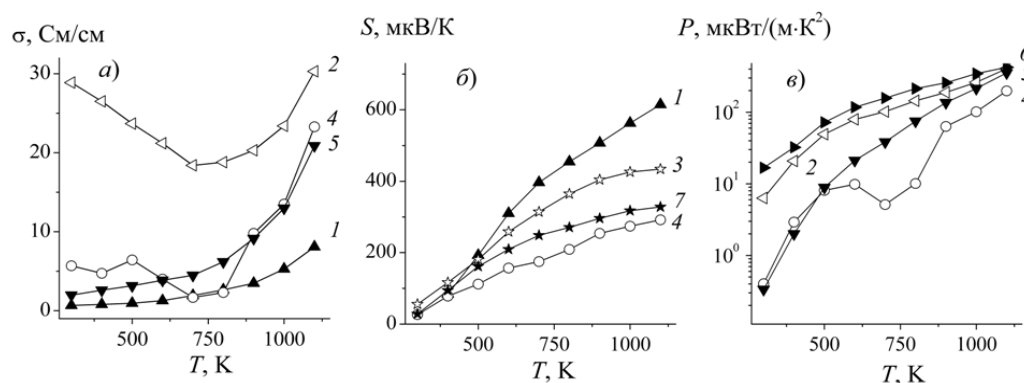


Рисунок 1 – Температурные зависимости электропроводности  $\sigma$  (а), термо-ЭДС  $S$  (б) и фактора мощности  $P$  (в) керамики  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$ :  $M = \text{Ti}$  (1),  $\text{Cr}$  (2),  $\text{Mn}$  (3),  $\text{Co}$  (4),  $\text{Ni}$  (5),  $\text{Cu}$  (6),  $\text{Zn}$  (7)

Термо-ЭДС кобальтитов  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$  ( $M = \text{Sc}, \text{Ti}, \text{Cr} - \text{Zn}$ ) ( $M = \text{Sc}, \text{Ti}, \text{Cr} - \text{Zn}$ ) во всем исследуемом интервале температур была положительна (рисунок 1б), из чего следует, что основными носителями заряда являются «дырки», т.е. изученные кобальтиты представляют собой проводники  $p$ -типа. Электропроводность керамики  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$  возрастала при замещении кобальта медью или цинком, практически не изменялась при замещении скандием и уменьшалась при замещении кобальта титаном или марганцем. Замещение кобальта железом (никелем) в  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$  приводит к уменьшению, а хромом – к увеличению электропроводности керамики, что, может быть, связано с особенностями ее микроструктуры. Термо-ЭДС керамики возрастала с ростом температуры и немонотонно изменялась при замещении катионов кобальта катионами  $3d$ -металлов (за исключением твердого раствора  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{Cu}_{0,1}\text{O}_2$ , термо-ЭДС которого была близка к термо-ЭДС незамещенной фазы  $\text{Na}_{0,55}\text{CoO}_2$ ) (рисунок 1б). Термо-ЭДС и электропроводность керамики состава  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$  антибатно изменяются при частичном замещении кобальта другими  $3d$ -металлами, что хорошо согласуется с основными закономерностями физической химии твердого тела – рост концентрации основных носителей заряда приводит к увеличению проводимости и уменьшению термо-ЭДС вещества, и наоборот.

Величина фактора мощности исследованной керамики возрастала при увеличении

температуры (рисунок 1в) и немонотонно изменялась при изменении природы замещающего кобальт  $3d$ -металла, при этом максимальной величиной фактора мощности обладали образцы состава  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{Ni}_{0,1}\text{O}_2$  и  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{Cu}_{0,1}\text{O}_2$  для которых  $P_{1100} = 355$  мкВт/(м·К<sup>2</sup>) и 423 мкВт/(м·К<sup>2</sup>) соответственно.

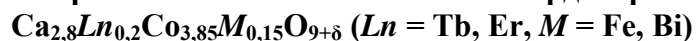
Работа выполнена в рамках ГПНИ «Функциональные и машиностроительные материалы, наноматериалы» (подпрограмма «Кристаллические и молекулярные структуры», задание 1.08) и при поддержке и при поддержке БРФФИ (грант X12M–039).

### Литература

1. Terasaki, I. Novel physics and functions in the layered cobalt oxides: from thermoelectricity to ferromagnetism / I. Terasaki // *Physica B.* – 2006. – Vol. 383. – P. 107–110.88.
2. High-temperature electrical conductivity and thermoelectric power of  $\text{Na}_x\text{CoO}_2$  / P. Liu [et al.] // *Solid State Ionics.* – 2008. – Vol. 179. – P. 2308–2312.
3. Клындюк, А. И. Влияние температуры спекания на свойства керамики  $\text{Na}_x\text{CoO}_2$  / А. И. Клындюк, Н. С. Красуцкая, Е. М. Дятлова, // *Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорган. в-в.* – 2010. – Вып. XVIII. – С. 9–102.
4. Клындюк, А. И. Термоэлектрические свойства некоторых перовскитных оксидов / А. И. Клындюк, Е. А. Чиждова, Н. В. Сазанович, Н. С. Красуцкая // *Термоэлектричество.* – 2009. – № 3. – С. 76 – 84.

УДК 536.413+537.31/32

### Синтез и физико-химические свойства твердых растворов



Студентка 5 курса, 10 группы Колосовская О.Ю.

Научный руководитель – Клындюк А.И.

Белорусский государственной технологический университет  
г. Минск

Одним из приоритетных направлений современной науки и техники является разработка новых термоэлектрических материалов. Применение классических термоэлектрических материалов (теллуридов, антимонидов и др.) ограничено их высокой стоимостью, токсичностью и низкой химической стабильностью на воздухе при повышенных температурах. Это обуславливает необходимость поиска новых оксидных термоэлектриков и методов химической модификации, улучшающих их функциональные характеристики. Одним из перспективных материалов, пригодных для высокотемпературной термоэлектроконверсии, является слоистый кобальтит кальция  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ . Установлено, что термоэлектрические свойства этого оксида могут быть улучшены при частичном замещении катионов кальция катионами редкоземельных элементов, а катионов кобальта катионами других металлов в его структуре.

В данной работе исследовано влияние совместного частичного замещения катионов кальция и кобальта на кристаллическую структуру и физико-химические свойства твердых растворов на основе слоистого кобальтита кальция  $\text{Ca}_{2,8}\text{Ln}_{0,2}\text{Co}_{3,85}\text{M}_{0,15}\text{O}_{9+\delta}$  ( $\text{Ln} = \text{Tb, Er}, \text{M} = \text{Fe, Bi}$ ), синтезированных цитратным методом.

$\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$  и твердые растворы  $\text{Ca}_{2,8}\text{Ln}_{0,2}\text{Co}_{3,85}\text{M}_{0,15}\text{O}_{9+\delta}$  получали цитратным гель-методом. При синтезе образцов готовили растворы нитратов  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (ч.д.а),  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (ч.д.а),  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  (х.ч.),  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (ч.), растворы нитратов тербия и эрбия получали растворением оксидов  $\text{Tb}_2\text{O}_3$  (х.ч.),  $\text{Er}_2\text{O}_3$  (х.ч.) в концентрированной азотной кислоте  $\text{HNO}_3$  (ч.д.а.). В заданных объемных соотношениях эти растворы приливали к раствору лимонной кислоты  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  (ч.), взятой с 30 %-ым избытком ( $n(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7) / n(\Sigma\text{Me}) \approx 1,3/1$ ). Полученные растворы длительное время

упаривали до образования вязкого фиолетового геля. Гель высушивали при 383 – 393 К на электроплитке до образования розового ксерогеля, который длительное время выдерживали при температуре 433 – 453 К до образования черного порошка, который прокаливали в течение 4 ч при 873 К. Полученный черный порошок тщательно перетирали и прессовали в таблетки и бруски, которые далее отжигали в течение 5 ч при 1123 К с последующим спеканием в течение 8 ч при 1183 К.

Рентгенофазовый анализ (РФА) порошков проводили на дифрактометре Bruker D8 XRD Advance (CuK $\alpha$ -излучение). Тепловое расширение ( $\Delta l/l_0$ ), электропроводность ( $\sigma$ ) и термо-ЭДС ( $S$ ) керамики изучали на воздухе в интервале температур 300 – 1100 К. Величину фактора мощности ( $P$ ) исследованных материалов рассчитывали по формулам  $P = S^2 \cdot \sigma$ .

После заключительной стадии синтеза образцы кобальтита кальция Ca<sub>3</sub>Co<sub>4</sub>O<sub>9+ $\delta$</sub>  и твердых растворов Ca<sub>2,8</sub>Ln<sub>0,2</sub>Co<sub>3,85</sub>M<sub>0,15</sub>O<sub>9+ $\delta$</sub>  (Ln = Tb, Er, M = Fe, Bi) были, в пределах погрешности РФА, однофазными и имели структуру слоистого кобальтита кальция. Значения параметров кристаллической структуры твердых растворов Ca<sub>2,8</sub>Ln<sub>0,2</sub>Co<sub>3,85</sub>M<sub>0,15</sub>O<sub>9+ $\delta$</sub>  приведены в таблице 1.

Зависимости  $\Delta l/l_0 = f(T)$  исследованных образцов в интервале температур 300 – 1100 К были линейными, из чего следует, что в этом интервале температур твердые растворы Ca<sub>2,8</sub>Ln<sub>0,2</sub>Co<sub>3,85</sub>M<sub>0,15</sub>O<sub>9+ $\delta$</sub>  (Ln = Tb, Er, M = Fe, Bi) не претерпевают структурных фазовых переходов. Как видно из данных, представленных в таблице, КЛТР исследованных материалов несколько снижается по сравнению с незамещенной фазой Ca<sub>3</sub>Co<sub>4</sub>O<sub>9+ $\delta$</sub> , что обусловлено увеличением энергии металл-кислородных взаимодействий в структуре этих фаз при частичном замещении катионов кальция и кобальта в структуре Ca<sub>3</sub>Co<sub>4</sub>O<sub>9+ $\delta$</sub> .

Таблица 1 – Значения параметров кристаллической структуры ( $a$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $c$ ,  $\beta$ ,  $V$ ,  $b_1/b_2$ ), коэффициента линейного термического расширения ( $\alpha$ ), и кажущейся плотности ( $\rho$ ) слоистых оксидов Ca<sub>2,8</sub>Ln<sub>0,2</sub>Co<sub>3,85</sub>M<sub>0,15</sub>O<sub>9+ $\delta$</sub>

Состав	Ca <sub>3</sub> Co <sub>4</sub> O <sub>9+<math>\delta</math></sub>	Ca <sub>2,8</sub> Ln <sub>0,2</sub> Co <sub>3,85</sub> M <sub>0,15</sub> O <sub>9+<math>\delta</math></sub>			
		Ln = Tb, M = Fe	Ln = Tb, M = Bi	Ln = Er, M = Fe	Ln = Er, M = Bi
$a$ , нм	0,4830(7)	0,4840(7)	0,4835(5)	0,4833(7)	0,4847(8)
$b_1$ , нм	0,4562(8)	0,4550(8)	0,4565(6)	0,4356(8)	0,4564(9)
$b_2$ , нм	0,2812(6)	0,2831(9)	0,2840(9)	0,2820(9)	0,2818(9)
$c$ , нм	1,085(1)	1,078(1)	1,0832(8)	1,085(1)	1,081(1)
$\beta$ , °	98,28(8)	98,05(8)	98,02(6)	97,78(9)	98,15(9)
$V$ , нм <sup>3</sup>	0,237(1)	0,235(1)	0,237(1)	0,237(1)	0,237(1)
$b_1/b_2$	1,622	1,607	1,607	1,618	1,620
$\alpha \cdot 10^5$ , К <sup>-1</sup>	1,28	1,20	1,17	1,17	1,12
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	3,18	2,91	2,74	2,8	2,65

Установлено, что кобальтиты Ca<sub>2,8</sub>Ln<sub>0,2</sub>Co<sub>3,85</sub>M<sub>0,15</sub>O<sub>9+ $\delta$</sub>  являются полупроводниками  $p$ -типа, термо-ЭДС которых увеличивалась с ростом температуры (рисунок  $a$ ,  $b$ ). Как видно из рисунка, совместное частичное замещения катионов кальция и кобальта в структуре Ca<sub>3</sub>Co<sub>4</sub>O<sub>9+ $\delta$</sub>  уменьшает его электропроводность и увеличивает значения его коэффициента термо-ЭДС. Величины фактора мощности исследованной керамики возрастали при увеличении температуры и для кобальтитов Ca<sub>2,8</sub>Ln<sub>0,2</sub>Co<sub>3,85</sub>M<sub>0,15</sub>O<sub>9+ $\delta$</sub>  были несколько ниже, чем для незамещенной фазы Ca<sub>3</sub>Co<sub>4</sub>O<sub>9+ $\delta$</sub>  (рисунок  $b$ ), за исключением твердого раствора Ca<sub>2,8</sub>Tb<sub>0,2</sub>Co<sub>3,85</sub>Bi<sub>0,15</sub>O<sub>9+ $\delta$</sub> , который продемонстрировал наибольшие значения  $P$  – 0,14 мВт/(м·К<sup>2</sup>) при  $T$  = 1100 К, что на 40% выше, чем для незамещенного кобальтита кальция.

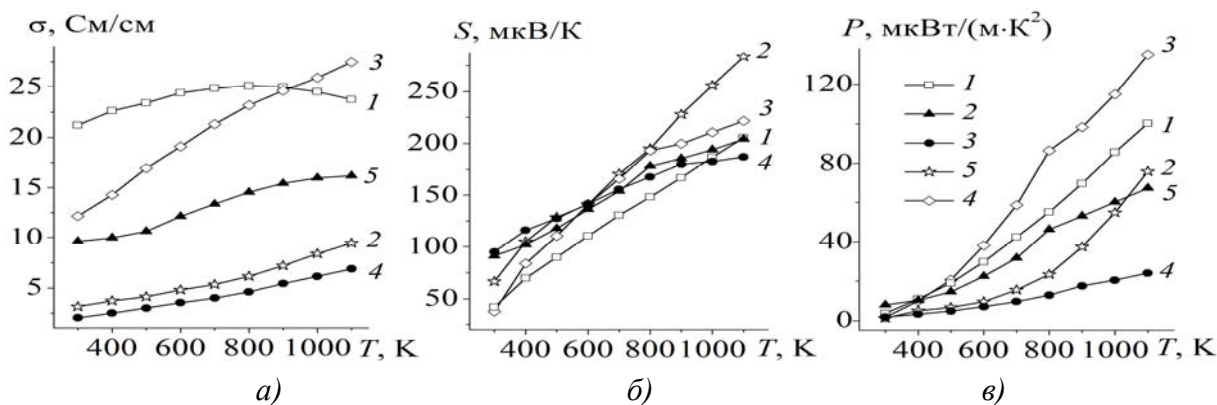


Рисунок 1 – Температурные зависимости электропроводности ( $\sigma$ ) (а), термо-ЭДС ( $S$ ) (б) и фактора мощности ( $P$ ) (в) кобальтитов  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$  (1),  $\text{Ca}_{2,8}\text{Tb}_{0,2}\text{Co}_{3,85}\text{Fe}_{0,15}\text{O}_{9+\delta}$  (2),  $\text{Ca}_{2,8}\text{Tb}_{0,2}\text{Co}_{3,85}\text{Bi}_{0,15}\text{O}_{9+\delta}$  (3),  $\text{Ca}_{2,8}\text{Er}_{0,2}\text{Co}_{3,85}\text{Fe}_{0,15}\text{O}_{9+\delta}$  (4),  $\text{Ca}_{2,8}\text{Er}_{0,2}\text{Co}_{3,85}\text{Bi}_{0,15}\text{O}_{9+\delta}$  (5)

Таким образом, в работе цитратным методом получена керамика состава  $\text{Ca}_{2,8}\text{Ln}_{0,2}\text{Co}_{3,85}\text{M}_{0,15}\text{O}_{9+\delta}$  ( $\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Er}, \text{M} = \text{Fe}, \text{Bi}$ ), изучена ее кристаллическая структура, исследованы ее тепловое расширение, электропроводность и термо-ЭДС. Найдено, что синтезированные материалы являются полупроводниками  $p$ -типа. Установлено, что фактор мощности кобальтита кальция возрастает при частичном замещении кальция тербием, а кобальта висмутом в его структуре.

УДК 625.7

#### Термодинамическая оценка процесса прямого восстановления железной руды синтез-газом

Студент гр. 104111 Горбель И.А.  
 Научный руководитель – Горбунова В.А.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Традиционные металлургические производства, в частности доменный способ получения стали, обладают рядом недостатков: многостадийностью, высокой ресурсоемкостью и энергоемкостью, загрязнением окружающей среды. Поэтому в мире всегда проявлялся интерес к альтернативным металлургическим процессам, одним из которых является процесс прямого восстановления железной руды. В последнее время этот интерес усилился, что связано с истощением запасов качественных коксующихся углей, с увеличением стоимости кокса, с ужесточением экологических требований, а также с постоянно растущими требованиями к качеству металла.

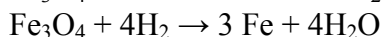
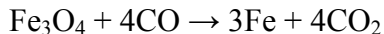
В существующих технологиях прямого восстановления чаще применяется природный газ в качестве топлива и восстановителя (Midrex, Armco, Purofer). Базовыми для свойств железосодержащих продуктов прямого восстановления являются три важных химических фактора: степень металлизации, содержание и форма углерода, содержание и тип примесей. Современные технологии прямого восстановления железа позволяют получать продукт со степенью металлизации выше 96 % и содержанием углерода от 0,5 % до более, чем 3 % (Midrex). В основных процессах прямого восстановления также достигается низкое содержание серы (до 0,003 %), фосфора и других остаточных элементов. Качество железа (далее стали) по содержанию примесей получается очень высоким. Главный недостаток этих технологий - это высокий расход природного газа – до 400 куб. м на 1 тонну восстановленного металла. Значительное удорожание природного газа на мировом рынке

замедляет темпы роста бескоксового производства металлов. В процессах прямого восстановления железа непосредственным восстановителем является не природный газ, а синтез-газ ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ), который получают конверсией природного газа. Таким образом, природный газ, в общем не нужен, а нужен синтез-газ, который можно получать из другого топливного сырья: дешевых газообразных или жидких углеводородов, угля, торфа, нефтяного кокса, мазута, биомассы, промышленных и бытовых отходов. В качестве окислительного агента в процессах газификации могут использоваться: воздух, кислород, водяной пар,  $\text{CO}_2$ .

Целью исследования было определение степени эффективности использования синтез-газа, получаемого при пароводяной газификации низкосортных бурых углей, для прямого восстановления железорудных окатышей магнетитового типа ( $\text{Fe} - 67,85$  мас. %,  $\text{SiO}_2 - 1,20$  %,  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,50$  %,  $\text{CaO} - 0,70$  %,  $\text{MgO} - 0,30$  %,  $\text{P} - 0,025$  %,  $\text{S} - 0,002$  %,  $\text{Mn} - 0,12$  %,  $\text{H}_2\text{O} - 2,0$  %,  $\text{O}$  (рассчитано по разности) –  $27,303$  %). Оно было реализовано на базе компьютерной программы TERRA термодинамических расчетов фазового и химического составов реагирующих многокомпонентных смесей. В основе газификации угля паром лежит следующая реакция:  $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$ .

Для области  $T = 300 - 4000$  К и при давлении  $P = 0,1$  МПа был рассчитан оптимальный с точки зрения энергоэффективности процесса газификации равновесный состав синтез-газа:  $50,7$  об. %  $\text{H}_2$ ;  $33,2$  %  $\text{CO}$ ;  $6,3$  %  $\text{CO}_2$ ;  $6,7$  %  $\text{H}_2\text{O}$  и  $2,5$  %  $\text{CH}_4$ . Эта эффективность оценивалась по энергетическому КПД и суммарному выходу энергии в виде калорийного синтез-газа после газификатора на единицу потребляемой энергии для нагрева реагирующей смеси (уголь +  $\text{H}_2\text{O}$ ) до температуры газификации. Максимальный энергетический КПД паровой газификации бурого угля составил  $75$  %. Наиболее эффективный расчетный режим газификации при  $0,1$  МПа соответствует расходу пара  $0,6 - 0,8$  кг/ кг угля при  $T = 1000$  К.

Также была сделана термодинамическая оценка возможности использования синтез-газа с оптимальным по расчетным данным составом для прямого восстановления железорудных окатышей магнетитового типа. При этом как базовые реакции могут рассматриваться:



Расчет показал, что вблизи температуры плавления руды  $2100$  К при расходе синтез-газа  $1,25$  кг/ кг железной руды степень металлизации была максимальной и близка к  $100$  %.

Таким образом, с помощью термодинамической оценки было установлено, что синтез-газ, получаемый пароводяной газификацией бурого угля можно рассматривать как эффективный восстановитель с достаточно высоким потенциалом энергосбережения для металлургических процессов, в том числе для технологии прямого восстановления железорудных окатышей магнетитового типа.

УДК 666.11.016.2

### **Разработка люминофорных покрытий для светодиодных фотопреобразователей оптоэлектронных устройств**

Студентка 5 курса 8 группы Грушко Н.Н.

Научный руководитель – Бобкова Н.М.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

В настоящее время активно ведутся работы в области разработки высокоэкономичных источников общего освещения на основе светодиодов повышенной мощности.

Существует несколько способов создания белого света с использованием светодиодов. Одним из наиболее распространенных является смешивание на одной матрице

красного, голубого и зеленого светодиода с помощью оптической системы (так называемая RGB-технология). Однако для создания белого цвета RGB требуется сравнительно сложное оборудование, так как в одном источнике необходимо использовать сразу три светодиода. При этом получаемый свет характеризуется низким индексом цветопередачи белого света.

Второй способ заключается в получении смеси из трех люминофоров этих же цветов, с последующим нанесением ее на светодиод, излучающий в ультрафиолетовом диапазоне. Но источники света с данным способом характеризуются не достаточно длительным сроком службы, так как люминофор, нанесенный на светодиод, разрушается под воздействием тепла, излучаемого светодиодом.

Выходом из данного положения является создание источников освещения, у которых люминофор будет расположен на некотором расстоянии от светодиода. В таких случаях наиболее широко используются излучатели синего цвета. Для преобразования синего цвета светодиода в белый применяются светопреобразователи, включающие кристаллы люминофора желтого цвета, равномерно распределенные в стеклянной или полимерной матрице. В качестве люминофора чаще всего выступает кристаллический иттриевоалюминиевый гранат  $3Y_2O_3 \cdot 5Al_2O_3$ , допированный  $Ce^{3+}$ .

Такие люминофорные светодиоды обеспечивают лучшую цветопередачу, чем белые RGB-светодиоды. Они также отличаются высокой энергоэффективностью.

При создании данного источника искусственного освещения основными составляющими частями являются:

- непосредственно сам светодиод синего цвета;
- желтый люминофор;
- легкоплавкое стекло, используемое в качестве матрицы;
- подложка, на которую наносится матрица с люминофором.

В качестве подложки могут использоваться специальные светотехнические стекла, но стоимость их очень высока. Более выгодным вариантом является использование в качестве подложки обычного листового стекла. К тому же из листового стекла легко можно создать любую форму и размер источника освещения.

Легкоплавкая матрица для введения должна обладать следующими свойствами:

- близкое значение ТКЛР подложки и легкоплавкого стекла, чтобы избежать растрескивания изделия при охлаждении. ТКЛР листового стекла  $(80 - 100) \cdot 10^{-7} K^{-1}$ .
- температура полной растекаемости разрабатываемых составов должна находиться в пределах  $550 - 650$  °С.
- высокий показатель преломления, сопоставимый с показателем преломления люминофора ( $n_d = 1,8$ ), для снижения рассеяния светового потока, исходящего от светодиода, к минимуму.

Целью данной работы является разработка люминофорных покрытий для светодиодных фотопреобразователей оптоэлектронных устройств, обеспечивающих стабильность нанокристаллов люминофора в стеклянной матрице.

В качестве основы для получения легкоплавких стекол выбрана система  $B_2O_3 - V_2O_5 - BaO - CaO - ZnO - K_2O$ . Интерес к висмутборатным системам был обусловлен образованием достаточно легкоплавких эвтектик, способных полностью заменить легкоплавкие стекла, получаемые на основе высокотоксичного оксида свинца PbO. К тому же, свинецсодержащие стекла не обеспечивают нужные значения плотности, показателя преломления и области прозрачности в видимом и ИК-диапазонах.

Стекла синтезированы в газовой печи при температуре  $1100$  °С, с последующей выдержкой при максимальной температуре в течении часа.

Стекла не кристаллизуются в интервале температур  $600 - 950$  °С. Температура полной растекаемости находилась в пределах  $605 - 665$  °С. Наиболее легкоплавкими оказались многоцинковые и малокальциевые составы стекол. Именно многоцинковые стекла



характеризовались наиболее подходящими значениями ТКЛР  $(96 - 99) \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$ , соответствующими значениям ТКЛР листового стекла.

Показатель преломления для синтезируемых составов стекол изменялся в пределах 1,716 – 1,749. Данные значения полностью удовлетворяют требованиям по совместимости с показателем преломления люминофора. Наибольшее влияние на столь значительное повышение показателя преломления оказал оксид висмута  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , обладающий наибольшим парциальным числом, по сравнению с остальными компонентами стекла.

По совокупности исследования физико-химических свойств выбран оптимальный состав, наиболее соответствующий требованиям, предъявляемым к разрабатываемым составам легкоплавких стекол для изготовления люминесцирующих покрытий, содержащий  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  в количестве 30 мас. %, характеризующийся следующими свойствами, отображенными в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические свойства стекла оптимального состава

Показатели свойств	Значение
Температура варки, °С	1100
Кристаллизационная способность	отсутствует
Температура полного растекания $t_{н.м.}$ , °С	605
Температура начала размягчения, °С	520
ТКЛР, $10^{-7} \text{K}^{-1}$	97,4
Показатель преломления	1,738
Водостойкость	III гидролитический класс

Для получения люминофорных покрытий на подложках из листового стекла выбраны оптимальные стекла с содержанием  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  30 мас. %, на основе которых приготовлены порошкообразные смеси с введением 15 и 20 % тонкокристаллического  $\text{YAG:Ce}^{3+}$ , полученного методом «горения» нитратов иттрия, алюминия и церия в лимонной кислоте и дополнительно обработанных в атмосфере аргона или в воздушной атмосфере при температуре 1100 °С. Методика изготовления люминесцирующих покрытия включает подготовку шликера, путем совместного смешивания тонкомолотого порошка стекла, люминофора и органического растворителя, нанесение шликера на стеклянную подложку и термическая обработка последних при 630 °С в воздушной среде. Получены покрытия с удовлетворительными характеристиками. Установлено, что, при суммировании излучения синего светодиода и желто-зеленой люминесценции люминофора  $\text{YAG:Ce}^{3+}$  в составах полученных композитов наблюдается излучение белого цвета.

Удаление люминофора от нагретого кристалла светодиода в значительной степени уменьшает термическую деструкцию люминофора. Это увеличивает срок службы светильника и позволяет использовать более мощные светодиоды.

УДК 666.754

### **Использование гранитоидных отсеков и метадиабаз в производстве плиток типа «грес»**

Студент гр.9 Гундилович Н.Н.

Научный руководитель – Левицкий И.А.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Целью работы является исследование возможности использования гранитных отсеков или метадиабаз в производстве плиток для полов типа «грес». Работа направлена на изучение возможности частичного либо полного замещения полевого шпата вишневогорского на гранитные отсеки или метадиабаз в составе масс.

Основными сырьевыми компонентами при производстве являются: глина «ДН-2», глина Веско-Техник, полевой шпат вишневогорский, каолин глуховецкий, каолин жежелевский, песок кварцевый, гранитоидные отсевы – отходы камнедробления гранитов или метадиабаз – магматическая горная порода. Кроме того, в состав массы сверх 100 %<sup>1</sup> добавлялся бой плитки в количестве 2 %. В качестве электролита сверх 100 % в массы вводили Na<sub>5</sub>P<sub>3</sub>O<sub>10</sub> в количестве 0,35 %.

Полевой шпат вишневогорский (Челябинская обл., Россия) имеет светло-серый цвет. Плотность – 2572 кг/м<sup>3</sup>. Сырьевой компонент содержит в составе полевые шпаты в количестве 96,57 %. Они представлены ортоклазом (70,89 %), большим количеством альбита (25,08 %) и анортитом (0,60 %). Присутствует также небольшое количество лимонита (0,18 %), слюд и каолинита (2,28 %), а также кварца (1,13 %).

Гранитоидные отсевы являются побочным продуктом при добыче гранита. Граниты представляют собой кислую магматическую интрузивную горную породу, состоящую из кварца, плагиоклаза, калиевого полевого шпата и слюд. Плотность – 2600 кг/м<sup>3</sup>.

Метадиабаз является метаморфической горной породой, особенностью является высокое содержание оксидов железа: общее количество 10,66 % (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4,30 %, FeO – 6,20 %). Химические составы метадиабазы, полевого шпата вишневогорского и гранитоидных отсевов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав компонентов

Компонент	Оксиды и их содержание, %									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	ППП	Σ
Полевой шпат вишневогорский	58,64	22,27	–	0,14	0,82	–	8,19	8,54	1,41	100
Гранитоидные отсевы	53,94	17,44	0,90	8,80	6,43	3,25	3,59	3,90	1,74	100
Метадиабаз	52,83	16,80	1,19	10,66	6,85	4,18	2,15	3,85	1,49	100

Из таблицы 1 видно, что гранитоидные отсевы и метадиабаз содержат большое количество оксидов железа и меньшее количество оксидов щелочных металлов и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> по сравнению с полевым шпатом. Эти факты должны оказывать значительное влияние на процессы спекания и свойства готовых изделий.

Исследуемые составы получены путем частичного или полного замещения полевого шпата вишневогорского на гранитоидные отсевы или метадиабаз. Замещение производилось с шагом 5,5 % в количестве от 5,5 до 33 %.

Сырьевые компоненты подвергались совместному мокрому помолу в шаровой мельнице до остатка на сите № 0063 1 – 2 %. Полученная суспензия высушивалась в сушильном шкафу до влажности не более 2 % с дальнейшим получением пресс-порошка с влажностью 6 – 8 %. Формование образцов осуществлялось на гидравлических прессах при двухступенчатом давлении прессования: 1 ступень – 6 МПа, 2 ступень – 7,5 МПа. Обжиг производился при температуре 1180 ± 10 °С в течение 50 мин в промышленной газопламенной печи конвейерной FMS 2500 / 113,4 (Италия).

В результате визуальной оценки изделий после обжига установлено, что внешний вид, качество и цвет образцов отличаются в зависимости от химического состава. Увеличение содержания гранитоидных отсевов и метадиабазы, имеющих в составе большее по сравнению с полевым шпатом количество красящих оксидов (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и FeO), приводит к более темной окраске керамического черепка, которая усиливается при повышении их количества.

Дифференциально-термический анализ керамических масс выполнен с помощью дериватографа OD-102 фирмы «МОМ» (Венгрия). Кривые ДТА состава, содержащего 5,5 % гранитоидных отсевов и такое же количество метадиабазов, аналогичны. При температуре 115 – 125 °С

<sup>1</sup> здесь и далее по тексту приведено массовое содержание, %

эндоэффект связан с удалением физической влаги. При температуре 560 °С отмечается эндотермический эффект, обусловленный разложением каолинита. Диссоциация карбонатов характеризуется эндоэффектом очень малой интенсивности, обусловленным разложением присутствующего кальцита. При температуре 860 – 865 °С – кальцита.

На основании определения водопоглощения образцов, проведенного по методике ГОСТ 2409, установлено, что степень спекания образцов исследуемых составов керамических масс зависит от содержания и соотношения компонентов массы. Так, значения водопоглощения для образцов на основании гранитоидных отсевов находятся в интервале 0,44 – 0,67 %. Для образцов, полученных с использованием метадиабаз значения водопоглощения составили 0,43 – 0,68 %. Исходный состав, содержащий только полевого шпата, имеет водопоглощение 0,43 %. Таким образом, при одновременном уменьшении содержания полевого шпата вишневогорского и увеличении гранитных отсевов или метадиабаз наблюдается повышение значений водопоглощения. Требованиям стандарта удовлетворяют только составы с содержанием гранитных отсевов не более 5,5 % или метадиабаз не более 11 % (водопоглощение менее 0,5 %).

Определение температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) исследуемых образцов производилось в интервале температур 20 – 400 °С на электронном dilatометре DEL 402 PC фирмы «Netzsch» (ФРГ). ТКЛР образцов с введением гранитоидных отсевов составил  $(5,55 - 6,28) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , ТКЛР образцов с использованием метадиабаз –  $(5,10 - 5,79) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . ТКЛР исходного состава на основе полевого шпата имеет значение  $6,27 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Таким образом, наблюдается снижение ТКЛР при увеличении количества гранитных отсевов или метадиабаз, что обусловлено уменьшением содержания оксидов щелочных металлов в составах масс. Это явление является положительным, так как обеспечивается повышение термостойкости керамических плиток.

Механическая прочность образцов проводилась на прессе марки ИП-100. Значения механической прочности при изгибе образцов, полученных с использованием гранитоидных отсевов составили 25,96 – 26,71 МПа, при введении метадиабаз – 25,87 – 26,67 МПа. Исходный состав имеет механическую прочность при изгибе 27,04 МПа.

Таким образом, увеличение содержания гранитоидных отсевов или метадиабаз приводит к снижению механической прочности, однако все составы обеспечивают требуемую по нормативно-технической документации прочность изделий (более 25 МПа).

Дифрактограммы исследуемых образцов снимались на дифрактометре ДРОН-3. Излучение  $\text{CuK}_\alpha$ , детектор – сцинтилляционный счетчик. Присутствует небольшое количество муллита. При этом сохраняются также декоративные свойства керамических гранитов.

Замещение импортного полевого шпата вишневогорского на местные гранитные отсевы или метадиабаз позволит снизить затраты на производство керамической плитки типа «грэс». Однако среди исследуемых масс соответствие требованиям стандарта обеспечивают составы с содержанием гранитных отсевов или метадиабаз в количестве 5,5 и 11 % соответственно. Использование данных добавок не приведет к существенному изменению технологического режима получения плиток.

**Получение наноразмерного гидроксида алюминия**

Студент гр. 104140 Заноско О.А.

Научный руководитель – Зык Н.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В настоящее время все большее значение среди различных методов производства наноматериалов (НМ) приобретают химические методы получения различных классов химических соединений в нанодисперсном состоянии. Одним из химических способов, позволяющих получать наноразмерные порошки высокой дисперсности ( $10^{-3}$  – 1 мкм) и регулировать их гранулометрический состав, является метод химического осаждения, основанный на теории массовой кристаллизации из раствора. Процесс осаждения включает две основные стадии: образование кристаллических зародышей и их дальнейший рост. Общим условием формирования высокодисперсных наноразмерных осадков, получаемых массовой кристаллизацией из раствора, является сочетание высокой скорости образования зародышей с малой скоростью их роста. Кроме того, с точки зрения формирования определенного гранулометрического состава существенную роль играет так называемое вторичное зародышеобразование, происходящее в присутствии уже готовых кристаллов и значительно усложняющее задачу получения продуктов заданной дисперсности. Помимо зародышеобразования, дисперсный состав зависит также от особенностей роста кристаллов, их способности образовывать сростки, форма которых может быть самой разнообразной. Все указанные процессы зависят от условий кристаллизации, то есть от степени пересыщения раствора, скорости перемешивания, температуры, содержания растворимых и нерастворимых примесей и др. И распределение кристаллов по размерам, в конечном итоге, определяется подбором этих условий.

Для крупнокристаллических порошков известны, по крайней мере, два пути решения рассматриваемой задачи: во-первых, подбор таких режимов осаждения, при которых образуются осадки, состоящие из кристаллов нужных размеров. Во-вторых, выделение тем или иным способом нужной фракции из общей массы вещества. Однако, применительно к материалам с размером частиц менее 100 нм, второй путь практически неприемлем, трудоемок и малоэффективен в силу особой малости размеров частиц. Методом химического осаждения можно получать мелкодисперсные кристаллические осадки трудно растворимых соединений. Анализ факторов, влияющих на процесс кристаллизации, позволяет осуществлять регулирование условий осаждения для получения высокодисперсных порошков с заданной дисперсностью и с узким распределением частиц по размерам. Однако в литературе признано, что управление гранулометрическим составом и получение монодисперсного продукта относятся к наиболее сложным задачам получения порошковых материалов. Общими условиями формирования мелкокристаллических осадков следует считать достижение больших пересыщений, высоких скоростей перемешивания, осуществление нагрева раствора (с учетом возможного изменения фазового состава и формы получаемых кристаллов), наличие затравочных кристаллов. Материалами для получения гидроксида алюминия служили соли  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  и  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . В качестве осадителя использовали раствор  $\text{KOH}$ . Осаждение проводилось при комнатной температуре путем подачи растворов в реакционный сосуд дозировано с постоянной скоростью при непрерывном перемешивании и контроле кислотности раствора. Растворы заданной концентрации готовились предварительно в расчете на заданное количество наноразмерного продукта – гидроксида.

Полученный осадок гидроксида алюминия промывался дистиллированной водой до полной отмывки анионов, фильтровался и сушился при заданных условиях. Синтезированные оксид

и гидроксид алюминия идентифицировали методами ИК-спектроскопии и рентгенофазового анализа.

УДК 625.7

### Осаждение наночастиц металлов и их соединений из коллоидных растворов

Студент гр. 104211 Искандарова Д.О.

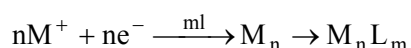
Научный руководитель – Яглов В.Н.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Обычный способ получения наночастиц с помощью коллоидных растворов заключается в их синтезе из исходных реагентов раствора и прерывании реакции в определенный момент времени после чего дисперсная система переводится из жидкого коллоидного состояния в дисперсное твердое. Так нанокристаллические порошки сульфидов получают с помощью реакции сероводородной кислоты  $H_2S$  или сульфида  $Na_2S$  с водорастворимой солью металла. Например, нанокристаллический сульфид кадмия  $CdS$  получают осаждением из раствора перхлората кадмия и сульфида натрия; рост размеров наночастиц прерывают скачкообразным увеличением рН раствора.

Среди всех методов получения изолированных наночастиц и нанопорошков метод осаждения из коллоидных растворов обладает наиболее высокой селективностью и позволяет получать стабилизированные нанокластеры с очень узким распределением по размерам, что весьма важно для использования наночастиц в качестве катализаторов или в устройствах микроэлектроники. Основная проблема метода осаждения из коллоидных растворов связана с тем, как избежать слияния полученных частиц в более крупные конгломераты.

Существуют различные химические приемы получения наночастиц в коллоидных растворах, однако в любом случае необходимо защитить частицы, чтобы предотвратить их коалесценцию. Стабилизация коллоидных частиц и кластеров достигается с помощью молекул лиганда. В качестве лигандов используют различные полимеры. Схематическая реакция получения стабилизированного лигандом металлического кластера  $M_n$  имеет следующий вид:



где  $L$  – молекула лиганда. Полученные таким способом металлические кластеры золота, платины, палладия могут содержать от 300 до 2000 атомов. Металлические кластеры имеют кубическую или гексагональную плотноупакованную структуру. В этих кластерах центральный атом окружен несколькими оболочками, число атомов в которых равно  $10k^2 + 2$  ( $k$  – номер оболочки), т.е. первая оболочка содержит 12, вторая – 42, третья – 92 атома и т.д. В кластерах, стабилизированных лигандами, можно выделить металлическое ядро, где ближайшими соседями атома металла являются только металлические атомы, и внешнюю оболочку из металлических атомов, частично связанных с молекулами лиганда. Металлические кластеры, состоящие из 55 атомов, размещенных в двух оболочках, являются, видимо наименьшими по размеру частицами, еще сохраняющими часть свойств металла; однако, сканирующая туннельная спектроскопия уже свидетельствует о расщеплении электронных уровней в таких частицах при комнатной температуре.

Для получения коллоидных частиц оксидов используют также гидролиз. Например, нанокристаллические оксиды титана, циркония, алюминия, иттрия можно получить гидролизом соответствующих хлоридов или гипохлоритов. Токодисперсный оксид титана получают также гидролизом титанил-сульфата с последующим прокаливанием аморфного

осадка при 1000 – 1300 К. Для стабилизации коллоидных растворов во избежание коагуляции наночастиц используют полифосфаты, амины, гидроксильные ионы.

Для получения высокодисперсных порошков осадки коллоидных растворов, состоящие из агрегированных наночастиц, прокаливают при 1200 – 1500 К. Например, высокодисперсный порошок карбида кремния ( $d \sim 40$  нм) получают гидролизом органических солей кремния с последующим прокаливанием в аргоне при 1800 К. Для получения высокодисперсных порошков оксидов титана и циркония довольно часто используется осаждение с помощью оксалатов.

Для получения высокодисперсных порошков из коллоидных растворов применяется также криогенная сушка. Раствор распыляется в камеру с криогенной средой вследствие этого замерзает в виде мелких частиц. Затем давление газовой среды понижают так, чтобы оно было меньше, чем равновесное давление над замороженным растворителем, и нагревают материал при непрерывной откачке для возгонки растворителя. В результате образуются тончайшие пористые гранулы одинакового состава, прокаливанием которых получают порошки.

К методам осаждения можно отнести также способ получения нанокристаллических композиций из карбида вольфрама и кобальта, предназначенных для изготовления твердых сплавов. Коллоидные растворы солей вольфрама и кобальта высушивали распылением, затем полученный порошок подвергали низкотемпературному карботермическому восстановлению во взвешенном слое, благодаря чему сохранялась высокая дисперсность. Для торможения роста зерен и уменьшения растворимости карбида вольфрама в кобальте в смесь добавляли нестехиометрический карбид ванадия в количестве до 1 масс.%. Полученный из этой нанокристаллической композиции твердый сплав отличался оптимальной комбинацией высокой твердости и большой прочности.

УДК 666.9.015.42

### **Изучение возможности использования растворов серы в сочетании с дополнительными способами обработки бетонных изделий для придания им водоотталкивающих свойств**

Студент гр. 104211 Колмаков Р.А.

Научный руководитель – Глушонок Г.К.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Применение нанотехнологических подходов при производстве строительных материалов – это новый подход к выбору сырья, технологий, формированию структуры строительных композитов.

Следует отметить, что основная масса строительных материалов наносистемна по своей сущности. Так, формирование прочностных свойств, отражающих эксплуатационные характеристики композиционных материалов, например бетона, происходит именно на наноразмерном уровне при гидратационном (композиционные материалы) либо высокотемпературном (керамические материалы) минералообразовании и переходе в кристаллическое состояние матрицы композита. Современные строительные композиционные материалы – это поликомпонентные системы, включающие в себя различные специализированные вяжущие, химические модифицирующие добавки, наноразмерные кремнезем и силикаты, другие ультрадисперсные разнофункциональные минеральные компоненты, специальные заполнители, микроволокна и т.д. Строительное материаловедение, в отличие от других направлений науки о материалах, имеет дело, пожалуй, с объектами максимальной степени сложности.

Добавлением небольших количеств специально приготовленных наноматериалов, получают композиты с другими свойствами – с повышенной долговечностью, морозостойкостью, прочностью. Сегодня разрабатываются структуры таких добавок, которые позволяют придавать нужные свойства бетонам. Добавки нанокремнезема и наносиликатов позволяют получить бетоны ультравысокой прочности.

Бетон – капиллярно-пористый материал. В его поры попадает вода и другие агрессивные вещества, что снижает его долговечность. Поэтому еще одно из направлений, которым давно занимаются – пропитка бетонов. Его пористую структуру заполняют другим материалом, например полимером, и получают практически непроницаемый бетон с высокой морозостойкостью. Такая обработка, кроме того защищает материал от агрессивного воздействия и позволяет получить большую гамму новых высокоэффективных материалов: электротехнических, декоративных и специальных бетонов и композитов.

Разработкой пропиточных композиций и эффективных технологий пропитки строительных материалов и, прежде всего, самого распространенного из них бетона занимаются давно (США, Япония, Франция, Россия и др.), используя для этой цели различные композиции, в том числе на основе мономеров типа стирола, метилметакрилата, расплава серы. Новым направлением применения серы в качестве пропиточной композиции являются водные растворы серы.

Преимуществом нового вида пропиточной композиции – водорастворимой модификации серы, получаемой утилизацией многотоннажного отхода нефтегазопереработки – элементарной серы, накопления которой только в нефтеперерабатывающей отрасли Республики Башкортостан составляют 7,8 млн. т, является низкая стоимость композиции, простота технологии пропитки, осуществляемой при комнатной температуре и не требующей специального оборудования, низкая трудоемкость процесса

При температуре кипения воды реакция между серой и водой дает  $H_2S$ , что было отмечено много лет назад. Для того чтобы ввести серу в водный раствор, необходимо создать щелочную среду. Процесс растворения серы в растворах щелочных и щелочноземельных металлов сопровождается образованием полисульфидов соответствующих металлов, для растворов которых характерен красный цвет, типичный для серы в состоянии  $S_4^{-2}$ .



Проведенные нами исследования показали, что приемлемая растворимость серы в воде достигается при 80 – 90 °С и концентрации NaOH (10 – 20 %).

В охлажденном закрытом состоянии, полученные красные растворы серы (9 – 20 %) устойчивы и могут длительно храниться в закрытой таре. Предполагается, что в поровом пространстве в процессе высушивания бетонных изделий образуются наноразмерные частицы серы, заполняющие его.

Проведенные нами исследования водопоглощения образцов бетона, обработанного водными щелочными растворами серы, показало, что недостатком такой обработки является вымывание их водой. Было решено провести дополнительную обработку образцов растворами ионов тяжелых металлов для закрепления сульфидной серы в виде нерастворимых сульфидов. Изучалось водопоглощение образцов кубов 2x2x2 см из цементно-песчаного раствора, изготовленных в соответствии ГОСТ 310.4, после обработки их водными щелочными растворами серы в течение 4 часов методом погружения, а затем повторным погружением в растворы ионов железа и цинка. Высыхание образцов происходило в течение 24 часов в естественных условиях. Затем образцы высушивались 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 <sub>2</sub> O Контр-ные образцы	4,4	1,0
2	Водн р-р NaOH, + S 9,4%	4,0	1,1
3	Водн р-р NaOH, + S 9,4% + FeSO <sub>4</sub> (насыщ. р-р)	4,0	1,1
4	Водн р-р NaOH, + S 9,4% + ZnSO <sub>4</sub>	3,7	1,2
5	Водн р-р NaOH, + S 20%	1,2	3,8
6	Водн р-р NaOH, + S 20% + FeSO <sub>4</sub> (насыщ. р-р)	1,0	4,0
7	Водн р-р NaOH, + S 20% + ZnSO <sub>4</sub>	0,9	4,7

\* - Показатель эффективности антикоррозионной жидкости – отношение величины водопоглощения за 48 ч контрольных образцов к величине водопоглощения образцов бетона, обработанных антикоррозионной жидкостью.

Результатом такой обработки стало отсутствие вымывания серы в воду при проведении насыщения образцов водой, а показатель эффективности антикоррозионной жидкости оказался выше, чем при использовании щелочных растворов серы.

УДК 666.946

### **Перспектива создания электрокаталитических систем на основе ультрадисперсных тугоплавких соединений и неорганических связующих**

Студенты гр. 104121 Кулинич И.Л., гр. 101610 Шевченко А.А.  
 Научный руководитель – Медведев Д.И.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Одним из основных вопросов практической реализации электрохимических методов преобразования энергии на основе топливных элементов (кислородно-водородных, хлор-водородных) с использованием кислых электролитов, является проблема электродных материалов.

Причины ограниченного использования для этих целей благородных металлов, а также металлоорганических катализаторов хорошо известны. В связи с этим всё больший интерес представляет использование различных тугоплавких соединений, обладающих электронной проводимостью, коррозионной стойкостью, электролитической активностью в кислых электролитах и другими уникальными свойствами.

Однако, вследствие нестехиометрической природы этих соединений, различных способов их получения, а также других причин, сведения об их каталитической активности противоречивы. В настоящее время большое практическое применение в качестве водородного электрода нашёл только лишь карбид вольфрама.

Особый интерес представляют тугоплавкие соединения титана (карбиды, силициды, нитриды, и др). Например, нитриды тугоплавких металлов являются сверхпроводниками и находят широкое применение в интегральных электрических схемах, что в значительной степени определяет их потенциальные области применения. Известно, что для нитридов, карбидов и других тугоплавких соединений переходных металлов, в том числе и титана, характерны типично металлические, электрические и магнитные свойства, подобные соответствующим металлам. На основании этого высказано мнение, что нитриды и карбиды тугоплавких металлов, близкие к стехиометрическому составу, являются изоэлектронными соединениями. Изменение свойств этих соединений обусловлено смещением уровня Ферми. По данным некоторых авторов у нитридов металлов VI группы концентрация носителей тока на формульную единицу близка к 1. Вероятно, эти особенности в значительной мере и определяют электрокаталитические свойства тугоплавких соединений.

Для изготовления электродов с высокими удельными характеристиками, как правило, используют высокодисперсные порошки, которые обладают избыточной поверхностной энергией, обусловленной большим числом атомов с некомпенсированными валентными



связями. Такая технология включает холодное или горячее прессование с использованием связующего (до 5 %) и других добавок для формирования пористой структуры и последующую термообработку. Однако в процессе изготовления электродов по указанной технологии, происходит изменение электрокаталитических свойств материалов, возникают трудности при формировании структуры электродов. В ряде случаев процесс изготовления электрода необходимо проводить в защитной атмосфере, что в целом значительно усложняет технологию.

При изготовлении электродов, как правило, используют связующие на основе высокомолекулярных органических соединений (поливиниловый спирт, карбоксиметилцеллюлозу, полиэтилен, фторопласт и др.), имеющие ряд недостатков: композиции на их основе отличаются низкой механической прочностью, коррозионной стойкостью и термостойкостью.

Более перспективным способом изготовления электродов может быть способ их получения путём пластичного формирования с использованием неорганических связующих (фосфатных, силикатных) в сочетании с различными наполнителями, определяющие свойства композиций.

Уникальные свойства таких композиций обусловлены способностью фосфатных связующих образовывать прочные структуры в результате протекания процессов полимеризации, стеклообразования при низких температурах и сохранять свои свойства при нагревании до высоких температур. Такие композиции позволяют надёжно соединять стеклопластики, керамику, металлы, тугоплавкие соединения. В ряде случаев, использование подобных композиций позволит упростить технологию изготовления, расширить конструктивные возможности многослойных, бифункциональных водородных электродов для создания комбинированных систем химических источников тока.

УДК 676.014.42

### **Применение новых наполнителей в технологии бумаги-основы для мелования**

Студент гр.6 Курта М.П., аспирант Щербакова Т.О.

Научные руководители – Жолнерович Н.В., Черная Н.В.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

К бумаге-основе для мелования предъявляется комплекс требований, обусловленных с одной стороны, требованиями, предъявляемыми к готовой продукции, с другой – требованиями к материалу, подвергаемому дальнейшей обработке (нанесение покрытий). Мелованная бумага относится к печатным видам бумаги, а значит, она должна обладать механической прочностью, высокой белизной, хорошей восприимчивостью печатных красок, гладкой и ровной поверхностью, поверхностной стойкостью к выщипыванию. Механическая прочность мелованной бумаги и стойкость поверхности к выщипыванию определяется показателями прочности бумаги-основы. Вместе с покровным слоем из бумаги-основы могут отделяться отдельные волокна и частицы минерального наполнителя, что свидетельствует о недостаточной связанности структуры бумаги-основы. Это отрицательное свойство бумаги может быть ликвидировано поверхностной проклейкой бумаги-основы. Вместе с тем, бумага-основа должна обладать определенной впитываемостью, обеспечивающей возможность проникновения связующих в толщу бумаги и закрепление мелованного покрытия на бумаге-основе. Для повышения белизны, непрозрачности, гладкости, улучшения печатных и других свойств в волокнистую массу вводят наполнители, то есть химически инертные минеральные вещества, менее гидрофильные, чем целлюлозные волокна [1, 2].

Частицы наполнителя, заполняя крупные поры бумаги, разъединяют волокно, увеличивая общую пористость бумажного листа. Образование многочисленных мелких пор, обладающих капиллярными свойствами, увеличивает способность бумаги к восприятию типографской краски. Наполнители, распределяясь в мелких порах между волокнами образующейся бумаги, увеличивают пористость и повышают воздухопроницаемость. Они также способствуют снижению линейной деформации при увлажнении и уменьшают скручиваемость бумаги при одностороннем смачивании.

Степень влияния того или иного наполнителя на свойства бумаги зависит от его вида и количества в бумаге. Наполнители должны быть однородными и мелкодисперсными, обеспечивать максимальную непрозрачность, хорошо удерживаться на волокне. Частицы наполнителя должны иметь высокий коэффициент преломления потока света, равный примерно половине длины видимого спектра.

В качестве наполнителя бумаги обычно применяют каолин. К числу новых наполнителей можно отнести сульфат бария и карбонат кальция, получение которых основано на последовательном дозировании химикатов в бумажную массу при ее подготовке. Средний размер частиц каолина около 2 мкм, белизна 70 – 90 %, коэффициент преломления 1,56. Степень дисперсности сульфата бария 0,4 – 0,6 мкм, белизна 96 %, коэффициент преломления 1,64, хорошо удерживается в бумаге. Средний размер частиц осажденного мела 0,6 – 0,8 мкм, белизна 80 – 95 %, коэффициент преломления 1,48 – 1,68.

Для каждого вида бумаги существует определенное оптимальное количество наполнителя. Каждый наполнитель имеет специфические особенности в отношении влияния их на свойства бумаги и степени удержания в структуре бумажного листа в присутствии растительных волокон. Механизм удержания частиц наполнителя зависит от формы и размеров частиц, а также наличием в композиции бумажной массы других химикатов.

В зависимости от дисперсности наполнителя повышается плотность бумаги, соответственно снижается толщина материала. Однако стоимость минеральных наполнителей намного ниже стоимости волокнистых полуфабрикатов, что представляет большой экономический интерес при производстве бумаги.

Целью работы являлось оценка влияния таких минеральных наполнителей, как каолин, карбонат кальция и сульфат бария, на свойства бумаги, в композиции которой содержались различные волокнистые полуфабрикаты. Сравнительной оценке подвергались традиционно используемый наполнитель каолин и новые наполнители: сульфат бария и карбонат кальция, полученные путем последовательного дозирования в композицию проклеенной бумажной массы химических реагентов: хлорид бария, сульфат натрия, хлорид кальция и карбонат натрия. Для достижения поставленной цели в лабораторных условиях были изготовлены образцы бумаги массой 45 г/м<sup>2</sup> из целлюлозы беленой сульфатной хвойной (100 %), термомеханической древесной массы (100 %) и их сочетания в соотношении 20 : 80 соответственно. Степень помола целлюлозы составляла 35 °ШР, термомеханической древесной массы – 70 °ШР. При составлении композиции бумажной массы соблюдали следующую последовательность дозирования химикатов в бумажную массу: катионный кукурузный крахмал (модифицированный), упрочняющая добавка «Luredur VH», удерживающая добавка «Polymix VZ», проклеивающее вещество на основе димеров алкилкетенов (АКД) «Ультрасайз 200» и на завершающей стадии два химических компонента для получения наполнителя. Дозировка химикатов для наполнения осуществлялась при концентрации сухих веществ в исходных растворах 10 %. Полученные образцы бумаги отличались содержанием в композиции указанных наполнителей, которое изменялось в диапазоне от 10 до 50 кг/т.

Сравнительная оценка полученных результатов осуществлялась по изменению таких показателей качества образцов бумаги, как разрывная длина (м), впитываемость при одностороннем смачивании (г/м<sup>2</sup>), белизна (%) и степень удержания наполнителя (%).

Установлено, что при увеличении содержания в композиции бумажной массы, как традиционного наполнителя, так и новых исследуемых наполнителей, наблюдается снижение разрывной длины образцов бумаги из целлюлозы и термомеханической массы. Это обусловлено уменьшением количества межволоконных связей вследствие нахождения частиц минерального наполнителя в местах возможных контактов волокон между собой. При этом более значительное падение разрывной длины наблюдается при использовании традиционного наполнителя каолина, что вероятно связано с большим размером частиц наполнителя. Этот факт необходимо учитывать при производстве бумаги-основы для мелования с требуемыми физико-механическими свойствами.

Степень удержания наполнителей отличалась в зависимости от их содержания в композиции бумаги. Так, наиболее высокая степень удержания наблюдалась при использовании в качестве наполнителя сульфата бария и составляла 95 – 96 %. При этом важно отметить, что при увеличении его расхода значение впитываемости образцов бумаги находится в диапазоне 12 – 18 г/м<sup>2</sup>, что может вызвать затруднения при нанесении меловальной пасты на бумагу-основу вследствие ее чрезмерной гидрофобности. С другой стороны это дает возможность для уменьшения расхода проклеивающего вещества в композиции данного вида бумаги.

Меньшей эффективностью характеризуется карбонат кальция, при использовании которого характерно более низкая степень удержания последнего по сравнению, как с сульфатом бария, так и с традиционным каолином. Это вероятно связано с размерами частиц получаемого наполнителя и его способность адсорбироваться на поверхности волокон целлюлозы и термомеханической древесной массы.

Таким образом, установлена возможность использования новых наполнителей в композиции бумаги-основы для мелования. При этом более эффективным наполнителем является сульфат бария, полученный путем последовательно дозирования в композицию бумажной массы хлорида бария и сульфата натрия.

### Литература

- 1 Фляте, Д. М. Технология бумаги / Д. М. Фляте. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 440 с.
- 2 Иванов, С. Н. Технология бумаги / С. Н. Иванов. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 696 с.

УДК 666.266.72

### Разработка фотохромных стекол, активированных галогенидами меди

Студент гр.8 Лукашанец Т.В.

Научный руководитель – Папко Л.Ф.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Актуальность разработки фотохромных стекол определяется уникальным сочетанием свойств и многообразием их применения. Фотохромные стекла применяются для изготовления солнцезащитных очковых стекол, остекления автомашин, зданий. Минеральные фотохромные стекла по сравнению с пластмассовыми являются более прочными, устойчивыми к образованию царапин, характеризуются химической стойкостью и непроницаемостью для жидких сред. Это предотвращает разрушение активных фотокомпонентов, распределенных в матрице стекла, что обеспечивает более высокую стабильность фотохромных свойств во времени.

Фотохромные стекла относятся к классу неорганических материалов с переменным светопропусканием и обладают способностью темнеть при облучении ультрафиолетовым или коротковолновым видимым светом и просветляться после прекращения облучения. Под действием активного излучения в светочувствительной фазе фотохромного стекла

происходят конкурирующие процессы: с одной стороны, образование центров окраски, а с другой термическое и оптическое разрушение таких центров, результирующая которых определяет скорость и степень потемнения стекла. После прекращения действия излучения сохраняется только процесс термического разрушения центров окраски, вызывающий обесцвечивание стекла (релаксацию).

Фотохромные стекла представляют собой двухфазную систему, состоящую из матричного стекла с растворенными в нем светочувствительными микрокристаллами. Светочувствительность и фотохромные свойства стекол, как правило, обусловлены присутствием в матрице стекла микрокристаллов галогенидов серебра. Однако светочувствительными свойствами обладает и ряд других соединений, из которых в первую очередь можно выделить галогениды меди.

Ввиду того, что соединения серебра, которые используются при получении фотохромных стекол, являются дефицитным и дорогостоящим компонентами, целью настоящего исследования является получение фотохромных стекол, активированных галогенидами меди.

При выборе базовой системы необходимо учитывать требования к матричному стеклу, одним из которых является его способность растворять галогенид-ионы. Растворимость последних в стекле увеличивается при введении в состав стекла ионов-стеклообразователей, координационное окружение которых обусловлено донорно-акцепторным взаимодействием с лигандами. Другим требованием к матричному стеклу является склонность к метастабильному расслаиванию. Роль расслаивания сводится к процессу создания границ раздела фаз, на которых происходит выделение кристаллов светочувствительной фазы, то есть фазовое разделение обеспечивает гомогенное распределение фотоувствительной добавки по всему объему стекла. Соответственно в качестве базовой системы для исследования была выбрана боросиликатная система  $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ , для стекол которой характерна метастабильная ликвация при соотношении  $\text{B}_2\text{O}_3 / \text{Na}_2\text{O}$  больше единицы.

Для усиления чувствительности, степени фотохромного потемнения и для улучшения фотохромных свойств стекол в их состав вводились добавки оксидов олова и сурьмы. Действие этих добавок состоит в том, что, обладая переменной валентностью, они частично восстанавливают медь до атомарного состояния. Присутствие атомарной меди в микрокристаллах галогенида меди повышает их дефектность и, как следствие, чувствительность.

Для расширения спектральной чувствительности в пределах 300 – 650 нм в составы стекол вводились как различные галоидные ионы (хлора, брома, иода), так и их комбинации (ионы хлора и брома, хлора и иода), так как введение тяжелых галогенидных ионов смещает область спектральной чувствительности в сторону длинных волн.

Составы опытных стекол выражаются следующим соотношением компонентов, мас. %:  $\text{SiO}_2$  59,75;  $\text{B}_2\text{O}_3$  16,0 – 20,0;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  9,5;  $\text{Na}_2\text{O}$  10,0 – 14,25;  $\text{F}^-$  0,3 – 1,58;  $\text{Cu}^+$  0,5 – 0,95;  $\text{Cl}^-$  0,28 – 0,88;  $\text{Br}^-$  0,47;  $\text{I}^-$  0,46;  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  0,3;  $\text{SnO}_2$  0,5. Для введения иона меди использовались такие соединения, как  $\text{CuCl}$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$ , галогенидных ионов –  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KBr}$ ,  $\text{KI}$ .

Синтез стекол проводился в газовой пламенной печи при температуре 1400 °С с выдержкой при максимальной температуре 4 ч. Правильный выбор температуры синтеза фотохромного стекла является одной из главных задач: повышение температуры синтеза на 50 °С выше оптимальной приводит к понижению и исчезновению фотохромности стекла, снижение температуры синтеза стекла улучшает фотохромность стекла, но приводит к ухудшению его качества. Кроме того, процесс синтеза стекол характеризуется потерями несвязанных компонентов, ответственных за фотопроект. Высокая летучесть галогенидов в процессе высокотемпературного синтеза, составляющая до 60 % от первоначального количества, учитывалась при расчете шихтового состава опытных стекол.

Выработка стекла проводилась методом отливки образцов в форму, после чего готовые образцы отжигались в муфельной электропечи при температуре 580 °С. Образцы синтезированных стекол имеют цветной оттенок желто-зеленых тонов, что для солнцезащитных очковых стекол не является недостатком.

Обязательной стадией в технологии фотохромных стекол является его вторичная термическая обработка, после которой стекло приобретает фотохромные свойства. Галоидная медь при этом вытесняется в поверхностные слои каплеобразной ликвиационной фазы. Под действием активирующего излучения происходит фотохимическое разложение микрокристаллов галоидной меди с образованием металлической медной фазы вокруг стеклянного ядра.

Влияние термической обработки на спектральные свойства опытных стекол оценивалось по результатам градиентной термообработки в интервале температур 500 – 1050 °С, а также при термической обработке в электрической печи, проводимой в интервале температур 580 – 660 °С с шагом 20 °С при варьировании времени выдержки от 15 мин до 3 ч.

Установлено, что эффект фотохромизма в опытных стеклах проявляется в результате термообработки при 600 °С с выдержкой от 15 до 60 мин. Более длительная выдержка приводит к необратимому потемнению стекол.

Фотохромные свойства зависят от концентрации и размера микрочастиц галогенидов меди. Если размер микрокристаллов менее 50 Å, то стекло фотохромными свойствами не обладает. Увеличение размеров микрокристаллов свыше 300 Å делает стекло опалесцирующим, при этом фотохромные свойства практически не проявляются. Опалесценция образцов наблюдалась при термической обработке опытных стекол, содержащих 20 мас.% В<sub>2</sub>О<sub>3</sub>, в интервале температур 700 – 1000 °С. Кроме этого, более активный процесс восстановления меди при повышенных температурах термообработки приводит к тому, что на поверхности ряда образцов проявляется эффект металлизации.

По результатам воздействия УФ-излучения на образцы стекол, прошедших термическую обработку, определены оптимальные составы фотохромных стекол. Проведено исследование спектрального пропускания таких стекол в просветленном и затемненном состоянии. В затемненном состоянии пропускание стекол составляет 40 %, в просветленном – 89 %. Время релаксации, которое определяется скоростью изменения оптической плотности при просветлении стекла, составляет 15 минут.

Таким образом, по результатам синтеза и исследования стекол системы Na<sub>2</sub>O – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – В<sub>2</sub>О<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub> с добавками соединений меди и галогенидных ионов получены фотохромные стекла, основными носителями фотохромных свойств в которых являются галогениды меди, равномерно распределенные в стеклянной матрице. По спектральным характеристикам стекла рекомендуются для производства солнцезащитных очковых стекол. Организация производства фотохромных очковых линз на отечественном предприятии ОАО «Завод «Оптик» позволит расширить ассортимент очковой оптики и решить проблему импортозамещения по данному виду продукции.

УДК 625.7

### **Использование активированной воды для повышения прочности бетона**

Студент гр. 104612 Мухля А.Д.

Научный руководитель – Меженцев А.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Нанотехнологии являются наиболее перспективным направлением в развитии науки. Целенаправленное воздействие на формирование наноструктуры, твердеющего цементного

камня, обеспечивает создание более однородной и плотной упаковки гидрокристаллических новообразований.

Наиболее актуальным является получение композиционных материалов на основе цементных связующих с применением активированной воды затворения, направленное на повышение качества отечественных строительных материалов.

Работы многочисленных авторов в этом направлении позволяют утверждать, что при использовании статистически активированной воды возрастает прочность бетонных изделий, значительно снижается их газопроницаемость, улучшается пластичность и удобоукладываемость бетонной смеси.

Вода играет важную роль в строительстве. Она является равноправным участником формирования структуры цементного камня и бетона, а ее состояние и способ подготовки во многом определяют характер процессов гидратации и структурообразования цементных систем. Вода – единственный компонент цементных систем, инициирующий реакции для получения композитного материала.

В настоящее время разрабатываются и апробируются различные методы воздействия на воду затворения для изменения ее собственной структуры и свойств. Такие виды воздействия можно условно разделить на несколько групп: физическое модифицирование (безреагентное), химическое модифицирование (реагентное) и их сочетание (комбинированное воздействие).

Необходимо отметить, что в данном случае под физическим и химическим модифицированием понимается направленное регулирование параметров цементных систем, происходящее на стадии взаимодействия цемента с водой. При этом модифицированная вода обладает большей активностью вследствие изменения ионного состава, влияющего на величину pH, удельную электрическую проводимость и другие параметры. Это позволяет направленно воздействовать на процессы, происходящие в цементных системах.

К физической активации воды относят следующие виды обработок: магнитная, электромагнитная, механическая, термическая, акустическая, плазменная, разрядно-импульсная, электрохимическая и др.

Общими недостатками всех физических методов активации воды являются: трудность определения количественных параметров, характеризующих степень активации водной среды в производственных условиях, а также необходимость дооснащения технологических линий специальным оборудованием для активации воды.

Использование ультразвука усиливает микрокристаллизацию и диспергацию твердых частиц, дегазирует воду, интенсифицирует электрические процессы и предотвращает накипь и коррозию.

При проведении исследований было использовано два вида наночастиц: агломерированных  $\text{SiO}_2$  и  $\text{SiO}_2$ , подвергнутых диспергации ультразвуком в воде затворения.

В работе использовался цемент марки М500 Д20, песок с модулем крупности – 2,01, водопроводная вода, отношение вода/вяжущее составляло 0,4, отношение цемент: песок – 1 : 3.

Удельная поверхность синтезированного нано  $\text{SiO}_2$  составляла  $240 \text{ м}^2/\text{г}$ . Однако, обладая высокой поверхностной энергией наночастицы  $\text{SiO}_2$  склонны к агрегации, вследствие чего истинная поверхность наночастиц резко уменьшается. Используя ультразвуковые воздействия на дисперсию агломерированных наночастиц  $\text{SiO}_2$ , исследована возможность процесса дробления агломератов и увеличения площади соприкосновения раствора и твердой фазы и, как следствие, возрастание скорости взаимодействия щелочного раствора и наночастиц  $\text{SiO}_2$ .

Из полученных результатов следует, что введение в цемент наночастиц  $\text{SiO}_2$  активизирует процесс твердения на ранней стадии, однако, нивелируется на поздних стадиях. Активация порошка нано  $\text{SiO}_2$  в воде затворения на ранних стадиях дает положительный результат.

Однако, на более поздних стадиях хотя эффект сохраняется, но он носит незначительный характер.

УДК 691

### Применение карбаминоформальдегидной смолы для модификации материалов

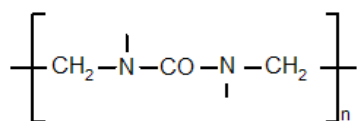
Студент гр.104412 Осадчий М.С.

Научный руководитель – Бурак Г.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Выпуск долговечных и эффективных материалов композиционного типа обеспечивает надежную работу конструкций и сооружений. Радикальным способом повышения долговечности материалов является применение композитов на полимерном вяжущем, и в частности с использованием карбаминоформальдегидных смол.

Смола КФЖ представляет собой продукт конденсации карбамида и формальдегида:



Карбаминоформальдегидная смола – это водная суспензия, представляющая цепочки олигомеров. Переход смолы из жидкого состояния в твердое (образование пеноизола) – это процесс “сшивки” соответствующих центров различных олигомеров, при этом образуются полимерные связи. Для смолы КФЖ этот показатель 87 – 93 %. КФЖ – однородная суспензия без механических включений. Массовая доля сухого остатка не менее 67 + 2 %. Время желатинизации при 100 °С 40 – 65с. Концентрация водородных ионов (рН) 7,5 – 8,7. Массовая доля свободного формальдегида не более 0,9 %. Предельная смешиваемость смолы с водой по объему, не менее 1:2.

КФЖ совместно со стабилизатором «Дортех» (многокомпонентный состав на основе серной кислоты, включающий пластификатор, гидрофобизатор, сульфоновые кислоты) применяется для укрепления грунтов. Для смешения грунта со смолой и раствором стабилизатора используются грунтосмесительные установки. Рабочий раствор стабилизатора «Дортех» готовят в емкости для воды, заливая туда необходимое количество стабилизатора и перемешивая обе жидкости в течение 3 – 5 мин. При использовании установок непрерывного действия грунт, вяжущее и рабочий раствор стабилизатора подаются в мешалку одновременно. При обработке грунта смолой с отвердителем: сначала загружают грунт, затем рабочий раствор стабилизатора, перемешивают в течение 10 – 20 с, после чего подают вяжущее с растворенным в нем отвердителем и окончательно перемешивают в течение 40 – 60 с.

Процесс отверждения смолы в смеси при температуре воздуха +20 °С начинается через 15 – 20 ч после введения в нее отвердителя. При увеличении концентрации отвердителя температуры воздуха процесс отверждения ускоряется.

Технологическая последовательность операций по укреплению обочин карбамидной смолой со стабилизатором «Дортех» методом смешения на месте следующая: после введения рабочего раствора стабилизатора «Дортех» в смесь вносят вяжущее. Вяжущее приготавливают путем перемешивания карбамидной смолы и хлористого аммония в течение 3 – 5 мин.

Для укрепления связных грунтов используется следующие вяжущие материалы – карбаминоформальдегидные смолы марки КФЖ в сочетании с добавкой нефти либо без добавок. Смолу применяют с добавкой отвердителя – хлористого аммония (20 % массы смолы) либо хлорного железа  $Fe_2O_3 \cdot 6H_2O$  1,5 – 3 % массы смолы. Количество смолы в смеси рассчитывается на сухое вещество.

Основной компонент для получения пеноизола – карбаминоформальдегидная смола. Также требуется небольшое количество пенообразователя и ортофосфорной кислоты в качестве катализатора отверждения. «Пеноизол» имеет свойства: плотность 10 – 18 (до 25) кг/м<sup>3</sup>, прочность на сжатие – не менее 0,05 (0,02) МПа, коэффициент теплопроводности – не более 0,038 (0,044) Вт/(м<sup>2</sup>С), воспламеняемость (В1), не горюч (Г2) и не образует расплава, под воздействием открытого огня разлагается (Д1) без выделения вредных веществ. «Пеноизол» имеет показатели: по водопоглощению за 24 часа по объему 6 – 8 % (ранее – до 20 %), по сорбционному увлажнению по массе 6 – 8 % (ранее – до 20 %). Установлены эксплуатационный ресурс – 78 лет и паропроницаемость – 0,23 мг/(м<sup>2</sup>Па).

Для получения модифицированных материалов нами использовалась карбаминоформальдегидная смола и гранитные отсева. К гранитным отсевам добавлялся отвердитель, затем КФЖ, смесь перемешивалась и формовались образцы, твердеющие на воздухе.

Таблица 1 – Составы образцов

№ п.п.	Гранитные отсева, г	КФЖ. Г	Отвердитель, г			Примечание
			НООС-СООН	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	
1	100	20	0,5			
2	80	20	1,0			
3	80	20	3,0			
4	80	20		5 мл		Вспенился состав
5	80	20			0,6	Твердение на поверхности
6	140	33			1,0	30% раствор хлорида железа (III)
7	140	33			2,0	Пластичный состав. Образцы средней прочности.
8	140	33			2,0	Пластичный состав. Прочные образцы.

В составах 1 – 4 гранитные отсева просеяны через сито с отверстиями размером: 0,63 мм. В составах 5 – 8 непросеянные отсева. Исследования показали, что добавка КФЖ с отвердителем FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O (состав № 8) приводит к повышению прочности и способствует повышению устойчивости материала. Композиция обладают достаточной жизнеспособностью после введения отвердителя.

УДК 666.266.6.016.2



## Разработка составов хрустальных стекол с пониженным содержанием PbO для получения сортовой посуды

Студентка гр. 8 Подосецкая Е.Ю.  
Научный руководитель – Кравчук А.П.  
Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

В настоящее время хрустальные стекла используют для изготовления ювелирных изделий и предметов роскоши. Это всевозможные хрустальные бокалы, хрустальные вазы, изделия для сервировки домашнего стола, изделия для флористики, интерьерного дизайна домов, офисов, учреждений, продукция, изготовленная по индивидуальным заказам с нанесением логотипов. Указанная область применения хрустальных стекол определяется их высокими декоративно-эстетическими характеристиками: блеском, прозрачностью, игрой света на гранях, характерным звоном и др., которые достигаются путем введения в составы стекол оксида свинца PbO до 24 мас.%. Однако при получении хрустала оксид свинца PbO, вводится в стекольную шихту дорогостоящим, токсичным компонентом – свинцовым суриком Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (вещество 1-го класса опасности). При использовании сурика свинцового на различных стадиях технологического процесса производства: при подготовке шихты, варке хрустала, а также гранении и полировке хрустальных изделий происходит выделение соединений свинца в атмосферу, что отрицательно влияет на условия труда и экологическую обстановку. Целью данной работы являлась разработка составов хрустальных стекол с пониженным содержанием оксида свинца, не уступающих по своим технологическим и эстетическим характеристикам свинцовому хрусталу.

Проектирование составов стекол проводилось на основании расчетного метода, предложенного Даувальтером, который дает возможность выбрать составы стекол, отвечающие предъявленным требованиям к хрустальным стеклам. Учитывая высокие парциальные коэффициенты показателя преломления и средней дисперсии PbO, для его замены было решено использовать оксиды BaO и CaO с парциальными коэффициентами, близкими к PbO. На основе полученных данных для синтеза хрустальных стекол была выбрана область системы Na<sub>2</sub>O – K<sub>2</sub>O – CaO – BaO – PbO – SiO<sub>2</sub>, ограниченная содержанием, мас. %: SiO<sub>2</sub> 53,0 – 58,0; PbO 5,0 – 11,0; BaO 13,0 – 21,0 при постоянном количестве остальных оксидов. В качестве обесцвечивателя и осветлителя вводили 0,5 мас.% Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Варка опытных стекол велась в фарфоровых тиглях в газовой пламенной печи при температуре 1450 °С, с выдержкой при максимальной температуре 1 ч. Визуальная оценка полученных образцов стекол показала, что они хорошо вырабатываются, характеризуются высокой прозрачностью, блеском и отсутствием цветовых оттенков.

Для определения кристаллизационной способности синтезируемых стекол проведена их термообработка в градиентной печи в интервале температур 650 – 1100 °С, в результате которой установлено, что все стекла характеризуются высокой устойчивостью к кристаллизации.

Проведены исследования свойств исходных стекол: плотности, температуры начала размягчения, ТКЛР и микротвердости.

Значения плотности опытных стекол при повышении в них содержания PbO и BaO увеличивались от 2620 до 2950 кг/м<sup>3</sup>. Это объясняется тем, что оксиды свинца и бария являются оксидами-модификаторами, которые заполняют полости в пространственном кремнекислородном каркасе, повышая плотность стекол.

Выявлено, что замещение PbO и SiO<sub>2</sub> на BaO в составах опытных стекол приводило к некоторому увеличению их ТКЛР от  $96,8 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$  до  $102,1 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . Это обусловлено большим значением парциального числа для BaO ( $200 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ ), в сравнении с таковым для PbO  $(130 - 190) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ .

Температура начала размягчения исходных стекол находилась в интервале 575 – 607 °С. Высокая температура размягчения характерна для стекол с наибольшим содержанием SiO<sub>2</sub>. Это обусловлено тем, что оксид кремния формирует кремнекислородный каркас, обеспечивая повышение степени связанности структурной сетки стекла и, как следствие, температуры начала размягчения.

При определении микротвердости установлено, что увеличение количества оксидов PbO и BaO, разрыхляющих кремнекислородный каркас стекла, в стеклах за счет SiO<sub>2</sub>, вызывает снижение их микротвердости от 4981 до 4576 МПа.

Таким образом, в результате проведенных исследований в системе Na<sub>2</sub>O – K<sub>2</sub>O – CaO – BaO – PbO – SiO<sub>2</sub> были синтезированы хрустальные стекла с пониженным содержанием оксида свинца, которые обладают высокими оптическими характеристиками (показателем преломления и дисперсией) и по значениям своих физико-химических свойств: плотности, ТКЛР и микротвердости приближаются к свинцовому хрусталу. Использование разработанных составов стекол позволит улучшить экологическую обстановку и снизить затраты в производстве хрустальных изделий.

УДК 666.295.7

### **Глушеные полуфриттованные глазури для декорирования плиток для полов**

Студент гр. 9 Полуянович Е.Ф.

Научный руководитель – Левицкий И.А.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Глазурные покрытия, наносимые на поверхность керамических плиток, образуют тонкий стекловидный слой, который значительно улучшает физико-химические свойства и декоративные качества готовой продукции. Гладкая поверхность глазурного слоя способствует увеличению механической прочности, химической стойкости, долговечности, гигиеничности керамических плиток и повышает их эксплуатационные свойства.

Целью данной работы является разработка рецептур сырьевых композиций для получения износостойких полуфриттованных матовых глушеных покрытий для декорирования плиток для полов; установление основных закономерностей изменения физико-химических свойств и структуры глазури рассматриваемой системы от состава; разработка технологических параметров получения глазури оптимального состава.

Основными компонентами, применяемыми для синтеза глазурных покрытий, являлись: полевой шпат вишневогорский (Россия), глинозем ГК-1 (Россия), белила цинковые марки БЦОМ (Россия), циркобит марки МО (Италия), колеманит (Турция), мел обогащенный (Республика Беларусь), каолин КН-83 (Украина) и глина Гранитик-Веско (Украина). В состав сырьевой композиции также входили алюмоборосиликатная фритта сложного химического состава № 141/А и алюмобариевосиликатная фритта № 131/3, используемые на ОАО «Керамин» для декорирования плиток для полов.

Синтез глазури осуществлялся в системе, включающей мас. %: полевой шпат – 25 – 37,5; фритты, взятые в соотношении 1:1 – 17,5 – 30; мел обогащенный – 2,5 – 15. В качестве постоянных компонентов входили волластонит, глинозем ГК-1, цинковые белила, циркосил, колеманит, глина и каолин. Их суммарное содержание составляло 35 мас. %.

Для нанесения глазури использовался полуфабрикат высушенной керамической плитки для полов, изготавливаемых на ОАО «Керамин» (г. Минск), температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) которого составляет  $(72 - 75) \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1}$ .

Опытные составы глазури готовились совместным мокрым помолом составляющих компонентов в шаровой мельнице до остатка на сите № 0063 0,1 – 0,5 %. Полученная суспензия с влажностью 30 – 40 % наносилась на предварительно высушенные образцы керамических

плиток с помощью фильеры с последующим обжигом при температуре  $1160 \pm 10$  °С в течение 50 мин в промышленной газопламенной конвейерной печи типа FMS–2550.

Все составы характеризовались качественным глазурным покрытием. По декоративно-эстетическим показателям для дальнейших исследований выбраны составы, поверхность которых была белой, высокой степенью и равномерностью глушения, шелковисто-матовой, достаточно стойкой против скользящего, с отсутствием сколов и других дефектов поверхности. Блеск и белизна покрытий, определенные на фотоэлектрическом блескомере ФБ–2 с использованием в качестве эталонов увиолевого стекла и баритовой пластинки, составили 11 – 22 % и 69 – 75 % соответственно.

ТКЛР синтезированных глазурей измерялся на электронном dilatометре DEL 402 PC фирмы «Netzsch» (ФРГ) в интервале температур 20 – 400 °С и составил  $(67,6 - 70,8) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , что способствует достаточно высокой прочности сцепления в системе «глазурь–керамика».

Микротвердость глазурных покрытий измерялась на приборе Wolpert Wilson Instruments (ФРГ) и ее значения составляли 5213 – 8089 МПа.

Покрытия являются химически устойчивыми по отношению к раствору № 3 по ГОСТ 27180 – 2001. Термостойкость глазури составляет 150 °С. Степень истираемости – 3.

Дифференциально-термический анализ глазурей выполнен с помощью дериватографа OD-102 фирмы «МОМ» (Венгрия). Кривая ДТА оптимального состава представлена на рисунке 1. Установлено, что в при температуре 115 – 125 °С эндоэффект связан с удалением физической влаги. При температуре 560 °С отмечается эндотермический эффект, обусловленный разложением каолинита. Диссоциация карбонатов характеризуется двумя эндоэффектами: при температуре 815 – 820 °С, обусловленными разложением магнезита, и при 860 – 865 °С – кальцита. Интенсивный экзоэффект при 910 – 915 °С свидетельствует о высокой интенсивности кристаллизационных процессов.

Рентгенограммы синтезированных глазурных покрытий снимались на дифрактометре ДРОН–3. Излучение  $\text{CuK}\alpha$ , детектор – сцинтилляционный счетчик. Запись производилась в диапазоне углов 14 – 70 °. В результате установлено, что фазовый состав глазурных покрытий представлен в основном альбитом, анортитом, ортоклазом и цирконом.

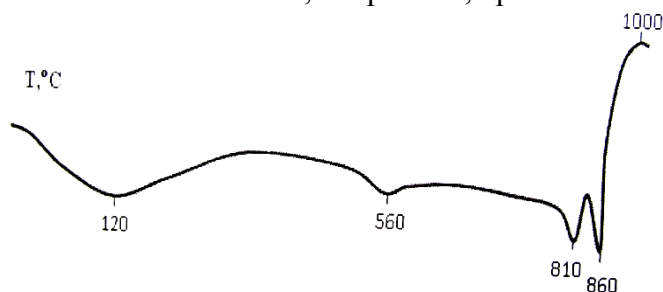


Рисунок 1 – Кривая ДТА оптимального состава

С увеличением содержания полевого шпата в шихте закономерно повышаются интенсивности дифракционных максимумов альбита и ортоклаза. Рентгенограмма оптимального

состава  
глазурного  
покрытия  
представлена

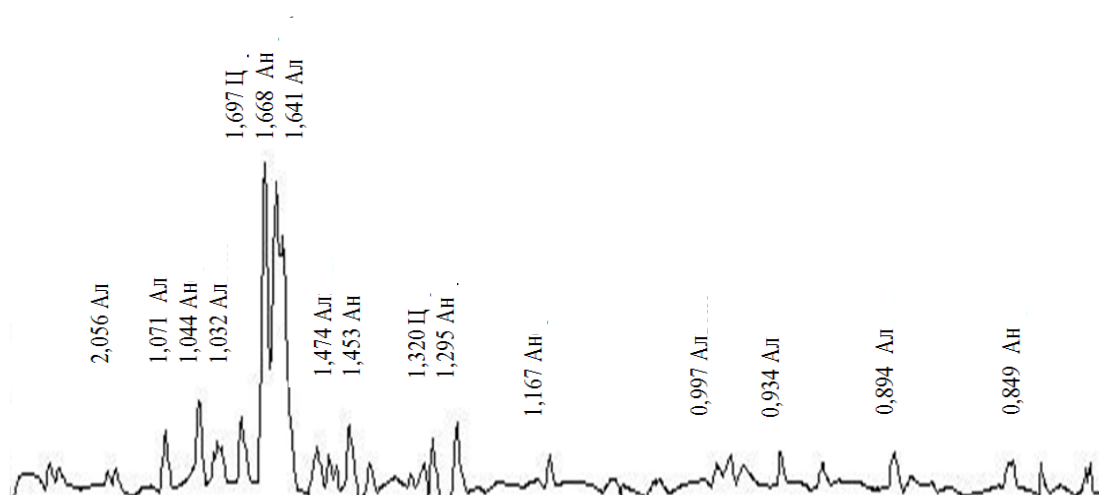


Рисунок 2 – Рентгенограмма оптимального состава глазурного покрытия:

Ал – альбит, Ан – анортит, Ц – циркон

ена на рисунке 2.

Микроструктура глазурных покрытий исследована с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV (Япония). Она представлена многочисленными, плотно прилегающими друг к другу кристаллическими образованиями с преимущественно призматическим и волокнистым габитусом. Размеры образований составляют от 3 до 10 мкм, более редки скопления кристаллов протяженностью 20 – 25 мкм. Преимуществом синтезированных составов является также отсутствие в сырьевых композициях компонентов первого и второго классов опасности.

УДК 541.18

### **Получение и применение нанодисперсных металлов**

Студент гр. 104052-12 Римашевский Д.С.

Научный руководитель – Шагойко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В последние годы большой интерес вызывают исследования, посвященные различным методам получения металлических наноматериалов и изучению их структуры и свойств. Основными характеристиками частиц, определяющие их свойства, при одинаковом химическом составе являются средний размер, дисперсия распределения по размерам, форма и состоянию поверхности – факторы, сильно зависящие от технологии их получения.

Наночастицы обладают повышенной поверхностной энергией, неупорядоченной структурой и поэтому проявляют большую активность в различных физико-химических процессах.

Большинство известных методов позволяют получить наночастицы с широким распределением по размерам. Контроль параметров реакции (время, температура процесса, скорость перемешивания, концентрация растворов и стабилизирующих добавок) позволяют сузить распределение по размерам получающихся наночастиц.

Для получения ультрадисперсных порошков металлов мы применяли термическое разложение соли щавелевой кислоты – оксалата железа (II), оксалата никеля (II), оксалата кобальта (II). Соли получены заранее взаимодействием солей металлов ( $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{CoCl}_2$ ,  $\text{NiCl}_2$ ) и щавелевой кислоты в водной среде в присутствии органического вещества (глицерин), причем предварительно смешивали раствор неорганической соли и органического вещества при их массовом соотношении (0,1 ÷ 2,0). Для перемешивания растворов использовали магнитную мешалку в течение 30 минут. Предварительное смешивание растворов соли и органического вещества обеспечивает формирование высокодисперсного порошка железа (кобальта) с частицами эллипсоидной формы. Методом электронной микроскопии исследовали размеры, форму и кристаллическую структуру исходных веществ и образовавшегося порошка никеля. Полученные частицы никеля обладали кристаллографической огранкой, но были склонны к агломерированию и имели размеры преимущественно в пределах 0,2 – 0,5 мкм. Полученную суспензию отстаивают в течение 3 – 4 часов и фильтруют. Осадок промывают дистиллированной водой до pH = 7, а затем этиловым спиртом. Полученный осадок сушат на воздухе при комнатной температуре до влажности 50 %. Разложение оксалатов проводилось при температуре не менее 650 °C в токе водорода с последующей пассивацией на воздухе.

Образование защитной оболочки на каждой наночастице является распространенным методом защиты и стабилизации наночастиц. Поскольку полностью исключить окисление наночастиц магнитных металлов практически невозможно, т.к. даже в исключительных условиях не удастся избежать фиксации на поверхности наночастиц кислорода. Поэтому при работе с наночастицами магнитных металлов необходимо иметь в виду, что на их поверхности всегда

имеется оксидная пленка. Полученные ультрадисперсные порошки металлов могут быть применены для создания подшипников скольжения. Для подшипников, обладающих высокими механическими и антифрикционными свойствами необходимо добавление порошков кобальта. Экспериментальные исследования механических свойств сталей, сплавов и композиционных материалов, полученных на основе металлических нанопорошков, показали, что предел их прочности и твердость в значительной мере превышают данные характеристики их крупнозернистых аналогов.

Необходимая чистота продукта и узкий спектр распределения частиц по размерам позволит применять ультрадисперсные порошки никеля, полученные методом разложения оксалатов никеля, в композиционных материалах.

УДК 666.112.7

### **Получение строительной лицевой керамики с добавлением отработанных ванадиевых катализаторов**

Студент 13 группы факультета ХТиТ Ровба Е.К.  
Научные руководители – Романовский В.И., Крышилович Е.В.  
Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

В Республике Беларусь широко распространено производство серной кислоты, в котором используются ванадиевые катализаторы. Только на ОАО «Гродно Азот» используется порядка 100 т в год этого катализатора и при этом от 34 до 70 т отработанных ванадиевых катализаторов (ОВК) подлежат замене. Разработка способов получения импортозамещающих материалов на основе продуктов комплексной переработки ОВК позволит не только существенно снизить себестоимость продукции, решить задачи ресурсосбережения, но и уменьшить нагрузку на окружающую среду.

Целью данной работы явилось исследование возможности использования ОВК для получения строительной лицевой керамики.

Усредненный состав ОВК, образующихся на ОАО «Гродно Азот», установленный на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-5610 LV, оснащенный системой элементного анализа EDX JED-2201, в пересчете на оксиды выражается следующим образом (мас.%):  $\text{SiO}_2$  – 40,43;  $\text{SO}_3$  – 25,47;  $\text{K}_2\text{O}$  – 10,95;  $\text{V}_2\text{O}_5$  – 7,49;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 2,71;  $\text{FeO}$  – 0,74;  $\text{ZnO}$  – 0,68;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,64;  $\text{CuO}$  – 0,41;  $\text{CaO}$  – 0,17; остальное – соединения углерода.

Рентгенофазовый анализ показывает, что фазовый состав исследуемого отхода представлен  $\alpha$ -кварцем, а так же сульфатами, полисульфатами и ванадатами вышеперечисленных металлов.

Из результатов дифференциально-термического анализа образцов ОВК следует, что при температурной обработке наблюдается несколько стадий разложения, сопровождаемых потерей массы и эндотермическими тепловыми эффектами. Первый эффект с максимумом при температуре 180 °С соответствует удалению физически связанной воды. Потеря массы – 8 %. Наличие тройного эндоэффекта в области температур 540 – 820 °С, видимо, связано с разложением сульфатов. Потеря массы – 16 %. При дальнейшем повышении температуры никаких превращений не зафиксировано.

В качестве глинистой составляющей при изготовлении опытной партии керамического кирпича использовалась глина месторождения «Осетки» (Республика Беларусь). Для отощения масс использовался шамот (бой кирпича), песок месторождения «Скуловичи» (Республика Беларусь), а так же отработанные ванадиевые катализаторы (ОАО «Гродно Азот»). Масса для изготовления образцов – шихта для кирпича рядового полнотелого, количество добавок ОВК сверх 100, %: серия А – 5, серия Б – 10, серия В – 15, так же для сравнения были сформованы образцы без добавок в шихту серия Г.

Результаты проведенных исследований показали, что образцы серии А имели неоднородную цветовую гамму, серии Б и серии В практически идентичны по цветовым характеристикам, несмотря на различное содержание отработанного ванадиевого катализатора – 10 % и 15 %. Таким образом, в исследуемом интервале для получения равномерно окрашенного черепка и получения устойчивых цветовых характеристик количество пигментирующей добавки следует брать в пределах, сверх 100 %: от 10 до 15. Цвет полученных лицевых строительных материалов по 1000-цветному атласу ВНИИ им. Д.И. Менделеева: 1 – малиново-красный; 2 – фиолетово-красный; 3 – фиолетовый.

УДК 661.862.27; 661.862.23

### **Влияние технологических параметров на кинетику выделения гидроксида алюминия из пересыщенного раствора алюмината натрия**

Студенты гр. 104118 Розенберг Е.В., гр. 104119 Комарова Т.Д.

Научный руководитель – Проворова И.Б.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Гидроксид алюминия  $Al(OH)_3$ , а также получаемый из него после прокалки  $\gamma-Al_2O_3$  находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Наиболее ценными считаются наноразмерные и ультрадисперсные порошки этих материалов. Для их получения применяют различные технологические процессы: размол в высокоскоростных мельницах, термолиз карбоната алюминия, золь-гель метод, химическое осаждение из водных растворов солей, плазмохимический метод и др. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, но для условий Республики Беларусь наиболее приемлем золь-гель метод. Это обусловлено тем, что в нефтехимической промышленности ежегодно образуется свыше 100 тонн отработанных никелевых и молибденовых катализаторов на основе  $\gamma-Al_2O_3$  и поглотителей (99 %  $\gamma-Al_2O_3$ ). Разработаны технологии получения никелевых концентратов и молибдата кальция, побочным продуктом которых является раствор  $NaAlO_2$ , разложение которого по золь-гель методу позволяет выделить в осадок гидроксид алюминия. В зависимости от условий осаждения можно получить порошки различной степени дисперсности.

В основе золь-гель метода лежит образование гидроксида алюминия в результате превращения высокодисперсных систем (золей) в рыхлые структуры (гели). Чаще всего это сводится к разложению  $NaAlO_2$  в пересыщенном растворе и выпадению гидроксида алюминия из раствора. Метод отличается простотой технологического процесса и позволяет получать порошки в размерном диапазоне от 0,01 до 50 мкм.

На дисперсность порошка оказывают влияние различные факторы: плотность исходного раствора, наличие затравок, скорость перемешивания раствора, температура процесса и другие. Для исследования влияния перечисленных факторов на дисперсность порошка гидроксида алюминия необходимо было на первом этапе определиться с исходной плотностью пересыщенного раствора и ее влиянием на кинетику выпадения из раствора гидроксида алюминия. Для приготовления растворов различной плотности смешивали пять порций поглотителя ( $\gamma-Al_2O_3$ ) со щелочью с соотношением 60:84. Смесь спекали при температуре 400 °С и растворяли в 450, 475, 500, 525, 550 граммах воды. В результате получали исходные растворы различной плотности, но с одинаковым количеством  $NaAlO_2$ . Растворы заливали в мерные цилиндры, плотно закрывали резиновыми пробками и визуальными наблюдали процесс зарождения кристаллов гидроксида алюминия. Фиксировали моменты появления кристаллов и изменение плотности раствора по мере их роста, что позволяло судить о кинетике выделения гидроксида алюминия.

Эксперимент показал, что плотность раствора существенно влияет на длительность индукционного периода, но скорость выпадения гидроксида алюминия и его количество к моменту завершения кристаллизации из пересыщенного раствора практически одинаковы для всех растворов. Экспериментально установлено, что наиболее приемлемым базовым раствором для проведения дальнейших экспериментов является раствор плотностью 1203 кг/м<sup>3</sup>.

Анализ дисперсности порошка гидроксида алюминия, полученного в результате самопроизвольного выпадения из раствора, показал, что метод самопроизвольного зарождения и роста кристаллов не обеспечивает необходимой дисперсности и учитывая его длительность, не может быть использован для получения ультрадисперсных и наноразмерных порошков. Размер частиц находился в пределах 0,5 – 1,5 мкм.

Как следует из эксперимента, наиболее быстро процесс зарождения и роста частиц Al(OH)<sub>3</sub> наблюдается в растворе, плотность которого составляет 1210 кг/м<sup>3</sup>. Этот раствор содержит в одном литре 168г Al(OH)<sub>3</sub> и он выбран в качестве исходного для исследования влияния технологических факторов на кинетику выпадения и дисперсность частиц Al(OH)<sub>3</sub>.

Для исследования влияния количества затравки на кинетику выделения гидроксида алюминия и дисперсность его частиц использовали два способа перемешивания насыщенного раствора. По первому способу перемешивание раствора осуществляли продувкой воздухом, а по второму – использовали механические мешалки.

В качестве затравки использовали суспензию, содержащую 20г Al(OH)<sub>3</sub> в 100 мл воды. Дисперсность частиц затравки находилась в пределах 0,5 – 1,5 мкм.

В пять емкостей объемом 1,5 литра заливали по 1 литру исходного раствора и в него добавляли 12,5; 25; 37,5; 50 % Al(OH)<sub>3</sub> в виде суспензии от массы гидроксида алюминия, содержащейся в исходном растворе. В раствор одной из банок затравку не добавляли. Банки размещали на основании установки для продувки раствора воздухом. В процессе перемешивания производили замеры плотности раствора, которая при первом замере, сделанном через сутки, уменьшалась пропорционально величине добавки. После выхода на постоянную величину плотности прекращали продувку, отфильтровали осадок, сушили его и взвешивали.

Как следует из результатов эксперимента, добавка затравки в количестве 12,5 – 37,5 % оказывает примерно одинаковое влияние на скорость выпадения гидроксида алюминия. На основании этого можно для дальнейших экспериментов принять величину добавки затравки равной 20 %. Отсутствие затравки и ее введение в количестве 50 % от растворенного Al(OH)<sub>3</sub> способствует выпадению большего количества гидроксида алюминия из раствора, но при отсутствии затравки процесс выпадения кристаллов затягивается во времени.

Анализ дисперсности порошка, полученного из растворов с различным количеством затравки, показал, что независимо от величины затравки порошок имеет одинаковые размеры сравнительно крупных кристаллов. Вероятно, это связано с характером перемешивания раствора воздухом. Для проверки этого предположения, провели эксперимент, в ходе которого осуществляли механическое перемешивание раствора.

Как следует из эксперимента, механическое перемешивание растворов с различным количеством затравки (20 и 50 %) ускоряет выпадение кристаллов гидроксида алюминия. Снижение плотности раствора при добавке 50 % затравки связано с его разбавлением водой суспензии. В дальнейшем процесс выпадения выравнивается для обеих величин добавок. Анализ дисперсности полученного порошка показал, что механическое перемешивание обеспечивает получение более мелкого порошка.

## Гидрометаллургический способ выделения соединений ванадия из отходов теплоэлектростанций

Студент 14 группы факультета ХТиТ Серикова Е.А.  
Научные руководители – Курило И.И., Крышилович Е.В.  
Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

В странах СНГ доля теплоэлектростанций (ТЭС), сжигающих мазут, в общем производстве электроэнергии составляет около 75 %, поэтому необходимость разработки способа промышленного использования отходов ТЭС, содержащих соединения ванадия, становится экономически актуальной и экологически обоснованной задачей. По содержанию ванадия в пересчете на  $V_2O_5$  промышленные отходы можно классифицировать следующим образом: до 10 % – бедные и выше 10 % – богатые. Ванадийсодержащие отходы ТЭС бывают следующих разновидностей: 1) зола – зольная часть сжигаемого мазута; 2) отложения – сложные оксидные соединения, формирующиеся на поверхностях нагрева и тесно связанные с ними; 3) шламы – осадок, выделяемый из промывочных вод при нейтрализации последних с помощью  $NaOH$ ,  $Ca(OH)_2$  и др.

Целью исследования было выделение соединений ванадия из шламов ТЭС гидрометаллургическим способом.

Для исследований были выбраны ванадийсодержащие зольные остатки, образующиеся при сжигании мазута на КУП «Витебский кондитерский комбинат «Витьба» (г. Полоцк), содержащие по данным EDX 4,56 мас.% ванадия в пересчете на  $V_2O_5$ .

Существенное различие растворимости в воде основных компонентов зольных остатков ТЭС обуславливает возможность использования гидрометаллургического способа их переработки. Основными стадиями этого способа являются: выщелачивание основных компонентов шламов и выделение ванадийсодержащих соединений из полученных растворов.

Для оптимизации стадии выщелачивания ванадийсодержащих компонентов из ванадийсодержащих зольных остатков определены особенности процесса их растворения в воде и в водных растворах  $H_2SO_4$ ,  $HCl$ ,  $NH_3 \cdot H_2O$ ,  $KOH$ , а также в растворах соляной или серной кислот, содержащих окислитель ( $H_2O_2$  или  $(NH_4)_2S_2O_8$ ). Результаты исследований показали, что наиболее предпочтительным растворителем являются растворы соляной кислоты. При увеличении концентрации соляной кислоты от 0,1 до 6,0 моль/дм<sup>3</sup> общая потеря массы золы увеличивается на 41 %, а степень выделения ванадийсодержащих компонентов из них – на 47 %, что связано с хорошей растворимостью образующихся хлоридов металлов. Установлено, что для оптимизации водопотребления процесс целесообразно проводить при соотношениях твердой и жидкой фаз (Т : Ж) от 1 : 4 до 1 : 5. Максимальная растворимость зольных остатков достигается в течение первых 10 мин. Повышение температуры не оказывает существенного влияния на скорость растворения зольных остатков и степень извлечения ванадия из них.

При длительном хранении растворов на воздухе происходит окисление  $V(III-IV)$  до  $V(V)$ , что приводит к гидролитическому осаждению соединений ванадия. Нагревание электролита существенно интенсифицирует процесс гидролитического осаждения и способствует увеличению степени выделения соединений ванадия из растворов выщелачивания. Для интенсификации процесса выделения и концентрирования ванадия из растворов выщелачивания было изучено влияние температуры и предварительного окисления предгидролизных растворов на скорость гидролитического осаждения  $V(V)$ .

Для получения предгидролизных растворов, содержащих преимущественно соединения ванадия (V), растворы выщелачивания зольных остатков ТЭС обрабатывали пероксидом водорода и персульфатом аммония. Установлено, что для выделения  $V_2O_5$  из растворов выщелачивания оптимальным является соотношение  $n(V_2O_5) : n(H_2O_2) = 1 : 2$  и  $n(V_2O_5) : n((NH_4)_2S_2O_8) = 5 : 1$ .



Экспериментально установлено, что при кипячении полученных растворов в течение 5 минут в осадок переходит практически весь ванадий, содержащийся в растворах выщелачивания. Дальнейшее увеличение содержания окислителя в растворе не приводит к росу степени выделения  $V_2O_5$ , а, наоборот, затрудняет извлечение продуктов окисления из растворов.

Использование в качестве окислителя персульфата аммония позволяет снизить температуру выделения соединений ванадия из растворов выщелачивания ванадийсодержащих шламов ТЭС. Установлено, что при использовании  $(NH_4)_2S_2O_8$  для полного выделения соединений ванадия окисленные растворы выщелачивания не обязательно кипятить, а можно выдержать при температуре 80 – 90 °С в термостате в течение 5 минут. Следовательно, поскольку стоимость персульфата аммония и пероксида водорода практически одинакова, то использование персульфата аммония в качестве окислителя является более целесообразным как с точки зрения ресурсосбережения и экологической безопасности, так и экономической эффективности.

Данные рентгенофазового анализа для выделенного термогидролитическим способом в присутствии окислителей осадка свидетельствуют о том, что пик наибольшей интенсивности ( $\Theta = 4,1$ ) соответствует  $V_2O_5$  с орторомбической кристаллической решеткой и параметрами  $a = 11,519$  А,  $b = 3,564$  А,  $c = 4,373$  А. Пик для  $\Theta = 12,1$  соответствует  $\alpha$ - модификации.

Из данных дифференциально-термического анализа выделенного  $V_2O_5$  следует, что при его температурной обработке наблюдается несколько стадий разложения, сопровождаемых потерей массы и эндотермическими тепловыми эффектами. Первый эффект с максимумом при температуре 120 °С соответствует удалению физически связанной воды. Потеря массы составляет 9,36 %. Наличие эндоэффекта в области температур 294 – 438 °С связано с потерей кристаллически связанной воды (потеря массы –  $10,69 \cdot 10^{-3}$  %). Наличие двойного эндоэффекта в области температур 438 – 552 °С связано с разложением сульфатов (потеря массы –  $4,74 \cdot 10^{-5}$  %). При повышении температуры более 670 °С происходит разложение  $V_2O_5$ .

Таким образом, проведенные исследования показали возможность использования гидрометаллургического способа для переработки ванадийсодержащих шламов ТЭС с использованием на стадии выщелачивания растворов соляной кислоты, содержащей окислителя. Выделение ванадийсодержащих продуктов из растворов выщелачивания целесообразно проводить термогидролитическим способом после их предварительного окисления пероксидом водорода или персульфатом аммония. Степень выделения соединений ванадия из золы предложенным способом составляет более 60 %. Содержание ванадия в выделенном из растворов выщелачивания продукте в пересчете на  $V_2O_5$  составляет более 40 % (мас.).

УДК 621.357.7

### Синтез ортованадата висмута в ультразвуковом поле

Студент 4 к. 2 гр. ф-та ИДиП Харитонов Д.С.

Научный руководитель – Курило И.И.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

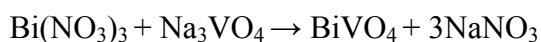
В настоящее время активно развивается направление синтеза экологически безопасных антикоррозионных пигментов для лакокрасочной промышленности. Одним из таких пигментов является ортованадат висмута ( $BiVO_4$ ), который может служить качественной заменой желтым пигментам на основе оксидов, хроматов и сульфатов свинца.

В основном безводные ванадаты металлов получают спеканием их оксидов, карбонатов или нитратов с  $V_2O_5$ , что ограничивает возможности управления процессом синтеза, требует высоких энергетических затрат, приводит к образованию побочных токсичных газообразных

продуктов. Для устранения указанных недостатков перспективным является применение сольвотермического метода синтеза ортованадата висмута из водных растворов электролитов, что позволяет управлять свойствами получаемого пигмента за счет варьирования условий синтеза.

Целью данной работы было изучение возможности интенсификации сольвотермического метода синтеза ортованадата висмута в ультразвуковом поле.

Синтез ортованадата висмута осуществляли сольвотермическим методом с использованием в качестве прекурсоров водных растворов ортованадата натрия ( $\text{pH} \approx 13$ ) и нитрата висмута ( $\text{pH} \approx 1$ ) по реакции:



В процессе синтеза  $\text{pH}$  поддерживался на уровне 6 и корректировался 1н. раствором гидроксида натрия. Общая продолжительность синтеза без учета времени сушки составила 9 часов.

По данным РФА полученный образец является однофазным и имеет структуру ванадата висмута. Данные сканирующей электронной микроскопии свидетельствуют о том, что сформированный предложенным методом пигмент характеризуется низкой степенью полидисперсности и состоит из сферических частиц. Исследование дисперсности полученного пигмента проводилось на лазерном микроанализаторе размеров частиц Analysette 22. Полученные данные показывают, что общий размер частиц составляет от 0,1 до 7 мкм. Основной фракцией являются частицы размером от 0,1 до 2 мкм (56,91 %). Изучение физико-химических свойств синтезированного пигмента показало, что значение  $\text{pH}$  10 %-ной водной суспензии  $\text{BiVO}_4$  близко к нейтральной. Истинная плотность порошка  $\text{BiVO}_4$ , установленная пикнометрическим методом, составляет 6720 кг/м<sup>3</sup>. Маслоёмкость полученного образца сравнима с маслоёмкостью высокоосновных хроматов цинка (30 – 35 г/100 г пигмента). Маслоёмкость II рода равна 56 г/100 г пигмента.

Для интенсификации процесса синтеза ортованадата висмута проводили ультразвуковую обработку водной суспензии ортованадата висмута, полученной при сливании прекурсоров, в ультразвуковой установке с пьезоэлектрическим излучателем ИЛ 100–6/1 при частоте колебаний 22 кГц. Время обработки составляло 7 минут. В результате был получен пигмент с размером частиц от 0,1 до 70 мкм. Основными фракциями являются частицы размером от 0,1 до 1 мкм (42,71 %) и от 20 до 50 мкм (48,44 %). Установлено, что маслоёмкость I и II рода на 73 – 40 %, а истинная плотность на 10 % меньше соответствующих характеристик для пигментов, полученных в отсутствие УЗ обработки. В полученном пигменте преобладает ярко-желтый цвет, он характеризуется высокой насыщенностью и красящей силой.

Таким образом, проведенные исследования показали, что использование ультразвука позволяет в пять раз интенсифицировать процесс сольвотермического синтеза ортованадата висмута. В результате синтеза получен желтый порошок с размерными и физико-химическими свойствами, отвечающими требованиям, предъявляемым к пигментам, применяемым в лакокрасочной промышленности.

УДК 628.349 : 66. 081.3

#### **Сорбенты на основе целлюлозосодержащих материалов**

Студент IV курса, ИДиП-2 Хваль А.С.

Научный руководитель – Хмылко Л.И.

Белорусский государственный технологический университет  
г.Минск

Очистка производственных сточных вод с использованием сорбентов широко применяется на промышленных предприятиях, особенно гидрометаллургической промышленности и гальванических производствах, на которых образуются сточные воды сложного химического состава. Наиболее эффективно поглощение и концентрирование из таких растворов различных элементов происходит при использовании ионитов на основе синтетических смол. В последнее время все большее внимание уделяется фосфорсодержащим катионообменникам, к особенностям которых относится высокое сродство поглощаемых металлов к фосфорильному кислороду. Однако приготовление таких ионитов требует значительных высоких материальных и энергозатрат, процесс прививки функциональных групп к поверхности синтетических полимеров сложен и трудоемок.

Для создания фосфорсодержащих сорбентов особый интерес представляет использование природных целлюлозосодержащих материалов. Большие запасы, возобновляемость, невысокая стоимость, хорошие емкостные характеристики, возможность утилизации, а в отдельных случаях и регенерации таких природных сорбентов делают их использование в промышленности экономически целесообразным.

В литературе [1, 2] значительно меньше сведений, касающихся химической модификации самой древесины и других целлюлозосодержащих природных материалов. Тем не менее, использование таких сорбентов для практических целей более эффективно по ряду причин. Во-первых, получение сорбентов на основе только чистой целлюлозы, как это предлагается в ряде работ, достаточно дорого, так как требует отдельных технологических стадий выделения целлюлозы из древесины. Во-вторых, древесные опилки, являясь отходом деревообрабатывающих производств, имеют удобную для ионитов форму, большое количество функциональных групп как в структуре целлюлозы, так и лигнина, являющихся центрами прививки функциональных ионообменных групп, низкую стоимость. Данные по химической модификации древесины с целью придания ей ионообменных свойств и о механизме сорбции катионов в структуре такого сорбента практически отсутствуют.

В настоящей работе изучено влияние различных модифицирующих составов на сорбционную емкость древесины и целлюлозы по катионам различных металлов.

Путем фосфорилирования целлюлозосодержащих отходов производств получены сорбенты и изучена их сорбционная емкость. В качестве основы для их получения использовались целлюлоза, льнотреста, древесные опилки хвойных пород деревьев фракционного состава 1 – 5 мм с влажностью 8 – 10 %. Основными стадиями получения сорбентов были: пропитка исходного материала водными растворами фосфорной кислоты и мочевины при их различном массовом соотношении; термообработка материала при 140 – 160 °С; отмывание полученного материала до значения рН промывных вод 6,0 – 6,5; сушка.

Обменно-сорбционную емкость полученных сорбентов по катионам различных металлов исследовали в статических условиях из растворов солей различной концентрации. Содержание катионов металлов в растворе определяли трилонометрическим титрованием в аммиачной среде, в качестве индикатора использовали эриохром черный Т.

Нами изучены различные модифицирующие составы на основе минеральных и органических кислот, пероксида водорода и азотсодержащих соединений с целью придания ионообменных свойств целлюлозе и древесине. В качестве азотсодержащих соединений применялись соли аммония и фосфорной кислоты, мочевина. Их роль сводилась к уменьшению деструктурирующего действия компонентов модифицирующего раствора. Данные по сорбционной емкости таких ионитов по катионам магния представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сорбционная емкость древесины по катионам  $Mg^{2+}$ , в зависимости от состава модифицирующего раствора

Состав пропиточного раствора	СОЕ, ммоль-экв/г
$H_2O_2$	0,2

$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{HCl}$	0
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{HNO}_3$	0,3
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{NaOH}$	0,1
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{CH}_3\text{COOH}$	0,05
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	0,1
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_3\text{PO}_4$	2,4
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$	1,4

Наиболее эффективно при получении сорбентов проявила себя мочеви́на ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ), которая, как нами установлено, а также известно из литературных данных [2], с минеральными кислотами дает соли различного состава и оказывает наибольшее нейтрализующее действие при фосфорилировании древесины и целлюлозы.

Окисление древесины пероксидом водорода приводит к формированию на ее поверхности карбоксильных функциональных групп, однако сорбционная емкость у полученных материалов небольшая. При использовании для модификации различных кислот, кроме фосфорной, также получают сорбенты с невысокой емкостью. Это можно объяснить особенностями фосфорной кислоты, заключающимися главным образом в ее многоосновности и сильной водоотнимающей способности, а также отсутствию у нее окислительных свойств. Перечисленные свойства приводят к формированию в структуре древесины достаточно устойчивых фосфорсодержащих сложных эфиров. Причем, по нашим данным, в структуре такого сорбента в основном присутствуют двухосновные фосфатно-эфирные группы  $\text{PO}(\text{OH})_2$ . При обработке только фосфорной кислотой без мочевины древесина и целлюлоза окрашиваются в черный цвет и становятся очень хрупкими, что свидетельствует об их деструкции, обусловленной дегидратацией и разрушением пиранового кольца. Дополнительное окисление сорбента пероксидом водорода, вероятно, приводит к разрушению части фосфатных групп на поверхности, и сорбционная емкость по ионам магния снижается. Проведенные исследования позволили выбрать оптимальный состав модифицирующего раствора – массовое соотношение «мочевина: фосфорная кислота» = 1 : 1. Установлено, что фосфорилирование древесины, лигнина, целлюлозы и льнотресты фосфорной кислотой в присутствии мочевины приводит к прививке 3 – 9 масс.% фосфора. Таким образом полученные результаты показывают перспективность использования сорбентов на основе фосфорилированной целлюлозы и древесины для очистки промышленных сточных вод от катионов металлов.

### Литература

- 1 Бытенский В.Я., Кузнецова Е.П. Производство эфиров целлюлозы / под ред. Н.И. Кленковой. Л., 1994. 208 с.
- 2 Байклз Н. Целлюлоза и ее производные / Н. Байклз, Л. Сегал; под ред. З.А. Роговина. М., 1974. Т. 1. 504 с.

УДК 666.11.01, 620.193.4

### Разработка составов кислотостойких стекол для активной части стеклянного электрода

Студентка 5 курса 8 группы Чолик Е.С.  
 Научный руководитель – Трусова Е.Е.  
 Белорусский государственный технологический университет  
 г. Минск

В последнее десятилетие бурно развивается физико-химическая область исследований – ионометрия, основная задача которой – разработка и изучение различного рода ионоселективных электродов, обратимых по отношению к большому числу катионов и анионов. Кроме того, ионометрия – это также и практика использования электродов в химии, биологии, почвоведении, медицине, геологии, геохимии и технологии, в частности для автоматического контроля производственных процессов. Электроды с твердой мембраной подразделяются на стеклянные электроды, электроды с кристаллической мембраной и гомогенные или гетерогенные осадочные мембранные электроды. Стеклянные электроды служат для контроля pH растворов электролитов, применяемых в различных областях науки, промышленности, сельского хозяйства и здравоохранения [1]. Технологические процессы в химической, пищевой, гидрометаллургических, нефтеперерабатывающих и других производствах контролируются и регулируются по величине pH растворов. В сельском хозяйстве плодородность почв и ее пригодность для тех или иных культур определяется значением pH. В медицине pH крови и спинного или головного мозга служит важным фактором при диагностировании и лечении различных заболеваний.

Создание кислотостойких стекол для изготовления рабочей части стеклянного электрода pH-метрических приборов на основе силикатных систем является весьма проблематичной задачей. Используемые в настоящее время такие стекла быстро теряют свои электродные свойства в период эксплуатации, не обеспечивая необходимый срок службы электрода. Подобное явление обусловлено тем, что силикатные стекла характеризуются низкой устойчивостью к кислотам, особенно к растворам HF.

По характеру воздействия на них растворов HF и фторидов силикатные стекла относятся к реагентам второй группы, устойчивость которых в 100 раз ниже, чем для реагентов первой группы (воде и кислотам). Растворы ряда кислот, а в частности HF и фториды разрушают непосредственно кремнекислородный каркас стекла, в результате чего полностью удаляются поверхностные слои. При этом скорость травления остается постоянной во времени. На таком механизме основан принцип травления стекол. Растворы HF активно взаимодействуют не только с кремнекислородной основой, но и со щелочными и другими модификаторами. В результате чего наступает быстрое разрушение стекла. Среди соединений, которые могут повысить устойчивость силикатных стекол к фторсодержащим средам, особое место занимает  $ZrO_2$ , повышающий химическую устойчивость практически ко всем реагентам. Однако, введение  $ZrO_2$  более 2 мол. % в электродные стекла приводит к ухудшению их электродных характеристик. Устойчивость к фторсодержащим средам повышает и оксид олова [2]. Кроме того электродные стекла должны хорошо спаиваться с корпусным стеклом ( $TKLP\ 97 \cdot 10^{-7}\ K^{-1}$ ), иметь электрическое сопротивление при 25 °C и толщине мембраны 0,3 мм менее 1000 Ом и не допускать кристаллизации при обработке на газовой горелке.

В качестве основы для получения электродных стекол выбрана система  $SiO_2 - SnO_2 - ZrO_2 - K_2O - La_2O_3 - Li_2O$ ,  $ZrO_2$  и  $SnO_2$ . Синтез стекол осуществлялся в корундизовых тиглях при 1300 °C в газопламенной печи с выдержкой при максимальной температуре 1 час. Все стекла хорошо проварились и осветлились. Исследование кристаллизационной способности стекол позволило установить, что ряд составов стекол склонны к кристаллизации. Объемная кристаллизация наблюдается у данных стекол в интервале температур 690 – 955 °C. В интервале температур 980 – 1000 °C практически у всех стекол наблюдается поверхностная пленка.

Для стекол содержащих 2 мас. %  $SnO_2$  и 2 – 4 мас. %  $ZrO_2$  наблюдается устойчивость стеклообразного состояния в интервале 940 – 1000 °C, что позволяет их использовать при производстве стеклянных электродов. Повышение содержания оксида олова и  $ZrO_2$  до 8 % приводит к появлению поверхностной корки и пленки, что согласуется с известными данными: оксиды  $SnO_2$  и  $ZrO_2$  широко используются в качестве глушителя при производстве глазурей и эмалей.

Температура начала размягчения ( $t_{н.р.}$ ) определяется структурой стекла, количеством мостиковых и немостиковых связей в кремнекислородной сетке, силой связи анион–катион и является одной из важнейших характеристик стекла, позволяющая установить степень их плавкости и определяющая во многих случаях их области практического применения. Знание температуры начала размягчения для электродных стекол позволяет судить о том, как будет вести себя данное стекло при термообработке. Для исследуемых стекол она изменяется в пределах 530 – 635 °С.

Для электродных стекол значение ТКЛР играет важную роль при спаивании электродного стекла с корпусным стеклом (в данном случае стекло марки С 360), имеющим ТКЛР (97 – 98) · 10<sup>-7</sup> К<sup>-1</sup>. Протекание таких процессов возможно лишь при использовании материалов, хорошо соответствующих друг другу по значениям ТКЛР, разница которого для спаиваемых материалов не должна превышать 10 – 15 %. Значение ТКЛР в значительной мере зависит от прочности связей между ионами и элементами структуры, силы их взаимодействия, плотности упаковки. Исследуемые стекла имеют значения коэффициента термического расширения в пределах (94,18 – 104,87) · 10<sup>-7</sup> К<sup>-1</sup>.

Плотность определили по методу гидростатического взвешивания. Этот метод основан на нахождении объема воды, вытесненной образцами стекол при погружении их в воду. Для расчета плотности определили массы образцов на воздухе и погруженных в воду. Как показали экспериментальные данные, исследуемые стекла имеют значения плотности в пределах 2594 – 2810,39 кг/м<sup>3</sup>.

Химическую устойчивость проверяли на цилиндрических образцах по потерям массы путем выдержки их в растворе фтористоводородной кислоты с концентрацией 1000 мг/л. Массу измеряли при выдержке в растворе в течение 1, 3, 5, 10, 15, 21, 28 сут. После каждого измерения измеряли рН раствора и готовили новый раствор, т.к. HF со временем улетучивается или расходуется при взаимодействии стекла с раствором. Потери массы при выдержке 28 сут. 11,64 – 17,37 %.

По совокупности исследования физико-химических свойств выбран оптимальный состав, наиболее соответствующий требованиям, предъявляемым к разрабатываемым составам кислотостойких стекол для изготовления активной части стеклянного электрода.

### Литература

- 1 Шульц, М.М. Стеклянный электрод. Теория и применение. / М.М. Шульц. – Соровский образовательный журнал. – 1998. – Т.8 №1. – С. 33 – 39
- 2 Парфенов, А.И. Электродные свойства стекол систем Na<sub>2</sub>O–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–ZrO<sub>2</sub>–SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SnO<sub>2</sub>–SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O–ZrO<sub>2</sub>–SnO<sub>2</sub>–SiO<sub>2</sub> / А.И. Парфенов, Л.П. Филина. – Физика и химия стекла. – 1977. – Т.3 №2. – С. 161–167.
- 3 Бекешев, К. Электродные свойства стекол системы Na<sub>2</sub>O–SnO<sub>2</sub>–SiO<sub>2</sub> / К. Бекешев. // Физика и химия стекла. – 1976. – Т.2, №6. – С. 536 – 542.

УДК 546.824-31

### Изучение процесса образования и старения гидрозоля диоксида титана

Студент гр. 104211 Шкульков М.С.

Научный руководитель – Слепнева Л.М.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

При получении нанопорошков по золь-гель технологии необходимо контролировать основные параметры образующего промежуточного гидрозоля, поскольку от них зависит

размер частиц порошка. К ним относятся, в частности, начальная концентрация соединения, из которого образуется золя.

Нами была изучена скорость образования гидрозоля диоксида титана в зависимости от начальной концентрации титансодержащего прекурсора, а также скорость его старения. Гидрозоль диоксида титана был получен гидролизом тетрахлорида титана в водной среде. Тетрахлорид титана предварительно растворяли в изобутиловом спирте и постепенно прибавляли к воде при температуре 80 °С и перемешивании на магнитной мешалке. Гидролиз тетрахлорида в органическом растворителе проходит более спокойно при комнатной температуре, в то время как проведение водного гидролиза в отсутствие спирта требует охлаждения. Известно, что тетрахлорид титана способен подвергаться алкоголизу при контакте со спиртами. Время появления видимых признаков образования коллоидного раствора в виде опалесценции зависело от начальной концентрации титансодержащего соединения, то есть наблюдался некоторый индукционный период, после которого образование золя становилось заметным визуально. Таким образом, оказалось возможным варьировать момент образования гидрозоля изменением начальной концентрации тетрахлорида титана. Чем больше была начальная концентрация, тем быстрее наблюдалось образование золя, что находилось в соответствии с литературными данными. Ранее было показано, что с падением пересыщения раствора скорость образования золя резко падает.

Частицы образовавшегося золя со временем агрегируют, это называется старением золя. Старение золь приводит к снижению степени дисперсности, благодаря агрегации частиц, причем агрегация может происходить как за счет коагуляции, так и за счет кристаллизации частиц золя. Было показано, что коллоидные частицы в свежеприготовленных золях имеют аморфную структуру. По мере старения золь происходит процесс кристаллизации и постепенного упорядочения, причем скорость образования кристаллов различна у различных золь.

Процесс старения гидрозоля диоксида титана изучали спектрофотометрически. Поскольку диоксид титана относится к не поглощающим свет, так называемым «белым золям», оптическая плотность определяется не поглощением раствора, а его рассеянием. С помощью фотоколориметра концентрационного КФК-2 были экспериментально определены оптические плотности образца гидрозоля диоксида титана в зависимости от времени при длине волны 440 нм (таблица 1). Измерения проводились в кварцевых кюветах длиной 5 см.

Таблица 1 – Зависимость оптической плотности золя диоксида титана от времени

Время, дни	10	11	12	14	18	19	20	23
D	0,34	0,39	0.43	0.55	0,90	0,96	1,10	1.40

Как видно из таблицы 1 с течением времени оптическая плотность раствора возрастала, что свидетельствует об укрупнении частиц гидрозоля и падении его агрегативной устойчивости, причем скорость агрегации со временем увеличивалась. При минимальном пересыщении раствора титансодержащим прекурсором опалесценция раствора появлялась только на 10-й день, а образование осадка наблюдалось примерно на 25 день с момента приготовления коллоидного раствора (рисунок 1).

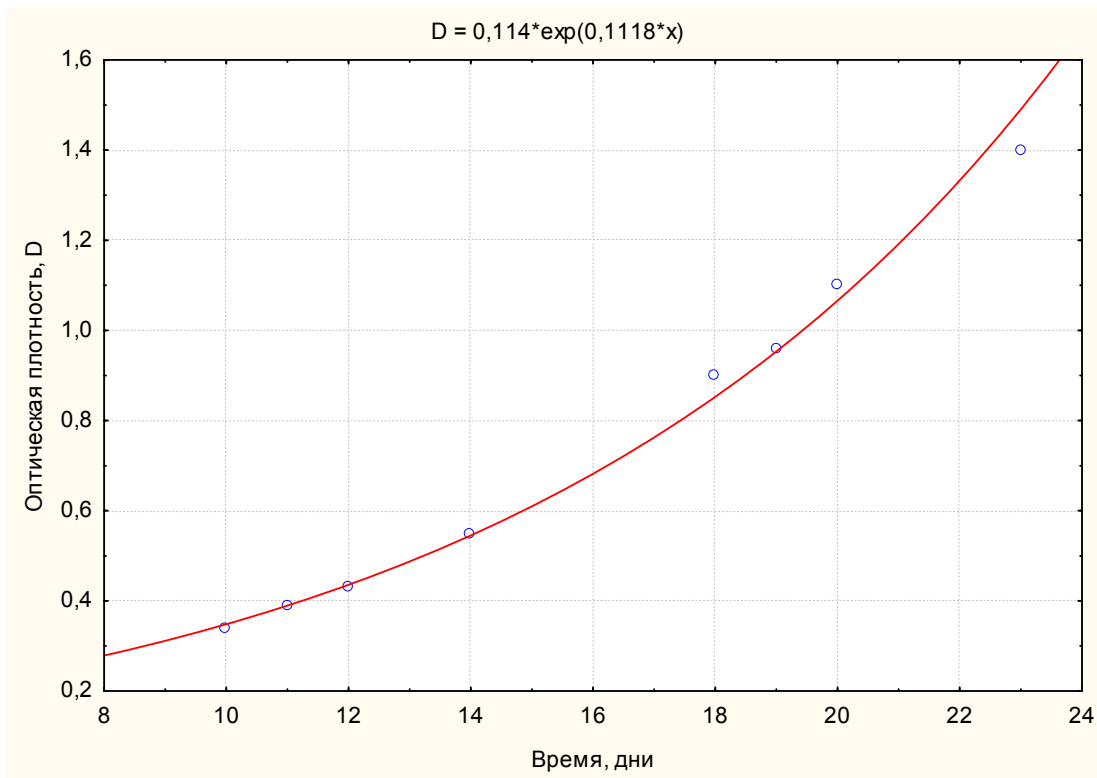


Рисунок 1 – Зависимость оптической плотности от времени старения гидрозоль диоксида титана





**Молодёжные инновационные проекты.  
Организация и управление  
инновационными предприятиями при  
университетах**

**Создание производства высокотехнологичных медицинских изделий-кардиохирургических эндопротезов (стент-графтов)**

Студентка гр.113718 Богданчук К.А.  
Научный руководитель – Алексеев Ю.Г.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Профилактика и лечение болезней системы кровообращения - одна из приоритетных задач здравоохранения любой индустриально развитой страны. В развитых странах мира заболевание сердца и артерий - причина смертности более 1/3 мужского населения. В Беларуси на долю болезней системы кровообращения приходится более 50 % летальных исходов и около 50 % инвалидностей. Зафиксирована устойчивая, четко выраженная тенденция возрастания смертности у людей трудоспособного возраста.

Одним из методов лечения ИБС является реваскуляризация миокарда и, в частности, метод эндоваскулярного стентирования. Стентирование обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами лечения ИБС: меньшая травматичность, хорошая переносимость процедуры больными, не требует остановки сердечной деятельности в процессе операции.

При неконтролируемом высоком артериальном давлении сохраняется высоким риск расслоения или разрыва стенки сосуда. Стент устанавливается таким образом, что он покрывает изнутри участок сосуда от точки расположенной выше места аневризмы и до места ниже аневризмы сосуда. Стенка графта более упругая и кровь движется по нему без воздействия на стенку аневризматически расширенного сосуда. Обычно эндоваскулярные (внутрисосудистые) стент-графты применяются для лечения аневризмы брюшной или грудной аорты, и реже для лечения аневризмы других локализаций.

Данный эндопротез производимый ранее только в США, Великобритании и Германии, представляет собой трубочку из непроницаемой для крови биосовместимой ткани, армированную сложной проволочной конструкцией из сверхупругого сплава. При операции искусственный сосуд вводится в сжатом состоянии в аорту. Оказавшись внутри повреждённого участка, расправляется до нормального диаметра, то есть до 2 – 3 сантиметров, и принимает на себя нагрузку. Больного, только что балансировавшего между жизнью и смертью, после такой имплантации обычно выписывают из клиники уже через несколько дней. Стент-графт наукоёмкое изделие и цена одного эндопротеза вместе с системой доставки – специальным зондом – доходит до 15 тысяч евро. Поэтому объем государственных закупок таких средств за рубежом ограничен и не соответствует потребностям отечественного здравоохранения, а производства аналогов в Беларуси нет. Совместными усилиями учёных БНТУ и ученых РНПЦ «Кардиология» разработана оригинальная система аортального стентграфта и технология доставки стент-графта (рисунок 1), которые, по мнению специалистов, превосходят зарубежные аналоги.



Рисунок 1 – Аортальный стент-графт и система его доставки

В БНТУ также разработана технология изготовления проволочных коронарных стентов с улучшенной радиальной устойчивостью и гибкостью. Разработана математическая модель

для расчета конструкции проволочных стентов с учетом динамики их работы в сосуде и физико-механических свойств материала стента.

Технология и оборудование по производству стентов запатентована в РБ. Решение более технологично, что позволяет ускорить процесс производства и снизить расходы, а система доставки гораздо удобнее для хирурга. Уже разработана документация на саму систему и технологическую оснастку, изготовлены опытные образцы и проведены лабораторные испытания. В июне Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», осваивающий выпуск стентграфтов, изготовил 20 комплектов таких систем, которые переданы в РНПЦ «Кардиология» для клинических испытаний. Затем будет организовано массовое производство. Данное производство будет удовлетворять не только внутренний спрос, но и поставлять свою продукцию на экспорт.

В настоящее время разработан собственный дизайн матричных стентов и экспериментально отработаны требования к технологическому процессу лазерной резки стентов. Отработана технология очистки поверхности стентов после лазерной резки, заканчивающаяся электрохимической обработкой. Разработана технология нанесения на стенты биосовместимого покрытия (алмазоподобный углерод).

УДК 002.05

### **Особенности информационного обеспечения инновационной деятельности в условиях современной экономики**

Аспирант Войтешонок М.А.

Научный руководитель – Парамонова И.С.

Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

г. Минск

В условиях современной экономической системы информация представляет собой не только тактический, но и важный стратегический ресурс инновационного процесса, обеспечивающий субъектам хозяйствования преимущество перед конкурентами. Как тактический ресурс информация дает возможность организациям принимать экономически обоснованные решения по управлению процессом в условиях ограниченности ресурсов. Как стратегический ресурс, она является основой для маневра, позволяет отслеживать и прогнозировать изменения (накапливаемые и происходящие во внутренней и внешней средах предприятия в ходе осуществления инноваций), оценивать возможности инноваций и существенно снижать риск и неопределенность в принятии управленческих решений [1]. Как показывает мировая практика, информационная среда оказывает существенное влияние на результативность и скорость протекания инновационных процессов.

Информационное обеспечение инновационного процесса представляет собой сложный процесс сбора, интегрирования, обработки информации об инновационных процессах и обеспечение открытого доступа к ней заинтересованных субъектов хозяйствования. При этом предполагается предоставление сведений об инновационных проектах, финансовых ресурсах, которые могут быть привлечены для реализации проектов, научных организациях и спектре предоставляемыми ими услуг, патентном фонде и др. Создание и поддержание информационных систем целесообразно реализовать на базе современных интернет-технологий, обеспечивающих их гибкость и общедоступность.

На сегодняшний день в Республике Беларусь создана относительно развитая система информационной поддержки инновационного процесса, позволяющая решать такие важные задачи как:

– предоставление субъектам хозяйствования комплекса информации, необходимой для осуществления их инновационной деятельности;

- ведение и актуализация банков данных научно-технических разработок по приоритетным направлениям научно-исследовательской деятельности;
- обеспечение доступа заинтересованных субъектов хозяйствования к отечественным и зарубежным информационным базам и информационным ресурсам в области инновационной деятельности;
- поиск и отбор инновационных проектов, предложений по производству наукоемкой продукции для субъектов хозяйственной деятельности, заинтересованных в их финансировании.

Примером эффективного инструмента информационной поддержки инновационного процесса в Республике Беларусь выступает Интернет-портал межвузовского центра маркетинга НИР ([www.icm.by](http://www.icm.by)), представляющий собою интернет-платформу, где собирается и систематизируется информация по основным направлениям научной деятельности организаций Минобразования. В частности, на платформе представлены базы данных:

- технологических предложений вузов на различных стадиях завершенности. Для удобства поиска реализована разбивка технологических предложений по рубрикам (тематическим направлениям), организациям и текущим стадиям завершенности;
- информации о научно-исследовательской деятельности в университетах, в том числе о функционирующих при них научно-исследовательских институтах, аккредитованных лабораториях;
- информационно-методических материалов по охране объектов интеллектуальной собственности (размещены перечни тематических публикаций, научных, учебных и справочных изданий, 230 законодательных актов и др.).

Вместе с тем, для обеспечения эффективности инновационного процесса в нашей стране необходимо дальнейшее совершенствование системы информационной поддержки по следующим направлениям:

- 1) повышение эффективности использования имеющихся информационных ресурсов научно-технической информации (НТИ);
- 2) совершенствование технологических процессов сбора, обработки и хранения НТИ;
- 3) внедрение современных сетевых технологий для свободного доступа субъектам инновационной деятельности к отечественным и зарубежным ресурсам НТИ;
- 4) подготовка и привлечение высококвалифицированных специалистов для работы с ресурсами НТИ.

Сформированное должным образом система информационного обеспечения инновационного процесса позволяет не только наладить тесные взаимосвязи между предприятиями и научной средой, но и существенно влияет на инновационную восприимчивость субъектов реального сектора экономики, что в конечном итоге позволяет им занимать устойчивое положение как внутреннем, так и зарубежных рынках.

### **Литература**

1. Инновационный менеджмент. Учебник. Под редакцией С.Д. Ильенковой-М.: ЮНИТИ, 2006 г.

**Организационная модель инновационного кластера по использованию вторичных ресурсов на базе МТФ БНТУ**

Магистрант Ласицкая Е.А.  
Научный руководитель – Парамонова И.С.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В настоящее время существует ряд проблем, связанных с современными технологиями и способами переработки вторичных ресурсов, которые содержат в себе большие инновационные возможности.

Механико-технологический факультет белорусского национального технического университета в рамках выполнения НИОК(Т)Р на кафедрах и в своих научно-исследовательских и испытательных лабораториях проводят исследования по вопросам переработки и использования вторичных ресурсов. Разрабатывают технологии переработки отходов, содержащих цинк, никель, хром и другие металлы. За период своей деятельности были установлены связи с Молодечненским заводом порошковой металлургии, Бобруйским машиностроительным заводом им. В.И. Ленина, Опытно-механическим заводом г. Фаниполь и другими.

Для ускорения передачи результатов исследований и эффективного использования новых технологий и материалов в реальном секторе экономики целесообразно создавать и развивать новые схемы взаимоотношений между представителями науки и производства.

Одной из современных, доказавших свою эффективность схем является создание кластера, включающего в свой состав организации и предприятия различной ведомственной подчиненности, осуществляющих деятельность в разных отраслях национальной экономики страны. Они обеспечивают согласованное взаимодействие субъектов хозяйствования по переработке и использованию вторичных ресурсов.

Модель инновационного кластера должна включать в себя организации и предприятия, которые выполняют полный цикл работ по сбору, сортировке, транспортировке отходов, переработке и их использованию.

Для финансирования реализации инноваций в кластер необходимо привлечь банки, кредитные организации, венчурные фонды.

В целях стимулирования инновационной активности в кластер целесообразно включение вузов. Вузы, как правило, выступают источником инноваций, генератором новых идей, либо кузницей кадров, повышения их квалификации, без которых инновационный путь развития для местного бизнеса затруднителен.

В такую структуру также целесообразно включить центр трансфера технологий, который осуществляет следующие функции:

- проведение маркетинговых и других информационно-аналитических работ в сфере использования вторичных ресурсов и экологии;
- поиск разработчиков для выполнения работ по интересующей проблеме заказчика;
- представление интересов заказчиков на национальных и международных мероприятиях (в том числе изготовление рекламных материалов);
- поиск партнеров на территории Беларуси по совместному ведению бизнеса в области переработки отходов и др.

Принципиальным отличием инновационного кластера предприятий по переработке отходов является принадлежность предприятий, связанных с процессами жизненного цикла отходов, к разным отраслям. Объединение партнёров в рамках данного кластера происходит изначально на межотраслевой основе. Отходы, образующиеся в одной отрасли, могут использоваться в качестве вторичных ресурсов как внутри этой же отрасли, так и в других

отраслях. Движение вторичных ресурсов между отраслями способствует межотраслевой интеграции знаний и появлению принципиально новых инновационных решений.

При кластерном подходе на первый план выступают уже не экологические аспекты образования отходов, а экономические возможности их комплексного использования и переработки в товарный продукт (строительные материалы, почвогрунты). При этом экологические вопросы решаются уже в автономном режиме за счет планируемого сокращения количества отходов. В результате можно ожидать усиления тенденции по улучшению состояния окружающей среды и качества жизни людей.

УДК 658

### **Аутсорсинг непрофильных видов деятельности ВУЗов**

Аспирант Цвирко М.В.

Научный руководитель – Парамонова И.С.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В настоящее время в отечественной системе высшего образования становится актуальной концентрация основного внимания на развитии материальной базы, модернизации инфраструктуры, адаптация к новым рыночным условиям с целью подготовки высококвалифицированных специалистов. Университеты на данный момент занимаются помимо основной деятельности (образовательной), также хозяйственной, выставочной. Чтобы сотрудники университета сосредоточили внимание на повышении качества знаний, навыков студентов, непрофильные виды деятельности ВУЗы могут передать на исполнение инновационным предприятиям при университетах, то есть применить аутсорсинг.

Накопленный отечественный и зарубежный опыт свидетельствует, что современный управленческий и организационно-экономический механизм аутсорсинга имеет значительный потенциал для обеспечения организационной устойчивости и эффективности хозяйствующих субъектов как в промышленных отраслях, так и в сфере услуг, в том числе в образовании. Аутсорсинг может служить не только эффективным инструментом повышения качества и снижения затрат на непрофильную деятельность университета, но способствовать оптимизации его структуры, системы управления и повышению качества основных процессов за счет передачи ряда функций и бизнес-процессов иным предприятиям [1].

С целью приспособления высших учебных заведений к условиям конкурентного рыночного пространства, улучшению качества оказываемых услуг, не только в основной деятельности, но и для непрофильных видов деятельности университетов, увеличения спроса на результаты деятельности ВУЗов, улучшения контактов университетов с внешней средой, по лучению конкурентных преимуществ необходимо пересматривать существующие способы и формы функционирования, рассматривать варианты применения новых моделей управления, перехода на аутсорсинг. Происходит поиск и формирование

К основным факторам, способствующим широкому применению аутсорсинга в практической деятельности высших учебных заведений, относят:

- необходимость сосредоточиться на основной научно-образовательной и научно-методической деятельности;

- необходимость повышения качества выполнения вспомогательных работ и услуг, улучшение обслуживания персонала и студентов вуза; дороговизна и недостаток квалифицированных кадров для ведения непрофильных видов деятельности в созданной инфраструктуре университета, в том числе участие вузов в международных научно-технических мероприятиях, ИТ-поддержка, организация рекламной деятельности, поиск партнеров и контрагентов для реализации инновационных продуктов;

- ограниченность финансовых и материальных ресурсов, в связи, с чем возникает необходимость в снижении издержек, а соответственно передача непрофильных видов деятельности на выполнение специализированной организации.

Функции и процессы, переданные на аутсорсинг, будут исполняться на значительно более высоком уровне, чем в ВУЗе, так как у предприятия-аутсорсера в штате находятся сотрудники, имеющие опыт и специальные знания в данной сфере деятельности. Также ВУЗ может применить при недостижении результата аутсорсером штрафные санкции. Это приводит к повышению качества выполняемых на аутсорсинг работ и услуг, экономии материальных, трудовых, финансовых ресурсов университета.

Таким образом, аутсорсинг можно отнести к одному из возможных вариантов эффективного управления инновационными предприятиями при университетах. При использовании аутсорсинга решается проблема снижения издержек при увеличении эффективности деятельности высшего учебного заведения, за счет оптимизации структуры управления. ВУЗ закрепляет за собой функции по качественной подготовке высококвалифицированных специалистов, подбору опытного профессорско-преподавательского состава, а также специалистов, разработке новых инновационных продуктов, технологий, услуг, а выполнение второстепенных функций отдать надежному и профессиональному специализированному партнеру-аутсорсеру.

### Литература

1. Табулов М. Ф. Концепция организации и управления процессами аутсорсинга хозяйственной деятельности университета / Журнал международного профиля «Вестник МГИМО-Университета» // Режим доступа: [http://www.vestnik.mgimo.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2&Itemid=2](http://www.vestnik.mgimo.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=2), Дата доступа: 05.04.2013

УДК 330.341

#### Где взять «взрослую» идею для молодежного инновационного проекта

Аспирант Дудко Н.А.

Научный руководитель – Татьяна Т.С.

Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

г. Минск

Будущее сферы инноваций, интенсивность ее развития во многом определяет молодежный инновационный сектор. В Беларуси активно развивается инфраструктура поддержки инновационного предпринимательства – создано 80 центров поддержки предпринимательства, 14 бизнес-инкубаторов, активно работают в направлении поддержки молодежных инновационных проектов Сообщество бизнес-ангелов и венчурных инвесторов «БАВИН» и Белорусский инновационный фонд. Университеты постепенно переориентируют образовательные программы на обучение студентов навыкам, необходимым для инновационной деятельности, включая аналитическое и критическое мышление, стремление к новому, способность к постоянному самообучению, креативность и предприимчивость, готовность к работе в высококонкурентной среде. Все более доступным становится бизнес-образование, предлагаемое различными бизнес-центрами и школами, готовыми предоставлять гранты и льготы на обучение для молодежи. В рамках реализации различных международных проектов проводятся бесплатные коучинг-семинары и сессии, направленные на стимулирование молодых людей к инновационной деятельности.

Однако часто открытым остается вопрос: где взять идею, которая «сделает» предприятие инновационным, ведь далеко не каждый выпускник университета, обладающий достаточным потенциалом для осуществления предпринимательской деятельности, имеет хорошую идею,



чтобы превратить ее в бизнес. Кроме того, возможен и тот вариант, когда студент, нацеленный на планомерную научно-исследовательскую и техническую деятельность, которая в перспективе могла бы положить начало предпринимательской деятельности, имеет сложности в поиске той самой ниши для исследований.

В данном случае дать толчок в развитии научно-исследовательской и инновационной деятельности молодежи могут информационно-маркетинговые ресурсы Министерства образования Республики Беларусь: Интернет-портал Межвузовского центра маркетинга НИР [www.icm.by](http://www.icm.by), Информационно-маркетинговый узел [www.imu.metolit.by](http://www.imu.metolit.by) и, в том числе, размещенный на площадке «Межотраслевой задачник» (в 2008 – 2011 гг. – «Задачник от промышленности»).

Размещенные на данных сайтах базы данных научно-технических разработок, методические материалы по реализации инновационных проектов, защите интеллектуальной собственности, информация о субъектах инновационной инфраструктуры, лабораториях дают возможность студентам, магистрантам и аспирантам получить информацию, способствующую осуществлению научно-исследовательской работы: поиск актуальных тематических направлений исследований, поиск участников для команд, выполняющих междисциплинарные исследования, поиск организаций, заинтересованных в проведении опытов и испытаний на их базе.

Представленные на Информационно-маркетинговом узле научно-технические разработки – это уже готовые к внедрению инновационные технологии и продукты, которые могут стать основой для высокотехнологичного бизнеса.

«Межотраслевой задачник», представленный 6 министерствами Республики Беларусь, – перечень требующих решения технологических задач для отечественных предприятий. В 2012 году в рамках «Задачника» на сайте размещено 139 актуальных запросов от 41 предприятия. Эти задачи могут стать основой для научно-исследовательской работы студентов, магистрантов и аспирантов, которая в перспективе может быть преобразована в отдельное направление инновационной деятельностью, как в университете, так и за его пределами.

Кроме того, специалисты, осуществляющие поддержку данных информационных ресурсов всегда готовы оказать помощь студентам, магистрантам, аспирантам в поиске информации по интересующему вопросу, поддержку при установлении контактов с представителями предприятий и учеными других университетов.

Таким образом, информационно-маркетинговые ресурсы дают молодежи уникальную возможность – найти идеи для своих проектов, получить методическую помощь, найти партнеров для научно-технической и предпринимательской деятельности. В свою очередь, авторы технологий, ученые также получают выгоду: находят молодых талантливых исследователей для своей команды и пути внедрения для уже разработанных продуктов.

УДК 331.101.5

### **Современные пути развития технопарков**

Студентка гр. 113619 Маруденко Ю.Н.

Научный руководитель – Татьяна Т.С.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В современном мире существует много моделей технопарков и начиная с 50-х годов они постоянно менялись. Основоположником является научный парк Стэнфордского университета. В начале своего становления он просто сдавал землю и помещения в аренду на уровне администрации штатов, которая стала содействовать их формированию. В дальнейшие годы хайтек-компании стали осваивать территорию вокруг Стэнфорда, где

начала формироваться зона с большой концентрацией высокотехнологичных компаний. История Силиконовой долины как самого известного технопарка планеты широко известна и многие брали ее за основу. Однако и в таких крупных организациях есть свои положительные и негативные факторы, которые влияют на их функционирование. Положительным моментом можно считать, что концентрация венчурного капитала растет: очень силен поток предложений, поток идей. Но при этом заметно ослабела система Университета Калифорнии, в результате есть вероятность того, что уменьшится количество исследований и разработок. А данный поток идей очень важно поддерживать. Однако, этот негативный фактор можно компенсировать за счет благоприятной деловой и социальной среды: многие стремятся приехать и развивать свой бизнес именно здесь, что способствует притоку идей. Это является важным фактом, следует поддерживать хорошие связи с другими регионами.

В Европе технопарки появились в начале 70-х годов. Одними из первых были научный парк Тринити колледж в Кембридже; Левен-ла-Нев в Бельгии; София-Антиполис в Ницце и Зона научных и технических нововведений и производства (ZIRST) в Гренобле. Они повторили раннюю модель технопарков США. Инкубаторы предоставляли перспективным предпринимателям производственные помещения, обеспечивали набором услуг, связью с местным университетом или научным центром, а также с финансовыми кругами. Технопарк «София-Антиполис» являлся одним из крупнейших в Европе. В своем развитии прошел несколько этапов, последний из которых завершился реализацией новой стратегии развития, основанной на диверсификации поисковых и прикладных исследований. Данное направление является базой для создания принципиально новых прорывных технологий, за счет развития системы технологического прогнозирования, учитывающей приоритеты развития в современном мире. В результате этого большой приток новых идей способствует развитию технопарка и реализации новых программ. Предусмотрено мероприятие по строительству новой инновационной зоны Эковалле, создаваемой в рамках проекта «Большая Ницца». Это будет присоединение к городу новых территорий и строительства на одной из них инновационного квартала, центром которого станет Университет Ницца-София-Антиполис.

За последние 5 лет Европа существенно пересмотрела свою стратегию в отношении технопарков. Одной из особенностей является создание консорциумов (клубов) промышленных компаний, образовательных учреждений и научных организаций для проведения совместных исследований на ранних стадиях НИОКР. Министерство торговли и промышленности оказывало поддержку более чем 100 подобным учреждениям в различных областях техники и новых технологий (от квантовой электроники до биотехнологий), большинство из которых являются региональными. Основные задачи - установление связей между университетами, научными лабораториями и заинтересованными промышленными компаниями, а также распространение информации по регионам о новых перспективных технологиях. Связующим звеном между университетами и промышленными компаниями призваны стать технопарки. Главной задачей которых является продвижение университетских разработок на уровень промышленного производства.

Для повышения путей эффективности технопарков в республике могут быть следующие направления:

- объединение в ассоциации;
- организация тесного взаимодействия с финансовыми институтами;
- интеграция технопарков в международные сети аналогичных организаций как самостоятельных структур, так и в виде ассоциаций.

**Развитие инновационного потенциала — важный фактор конкурентоспособности  
наукоемкого предприятия**

Студентка гр.113620 Петрукович О.А.  
Научный руководитель – Татьянко Т.С.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

На современном этапе развития мирового сообщества наиболее перспективными в плане инвестирования являются проекты с высоким инновационным потенциалом. Эпоха непрерывного технологического прогресса заставляет людей все чаще отдавать предпочтение новым более технологичным продуктам и услугам. В основе данных продуктов и услуг лежат инновации. Инновационные продукты становятся важной частью повседневной жизни подавляющего числа граждан.

Ежегодно происходят различные изменения в технике и технологии, результаты которых позволяют потребителям более эффективно выполнять поставленные перед ними цели и задачи, реализовывать новые возможности и идеи, а так же существенно повышать качество жизни в целом. Реализация таких изменений требует от предприятий, производящих такую продукцию постоянного инновационного развития.

В настоящее время в Республике Беларусь доля инновационно активных предприятий в общем количестве субъектов хозяйствования очень невелика и составляет 18,2%. Поэтому важной задачей на ближайшие перспективы является повышение инновационной активности белорусских предприятий. Для ее достижения необходимо комплексное двустороннее воздействие. Во-первых, со стороны государства в виде поддержки благоприятного инновационного климата в стране. Во-вторых, со стороны самих предприятий для наращивания собственного инновационного потенциала.

Государственная инновационная политика в нашей стране направлена на:

- повышение конкурентоспособности Республики Беларусь на мировом рынке путем осуществления целенаправленной инновационной политики;
- определение приоритетов научно-технического развития, реализации кластерной политики и формирования технологических платформ;
- совершенствование условий, обеспечивающих конкурентные позиции на отраслевом, национальном и мировом рынках, которые регулируются законодательными актами, нормативно-правовыми документами;
- совершенствование и развитие благоприятной среды функционирования наукоемких предприятий путем создания инновационной структуры и развития национальной инновационной системы;
- содействие международному сотрудничеству, мониторинг рынка потенциальных инвесторов-партнеров, унификация систем обеспечения качества и сертификации с мировыми лидерами в разных областях человеческой деятельности.

Вторым важным фактором инновационной активности предприятий РБ является наращивание инновационного потенциала белорусскими предприятиями.

Инновационная активность предприятия зависит от многих факторов: обеспеченности ресурсами, кадрами и соответствующей инновационной культурой. Во многом ее определяют организационная культура, включающая принципы и обязательства, на основании которых разрабатывается и реализуется стратегия развития компании. Организационная культура отражает особенности системы менеджмента на предприятии, которая должна быть приспособлена для осуществления инновационной деятельности. А

также конкурентоспособные и высококвалифицированные кадры во многом определяют инновационную активность предприятия.

Главным фактором, отражающим инновационную активность фирмы и влияющим на интенсивность инновационных процессов на предприятии, является восприимчивость руководства к инновациям. Нестабильная экономическая ситуация в Республике Беларусь приводит к неготовности реализации изменений в хозяйственном механизме предприятия, снижению склонности к риску. В связи с неопределенностью, всегда сопутствующей нововведению, и общей экономической ситуацией, руководитель не готов включаться в инновационную деятельность и брать на себя повышенные риски.

Восприимчивость организации к нововведениям также зависит от масштабов компании. Она падает по мере увеличения предприятия, усложнения организационной структуры управления. Поскольку малые предприятия более приспособлены к осуществлению инновационной деятельности за счет их большей гибкости и мобильности, а это позволяет быстро реагировать на изменения рынка для корректировки инновационных целей, очевидна необходимость увеличения количества малых инновационных предприятий в Республике Беларусь.

Таким образом, повышение инновационного потенциала предпринимательства обеспечит его устойчивое развитие, повышение эффективности производства и рост конкурентоспособности в долгосрочной перспективе за счет внедрения инноваций.

УДК 338.26

#### **Развитие малых инновационных предприятий как инструмент модернизации экономики**

Магистрант Журкевич М.В.  
Научный руководитель – Гмырак В.Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Первостепенной задачей современного этапа развития экономики Республики Беларусь является технологическая модернизация предприятий. Задачей же государства является создание условий для проведения эффективного процесса модернизации. Несмотря на очевидную важную роль государства в этом процессе, главным инструментом в процессе устранения технологического отставания отечественных предприятий от зарубежных должны стать малые и средние предприятия. Они должны выступить своеобразными капиллярами, через которые в национальную экономику будут просачиваться инновационные продукты и решения.

Технологическая модернизация производства должна стимулироваться не только государством, но и поддерживаться собственной инициативой руководства всех предприятий республики. Только синтез инициативы со стороны самих предприятий по усовершенствованию собственного производства с проводимой государством политикой в отношении модернизации отечественных предприятий, с непосредственным участием государственных инвестиций, позволит в минимальные сроки устранить отставание белорусских предприятий в технической и технологической оснащенности производства.

Опыт зарубежных стран показал, что в условиях рыночной экономики, а также в условиях высокого предпринимательского риска, малые и средние предприятия (МСП) являются наиболее эффективной формой ведения хозяйственной деятельности. МСП, в отличие от больших предприятий, благодаря своей мобильности и высокой адаптивности в кратчайшие сроки и с наименьшими потерями могут подстроиться к изменениям в тенденциях рынка. МСП проводят внедрение производственных нововведений, которые позволяют предприятию

не только соответствовать технологическому уровню предприятий-конкурентов, но и позволят обеспечить себе запас конкурентного преимущества. Внедрение инноваций является для МСП жизненно важным фактором. Благодаря своей высокой заинтересованности малые и средние инновационные предприятия становятся тем проводником, который обеспечит приток новых инновационных технологических решений в экономику. МСП должны стать тем инструментом, который позволит перейти предприятием на новый технологический уровень.

Вместе с тем в деятельности МСП есть и некоторые неблагоприятные факторы. В первую очередь они оказывают воздействие обеспечение предприятия финансовыми, трудовыми и информационными ресурсами: организации-заемщики рассматривают МСП как высокорисковые предприятия и предоставляют займы под более высокий процент; недостаточно средств на оплату квалифицированных специалистов в области юриспруденции, финансов, маркетинга и других; слабая осведомленность потребителей.

Для наиболее эффективного развития и преодоления всех сложностей на начальных этапах развития малым инновационным предприятиям должны оказывать помощь бизнес-инкубаторы, центры поддержки предпринимательства и другие субъекты инновационной инфраструктуры (СИИ). За счет большого опыта, наличия высококвалифицированных кадров и необходимой материально-технической базы, СИИ помогают малым предприятия преодолеть сложности начального развития, разработать программы модернизации существующего производства, позволяют эффективно наладить процесс технологического перевооружения, тем самым ускоряя процесс вливания новых технологий в предприятие и экономики страны, ускоряя процесс диффузии инноваций.

Диффузия инноваций (diffusion of innovation) – это процесс распространения новшеств в обществе, закономерности распространения новых продуктов, технологий, идей среди потенциальных потребителей (пользователей) с момента их появления [2].

Индивидуальная восприимчивость к инновациям выделяет реципиентов более предрасположенных и менее предрасположенных к восприятию инноваций. Весь континуум реципиентов подразделяет на пять основных категорий (рисунок 1).

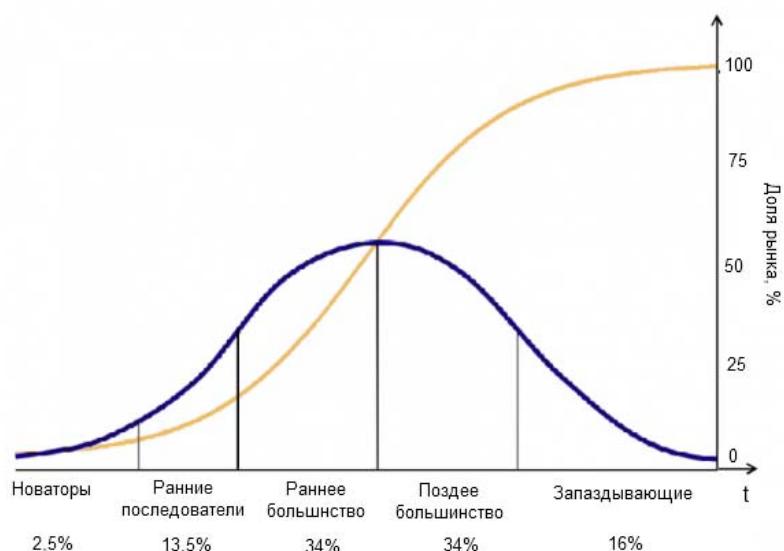


Рисунок 1 – Основные категории континуума реципиентов

В соответствии с математической моделью диффузии инноваций Фрека Басса, на процесс продвижения новых технологий в экономики влияют как внутренние факторы, так и внешние:

$$n_t = \left( p + q \times \frac{N_t}{M} \right) \times (M - N_t)$$

где  $n_t$  – количество принявших инновацию в момент времени  $t$ ;  
 $M$  – потенциал рынка;  
 $N_t$  – суммарное число принявших инновацию в момент времени  $t$ ;  
 $P$  – коэффициент внешнего влияния;  
 $Q$  – коэффициент внутреннего влияния.

Роль СИИ в этом процессе – выступить определяющим влияющим фактором внешней среды, который позволит сократить время принятия предприятиями экономики новых технологий, ускорить рост количества принявших инноваций. Таким образом, деятельность СИИ позволит эффективно модернизировать отечественную, сократить технологическое отставание республики от высокоразвитых стран, обеспечить рост конкурентоспособности отечественных предприятий на мировом рынке.

Ролью государства в этих процессах является организация слаженной комплексной системы поддержки малого инновационного предпринимательства, осуществляя доработку и усовершенствование законодательства, совершенствуя механизмы развития СИИ, создавая необходимые и прозрачные условия деятельности.

### Литература

1. Ломоносова Т.В., Горбунов В.Л., Бизнес-инкубаторы и рыночная экономика: Учеб.Аметод. пособие. – М.: Институт предпринимательства и инвестиций, 2001 год, – 128 с. – с.3–5, 95-98.
2. Rogers, E. M. Diffusion of innovations (4th ed.). New York: The Free Press, 1995.

УДК 338.26

### Создание Зоны новых и высоких технологий БНТУ, как фактор инновационного развития Республики Беларусь

Студент гр. 113629 Зубарьков В.А.  
Научный руководитель – Гмырак В.Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В настоящее время в республике отрасль «наука и научное обслуживание» располагает значительным научно-техническим потенциалом, который используется для развития и повышения конкурентоспособности экономики, решения социальных проблем, совершенствования системы образования. В Беларуси научными исследованиями занимаются более 300 научно-исследовательских, проектно-конструкторских, технологических организаций, а также около 60 высших учебных заведений, около 25 тысяч научных работников, аспирантов и докторантов.

Прикладные научные исследования и инновации охватывают сегодня практически все отрасли экономики. Белорусские научные организации и предприятия готовы к работе и сотрудничеству по самым высоким стандартам и требованиям и выступают надежными партнерами в национальных и интернациональных инвестиционных и производственных проектах. При этом одна из ведущих ролей в формировании инновационной модели развития отечественной экономики принадлежит подведомственным Министерству образования Республики Беларусь высшим учебным заведениям. Практика показала, что новая модель университета как учебно-научно-инновационного комплекса, сочетающего фундаментальное образование, академическую науку с развитой сетью инновационных структур и малых предприятий, является одним из наиболее эффективных структурных элементов создаваемой национальной инновационной системы. Разработки вузов востребованы в Китае, Индии,

Корею, Германии, Италии, Польше, России и ряде других стран ближнего и дальнего зарубежья.

Сегодня БНТУ является ведущим техническим вузом страны. Обособленное структурное подразделение «Научно-исследовательская часть» университета осуществляет проведение фундаментальных и прикладных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по более чем двадцати областям исследований. Своего рода показателем эффективной деятельности является тот факт, что в каждом экспортируемом изделии промышленности республики есть доля результатов интеллектуальной деятельности сотрудников БНТУ. Высокий уровень научно-технической деятельности и конкурентоспособность разработок подтверждается также тем, что в БНТУ разработана и внедрена система менеджмента качества на проведение научно-исследовательских работ, испытание продукции, сертификацию продукции и систем качества, а также осуществлена ее сертификация в национальной системе сертификации РБ на соответствие требованиям СТБ ИСО-9001. БНТУ – единственный вуз, который является обладателем такого сертификата. Белорусский национальный технический университет является ведущим техническим вузом Республики Беларусь. БНТУ активно участвует в реализации инновационной политики государства и осуществляет подготовку высококвалифицированных специалистов для 10 отраслей народного хозяйства. В БНТУ функционируют 45 научных школ, возглавляемых ведущими учеными Беларуси, в областях строительства, архитектуры, транспортных коммуникаций, машиностроения, автотракторостроения, транспорта, приборостроения, лазерных технологий, метрологии, экономики, горного дела, военных наук.

На сегодняшний день с участием университетов или в их структуре созданы 30 субъектов инновационной инфраструктуры. Однако большинство из них находятся в начальной фазе становления и развития. Одним из наиболее успешных примеров создания инновационной инфраструктуры у нас в республике является возникновение на базе Белорусского национального технического университета научно-технологического парка «Политехник».

Республиканское инновационное унитарное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник» (Технопарк) является ведущим инновационным предприятием в системе Министерства образования Республики Беларусь. Фундаментальные и прикладные исследования, проводимые в лабораториях и кафедрах БНТУ, органично дополняются опытно-конструкторскими разработками и находят свое практическое применение при производстве и коммерциализации инновационной продукции структурами Технопарка. Сегодня в структуре Технопарка работают инновационные подразделения: медицинской техники, легкой промышленности, технологий нанесения покрытий и упрочняющей обработки, электролитно-плазменной обработки; 15 информационно-маркетинговых структур (межвузовский центр маркетинга научно-исследовательских разработок, международный центр научно-технического сотрудничества, центр трансфера технологий в области вторичных ресурсов и экологии и др.). Резидентами Технопарка являются 10 предприятий. Основными направлениями деятельности Технопарка и его резидентов является разработка и внедрение ресурсосберегающих и импортозамещающих технологических процессов, оборудования, материалов и изделий на их основе для различных отраслей промышленности. В рамках Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2011 – 2015 годы Технопарком и его резидентами реализуется 10 инновационных проектов по созданию новых и модернизации действующих 8 действующих предприятий и производств, что является наиболее высоким показателем в Республике Беларусь.

Однако, перед Технопарком по-прежнему остро стоит проблема нехватки площадей для организации производств с новыми и высокими технологиями, а также для оказания поддержки резидентам Технопарка. С целью развития и модернизации инфраструктуры БНТУ Технопарком прорабатываются вопросы по строительству инновационного центра БНТУ по новым и высоким технологиям, в том числе наноиндустрии, в микрорайоне Восток

(Зона новых и высоких технологий) – в 2011 году Технопарком подготовлено для согласования с руководством БНТУ проектное предложение в генеральный план развития территории БНТУ (общая площадь около 10800 м<sup>2</sup>). Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь готов, начиная с 2014 года, оказывать поддержку и софинансировать строительство за счет средств республиканского бюджета, предусмотренных на организацию деятельности и развитие материально-технической базы Технопарка «Политехник», в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 17 мая 2010 года №252. Стоимость проекта примерно оценивается в 14,1 млн. долл. США, продолжительность работ – 2,7 года.

Зона новых и высоких технологий БНТУ даст возможность осуществлять свои проекты сотням предприятий работающих в научной сфере, а также будет являться качественно новым элементом инновационной инфраструктуры Республики Беларусь. Ее создание будет иметь как экономический так и социальный эффекты. С одной стороны, увеличится объем производства новой и высокотехнологической продукции, что позволит увеличить ее экспорт и привлечет зарубежных инвесторов и капитал в нашу страну. А с другой стороны, – реализация проекта приведет к увеличению поступления налогов в бюджет, положительно повлияет на обеспечение высоких и устойчивых темпов развития экономики, что в свою очередь будет способствовать повышению производительности труда во всех отраслях, а также эффективности использования человеческих и материальных ресурсов.

УДК 338.45

**Создание производства нанесения металло-полимерных композиционных покрытий с повышенной стойкостью в условиях агрессивных сред**

Магистрант Калинин А.Ю.

Научный руководитель – Гмырак В.Н.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Деятельность современного крупного научно-исследовательского и образовательного комплекса тесно связана с необходимостью коммерциализации результатов научной деятельности. Ключевыми элементами в данной области являются научно-технологические парки.

Успешным примером взаимодействия науки и производства является деятельность Научно-технологического парка БНТУ «Политехник», который является ведущим субъектом инновационной инфраструктуры в системе высшей школы Республики Беларусь. Технопарк позволяет обеспечивать полный цикл инновационной деятельности в университете – от фундаментальных и прикладных исследований (НИЧ), создания разработок (НИЧ и Технопарк), организации мини-производств и выпуска инновационного продукта, что способствует коммерциализации результатов научно-технической деятельности БНТУ.

В рамках реализации инновационного процесса особый интерес представляют существующие механизмы финансирования инновационных проектов. Учитывая содержание инновационной деятельности при реализации проектов необходимо обеспечивать сочетание уникальных технологических решений и комплекса мероприятий по обеспечению финансовой устойчивости и экономической эффективности. Примером обеспечения данного сочетания является реализация Научно-технологическим парком БНТУ «Политехник» инновационного проекта по разработке технологии и освоению производства нанесения металло-полимерных композиционных покрытий с повышенной стойкостью в условиях агрессивных сред.



В соответствии с планом-графиком реализации важнейших проектов по созданию новых предприятий и производств Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь, имеющих определяющее значение для инновационного развития Республики Беларусь на 2011 – 2015 годы в 2012 году Технопарком были начаты работы по созданию участка для высокотехнологичных производств по модификации поверхностей и нанесению многофункциональных покрытий.

Важной особенностью реализации данного проекта является диверсификация источников инвестирования. Для реализации проекта привлекаются средства из следующих источников:

- собственные средства Научно-технологического парка БНТУ «Политехник»;
- средства Белорусского инновационного фонда;
- средства республиканского бюджета, предусмотренные на развитие материально-технической базы в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 17 мая 2010 г. №252, в рамках реализации Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2011-2015 годы.

С целью оснащения данного участка необходимой научно-производственной базой за счет средств республиканского бюджета, предусмотренных на организацию деятельности и развитие материально-технической базы Технопарка, было закуплено 40 единиц технологического и научно-исследовательского оборудования. В сентябре 2012 г. Технопарком были арендованы у ОАО «Агат-электромеханический завод» производственные площади (597,1м<sup>2</sup>) по адресу ул. Волгоградская, 6 корпус 2 для развертывания приобретенного оборудования и организации деятельности данного участка.

Предполагается, что на участке будут расположены высокотехнологичные производства и внедрены инновационные технологии Технопарка по нанесению полимерных защитно-декоративных покрытий, электролитно-плазменной обработке для обеспечения высокой отделки и полировки поверхностей металлических изделий, газопламенного нанесения упрочняющих покрытий, механико-технологический участок. Кроме того, предусматривается создание системы контроля качества выпускаемых изделий.

С целью разработки технологии и освоения производства нанесения металло-полимерных композиционных покрытий с повышенной стойкостью в условиях агрессивных сред на создаваемом участке в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 25 марта 2008 г. №174 «О совершенствовании деятельности Белорусского инновационного фонда» предполагается привлечение финансовых средств Белорусского инновационного фонда.

Потребителями продукции в Республике Беларусь станут ПО «Беларуснефть», ПО «Нафтан», ПО «Беларуськалий», ОАО «Гомельский химический завод», ГО Белвормет, ПО «Моготекс», РУП БМЗ, ПО БелАЗ, ПО «Агат», предприятия ПО «Водоканал», заводы медпрепаратов, предприятия по производству стройматериалов. Рассматриваются возможности экспортных поставок продукции на рынок стран Таможенного союза и дальнего зарубежья. По результатам предварительных переговоров заинтересованность в реализации проекта была высказана представителями России, Казахстана, Литвы, Украины, Китая.

Решение указанных задач позволит создать уникальный для Республики Беларусь научно-производственный комплекс по нанесению многофункциональных покрытий (керамика, металлы, полимеры) на широкую номенклатуру деталей, а также осуществлять диагностику их строения и свойств. Созданное производство явится базой для прохождения производственных практик студентами ряда специальностей, позволит дать им узкую высоко востребованную специализацию. На его базе целесообразна организация выставочного комплекса, позволяющего показать заинтересованным отечественным и зарубежным специалистам действующие наукоемкие экологичные технологии в области нанесения покрытий.

Стоит отметить, что деятельность комплекса будет ориентирована не только на производство, но и научно-исследовательскую и образовательную деятельность. Созданное

производство явится базой для прохождения производственных практик студентами ряда специальностей БНТУ, позволит дать студентам узкую востребованную специализацию.  
УДК 378.14

### **Основные подходы к управлению рисками инновационных проектов на предприятиях Республики Беларусь**

Аспирант Казачинская Е.А.  
Научный руководитель – Мелюшин П.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г.Минск

На сегодняшний день эффективным и необходимым фактором в национальной экономике является максимально быстро реализуемые инновации. Реализации научного потенциала экономической системы способствует коммерциализация разработок, вывод на рынок технологий.

Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что экономический эффект инвестиций в инновации в среднем находится на уровне 35 – 50 %, что превышает окупаемость инвестиций во многих других сферах применения финансовых ресурсов. Поэтому осуществление инновационных проектов становится привлекательной сферой для предпринимателей и иностранных инвесторов, которые получают конкурентные преимущества, реализованные в дополнительной прибыли.

В условиях рыночной экономики функционирование и развитие предприятий во многом обусловлены эффективной работой их инновационного механизма, а также эффективностью реализуемых им нововведений. Анализ хозяйственной практики свидетельствует о том, что значение инновационной деятельности для предприятий в современных условиях постоянно возрастает. Между тем статистические данные последних лет подтверждают тот факт, что предприятия испытывают серьезный недостаток в технико-технологических и других инновациях, и если не предпринимать активных мер по коренному изменению сложившейся ситуации в производственной сфере, как со стороны государства, так и со стороны руководства предприятий, то неблагоприятные последствия в ближайшем будущем будут еще более значительными. При этом следует учитывать и такой немаловажный аспект как безопасность внедрения и практического использования инноваций.

Для успешной реализации инновационных проектов необходимо решить ряд задач, связанных с экономическим эффектом и рисками проекта, приемлемостью уровня риска для инвестора. Необходимо глубокое понимание видов риска и методов его оценки для понимания возможных угроз для проекта.

Очевидно, что для эффективного управления риском его необходимо качественно и (или) количественно измерить. Риск инновационного проекта – это совокупный уровень всех рисков, включая специфические, присущие данному проекту в рамках конкретного экономического субъекта, и традиционные риски, соответствующие данному бизнес-направлению.

Риск инновационного проекта всегда отличен от нуля – безрисковая зона отсутствует на всех этапах и фазах инновационного проекта.

Управление совокупным риском инновационного проекта – это деятельность, связанная с преодолением неопределенности при необходимости обязательного выбора. Механизм управления рисками включает комплекс мер по выявлению, оценке и минимизации рисков. Сегодня очень часто используется экспертный метод или метод аналогий, связанный с опытом аналогичных инновационных проектов, осуществляемыми ранее другими компаниями. Также инноватор может самостоятельно сформировать пакет методов управления рисками в зависимости от стадии проекта, характеристик риска, стоимости метода, стратегии и наличия средств.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Литейное производство чёрных и цветных металлов

- Получение разделительных покрытий для пресс-форм литья под давлением..... 6**  
Студенты гр. 104128 Гринкевич П.Н., гр. 104110 Литвинов М.О.  
Научный руководитель – Михальцов А.М.
- Повышение свойств разделительных покрытий для пресс-форм литья под давлением.. 6**  
Студенты гр. 104128 Минич В.В., гр. 104110 Литвинов М.О.  
Научный руководитель – Михальцов А.М.
- Вопросы энергосбережения и экологии при выплавке стали в дуговых электрических печах ..... 7**  
Студенты гр. 104110 Джураев Т.Х., Литвинов М.О.  
Научный руководитель – Неменёнок Б.М.
- Эффективный способ раскисления стали алюминием ..... 9**  
Студенты гр. 104128 Иванов А.Д., Акулич Н.Н., гр. 104129 Романов А.А.  
Научный руководитель – Неменёнок Б.М.
- Эффективная технология переработки алюминиевых шлаков..... 10**  
Студентки гр. 104128 Савко А.В., Кушнер Е.Н.  
Научный руководитель – Неменёнок Б.М.
- Неразрушающий контроль качества металлических изделий низкочастотным акустическим методом..... 11**  
Студенты гр. 104129 Лавринчик Е.Г., Толкач В.А., аспирант Морозов Д.С.  
Научный руководитель – Рафальский И.В.
- Методы и средства высокотемпературных измерений в литейно- металлургическом производстве ..... 12**  
Студент гр. 104110 Никитюк П.А.  
Научный руководитель – Рафальский И.В.
- Контроль металлургических процессов при производстве отливок из алюминиевых сплавов с использованием термического анализа ..... 13**  
Студенты гр. 104119 Комарова Т.Д., гр. 104129 Романов А.А., аспирант Морозов Д.С.  
Научный руководитель – Рафальский И.В.
- Термический анализ как метод исследования физико-химических процессов кристаллизации сплавов ..... 14**  
Студенты гр. 104119 Ермола М.А., Дик А.Б.  
Научные руководители – Арабей А.В., Рафальский И.В.
- Анализ методики проведения термического анализа сплавов системы Al-Si..... 15**  
Студенты гр. 104118 Розенберг Е.В., гр. 104119 Казак А.Ю.  
Научные руководители – Арабей А.В., Довнар Г.В.

<b>Перспективы использования нанодисперсных порошков соединений активных элементов при получении лигатур .....</b>	<b>16</b>
Студенты гр. 104119 Кривопуст А.А., Дайлиденко А.В. Научный руководитель – Слуцкий А.Г.	
<b>Энергосберегающая технология получения лигатур на основе тугоплавких металлов.</b>	<b>18</b>
Студенты гр. 104128 Шульга А.В., 104119 Билиба Н.Э., 104121 Кулинич С.Л. Научный руководитель – Слуцкий А.Г.	
<b>Неразрушающий рентгенотелевизионный анализ брака по пористости алюминиевых отливок.....</b>	<b>20</b>
Студент гр. 104128 Шульга А.В. Научный руководитель – Слуцкий А.Г.	
<b>Системы прототипирования для литейного производства.....</b>	<b>23</b>
Студент гр. 104129 Морожанов Е.А. Научный руководитель – Бежок А.П.	
<b>Экспериментальное исследование возможности модифицирования силуминов карбонатом стронция .....</b>	<b>25</b>
Магистрант Русин О.А. Научный руководитель – Задруцкий С.П.	
<b>Термодинамика модифицирования силуминов карбонатом стронция.....</b>	<b>26</b>
Студент гр. 104118 Скуратович А.З. Научный руководитель – Задруцкий С.П.	
<b>Седиментационная устойчивость разделительных покрытий для форм литья под давлением алюминиевых сплавов.....</b>	<b>27</b>
Магистрант Чайковский Я.С. Научный руководитель – Пивоварчик А.А.	
<b>Разделительные покрытия для литья алюминиевых сплавов под давлением .....</b>	<b>28</b>
Магистрант Чайковский Я.С. Научный руководитель – Пивоварчик А.А.	

### **Материаловедение в машиностроении**

<b>Искробезопасные материалы и покрытия .....</b>	<b>31</b>
Студент гр. 104518 Бакиновский А.А. Научный руководитель – Дашкевич В.Г.	
<b>Использование химико-термической обработки для получения искробезопасных покрытий .....</b>	<b>32</b>
Студент гр. 104518 Бакиновский А.А. Научный руководитель – Дашкевич В.Г.	

<b>Стали для работы в условиях климатического холода.....</b>	<b>34</b>
Студентка гр. 104219 Бекетова И.Ю. Научный руководитель – Пучков Э.П.	
<b>Сверхпроводящие материалы.....</b>	<b>35</b>
Студент гр. 104219 Марышева А.А. Научный руководитель – Пучков Э.П.	
<b>Магнитострикционные материалы .....</b>	<b>37</b>
Студент гр. 104219 Орда Д.В. Научный руководитель – Пучков Э.П.	
<b>Сплавы с особыми тепловыми и упругими свойствами .....</b>	<b>38</b>
Студентка гр. 104219 Синькевич О.Л. Научный руководитель – Пучков Э.П.	
<b>Исследование микроструктуры и твёрдости диффузионных слоёв на стали 20X13, полученных из оптимизированных порошковых смесей .....</b>	<b>39</b>
Студенты гр. 104219 Бекетова И.Ю., Марышева А.А., Синькевич О.Л., Орда Д.В. Научные руководители – Стефанович В.А., Борисов С.В.	
<b>Износостойкость диффузионных слоёв на стали 20X13, полученная оптимизацией по последовательному симплексному методу .....</b>	<b>41</b>
Студенты гр. 104219 Бекетова И.Ю., Марышева А.А., Орда Д.В., Синькевич О.Л. Научные руководители – Стефанович В.А., Борисов С.В.	
<b>Маркировка сталей по евро нормам EN 10027(93).....</b>	<b>42</b>
Студент гр. 104519 Богданчик М.И. Научный руководитель – Вейник В.А.	
<b>Медицинские и биологические наноматериалы.....</b>	<b>44</b>
Студент гр. 104519 Богданчик М.И. Научный руководитель – Вейник В.А.	
<b>Анализ керамических подшипников качения .....</b>	<b>45</b>
Студент гр. 104519 Богданчик М.И. Научный руководитель – Вейник В.А.	
<b>Закалка деталей в среде инертных газов .....</b>	<b>47</b>
Студентка гр. 104519 Гарнашевич Ю.А. Научный руководитель – Вейник В.А.	
<b>Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов .....</b>	<b>48</b>
Студент гр. 104211 Пинчук В.А. Научный руководитель – Вейник В.А.	

<b>Упрочнение изделий из конструкционных сталей методом ионно-плазменного азотирования (ИПА).....</b>	<b>50</b>
Студент гр. 104511 Чайко Ю.В. Научный руководитель – Вейник В.А.	
<b>Поверхностное упрочнение стальных деталей .....</b>	<b>52</b>
Студентка гр. 104211 Шкут В.А. Научный руководитель – Вейник В.А.	
<b>Перспективы использования высоковольтного электро-химического оксидирования.</b>	<b>53</b>
Студент гр. 104218 Медведев А.Э. Научный руководитель – Соколов Ю.В.	
<b>Исследование структуры и свойств диффузионных слоев на стали 20X13, полученных в системе хром-углерод с введением в реакционную смесь легкоплавких добавок.....</b>	<b>55</b>
Студенты гр. 104218 Овчинников Е.С., Ковалёва И.А., гр. 104519 Крыжнев А.В., Дробов А.Н. Научные руководители – Борисов В.Г., Стефанович В.А.	
<b>Исследование влияния пластической деформации на скорость формирования карбонитридного слоя.....</b>	<b>56</b>
Студенты гр. 104518 Дробов А.Н., Крыжнев А.В., гр. 104218 Овчинников Е.С., Ковалева И.А. Научные руководители – Борисов С.В., Стефанович А.В.	
<b>Сварка стали HAR DOX и влияние сварки на её свойства.....</b>	<b>57</b>
Магистрант Острога С.П. Научный руководитель – Саранцев В.В.	
<b>Машины и технология литейного производства</b>	
<b>О природе ситовидной пористости в стали .....</b>	<b>61</b>
Студент гр. 104318 Аладьев Р.Е. Научный руководитель – Соболев В.Ф.	
<b>Металлургические особенности получения качественных отливок из высокопрочного и серого чугуна .....</b>	<b>63</b>
Студенты гр. 104318 Демидович Е.Ю., Бобровник А.А. Научный руководить – Соболев В.Ф.	
<b>Технологический процесс литья заготовок в кокиль.....</b>	<b>65</b>
Студенты гр. 104318 Брагинец Д.А., гр. 10404112 Воронин Р.И. Научный руководитель – Крутилин А.Н.	
<b>Технологический процесс литья заготовок по газифицированным моделям.....</b>	<b>66</b>
Студентки гр. 104318 Тихомирова И.Ю., гр.10404112 Русакевич А.В. Научный руководитель – Крутилин А.Н.	

<b>Некоторые особенности технологии изготовления стальной дробы .....</b>	<b>67</b>
Студент гр. 304317 Бурнос П.Г. Научный руководитель – Одиночко В.Ф.	
<b>Основные направления реконструкции ОАО МЗОО .....</b>	<b>69</b>
Студенты гр. 304326 Красняков П.Г., Борис Е.Н. Научный руководитель – Одиночко В.Ф.	
<b>Использование программ AutoPlay Media Studio и Mindjet MindManager для создания мультимедийных презентаций.....</b>	<b>70</b>
Студенты гр. 10404112 Сосковец А.А., гр. 10404212 Буйневич Ф.А. Научный руководитель – Одиночко В.Ф.	
<b>Результаты начальных экспериментов о возможности механической регенерации песка из отвалных жидкостекольных смесей .....</b>	<b>72</b>
Студент гр. 104319 Дингилевский С.П. Научный консультант – Гуминский Ю.Ю.	
<b>Исследование условий эксплуатации вкладышей подшипников торфобрикетных прессов с целью оптимального выбора типа антифрикционного сплава.....</b>	<b>74</b>
Студент гр. 104318 Мойсейчик Д.А. Научный руководитель – Рудницкий Ф.И.	
<b>Возможности электрошлаковых технологий для получения литых инструментальных заготовок.....</b>	<b>76</b>
Студенты гр. 104318 Степутенко А.А., Пархимович Д.В. Научный руководитель – Рудницкий Ф.И.	
<b>Модифицирование быстрорежущей стали Р6М5Л наноструктурированным диборидом титана .....</b>	<b>77</b>
Студенты гр. 104318 Ермак А.Н., Степутенко А.А. Научные руководители – Рудницкий Ф.И., Николайчик Ю.А.	
<b>Влияние борсодержащего компонента шихты на процессы получения отливок.....</b>	<b>79</b>
Студент гр. 104318 Занько Д.В. Научный руководитель – Невар Н.Ф.	
<b>Исследование влияние легирования бором на свойства железоуглеродистых сплавов .</b>	<b>80</b>
Студент гр. 104319 Кобяков К.В. Научный руководить – Невар Н.Ф.	
<b>Анализ работы роторно-поворотных плавильных печей.....</b>	<b>82</b>
Студент гр. 104319 Кононович Е.А. Научный руководить – Невар Н.Ф.	
<b>Анализ работы формовочно-выбивного участка цеха серого чугуна .....</b>	<b>84</b>
Студент гр. 104318 Левчук С.В. Научный руководить – Невар Н.Ф.	

<b>Анализ технологических процессов смесеприготовления чугунолитейного цеха.....</b>	<b>85</b>
Студент гр. 104318 Сахаревич А.Н. Научный руководитель – Невар Н.Ф.	
<b>Наполнители противопопригарных покрытий .....</b>	<b>87</b>
Студент группы 104318 Мизгир А.Г. Научный руководитель – Николайчик Ю.А.	
<b>Моделирование технологии изготовления отливки «Вал коленчатый» на автоматической формовочной линии «DISA230X» .....</b>	<b>88</b>
Студент гр. 104318 Разумов Е.А. Научный руководитель – Николайчик Ю.А.	
<b>Пригар – дефект отливок .....</b>	<b>90</b>
Студент гр. 104318 Соловей Г.В. Научный руководитель – Николайчик Ю.А.	
<b>Анализ эффективности жидкостекольных формовочных и стержневых смесей .....</b>	<b>92</b>
Студент гр. 104318 Никитенкова А.О., аспирант Гуминский Ю.Ю. Научный руководитель – Кукуй Д.М.	
<b>Машины и технология обработки металлов давлением</b>	
<b>Навивка пружин и гибка проволоки на автоматах .....</b>	<b>96</b>
Студенты гр. 104419 Волосевич В.В., Копьев С.Ю., Макаревич Е.В. Научный руководитель – Шиманович О.А.	
<b>Исследования остаточных напряжений 1 рода при прокатке .....</b>	<b>98</b>
Студенты гр. 104419 Григорович С.А., Брецкий А.С., Ловцов И.В. Научный руководитель – Овчинников П.С.	
<b>Комбинированная вытяжка полых двухслойных изделий с повышенной прочностью соединения слоев .....</b>	<b>99</b>
Студенты гр. 104419 Зубрицкий А.А., Каражан Е.С., Лозовенко Р.Ю. Научный руководитель – Любимов В.И.	
<b>Прокатка порошковых материалов .....</b>	<b>101</b>
Студенты гр. 104419 Малей Е.А., Стрелкина-Макаревич В.А. Научный руководитель – Белявин К.Е.	
<b>Процесс изотермической штамповки крупногабаритных поковок сложной формы из трудно деформируемых сплавов .....</b>	<b>103</b>
Студенты гр. 104419 Митько Е.Е., Жданович С.А., Мытько И.Л. Научный руководитель – Карпицкий В.С.	
<b>Особенности прокатки длинномерных заготовок в четырехвалковом калибре .....</b>	<b>104</b>
Студенты гр. 104419 Нилов В.В., Ковалева Е.Ф. Научный руководитель – Кудин М.В.	



<b>Вытяжка деталей с нагревом зоны пластической деформации .....</b>	<b>106</b>
Студенты гр. 104419 Свистун А.А., Мазур Д.С., Торопыгин И.А. Научный руководитель – Логачев М.В.	
<b>Камерная печь для концевго нагрева в кипящем слое теплоносителя.....</b>	<b>108</b>
Студенты гр. 104419 Свистун А.А., Мазур Д.С., Торопыгин И.А. Научный руководитель – Логачев М.В.	
<b>Механические схемы деформаций .....</b>	<b>109</b>
Студенты гр. 104419 Сидоренко А.М., Севрук М.С. Научный руководитель – Исаевич Л.А.	
<b>Разработка комбинированной технологии изготовления рабочих деталей почвообрабатывающей роторной техники .....</b>	<b>111</b>
Студенты гр. 104419 Чиж А.В., Варакса Н.С., гр.104418 Сачко Д.А. Научный руководитель – Давидович Л.М.	

### **Металлургические процессы**

<b>Альтернативные технологии производства чугуна.....</b>	<b>114</b>
Студент гр. 104139 Буйницкая А.С. Научный руководитель – Трусова И.А.	
<b>Альтернативные источники энергии сталеплавильного производства.....</b>	<b>115</b>
Студент гр. 104139 Синькевич Е.Л. Научный руководитель – Трусова И.А.	
<b>Современное производство трубной продукции.....</b>	<b>116</b>
Студент гр. 104139 Ярош К.А. Научный руководитель – Трусова И.А.	
<b>Пути снижения себестоимости производства стали .....</b>	<b>117</b>
Студент гр. 104139 Василевич Е.О. Научный руководитель – Румянцева Г.А.	
<b>Логистика в металлургическом комплексе.....</b>	<b>117</b>
Студент гр. 104139 Волошко П.В. Научный руководитель – Ратников П.Э.	
<b>Современные тенденции печестроения .....</b>	<b>119</b>
Студент гр. 104139 Шкода В.С. Научный руководитель – Ратников П.Э.	

<b>Современные технологии производства листовой продукции.....</b>	<b>119</b>
Студент гр. 104139 Косач Д.Е. Научный руководитель – Кабишов С.М.	
<b>Перспективы использования и переработки отработанных аккумуляторных батарей</b>	<b>121</b>
Студент 4 курса Литвинов Д.А. Научный руководитель – Малашонок И.Е.	
<b>Анализ технико-экономической целесообразности частичной модернизации методических газопламенных печей в условиях кузнечного производства машиностроительного предприятия.....</b>	<b>122</b>
Студент гр.104138 Понятовский Е.С. Научный руководитель – Менделев Д.В.	
<b>Пути снижения энергоемкости металлопродукции .....</b>	<b>123</b>
Студент гр. 104139 Романовская А.П. Научный руководитель – Корнеев С.В.	
<b>Порошковые и композиционные материалы, покрытия и сварка</b>	
<b>Высокопроизводительные способы сварки.....</b>	<b>126</b>
Студент гр. 104811 Адериша Д.С. Научный руководитель – Голубцова Е.С.	
<b>Выбор для механизированной дуговой сварки стали 09Г2С для изготовления борта автомобиля МАЗ-5551 .....</b>	<b>128</b>
Студент гр.104818 Войтенков Д.Н. Научный руководитель – Голубцова Е.С.	
<b>Нанотехнологии в медицине.....</b>	<b>130</b>
Студент гр. 104610 Щербо А.С., Демидова П.В., Важнова А.И. Научный руководитель – Голубцова Е.С.	
<b>Применение сварочных работ при врезке ответвлений в газопроводы под давлением</b>	<b>132</b>
Студент гр. 104818 Новик А.Н. Научный руководитель – Голубцова Е.С.	
<b>Изучение некоторых технологических особенностей сварки плавлением стали 40Х ...</b>	<b>134</b>
Студент гр. 104829 Щавелева О.А., Снарский А.А. Научный руководитель – Голубцова Е.С.	
<b>Исследование защитных свойств модифицированных лакокрасочных покрытий.....</b>	<b>136</b>
Студентка 11 группы 5 курса Сечная И.В. Научный руководитель – Иванова Н.П.	

<b>Электрохимическое исследование защитных свойств полимерных лакокрасочных покрытий .....</b>	<b>138</b>
Студенты 11 группы 5 курса Аникеенко Е.С., 11 группы 3 курса Егорова Ю.А. Научный руководитель – Иванова Н.П., Великанова И.А.	
<b>Изменение структуры и свойств алюминия и его сплавов при прошивании компактного материала сгустками порошковых частиц .....</b>	<b>140</b>
Студент гр. 104618 Бондаровец М.А. Научный руководитель – Ушеренко Ю.С.	
<b>Процесс динамической перестройки и упрочнения инструментальной стали Р6М5....</b>	<b>141</b>
Студент гр. 104618 Демидов Д.В. Научный руководитель – Ушеренко С.М.	
<b>Обработка ППД восстановленных цилиндрических деталей способом алмазного выглаживания .....</b>	<b>143</b>
Курсант гр. 115111 Ермоленко Н.С. Научный руководитель – Горохов В.А.	
<b>Электрогидравлическая раздача поршневых пальцев.....</b>	<b>144</b>
Курсант гр. 115111 Слабодчиков В.В. Научный руководитель – Горохов В.А.	
<b>Потеря массы алмаза и защита его от окисления и графитации.....</b>	<b>146</b>
Студентка гр. 104618 Жарикова К.В. Научный руководитель – Ковалевский В.Н.	
<b>Особенности формования и спекания сферических порошков с нанопокрывтием из смеси кремния, углерода, молибдена .....</b>	<b>147</b>
Студент гр. 104619 Шарецкий А.В. Научный руководитель – Ковалевский В.Н.	
<b>Исследование механических свойств образцов пористых порошковых материалов из порошка титана и разработка технологии активации спекания .....</b>	<b>148</b>
Студент гр. 104618 Кашаед Е.А. Научный руководитель – Тумилович М.В.	
<b>Результаты триботехнических испытаний твердосплавных резцов при фрезеровании древесных материалов .....</b>	<b>149</b>
Студенты гр. МА 2 Кеник В.Г., Фатеенков А.Д. Научный руководитель – Рудак П.В.	
<b>Структура и свойства псевдосплавов сталь-медь после термической обработки.....</b>	<b>151</b>
Студентка гр.104619 Колодинская Н.С. Научные руководители – Дьячкова Л.Н., Керженцева Л.Ф.	
<b>Исследование триботехнических свойств порошковых материалов на основе меди ....</b>	<b>153</b>
Студент гр.104618 Сманцер Р.В. Научные руководители – Дьячкова Л.Н., Керженцева Л.Ф.	

**Влияние времени выдержки на толщину и структуру цинкового покрытия при термодиффузионном цинковании в порошковых средах с использованием цинксодержащих отходов..... 155**

Студенты гр. 104118 Розенберг Е.В., гр. 104119 Комарова Т.Д.  
Научный руководитель – Урбанович Н.И., Басалай И.А.

## **Охрана труда и промышленная безопасность**

**Охрана труда в логистических центрах при хранении хладогентов..... 158**

Магистрантка Автушко А.С.  
Научный руководитель – Науменко А.М.

**Мониторинг несчастных случаев на предприятиях РБ..... 160**

Студенты гр. 113539 Заранка Т.А., Малышева М.Н.  
Научный руководитель – Науменко А.М.

**Влияние излучения медицинского оборудования на человека ..... 162**

Студенты гр. 113519 Седельник И.В.  
Научный руководитель – Науменко А.М.

**Оценка влияния шума на работающих в литейных цехах..... 163**

Студенты гр. 104318 Бобровник А.А., Козловский Д.В.  
Научный руководитель – Лазаренков А.М.

**Исследование параметров микроклимата литейных цехов..... 164**

Студенты гр. 104318 Пархимович Д.В., Степутенко А.А.  
Научный руководитель – Лазаренков А.М.

**Исследование условий труда электротехнического персонала ..... 167**

Студенты гр. 106339 Бондаренко Г.С., Демяненко А.Н.  
Научный руководитель – Филянович Л.П.

**Факторы пожарной опасности электроустановок ..... 168**

Студенты гр. 106319 Кульчинский Н.И., Горновский И.Н.  
Научный руководитель – Филянович Л.П.

**Влияние освещения на здоровье человека ..... 170**

Студентка гр. 113538 Гиль Н.Н., студент гр. 113021 Адамович А.Р.  
Научный руководитель – Журавков Н.М.

**Прогрессивные способы огнезащиты древесины..... 172**

Студентка гр. 112318 Гончаренко О.Г.  
Научный руководитель – Ушакова И.Н.

**Эксплуатация котлов, работающих на газе ..... 172**

Студенты гр. 106519 Дальков А.В., Гуторов М.С., 106529 Варнель К.Я., Воронович Д.П.  
Научный руководитель – Винерский С.Н.

<b>Анализ шума в литейном цехе.....</b>	<b>174</b>
Студенты гр. 106529 Куцко Т.С., Чемерюков А.С. Научный руководитель – Винерский С.Н.	
<b>Воздушная среда в кузнечно-штамповочных и термических цехах и мероприятия по ее оздоровлению.....</b>	<b>175</b>
Студент гр. 106519 Лазук Д.А. Научный руководитель – Винерский С.Н.	
<b>Барьеры безопасности на АЭС.....</b>	<b>177</b>
Студенты гр. 106819 Лещина К.В., Лешок В.И., Размыслович В.В. Научный руководитель – Винерский С.Н.	
<b>Требования безопасности при эксплуатации системы предочистки водоподготовительной установки нового типа .....</b>	<b>179</b>
Студенты гр. 106429 Мальгин А.В., Павловская А.А. Научный руководитель – Винерский С.Н.	
<b>Условия труда машиниста турбины Оршанской ТЭЦ.....</b>	<b>181</b>
Студенты гр. 106519 Ясько А.С., Бегляк В.В. Научный руководитель – Винерский С.Н.	
<b>Безопасность в строительстве водозаборных скважин.....</b>	<b>182</b>
Студент гр. 115510 Денисов О.Д. Научный руководитель – Крук С.Л.	
<b>Использование защитно-улавливающих сеток в строительстве.....</b>	<b>184</b>
Студенты гр. 112170 Дорохович М.С. и Ринейская О.И. Научный руководитель – Вершеня Е.Г.	
<b>Инновационные технологии противодействия пожарам.....</b>	<b>185</b>
Студенты гр. 112110 Казимиров К.И., Бурак И.К. Научный руководитель – Вершеня Е.Г.	
<b>Воздействие электромагнитного излучения и основные методы защиты от него .....</b>	<b>186</b>
Студент гр. 106619 Замулко П.В. Научный руководитель – Мордик Е.В.	
<b>Влияние излучения сотовой связи на человека.....</b>	<b>187</b>
Студенты гр.113519 Пачковская Н.А., Логвинович А.А. Научный руководитель – Автушко Г.Л.	
<b>Требования безопасности при работе с открытыми источниками ультрафиолетового излучения.....</b>	<b>188</b>
Студент гр. 104818 Подлипский С.Н. Научный руководитель – Данилко Б.М.	

**Особенности аэрозольного пожаротушения ..... 189**

Студентка гр. 114618 Смугалева А.А.  
Научный руководитель – Заволокина А.Н.

### **Химические технологии**

**Изучение антиоксидантных свойств витаминов и эфирного масла лимона в эмульсии, содержащей рапсовое масло ..... 192**

Студентка 8 гр. ф-та ТОВ Алексеева О.Ю.  
Научные руководители – Бондаренко Ж.В., Эмелло Г.Г.

**Поверхностно-активные свойства водных растворов многоатомных спиртов..... 194**

Студентка 8 гр. 3 курса ф-та ТОВ Ивинская П.В.  
Научные руководители – Эмелло Г.Г., Бондаренко Ж.В.

**Разработка составов масс и технологии получения керамических плиток для облицовки стен с использованием каолинов Республики Беларусь ..... 195**

Студентка гр. № 9 Бабич Е.В.  
Научный руководитель – Попов Р.Ю.

**Синтез термостойких керамических материалов на основе каолинов Республики Беларусь ..... 196**

Студентка 5 курса, 9 группы Лященко Е.А.  
Научный руководитель – Попов Р.Ю.

**Использование отечественного сырья для производства тугоплавкого кирпича ..... 198**

Студентка 5 курса, 9 группы Слабко О.В.  
Научный руководитель – Попов Р.Ю.

**Разработка технологии получения изделий с высокой термической устойчивостью на основе кварцевого стекла..... 200**

Студент гр. 8 Бразовский И.И.  
Научный руководитель – Терещенко И.М.

**Разработка и технологические процессы в области производства накладных цветных стекол для декорирования хрустальных изделий ..... 202**

Студентка гр. 8 Кленицкая Т.В.  
Научный руководитель – Терещенко И.М.

**Термоэлектрические свойства слоистых оксидов  $Na_{0,55}Co_{0,9}M_{0,1}O_2$  ( $M = 3d$ -металл)... 204**

Студенты 5 курса 10 гр. ф-та ХТиТ Бусель Т.С., 1 курса 8 гр. ф-та ХТиТ Галковский Т.В.  
Научные руководители – Богомазова Н.В., Клындюк А.И.

**Синтез и физико-химические свойства твердых растворов  $Ca_{2,8}Ln_{0,2}Co_{3,85}M_{0,15}O_{9+\delta}$  ( $Ln = Tb, Er, M = Fe, Bi$ )..... 206**

Студентка 5 курса, 10 группы Колосовская О.Ю.  
Научный руководитель – Клындюк А.И.

<b>Термодинамическая оценка процесса прямого восстановления железной руды синтез-газом .....</b>	<b>208</b>
Студент гр. 104111 Горбель И.А. Научный руководитель – Горбунова В.А.	
<b>Разработка люминофорных покрытий для светодиодных фотопреобразователей оптоэлектронных устройств .....</b>	<b>209</b>
Студентка 5 курса 8 группы Грушко Н.Н. Научный руководитель – Бобкова Н.М.	
<b>Использование гранитоидных отсеков и метадиабаз в производстве плиток типа «грес» .....</b>	<b>211</b>
Студент гр. 9 Гундилович Н.Н. Научный руководитель – Левицкий И.А.	
<b>Получение наноразмерного гидроксида алюминия.....</b>	<b>214</b>
Студент гр. 104140 Заноско О.А. Научный руководитель – Зык Н.В.	
<b>Осаждение наночастиц металлов и их соединений из коллоидных растворов .....</b>	<b>215</b>
Студент гр. 104211 Искандарова Д.О. Научный руководитель – Яглов В.Н.	
<b>Изучение возможности использования растворов серы в сочетании с дополнительными способами обработки бетонных изделий для придания им водоотталкивающих свойств</b>	<b>216</b>
Студент гр. 104211 Колмаков Р.А. Научный руководитель – Глушонок Г.К.	
<b>Перспектива создания электрокаталитических систем на основе ультрадисперсных тугоплавких соединений и неорганических связующих.....</b>	<b>218</b>
Студенты гр. 104121 Кулинич И.Л., гр. 101610 Шевченко А.А. Научный руководитель – Медведев Д.И.	
<b>Применение новых наполнителей в технологии бумаги-основы для мелования .....</b>	<b>219</b>
Студент гр. 6 Курта М.П., аспирант Щербакова Т.О. Научные руководители – Жолнерович Н.В., Черная Н.В.	
<b>Разработка фотохромных стекол, активированных галогенидами меди.....</b>	<b>221</b>
Студент гр. 8 Лукашанец Т.В. Научный руководитель – Папко Л.Ф.	
<b>Использование активированной воды для повышения прочности бетона .....</b>	<b>223</b>
Студент гр. 104612 Мухля А.Д. Научный руководитель – Меженцев А.А.	
<b>Применение карбамидоформальдегидной смолы для модификации материалов.....</b>	<b>225</b>
Студент гр. 104412 Осадчий М.С. Научный руководитель – Бурак Г.А.	

<b>Разработка составов хрустальных стекол с пониженным содержанием PbO для получения сортовой посуды.....</b>	<b>227</b>
Студентка гр. 8 Подосецкая Е.Ю. Научный руководитель – Кравчук А.П.	
<b>Глушеные полуфриттованные глазури для декорирования плиток для полов .....</b>	<b>228</b>
Студент гр. 9 Полуянович Е.Ф. Научный руководитель – Левицкий И.А.	
<b>Получение и применение нанодисперсных металлов .....</b>	<b>230</b>
Студент гр. 104052-12 Римашевский Д.С. Научный руководитель – Шагойко Ю.В.	
<b>Получение строительной лицевой керамики с добавлением отработанных ванадиевых катализаторов .....</b>	<b>231</b>
Студент 13 группы факультета ХТиТ Ровба Е.К. Научные руководители – Романовский В.И., Крышилович Е.В.	
<b>Влияние технологических параметров на кинетику выделения гидроксида алюминия из пересыщенного раствора алюмината натрия .....</b>	<b>232</b>
Студенты гр. 104118 Розенберг Е.В., гр. 104119 Комарова Т.Д. Научный руководитель – Проворова И.Б.	
<b>Гидрометаллургический способ выделения соединений ванадия из отходов теплоэлектростанций .....</b>	<b>234</b>
Студент 14 группы факультета ХТиТ Серикова Е.А. Научные руководители – Курило И.И., Крышилович Е.В.	
<b>Синтез ортованадата вимута в ультразвуковом поле .....</b>	<b>235</b>
Студент 4 к. 2 гр. ф-та ИДиП Харитонов Д.С. Научный руководитель – Курило И.И.	
<b>Сорбенты на основе целлюлозосодержащих материалов .....</b>	<b>236</b>
Студент IV курса, ИДиП-2 Хваль А.С. Научный руководитель – Хмылко Л.И.	
<b>Разработка составов кислотостойких стекол для активной части стеклянного электрода .....</b>	<b>238</b>
Студентка 5 курса 8 группы Чолык Е.С. Научный руководитель – Трусова Е.Е.	
<b>Изучение процесса образования и старения гидрозоля диоксида титана .....</b>	<b>240</b>
Студент гр. 104211 Шкульков М.С. Научный руководитель – Слепнева Л.М.	



## Молодёжные инновационные проекты.

- Организация и управление инновационными предприятиями при университетах**  
**Создание производства высокотехнологичных медицинских изделий-кардиохирургических эндопротезов (стент-графтов)..... 243**  
Студентка гр.113718 Богданчук К.А.  
Научный руководитель – Алексеев Ю.Г.
- Особенности информационного обеспечения инновационной деятельности в условиях современной экономики ..... 244**  
Аспирант Войтешонок М.А.  
Научный руководитель – Парамонова И.С.
- Организационная модель инновационного кластера по использованию вторичных ресурсов на базе МТФ БНТУ ..... 246**  
Магистрант Ласицкая Е.А.  
Научный руководитель – Парамонова И.С.
- Аутсорсинг непрофильных видов деятельности ВУЗов ..... 247**  
Аспирант Цвирко М.В.  
Научный руководитель – Парамонова И.С.
- Где взять «взрослую» идею для молодежного инновационного проекта ..... 248**  
Аспирант Дудко Н.А.  
Научный руководитель – Татьянко Т.С.
- Современные пути развития технопарков ..... 249**  
Студентка гр. 113619 Маруденко Ю.Н.  
Научный руководитель – Татьянко Т.С.
- Развитие инновационного потенциала — важный фактор конкурентоспособности наукоемкого предприятия..... 251**  
Студентка гр.113620 Петрукович О.А.  
Научный руководитель – Татьянко Т.С.
- Развитие малых инновационных предприятий как инструмент модернизации экономики..... 252**  
Магистрант Журкевич М.В.  
Научный руководитель – Гмырак В.Н.
- Создание Зоны новых и высоких технологий БНТУ, как фактор инновационного развития Республики Беларусь..... 254**  
Студент гр. 113629 Зубарьков В.А.  
Научный руководитель – Гмырак В.Н.
- Создание производства нанесения металло-полимерных композиционных покрытий с повышенной стойкостью в условиях агрессивных сред..... 256**  
Магистрант Калинин А.Ю.  
Научный руководитель – Гмырак В.Н.

**Основные подходы к управлению рисками инновационных проектов на предприятиях  
Республики Беларусь ..... 258**

Аспирант Казачинская Е.А.

Научный руководитель – Мелюшин П.В.

Научное издание

**НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ**

Сборник научных работ  
XIV Республиканской студенческой  
научно-технической конференции

23–26 апреля 2013 г.

Подписано в печать 09.10.2013. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 31,97. Уч.-изд. л. 12,50. Тираж 50. Заказ 993.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.