

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный технический университет

Механико-технологический факультет

«НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ»

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ  
СТУДЕНЧЕСКАЯ



Механико-технологический факультет

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ

23 – 27 апреля 2012 года

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

Механико-технологический факультет

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ

Сборник научных работ  
XIII Республиканской студенческой научно-технической конференции

Минск  
БНТУ  
2012

УДК 669 (082)  
ББК 34.3  
Н 76

**ПРЕДСЕДАТЕЛЬ:**

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

**ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:**

**Белявин К.Е.**, д-р техн. наук, профессор;  
**Снарский А.С.**, канд. техн. наук, доцент;  
**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.**, д-р техн. наук, профессор;  
**Меженцев А.А.**, канд. техн. наук, доцент;  
**Слуцкий А.Г.**, канд. техн. наук, доцент.

**РАБОЧАЯ ГРУППА**

**Любимов В.И.**, канд. техн. наук, доцент;  
**Рафальский И.В.**, канд. техн. наук, доцент;  
**Пантелеенко А.Ф.**, ассистент;  
**Вейник В.А.**, ст. преподаватель;  
**Одиночко В.Ф.**, канд. техн. наук, доцент;  
**Науменко А.М.**, канд. техн. наук, доцент;  
**Проворова И.Б.**, ст. преподаватель;  
**Ратников П.Э.**, канд. техн. наук, доцент.

**ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ:**

**Шульга А.В.**

В настоящий сборник включены материалы докладов XIII 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».

**Литейное производство  
чёрных и цветных  
металлов**

Студент гр. 104117 Василюк Е.А.  
Научный руководитель – Неменёнок Б.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Ввиду высокой химической активности алюминия в расплавленном металле всегда в том или ином количестве присутствуют загрязняющие его вещества, которые в зависимости от их природы можно отнести к металлическим и неметаллическим примесям.

Загрязнение алюминия металлическими примесями начинается еще на стадии электролиза, когда из глинозема, анодной массы, электролита и конструктивных элементов электролизера в алюминий переходят железо, кремний, натрий, магний, литий, галлий, титан, хром, олово, марганец, медь, свинец, никель, ванадий и др. металлы. В результате первичный алюминий содержит более 50 различных примесей, хотя концентрация большинства из них и не превышает 0,001 %. Среди них наиболее заметное отрицательное влияние на технологические свойства деформируемых сплавов системы Al-Mg-Si оказывают железо и для сплавов, содержащих избыток магния, натрий.

Неметаллические включения в алюминиевых расплавах представлены, прежде всего, мелкодисперсными оксидами алюминия размерами 0,01 – 1 мкм. Основная масса таких включений имеет размер, близкий к 0,03 мкм, а их содержание, определяемое химическим бромметаноловым методом, находится в пределах 0,001 – 0,007 % .

Крупные неметаллические включения размером 0,1 – 1 мм и более особенно вредны, так как при обработке давлением вызывают склонность металла к трещинообразованию и в местах их нахождения резко снижаются механические свойства, ухудшается обрабатываемость резанием.

Содержание водорода в рассматриваемых нами сплавах невелико и при приготовлении расплава в пламенной печи, как правило, не превышает 0,4 см<sup>3</sup>/100г или  $3,6 \cdot 10^{-5}$  %. По сравнению с другими металлическими примесями это ничтожная величина, но ее приходится принимать во внимание в связи с особенностями поведения водорода в металле.

Основной целью технологической операции продувки алюминиевых расплавов газами является дегазация, хотя при этом может иметь место также и снижение уровня содержания нежелательных металлических примесей или неметаллических включений.

Сущность процесса дегазации состоит в удалении растворенного водорода за счет диффузии и перехода его в поднимающиеся пузырьки рафинирующего газа и последующего выноса из металла при их выходе через свободную поверхность

В качестве рафинирующего газа используют нейтральные для алюминиевого расплава аргон и азот (для сплавов с содержанием магния до 2 %), а также смеси, содержащие добавки в виде активных газов или порошков флюсов.

Ограниченные возможности удаления неметаллических включений при продувке газами вызывают необходимость фильтрования алюминиевых расплавов. Для этого в практике производства алюминиевых сплавов был разработан и применен ряд процессов для отделения с помощью фильтров твердых частиц из протекающего жидкого металла. В их числе:

- Фильтрование через сетчатые фильтры с фиксированными ячейками размером от 0,6×0,6 до 1,7×1,7 мм, изготовленные из стойкого в алюминиевых расплавах бесщелочного алюмоборосиликатного стекла.

- Фильтрование с применением жидкого флюса, обогреваемого пропусканием электрического тока.

- Глубинное фильтрование с применением объемных насыпных и жестких фильтров.

Технология рафинирования деформируемых алюминиевых сплавов должна обеспечивать:

1) Гарантированное удаление из алюминиевого расплава нежелательных примесей до требуемого уровня, позволяющего обеспечить получение качественного металла слитка.

2) Достаточную скорость процесса, исключая снижение производительности плавления-литейного агрегата.

3) Минимальное образование вредных выбросов.

4) Безопасное для персонала ведение процесса.

Для выполнения этих требований сформулируем основные принципы, которые следует учитывать при разработке технологии рафинирования алюминиевых деформируемых сплавов, легированных магнием и кремнием. В их числе:

1. Исключение операции рафинирования расплава в печном агрегате.

2. Организация внепечной рафинирующей обработки расплава в процессе его перелива на пути к литейной машине.

3. Осуществление продувки расплава рафинирующим газом для дегазации и первоначального снижения количества твердых неметаллических включений в металле.

4. Достижение требуемого уровня содержания твердых неметаллических включений в металле за счет глубинного фильтрования с помощью насыпных (зернистых) или жестких пенокерамических фильтров.

5. Особое внимание следует уделять нагреву фильтров.

6. Использование пневматических вибраторов.

В условиях производства СООО “АлюминТехно” организована внепечная рафинирующая обработка расплава, включающая в себя продувку азотом с последующей фильтрацией расплава. Обработка расплава происходит в процессе его перелива на пути к литейной машине. Перечисленные мероприятия обеспечивают высокое качество получаемого сплава.

УДК 693.22.004.18

### **Литьё по газифицируемым моделям**

Студентка гр.104117 Гавриленко Н.Н.

Научный руководитель – Неменёнок Б.М.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Метод литья по пенополистироловым моделям (ЛГМ) был впервые предложен и запатентован в 1958 году как метод изготовления художественных отливок.

Модель отливки изготовлена из пенопласта на основе эпоксидных смол, или полиуретана, или полистирола. Наиболее распространена последняя, т.к. обладает наименьшей газотворной способностью и отличается достаточно высокой скоростью газификации.

Полистирол – бесцветный и прозрачный пластик, растворяется в ароматических углеводородах, эфирах и не растворяется в бензине и спиртах.

Модели производят задуванием порошка полистирола в пресс-формы (весьма простые в изготовлении и часто многоместные). Сущность процесса заключается в том, что сначала исходный бисерный полистирол подвергается предварительной тепловой обработке (вспениванию), затем пресс-форму заполняют вспененными гранулами пенополистирола и производят его повторную тепловую обработку (окончательное вспенивание).

Предварительное вспенивание можно производить в ваннах при температуре воды 95 – 100 °С в течение 1 – 10 минут, в зависимости от исходных гранул, или паром при 100 – 110 °С.

Для окончательного вспенивания гранул в пресс-формах используют четыре основных способа ванн (в кипящей воде), автоклавный (в среде перегретого пара), теплового удара (введение перегретого водяного пара в пресс-форму), токами высокой частоты.

Для разовых и крупных отливок (иногда весом до нескольких тонн) подходит вырезание моделей из плит пенополистирола нагретой нихромовой проволокой, которая режет блочный пенополистирол. Модель, затем полученная по ней отливка, имеют высокую точность (соответственно, низкую металлоемкость) и конкурентный товарный вид. Свободно можно видеть отливку в модели, промерить ее стенки, чего при обычной формовке для сложных с несколькими стержнями отливок просто не сделать, отсутствует смещение стержней и форм при сборке (так как отсутствуют сами стержни). Модели красят быстросохнущей краской с огнеупорным порошком, собирают с литником, засыпают сухим песком в ящике (контейнере) и заливают металлом. При заливке металл испаряет модель и собой ее замещает. Во всех других способах формовки по модели присутствует предварительная операция ее удаления перед заливкой, а в таком отсутствии удаления модели из формы кроется «секрет» точности получаемых отливок. Что заформовали, то и отлили в неподвижном окружающем песке.

Технологический цикл изготовления отливок по ЛГМ включает: – изготовление пенополистироловой модели вспениванием гранул в пресс-форме или механообработкой из блочного пенополистирола; – изготовление литниковой системы и склеивания модельного блока; – окраску модельного блока; – формовку блока сухим песком; – заливку металла в форму без извлечения модели; – выбивку отливок и другие финишные операции.

При изготовлении моделей в пресс-формах могут образовываться дефекты связанные с недостатками конструкции пресс-форм или с несоблюдением режимов вспенивания: недооформленные модели, оплавление, вспучивание, коробление и др.

Процесс литья по газифицированным моделям основан на вытеснении металлом модели из полости формы, поэтому литниковую систему выбирают такой, чтобы это условие выполнялось.

Для сплавов имеющих температуру заливки ниже 750 °С можно применять литниковую систему любого типа.

Если температура заливаемого металла намного превышает температуру термического разрушения модели (для пенополистирола около 560 °С), то металл нужно подводить в полость литейной формы только снизу, значит литниковая система должна быть сифонного или рожкового типа. Питатель должен обеспечивать равномерный подъем металла, т.к. в противном случае могут появиться локальные очаги разложения пенополистирола, что приведет к дефектам, а для стали к науглераживанию, вплоть до образования цементита.

Можно выделить следующие преимущества ЛГМ перед другими методами литья:

- неразъемность модели и отсутствие операции извлечения ее из формы, в результате чего упрощаются процессы изготовления модели и формы, повышается точность отливок;
- процесс позволяет отказаться от отдельно изготавливаемых и устанавливаемых в форму стержней;
- металл заполняет форму снизу, постепенно удаляя газифицируемую модель;
- для формовки можно применять сыпучий материал без связующего;
- модели из пенополистирола дают возможность легировать и модифицировать отливки в форме, для чего в материал модели вводят порошок;

– возможность использования пенополистероловых моделей прибылей, которые можно устанавливать в различных частях формы и придавать им желаемую конфигурацию.

Благодаря особенностям изготовления отливок и преимуществам литья по газифицируемым моделям, данный метод является экономически эффективным по сравнению с другими методами литья.

УДК 693.22.004.18

### **Модифицирование деформируемых алюминиевых сплавов системы Al-Mg-Si**

Студент гр. 104117 Нестеренко В.А.

Научный руководитель – Неменёнок Б.М.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В производстве слитков из алюминиевых сплавов, легированных магнием и кремнием, особое внимание уделяют операции модифицирования, так как она позволяет за счет получения требуемых характеристик структуры не только заметно улучшить технологичность металла при литье, гомогенизации, прессовании, но и исключить ряд дефектов слитков и деформированных полуфабрикатов, способствуя тем самым снижению производственных затрат.

При разработке технологии модифицирования необходимо учитывать, что на измельчение зерна и эвтектических фаз кристаллизационного происхождения в слитках из алюминиевых сплавов, легированных магнием и кремнием, оказывают влияние:

1) Модифицирующие свойства лигатуры, определяемые размером и распределением частиц, являющихся зародышами кристаллизации, ее удельный расход и способ введения в расплав.

2) Химический состав сплава, характеризующийся степенью легированности, а также присутствием титана, циркония, хрома, ванадия.

3) Состав шихтовых материалов, используемый для приготовления плавки.

4) Способ рафинирования расплава.

5) Условия кристаллизации слитка, зависящие от его размеров и формы, способа разлива и режимов литья.

Поэтому выбор оптимальной технологии модифицирования, обеспечивающей достижение наилучшего модифицирующего эффекта при минимальных затратах на операцию, производится для каждого конкретного производства. При этом следует исходить из следующих принципов:

1) Отказ от модифицирования расплава в печи, что позволяет снизить издержки производства за счет экономии лигатуры и повышения эффективности работы печного оборудования.

2) Применение внепечного модифицирования лигатурами в форме прутка с непрерывной подачей его в расплав при переливе из раздаточной печи в литейную машину.

3) Оптимизация удельного расхода модификатора. При недостаточном количестве активных для зародышеобразования частиц увеличивается склонность слитков к образованию столбчатой структуры и горячих трещин (в частности, при повышенных скоростях литья). При избыточном количестве имеет место незначительное дальнейшее уменьшение размера зерна при существенном увеличении склонности к образованию грубых интерметаллидных включений при применении лигатур AlTiB и неоправданный рост затрат.

4) Отказ от применения хлора в устройствах для продувки потока жидкого металла рафинирующим газом, позволяющий снизить риск образования конгломератов боридных включений и их появления в металле слитков.



5) Оптимизация температурного режима модифицирования. Модифицирующая способность лигатур возрастает с понижением температуры расплава, но повышенные температуры способствуют ускорению растворения прутка. Поэтому температуру обработки выбирают с учетом компромисса: обычно ее принимают равной верхнему пределу температуры литья слитков из данного сплава, увеличенному на величину ее потерь на последующем после введения прутка участке перелива расплава. Следует отметить, что в практике многокристаллизаторного литья слитков особое внимание следует уделять способам уменьшения потерь тепла на литейном столе. Если разница в температурах расплава, поступающего в различные кристаллизаторы, будет слишком велика, возникает опасность получения в слитках одной плавки разных структур, особенно при использовании модификаторов с повышенной температурной чувствительностью.

Модифицирующие лигатуры выпускают в форме прутков диаметром, как правило, 9,7 мм, смотанных в бухты массой 180 – 450 кг, рубленых в меру прутков длиной 50 см (масса 100 г) или 100 см (масса 200 г), чушек в виде вафельных пластин массой около 7 кг, рубленых брусков массой 0,5 и 2,5 кг. Модифицирующие лигатуры AlTiC выпускают только в форме прутков.

Основные требования к качеству модифицирующих лигатур заключаются в гарантированном обеспечении постоянства химического состава и равномерного по объёму распределения фаз. В металле должны отсутствовать оксидные загрязнения металла, а поверхность – быть чистой без грубых оксидных плен и следов коррозии. Требования к геометрии заключаются в постоянном по длине бухты диаметре прутка и его круглом сечении.

В производстве слитков наиболее широкое применение нашли лигатуры в форме прутка: они составляют примерно 80 % от объёма выпуска модифицирующих лигатур. Это обусловлено, с одной стороны, более высоким качеством модификаторов в форме прутка и, с другой стороны, несомненными преимуществами непрерывного процесса модифицирования по сравнению с модифицирующей обработкой расплава в печи.

Лигатура AlTi<sub>5</sub>B<sub>1</sub> является наиболее известной и популярной как у производителей слитков, так и производителей фасонного литья. При использовании этой лигатуры в форме прутка удельный расход составляет:

1. При литье слитков для прессования: 0,5 – 2 кг/т;
2. При литье слитков для прокатки: 0,5 – 1,5 кг/т;
3. При литье листов и полос на машинах непрерывного литья: 1 – 3 кг/т;
4. При производстве отливок из литейных сплавов: 1 – 5 кг/т.

Уменьшенный расход модификатора при литье слитков (0,5 кг/т) может быть связан с вовлечением в шихту рециклированного алюминия, уже содержащего какое-то количество активных для зародышеобразования частиц. Увеличенный же расход при обработке литейных сплавов (5 кг/т) обусловлен “отравлением” модификатора при выдержке в сплавах, содержащих более 3% кремния.

УДК 669.015.7

#### **Снижение выплат экологического налога за выбросы в атмосферный воздух от ДСП**

Студентки гр. 104117 Базар С.В., гр. 104128 Раковец О.А.  
Научный руководитель – Неменёнок Б.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

На промышленных предприятиях Республики Беларусь для учета выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферный воздух используются результаты

инвентаризации источников выбросов и данных журналов учетной документации в области охраны окружающей среды. При этом суммарные за длительный период времени выбросы обычно определяются по результатам кратковременных (разовых) измерений концентраций ЗВ и скорости газов в дымовой трубе. Однако экстраполяция результатов разовых измерений не может обеспечить достаточную точность определения валовых выбросов, которая достигается при непрерывных стационарных измерениях. Это особенно актуально для оборудования, которое работает по сложному переменному графику, например для дуговых сталеплавильных печей (ДСП).

На Белорусском металлургическом заводе эксплуатируются три 100-т ДСП, вклад которых в общий валовой выброс всех источников предприятия составляет около 70 %. Режим работы этих печей включает различные стадии производственного процесса: подготовку к плавке; завалку металлолома; проплавление шихты; режим интенсификации с использованием газокислородных горелок, инжекторов кислорода и угольной пыли; выпуск жидкой стали. При этом объемы выбросов в атмосферу в различные периоды плавки могут различаться на порядок. Так концентрация CO по ходу плавки изменяется от 112 до 1325 ppm, NO<sub>x</sub> от 1,0 до 9,0, SO<sub>2</sub> от 3,0 до 24,0 ppm. Кроме цикличности и нестационарности режима, на колебания количества выбросов влияют изменения характеристик топлива, сырья и используемых материалов; различные режимы нагрузки технологического оборудования и др. Поэтому учет выбросов по разовым измерениям не может быть достаточно достоверным.

В связи с этим было принято решение об оснащении в первую очередь этих источников автоматизированными системами непрерывного контроля за выбросами загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферу (АСК).

Разработанная АСК состоит из следующих основных узлов:

- программно-алгоритмического обеспечения;
  - беспробоотборных оптоэлектронных газоанализаторов для измерения концентраций CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> и пыли, установленных на светофорной площадке дымовой трубы;
  - ультразвуковых измерителей скорости дымовых газов, установленных там же;
  - датчиков температуры и давления дымовых газов: блока сбора, обработки, хранения и передачи информации на верхний уровень через Ethernet-сеть предприятия;
  - двух промышленных панельных компьютеров – один с функцией устройства длительного хранения информации о параметрах системы и результатах измерений, другой с функциями станции сигнализации, устройства отображения информации;
  - сетевых персональных компьютеров с программным обеспечением верхнего уровня
- визуализации результатов измерений и сервисной информации (самодиагностики АСК), построения таблиц, графиков, отчетных форм, печати, а также архивирования и хранения баз данных.

Применение беспробоотборных приборов обеспечивает взамен точечного проведение слоевого анализа дымовых газов при помощи светового луча, генерируемого специальной лампой. Оптические элементы имеют защиту от пыли. Скорость газов измеряется ультразвуковым лучом на длине, равной диаметру трубы. Таким образом, концентрации и скорости измеряются по месту, непосредственно в дымовой трубе.

С площадки дымовой трубы информация о концентрации измеряемых веществ, скорости, температуре и давлении отходящих газов передается на автоматические рабочие места по информационному кабелю. Такая схема контроля в автоматизированном режиме в отличие от пробоотборных методов обеспечивает высокие эксплуатационные показатели приборов при минимальном обслуживании. Расчеты выбросов по данным первичных измерений выполняет контроллер.

Система автоматического мониторинга выбросов предоставляет информацию о результатах измерения выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов, об их

концентрациях, о расходе дымовых газов, а также часть сервисной информации о состоянии приборов.

В целом АСК позволяет получить достоверные данные о выбросах, особенно за длительный период времени, повысить уровень эксплуатации электропечей. Результаты замеров за период опытной эксплуатации АСК в течение 8 месяцев показали, что фактический выброс в атмосферный воздух от печи составил на 10 – 15 % меньше по сравнению с расчетными данными, полученными при инвентаризации с применением разовых периодических измерений концентраций загрязняющих веществ и скорости газов.

УДК 669.71: 621.745

### **Варианты переработки отходов металлургии вторичного алюминия**

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

Общемировая тенденция роста объемов потребления алюминия, ужесточение экологических требований и дефицит энергоресурсов требуют повышения эффективности процессов извлечения алюминия из отходов производства. К концу 2010 года в странах Европы доля алюминия, получаемого из вторичного сырья, составила 65 – 70 %. Увеличение потребления алюминия и расширение областей его применения привело к росту объемов мелкодисперсных и загрязненных отходов с содержанием алюминия от 40 до 85 %, а содержание алюминия в образующихся при плавке шлаках колеблется от 6 до 85 % и определяется технологией плавки и типом плавильного агрегата.

Хранение шлаков на открытом воздухе и открытая их транспортировка приводит не только к потере металлургического выхода алюминия, но и к избыточному выделению газов при контакте химических соединений, содержащихся в шлаках с водой. Объем образующихся при этом газов может достигать нескольких десятков литров на килограмм шихты. Выделяющиеся газы (аммиак, сероводород) создают трудности в процессе последующего хранения и переработки, что требует дополнительных операций по подготовке шихты и обеспечению безопасности для работающего персонала.

Анализ состава порошкообразных отвальных шлаков показал, что вполне возможна их металлургическая переработка, а для более рационального использования хлоридов калия и натрия, содержащихся в отвальных шлаках, последние целесообразно перерабатывать совместно со сливами и съемами, что обеспечит снижение расхода флюсующих материалов на плавку.

Одной из основных проблем производства алюминиевых сплавов является переработка шлака, содержащего > 30 % хлоридов щелочных металлов, и утилизация полученных отходов. Существует два направления переработки солевого шлака. Первое – гидromеталлургический метод, включающий дробление шлака, выщелачивание водой и кристаллизацию солей. При использовании гидromеталлургической схемы переработки солевого шлака отходы будут представлены шламом (фракция < 1 мм), содержащим до 10 % алюминиевого сплава, глиноземом (30 – 50 %), оксидами кремния и других металлов, а также 10 – 20 % солевой фракции (NaCl + KCl). Второе направление – это сухая переработка шлака с использованием установок фирмы «Реметалл», включающая дробление, рассев по фракциям с целью выделения алюминийсодержащего концентрата для плавки. Отходы в этом случае будут представлены отсевами шлака фракции 2 мм с содержанием солей > 70 %. При этом солевые шлаки с содержанием металла > 20 % используются для

получения хлоргидрата алюминия, применяемого для очистки промышленных сточных вод. Результаты испытания этого продукта показали высокую эффективность очистки.

Следует отметить, что оба направления переработки требуют значительных капиталовложений и будут рентабельными только при больших объемах производства.

Известны варианты использования алюминиевых шлаков для производства утеплительных вставок в кокилях и огнеупорных обмазок для тигельных печей, а также при получении термостойких огнеупорных материалов.

Имеется положительный опыт по переплаву алюминиевых шлаков в дуговой печи с получением вторичных алюминиевых сплавов. Известны попытки введения шлаков в состав бетонов, дорожных покрытий и т.д., не приведшие, однако, к промышленному внедрению.

В настоящее время переработка шлаков, образующихся в процессе плавки алюминиевых сплавов, успешно осуществляется на многих предприятиях. Однако в результате этой переработки образуются отходы – шлаки, которые содержат около 7 % алюминия металлического, 70 – 75 % оксида алюминия, хлориды и оксиды натрия и калия, оксиды железа. Дальнейшая металлургическая переработка этих отходов экономически нецелесообразна, и поэтому они подлежат захоронению на промышленных полигонах. В то же время, при определенной доработке, а именно, дроблении и механическом смешивании с мелкой фракцией алюминиевой стружки, данный материал можно использовать для раскисления сталеплавильных шлаков. Применение отходов вторичной металлургии алюминия для раскисления сталеплавильных шлаков позволит создать безотходное производство по переработке алюминиевых шлаков и стружки; избежать захоронения отходов 3 – 4 класса опасности, что благоприятно скажется на экологии; уменьшить затраты при производстве стали на металлургических заводах, так как стоимость, раскисляющих смесей на основе отходов меньше, чем традиционных раскислителей.

УДК.621.74.043.2

### **Разделительные покрытия для пресс-форм литья под давлением**

Студенты гр. 104128 Минич В.В., гр. 104128 Гринкевич П.Н.

Научный руководитель – Михальцов А.М.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Нанесение разделительных покрытий является непременным условием при производстве отливок методом литья под давлением. Смазывание литейной оснастки разделительными покрытиями предохраняет поверхностные слои пресс-формы от эрозионного и теплового воздействий струи металла, снижает трение отливки о пресс-форму в процессе выталкивания, а водорастворимые смазочные материалы одновременно охлаждают поверхностные слои пресс-формы.

Существует предположение, что после нанесения разделительного покрытия на поверхность пресс-формы разбавитель испаряется, а на оснастке остается тонкий слой смазывающего компонента, который обеспечивает беспрепятственное извлечение отливки.

Самыми распространенными разделительными покрытиями для пресс-форм литья под давлением за рубежом являются водоземulsionные. Ведущие предприятия Республики Беларусь вынуждены закупать их за рубежом. Другие предприятия используют устаревшие водоземulsionные смазки отечественного производства, либо препараты на основе минеральных масел, которые наносят на поверхность пресс-форм с помощью «квача». Пары и газы, образующиеся при деструкции масляных смазок, загрязняют окружающую атмосферу, ухудшая условия труда литейщиков; попадая в металл при запрессовке,

увеличивают пористость отливок, снижают их механические свойства, в некоторых случаях способствуют ухудшению качества поверхности отливок.

Эффективность использования разделительных покрытий зависит не только от набора веществ, применяемых для приготовления разделительного покрытия, но также от типа устройств, служащих для их нанесения на поверхность технологической оснастки. При переходе с масляных составов на водоэмульсионные целесообразно механизировать или автоматизировать процесс их нанесения на поверхность пресс-формы.

В свете изложенного со всей определенностью встает необходимость разработки новых разделительных составов для пресс-форм литья под давлением на водной основе, которые бы в полной мере отвечали требованиям времени.

УДК 621.745.669.13

### **Термодинамический анализ процессов восстановления легирующих элементов из соединений**

Студенты гр.104128 Шульга А.В., гр. 104110 Свиридов С.А., Дик А.Б.

Научный руководитель – Слуцкий А.Г.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В промышленных условиях металлы и сплавы получают с использованием восстановительных процессов. В качестве восстановителей используются газы и твердые вещества, такие как углерод либо металлы.

В общем виде процесс восстановления газами (косвенное восстановление) протекает по следующей реакции:



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

$$K_1 = \frac{\%CO_2}{\%CO} = \frac{1}{n_{min}-1} \quad (2)$$

$$n_{min} = 1 + \frac{1}{K_1} \quad (3)$$

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

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

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

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

№, п/п	Восстановительная реакция	$lgK = \frac{A}{T} + B$	lgK1	K1	Количество восстановителя CO, %
1.	$NiO + CO = Ni + CO_2$	$lgK_1 = -\frac{2254}{T} + 0,42$	0,7	5,01	16
2.	$MoO_3 + 3CO = Mo + 3CO_2$	$lgK_2 = -\frac{5364}{T} + 0,01$	-2,87	$1,5 \cdot 10^{-3}$	99,8

Анализ полученных результатов свидетельствует, что никель относится к первой группе оксидов, а молибден третьей группе.

Полученная закономерность подтверждается результатами расчётов температуры начала восстановления этих элементов твёрдым углеродом графическим методом (рисунок 1).

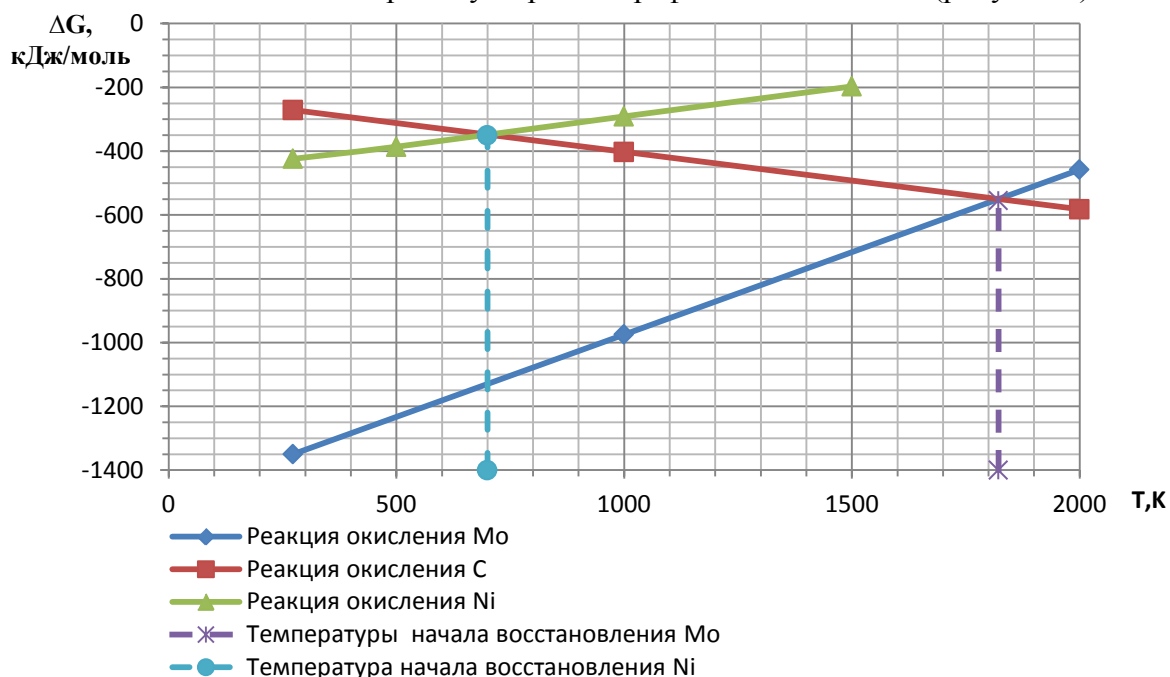


Рисунок 1 – График температуры начала восстановления молибдена и никеля твёрдым углеродом

В металлургии широко используется процесс восстановления металлов твёрдым углеродом, который протекает через газовую фазу по следующим реакциям:



Температура, при которой реакция (4) находится в равновесии имеет строго определенное значение. Она называется температурой начала восстановления ( $T_{нв}$ ) металла из оксида твёрдым углеродом. Один из методов расчёта основан на том, что температура начала восстановления металла соответствует температуре, при которой химическое сродство восстанавливаемого металла углерода к кислороду одинаковы. На рисунке 1 представлены результаты термодинамических расчётов из которых следует, что температура начала восстановления никеля составляет 700 К, а молибдена в несколько раз выше – 1800 К. Полученные расчётные данные согласуются с результатами по косвенному восстановлению, например, молибдена.

Одним из методов извлечения легирующих элементов из соединения является металлотермическое восстановление. В качестве восстановителей используются элементы, имеющие более высокое сродство к кислороду (алюминий, магний, кальций и др.). Процесс сопровождается выделением значительного количества тепла, за счёт которого обеспечивается формирование слитка восстановленного металла либо сплава. Например, для успешного течения алюминотермического процесса без внешнего подогрева необходимо, чтобы приход тепла составлял не менее 2300 Дж на 1 г смеси. Расчёты показали, что термичность восстановительной смеси на основе оксида молибдена и алюминия высокая и составляет 4700 Дж на 1 г. Это означает, что данный процесс не требует внешнего подогрева компонентов смеси.

Проведённые термодинамические расчёты показали, что для таких металлов как молибден рациональной технологией его восстановления является внепечной способ металлотермии.

УДК 621.745.669.13

### **Исследование процесса получения модификатора-раскислителя содержащего дисперсные частицы активных элементов**

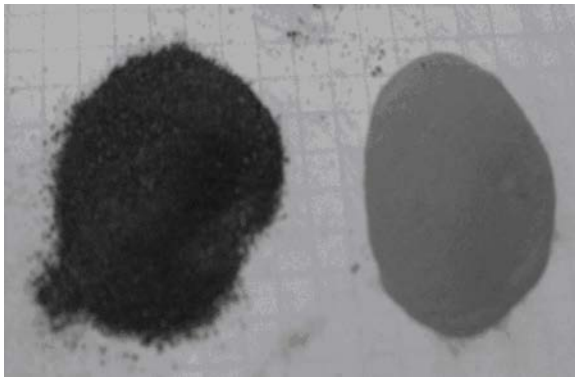
Студенты гр.104119 Кривопуст А.А., Билиба Н.Э.  
Научный руководитель – Слуцкий А.Г.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Вопросам улучшения качественных характеристик отливок из железоуглеродистых сплавов уделяется большое внимание. В практике литейного производства для этих целей используется процесс модифицирование жидкого расплава. Он обеспечивают изменение параметров кристаллизации сплава, измельчение литой структуры, снижение загрязненности расплава неметаллическими включениями, изменение фазового состава металлической основы. В настоящее время большое внимание уделяется применению ультрадисперсных порошков УДП химических соединений (нитриды, карбиды, оксиды, карбонитриды и др.) при получении новых материалов и сплавов. Размер частиц таких порошков не превышает 100 нм и, обладая уникальными физико-химическими и механическими свойствами, они могут влиять на качество получаемых изделий.

В БНТУ разработан состав комплексного модификатора на основе алюминия и РЗМ и способы его получения. Данный быстроохлажденный модификатор хорошо зарекомендовал себя при внепечной обработке жидкого чугуна и особенно при тонкостенном литье как в разовые так и постоянные формы.

Целью настоящей работы является повышение эффективности базового модификатора за счет использования в его составе УДП активных элементов.

Исходными материалами для получения модификатора являлись порошок чистого алюминия, измельчённая лигатура ФС30РЗМ30 с размером фракции менее 1 мм и дисперсные порошки карбида и нитрида титана, карбида бора и оксида иттрия. Общий вид данных материалов, технологическая оснастка и полученные брикеты представлены на рисунках 1 – 2.



а)



б)

Рисунок 1 – Материалы для изготовления брикетов:  
а – порошок Al и дробленая лигатура ФС30РЗМ30; б – нанопорошки соединений активного элемента



а)



б)

Рисунок 2 – Оснастка и образцы брикетов:  
а – оснастка для получения брикетов; б – общий вид полученных брикетов

На следующем этапе работы проводились исследования процесса получения образцов модификатора.

Исходные компоненты в необходимых количествах взвешивались на аналитических весах и загружались в лабораторный смеситель. Из полученной однородной смеси методом прессования изготавливались брикеты с целью последующего переплавы в модификатор. Навески брикетов загружались в алундовый тигель и проплавлились в печи сопротивления под слоем флюса при температуре 1000 °С. Затем расплав перемешивали, тигель извлекали из печи и проводили быстрое охлаждение полученного модификатора в воде. На рисунке 3 представлены сравнительные результаты опытных плавок модификатора по двум вариантам. Установлено, что металлургический выход модификатора при плавке брикетов под слоем флюса составил 76 – 84%. При плавке без флюса металлургический выход оказался ниже 60 – 65%.



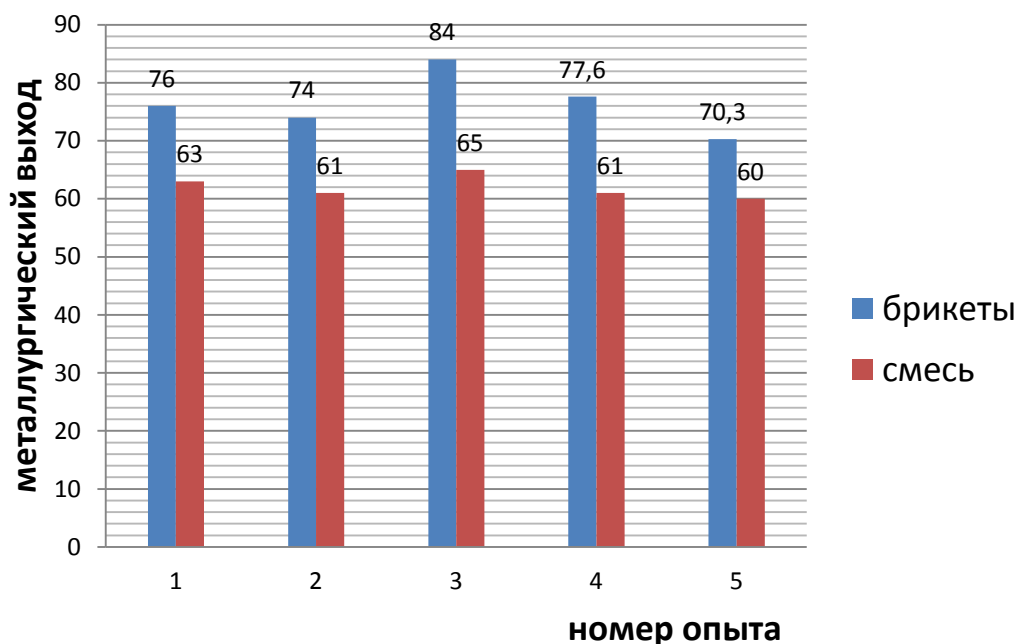


Рисунок 3 – Влияние способа переплава на металлургический выход модификатора:  
 1 – 0,5 TiN; 2 – 0,5 TiC; 3 –  $B_4C$ ; 4 –  $Y_2O_3$ ; 5 – исходный модификатор

На рисунке 4 представлены фотография образца быстроохлажденного модификатора, содержащего в своем составе дисперсные порошки соединений активных элементов. Проведение исследований по усвоению нанопорошков активных элементов при получении модификатора планируется на следующем этапе работы.



Рисунок 4 – Общий вид образца быстроохлажденного модификатора

Таким образом проведенные предварительные исследования показали возможность применения нанопорошков активных элементов в составе базового модификатора-раскислителя на основе алюминия и РЗМ.

**Неразрушающий акустический контроль качества алюминиевых отливок**

Магистрант Шахлович И.Г., студентка гр. 104129 Лавринчик Е.Г.

Научный руководитель – Рафальский И.В.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Производственный технический контроль литых изделий является важнейшим элементом системы управления качеством 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%-ный) контроль с применением современных методов неразрушающего контроля. В настоящее время ни один технологический процесс получения ответственной продукции не внедряется в промышленность без соответствующей системы неразрушающего контроля.

Акустические методы основаны на регистрации колебаний, возбуждаемых или возникающих в контролируемом объекте. Их применяют для обнаружения поверхностных и внутренних дефектов в деталях и изделиях, изготовленных из различных материалов, без их разрушения.

Требованиям НК хорошо удовлетворяют ультразвуковые методы контроля (УЗК) и дефектоскопы, которые нашли широкое распространение в машиностроении для контроля качества различных изделий [1, 2]. Однако для контроля структуры и свойств изделий с плохим качеством поверхности применение этих методов усложняется в связи с трудностями, связанными с введением в объект контроля УЗ колебаний. Кроме того, при контроле литых изделий различных сложных форм и размеров возникают дополнительные трудности, связанные с многократными отражениями сигнала и краевыми эффектами. В этих случаях большую помощь оказывают низкочастотные акустические методы, также позволяющие определить физико-механические свойства материала по упругим параметрам среды [3].

Низкочастотные акустические методы, использующие связь частот собственных колебаний изделия, определяемых в процессе НК, с его структурой и свойствами, являются одними из самых простых и надёжных для решения задач контроля качества реальных изделий различных сложных форм и размеров.

В работе исследовали взаимосвязь акустических характеристик с наличием брака по газовой пористости в отливке «Крестовина 106» из сплава АК12М2 ЗАО «Атлант» (рисунок 1).



Рисунок 1 – Скопление газовой пористости в отливке «Крестовина»

Сбор информации осуществлялся с использованием микропроцессорного устройства на базе микроконвертора серии ADuC834/ADuC8x, обеспечивающего функции автоматизированного сбора акустических данных об объектах контроля (отливках).

На рисунке 2 представлена диаграмма распределения годных и бракованных отливок в пространстве акустических характеристик (значений резонансных частот).

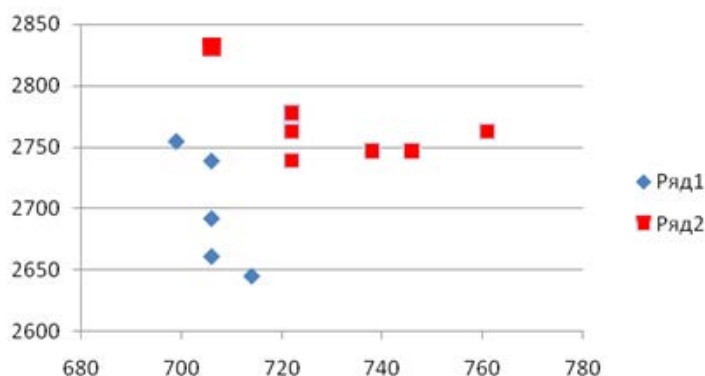


Рисунок 2 – Диаграмма распределения годных и бракованных отливок в пространстве акустических характеристик (значений резонансных частот):

◆ – бракованные отливки; ■ – годные отливки

Как видно из рисунка 2, разложение бракованных и годных отливок обеспечивается в пространстве двух информативных признаков, полученных с использованием низкочастотного акустического метода неразрушающего контроля, что может быть использовано для определения газовой пористости в отливках из алюминиевых сплавов.

### Литература

1. Немененок Б.М., Гурченко П.С., Рафальский И.В. Контроль качества продукции металлургического производства. – Минск: БНТУ, 2007. – 408 с.
2. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн.2. Акустические методы контроля: Практическое пособие /И.Н.Ермолов, Н.П.Алешин, А.И.Потапов; Под ред. В.В.Сухорукова. – М.: Высш.шк., 1991. – 283 с.
3. Глаговский Б.А., Московенко И.Б. Низкочастотные акустические методы контроля в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1977. – 208с.

УДК 621.746

### Способы получения литейных композиционных материалов на основе алюминия

Магистрант Волкович А.И., студент гр. 104128 Акулич Н.Н.  
Научные руководители – Рафальский И.В., Арабей А.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Основной задачей современного машиностроения является повышение надежности и долговечности литых изделий. Повышение физико-механических свойств отливок требует создания оптимальных структур литейных сплавов, обеспечивающих требуемый уровень эксплуатационных характеристик. В связи с этим значительный научный и практический интерес исследователей связан с разработками новых типов металлических материалов, упрочненных волокнами или дисперсными частицами неметаллической фазы. В результате упрочнения достигается значительное снижение плотности материала, коэффициента термического расширения и повышение прочности, твердости, износостойкости и т.д.

Большое внимание привлекают к себе литейные композиционные материалы на основе наиболее широко распространенных элемента земной коры – алюминия, упрочненного различными дисперсными частицами: карбидами, нитридами, оксидами и др. Однако до настоящего времени отсутствуют практические рекомендации по разработке дисперсно-упрочненных композиционных литейных сплавов на основе алюминия и технологических процессов их производства.

Наиболее широкое применение в промышленности из алюминиевых сплавов находят сплавы на основе системы алюминий-кремний с различным содержанием легирующих элементов. Эти сплавы широко используются в авиационной, приборостроительной, машиностроительной, судостроительной и электротехнической промышленности благодаря высокому уровню физико-химических свойств, хорошей технологичности и высокой коррозионной стойкости.

Возможность получения литейных алюмоматричных композиционных материалов (ЛАКМ) с использованием литейных технологий на основе недорогих и доступных неметаллических материалов является актуальным и перспективным направлением в области создания новых литейных композиционных материалов.

В последние десятилетия разработаны новые технологии изготовления металлических композиционных материалов (МКМ), включающие технологии приготовления и смешивания компонентов металлической матрицы и неметаллической фаз. Однако в большинстве случаев стоимость изготовления МКМ является очень высокой либо имеются существенные ограничения, связанные с дефектами структуры, необходимостью использования специального оборудования и оснастки, сложной формой изделий и др. [1 – 2].

В соответствии с принятым критерием (агрегатное состояние металлической основы) более обоснованной представляется схема классификации технологий получения литейных композиционных материалов на основе алюминия, в которой выделяются следующие группы процессов:

- твердофазные (включая методы ПМ);
- жидкофазные (включая методы жидкого прессования, вортекс-процесс, методы механического и электромагнитного замешивания, замешивания с подачей газовой среды, вакуумной и компрессионной пропитки, плазменной инъекции, центробежного литья, литье под низким и высоким давлением, лигатурный метод, в том числе метод легирования таблетками и порошковыми брикетами);
- гетерофазные (жидко-твердофазные) процессы, в которых ввод упрочняющих частиц осуществляется в интервале кристаллизации сплавов, включая композиционное литье жидко-твердых суспензий (semi-solid процесс) [3].

Качество литейных композиций и возможность их получения зависят от ряда параметров: смачиваемости дисперсной фазы расплавом, природы дисперсных частиц и предварительной их подготовки, температуры дисперсионной среды, режимов перемешивания металлического расплава при вводе частиц и др. [4]. Хорошая смачиваемость дисперсной фазы достигается за счет ввода поверхностно-активных металлических добавок и предварительной подготовки дисперсной фазы.

Известно, что окисные пленки на твердой поверхности являются регулятором смачивания. В зависимости от свойств контактирующих фаз эта пленка может либо улучшать, либо ухудшать смачивание. Однако при разработке новых и усовершенствовании имеющихся моделей синтеза этому факту мало уделяется внимания.

Тем не менее, алюминий и его сплавы чрезвычайно чувствительны к окислению и наличие даже ничтожно малого количества кислорода достаточно, чтобы мгновенно образовался слой оксида алюминия даже при комнатной температуре [5].

Именно наличие этого слоя оксида алюминия является основной причиной большого разброса как экспериментальных данных по смачиванию алюминием всех керамических систем, а также подавляющего большинства проблем прикладного характера, связанных с

получением ЛАКМ. Разработка технологий ресурсосберегающего синтеза литейных сплавов на основе алюминия, упрочненных дисперсными композиционными материалами, может осуществляться только с учетом межфазных взаимодействий на поверхности раздела «алюминиевая матрица – оксид алюминия – упрочняющая фаза».

### Литература

1. Интернет-источник: <http://www.scribd.com/doc/47166077/Ammc> - Pradeep K.Rohatgi. Metal-matrix composites // Defence Science Journal, Vol. 43, N. 4, 1993.- PP.323-349
2. T.W.Clyne, P.J.Withers. An Introduction to Metal-Matrix Composites, Cambridge University Press, 1995, 528 P.
3. Рафальский И.В. Получение литейных композиционных материалов из алюминиевых сплавов в гетерофазном состоянии с дисперсными наполнителями / Литье и металлургия. – 2011. – №3. – С.26-31
4. Панфилов А. В. Литые композиционные материалы, армированные тугоплавкими дисперсными частицами / А. В. Панфилов // Литейное производство.- 1993. – № 6. – С. 15-18.
5. N.Sobczak, J.Sobczak, R.Asthana, R.Purgert. The mystery of molten metal // CHINA FOUNDRY. 2010, Vol.7 No.4 – P.425-437.

УДК 621.746

### **Использование метода термического анализа для определения содержания кремния в сплаве системы Al-Si в широком диапазоне концентрации кремния**

Студенты гр. 104118 Розенберг Е.В., 104128 Самусевич Д.В.

Научный руководитель – Арабей А.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Диаграмме состояния системы Al-Si посвящено большое количество исследований. Эта система относится к простому эвтектическому типу с небольшой растворимостью компонентов друг в друге в твердом состоянии. Представленная на рисунке 1 диаграмма состояния системы Al-Si получена на основании ряд научных работ, результаты которых с достаточно большой вероятностью согласуются друг с другом, особенно для сплавов доэвтектической области [1, 2].

Максимальная растворимость Si в твердом алюминии составляет  $1,5 \pm 0,1$  % (ат.) при температуре эвтектики  $577$  °С. Растворимость алюминия в кремнии носит ретроградный характер, максимальное ее значение составляет  $0,016 \pm 0,003$  % (ат.) при температуре  $1190$  °С. Эвтектическая точка расположена при содержании кремния в количестве  $12,2 \pm 0,1$  % (ат.) [1, 2]. Однако необходимо отметить, что по некоторым литературным источникам состав эвтектической точки колеблется от 11,7 до 14,5 % (масс.) кремния. Наиболее вероятное значение состава эвтектической точки – 12,5 % (масс.) Si [3].

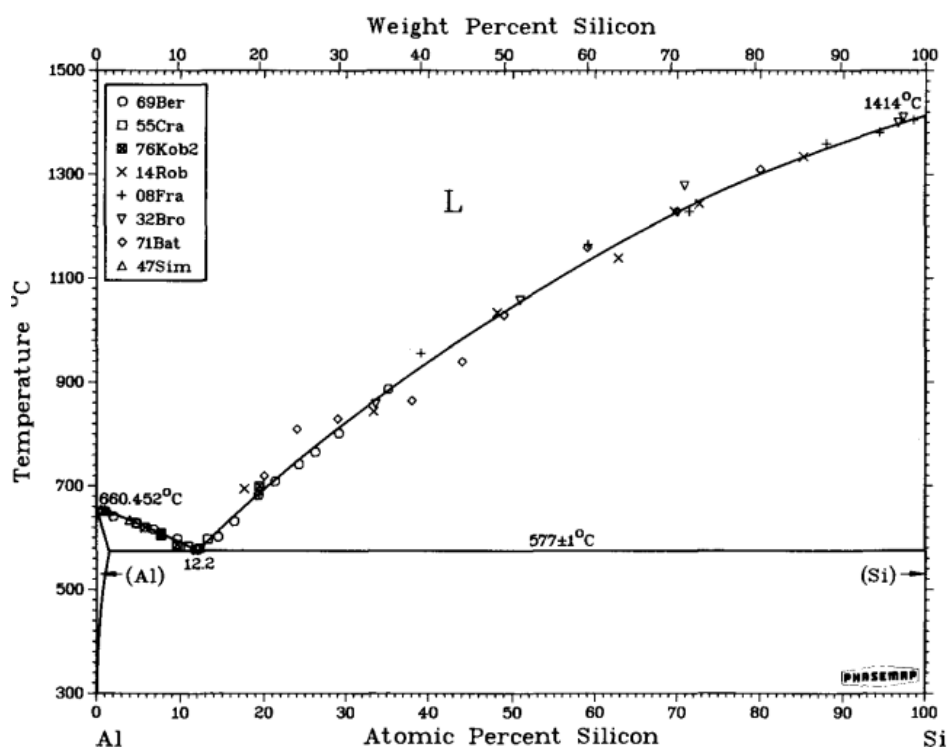


Рисунок 1 – Диаграмма состояния системы Al-Si

Термический анализ (ТА) широко используется в мировой практике в качестве метода получения данных о свойствах литейных сплавов. Метод термического анализа является высокочувствительным методом измерения теплофизических характеристик и широко используется для экспрессного контроля качества литейных сплавов. С появлением микропроцессорных средств сбора и обработки данных появилась возможность с высокой точностью методом ТА получать информацию о сплаве, записывать и анализировать кривые охлаждения в режиме реального времени. Метод ТА широко используют для определения температур начала и конца кристаллизации сплава при кристаллизации пробы расплава.

Математические модели для оценки содержания кремния в силуминах с использованием в качестве входных параметров модели температуры начала кристаллизации сплава, имеют ограничения, связанные с точкой эвтектического превращения. В том случае, если в процессе плавки концентрация основного легирующего элемента (кремния) окажется больше (для доэвтектических сплавов) или меньше (для заэвтектических сплавов), чем эвтектическая, результат оценки состава сплава может оказаться неверным. Это связано с тем, что одно и то же значение температуры ликвидус в интервале температур 577 – 660 °С может соответствовать как доэвтектическому, так и заэвтектическому сплаву (например, для сплавов Al – 1,8% Si и Al – 18% Si температура ликвидус составляет около 650 °С). Решение указанной проблемы может быть реализовано с использованием моделей классификации, построенных с привлечением двух и более информативных признаков – параметров кривой охлаждения.

### Литература

1. Murray, J. L. Bulletin of Alloy Phase Diagrams / J. L. Murray, A. J. McAlister // Vol. 5, - No. 1, 1984.
2. Диаграммы состояния двойных металлических систем ред. Лякишева Н.П. Машиностроение, 1996-2000 г.
3. Мондельфо, Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов / Л.Ф. Мондельфо; пер. с англ. – М.: Металлургия, 1979. – 640 с.

УДК 693.22.004.18

### **Некоторые технологические моменты рафинирования расплавов на основе алюминия карбонатом кальция**

Студент гр. 104118 Скуратович А.З.  
Научный руководитель – Задруцкий С.П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Принцип рафинирующей эффективности карбоната кальция основан на протекании реакции  $3\text{CaCO}_3 + 2\text{Al} \rightarrow 3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CO}$  при погружении  $\text{CaCO}_3$  в расплав на основе алюминия. Выделяющиеся при этом пузырьки окиси углерода являются вакуум-камерами по отношению к газам, растворенным в расплаве, в первую очередь – по отношению к водороду, что, согласно второму закону Дальтона, вызывает протекание диффузии растворенных в алюминии газов в пузырьки окиси углерода до выравнивания парциальных давлений каждого из газов в расплаве и в пузырьке  $\text{CO}$ . Присутствующие в жидком алюминии неметаллические включения при продувке расплава газом флотировались пузырьками рафинирующего газа в шлаковую фазу. Учитывая то, что водород в расплавах на основе алюминия связан в комплексы с  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , удаление из расплава водорода влечет за собой удаление оксида алюминия и наоборот.

Длительность барботажа при протекании реакции  $3\text{CaCO}_3 + 2\text{Al} \rightarrow 3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CO}$  при определенной температуре и давлении можно регулировать подбором степени дисперсности используемого карбоната кальция. Базовым технологическим параметрам рафинирующей обработки алюминия марки А5: глубине погружения колокольчика с навеской карбоната кальция в расплав – 1.0 м (максимальная глубина погружения колокольчика в реальных промышленных условиях, при которой реакция взаимодействия карбоната кальция с расплавом алюминия термодинамически затруднена), время протекания реакции  $3\text{CaCO}_3 + 2\text{Al} \rightarrow 3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CO}$  – 3 минуты (технологический регламент рафинирования ряда крупных предприятий), температура обработки металла – 993 К (минимальная температура рафинирования расплавов алюминия в промышленных условиях крупных предприятий) соответствует фракция карбоната кальция с размером частиц 40 мкм.

Определена рациональная величина рафинирующей добавки карбоната кальция фракцией 40 мкм, которая составила 0,05 % от массы обрабатываемого расплава.

Установлено, что рафинирующая эффективность карбоната кальция фракцией 40 мкм при расходе 0,05 % от массы обрабатываемого расплава соответствует эффективности современных отечественных и зарубежных препаратов аналогичного назначения. Отмечена экологическая чистота процесса рафинирующей обработки расплавов на основе алюминия при использовании карбоната кальция.

УДК 693.22.004.18

### **Экологические аспекты рафинирования расплавов на основе алюминия карбонатом кальция**

Студент гр. 104128 Иванов А.Д.  
Научный руководитель – Задруцкий С.П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Для сравнения состава и количества вредных выделений при рафинирующей обработке алюминиевых сплавов порошкообразным карбонатом кальция и наиболее широко распространенными рафинирующими материалами аналогичного назначения были

проведены опытные плавки с отбором проб выделяющихся газов. Содержание оксидов углерода, оксидов азота, сернистого ангидрида, параметры газоздушного потока (скорость, давление, температура, влажность) в газоходе определялись с помощью газоанализаторов TESTO 350XL, TESTO 605, TESTO 625, Dräger MSI 150 EURO производство Германия по методике МВИ.МН 1003-2004 (ГОСТ 17.2.4.06-90, ГОСТ 12.3.018-79, ГОСТ 17.2.4.90, ГОСТ 12.3.018-79, ГОСТ 17.2.4.08-90, ГОСТ 12.3.018-79). Количество хлоридов металлов в пересчете на хлор-ионы, элементарного хлора, фторидов металлов в пересчете на фтор-ионы, серного ангидрида определялось на КФК-2 по утвержденным методикам [1].

Из результатов исследований, приведенных в таблице, видно, что обработка расплава алюминия карбонатом кальция сопровождается выделением углекислого газа, относящегося к 4 классу опасности, тогда как при рафинировании металла распространенными в промышленности препаратами «Дегазер» (Россия), «Degasal T-200» (Германия), «ТПФ-1» (Республика Беларусь), «Таблетка дегазирующая» (Республика Беларусь) образуются высокотоксичные соединения, такие как хлор элементарный, хлориды и фториды металлов, серный и сернистый ангидриды, оксиды азота, относящиеся к второму классу опасности. Количество газов, выделяющихся во время обработки 1 т алюминия при использовании карбоната кальция в количестве 0,05% от массы расплава в окружающую среду составляет 1,4 мг/м<sup>3</sup>, что меньше чем при обработке алюминия препаратами «Дегазер» (Россия) – 5,5 мг/м<sup>3</sup>, «Degasal T-200» (Германия) – 2,1 мг/м<sup>3</sup>, «ТПФ-1» (Республика Беларусь) – 1,71 мг/м<sup>3</sup>, «Таблетка дегазирующая для доэвтектических и эвтектических силуминов, технического алюминия» (Республика Беларусь) – 8,02 мг/м<sup>3</sup> с аналогичными расходными характеристиками. Отсутствие угарного газа в печной атмосфере связано, вероятно, с окислением выделяющегося СО<sub>2</sub> при контакте с кислородом над зеркалом расплава. Таким образом, с экологической точки зрения, рафинирующая обработка расплава алюминия карбонатом кальция является предпочтительной по отношению к рафинирующим технологиям с использованием распространенных препаратов аналогичного назначения.

Таблица – Количество и состав газов, выделяющихся в процессе обработки 1 т расплава А5

Рафинирующие препараты	Количество газов, выделяющихся в процессе обработки расплава, мг/м <sup>3</sup>						
	Хлор элементарный	Хлориды металлов в пересчёте на Cl – ионы	Фториды металлов в пересчёте на F– ионы	Оксиды азота	Оксиды серы	СО <sub>2</sub>	СО
«Дегазер» (Россия), расход 0,05% от массы расплава	1,1	4,4	-	-	-	-	-
«Degasal T-200» (Германия), расход 0,05% от массы расплава	-	1,2	-	0,9	-	-	-
«ТПФ-1» (Республика Беларусь), расход 0,05% от массы расплава	-	1,0	0,01	0,7	-	-	-
«Таблетка дегазирующая для доэвтектических и эвтектических силуминов, технического алюминия» (Республика Беларусь), расход 0,05% от массы расплава	-	-	0,02	-	8,0	-	-
Карбонат кальция, расход 0,05% от массы расплава	-	-	-	-	-	1,4	-



## Литература

1. Сборник методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь, часть 1 – 3, Минск, 1997-1998

УДК 693.22.004.18

### **Полный термодинамический анализ реакции рафинирования алюминиевых сплавов карбонатом кальция**

Студент гр. 104127 Яковский Д.Д.  
Научный руководитель – Задруцкий С.П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Обработка сплава АК12оч карбонатом кальция не вызывает увеличение общего переохлаждения при кристаллизации, что подтверждает результаты термодинамических расчетов и свидетельствует об отсутствии перехода кальция в расплав, сохранения морфологии эвтектического кремния в силуминах при минимизации развития газоусадочной пористости из-за увеличения температурного коэффициента объемного расширения и, как следствие, величины объемной усадки при затвердевании, повышения газосодержания сплавов, в частности, повышения водородосодержания, расширения интервала кристаллизации в результате снижения температуры солидус при модифицировании, а также изменения механизма кристаллизации модифицированных силуминов в сторону объемной кристаллизации.

Полный термодинамический анализ в исследованном диапазоне температур и давлений рафинирующей обработки расплавов на основе алюминия однозначно свидетельствует о протекании реакции  $3\text{CaCO}_3 + 2\text{Al} = 3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CO}$  в сторону образования окиси углерода, причем с повышением температуры и снижением давления изучаемая реакция становится более термодинамически выгодной, так как сопровождается уменьшением  $\Delta G$ . Так, при температуре 943 К для давлений 101,33 кПа (на поверхности расплава) и 124,64 кПа (глубина погружения колокольчика 1,0 м), изменение изобарно-изотермического потенциала для реакции взаимодействия карбоната кальция с алюминием составит соответственно -684,82 кДж/моль и -679,90 кДж/моль, а для температуры 1173 К соответствующие показатели будут -768,42 кДж/моль и -762,45 кДж/моль. Необходимо заметить, что с фиксированным повышением давления значение увеличения изменения изобарно-изотермического потенциала при каждой конкретной температуре снижается, причем указанное явление больше проявляется при повышенных температурах, в то время, как аналогичный показатель уменьшения изменения энергии Гиббса для фиксированного повышения температуры при каждом конкретном давлении распределен с тенденцией снижения разности значений изменений изобарно-изотермического потенциала при повышении давления в системе. Так, для температуры 943 К разница между изменениями энергии Гиббса при повышении давления в рассматриваемой системе с 101,33 кПа до 107,15 кПа (погружение карбоната кальция с поверхности расплава алюминия на глубину 0,25 м) составит 1,53 кДж/моль, а при повышении давления с 118,81 кПа до 124,64 кПа (погружение карбоната кальция с глубины 0,75 м до 1,0 м) – соответственно 0,99 кДж/моль. Для температуры 1173 К разница между изменениями изобарно-изотермического потенциала при повышении давления в рассматриваемой системе с 101,33 кПа до 107,00 кПа (погружение карбоната кальция с поверхности расплава алюминия на глубину 0,25 м) составит 1,85 кДж/моль, а при повышении давления с 118,35 кПа до 124,02 кПа (погружение карбоната кальция с глубины 0,75 м до 1,0 м) –

соответственно 1,19 кДж/моль. Общее приращение изменения изобарно-изотермического потенциала системы при погружении карбоната кальция с поверхности расплава алюминия на глубину 1,0 м для 943 К и 1173 К составит соответственно 4,93 кДж/моль и 5,97 кДж/моль. Аналогично, для давления 101,33 кПа (на зеркале расплава) разница между изменениями энергии Гиббса при увеличении температуры рассматриваемой системы с 943 К до 993 К составит -18,44 кДж/моль, а при увеличении температуры с 1123 К до 1173 К – соответственно -17,91 кДж/моль. Для глубины погружения 1,0 м разница между изменениями изобарно-изотермического потенциала при увеличении температуры рассматриваемой системы с 943 К до 993 К составит -18,21 кДж/моль, а при увеличении температуры с 1123 К до 1173 К соответственно -17,69 кДж/моль. Общее приращение изменения изобарно-изотермического потенциала системы при увеличении температуры с 943 К до 1173 К на зеркале расплава и на глубине 1,0 м составит соответственно -83,60 кДж/моль и -82,56 кДж/моль.

Об интенсивности протекания реакции  $3\text{CaCO}_3 + 2\text{Al} = 3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CO}$  можно судить по количеству образующейся газовой фазы СО. Термодинамический анализ зависимости количества выделяющегося СО при протекании реакции  $3\text{CaCO}_3 + 2\text{Al} = 3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CO}$  в сторону образования рафинирующей газовой фазы от температуры при различной глубине погружения карбоната кальция в расплав алюминия, проведенный на основе изучения температурных зависимостей при различных давлениях равновесных мольных концентраций исходных веществ и продуктов изучаемой реакции, свидетельствует об интенсификации взаимодействия  $\text{CaCO}_3$  с  $\text{Al}$  при определенных давлениях и температурах. Так, протекание реакции  $3\text{CaCO}_3 + 2\text{Al} \rightarrow 3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CO}$  при давлении 101,33 кПа, что соответствует взаимодействию карбоната с жидким алюминием на зеркале металла, интенсифицируется в температурном диапазоне 1033 – 1061 К, а при погружении навески  $\text{CaCO}_3$  на глубину 1,0 м интенсификация реакции происходит в температурном диапазоне 1041 – 1069 К. Учитывая температурную зависимость плотности жидкого алюминия соответствующие давления на глубине 1,0 м в расплаве при этом составят 124,37 кПа и 124,30 кПа для температур 1041 К и 1069 К соответственно.

Приведенные результаты свидетельствуют о принципиальной возможности проведения рафинирующей обработки расплавов на основе алюминия карбонатом кальция.

Некоторые технологические моменты рафинирования расплавов на основе алюминия карбонатом кальция.

УДК 621.74.043

### **Эрозионная стойкость разделительных покрытий для литья алюминиевых сплавов под давлением**

Студент гр. 104127 Чайковский Я.С.

Научный руководитель – Пивоварчик А.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Эрозионная стойкость разделительных покрытий (РП) – одно из важнейших свойств технологических смазок: ею определяется вероятность приваривания заливаемого металла к литейной оснастке, уменьшение теплового удара; от неё зависит и качество отливки, так как смываемая смазка, попадая в "тело" отливки, ведёт к ухудшению внешнего вида и увеличению пористости [1].

На поверхность пресс-формы разделительные покрытия наносят вручную, либо с использованием распылителей различных конструкций. При этом толщина слоя смазки зависит от способа нанесения, времени распыления смазки, скорости её перемещения, состава и

свойств смазочного материала и может варьировать от нескольких до 400 – 500 молекулярных слоёв а, в зависимости от размера молекул может составлять 0,5 – 0,8 мкм [2].

Цель данной работы – исследование влияния технологических режимов литья алюминиевых сплавов под давлением на эрозионную стойкость разделительных покрытий.

Исследования по определению эрозионной стойкости покрытий проводили на машине литья под давлением модели CLOO 250/25–B2, с холодной горизонтальной камерой прессования с использованием сплава АК12. Смазывание оснастки проводили вододисперсионными РП, приготовленными на основе: нефтепродуктов (минерального масла Вапор и гидрофобизатора ГФК–1), горного воска, РП на основе кремнийорганических соединений и смазки на жировой основе, содержащие в своём составе порошкообразные наполнители – графит и алюминиевую пудру. Измерение толщины образовавшегося слоя смазки до и после запрессовки жидкого металла осуществляли с помощью радиоволнового толщиномера марки ТМ–300.

Установлено, что трехкратное увеличение времени выдержки отливки в пресс–форме перед извлечением с 5 до 15 с ведет к незначительному уменьшению толщины разделительного слоя, в среднем на 15 – 20 %. Наиболее высокую устойчивость при изменении времени выдержки отливки в пресс–форме показало РП на основе кремнийорганических соединений. Худший показатель у покрытия на основе гидрофобизатора и масла Вапор – вследствие относительно низкой термической стойкости нефтепродуктов.

Показано, что существенное влияние на эрозионную стойкость смазочных слоёв исследуемых разделительных покрытий оказывает скорость впуска расплава в полость пресс–формы. В ходе работы также установлено, что максимальный смыв РП происходит в зоне литника. Независимо от скорости впуска и используемых составов РП толщина слоя разделительного покрытия в зоне литника снижается в среднем на 90 – 95 %.

### Литература

1. Михальцов А.М., Пивоварчик А.А. Исследование адгезионной способности смазок на основе кремнийорганических полимеров для литья под давлением алюминиевых сплавов // Литье и металлургия. 2007. – №1. – С. 131 – 134.

2. Смазочные материалы: Антифрикционные и противоизносные свойства. Методы испытаний. Матвеевский Р.М., Лашхи В.Л., Буяновский И.А [и др.] – М.: Машиностроение, 1989. – С. 12 – 14.

УДК 621.74

### Оптимизация процесса получения отливки «Колено» из высоколегированной жаропрочной стали с использованием САПР ProCAST

Студент гр.104118 Шилюк Д.Л.

Научные руководители – Розум В.А., Бежок А.П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Качество получаемых стальных отливок определяется не только определенной структурой металла, но и наличием различного рода дефектов. Одной из основных проблем при литье стали является высокая склонность ее к усадке, резко снижающая плотность отливок и их эксплуатационные свойства. Особенно заметно это проявляется при изготовлении деталей из высоколегированных жаропрочных, жаростойких, коррозионностойких и др. сплавов с особыми свойствами. Снижение выхода годного за счет установки прибылей, с одной стороны снижает вероятность образования усадочных

дефектов в отливке и повышает эксплуатационную надежность, с другой, за счет высокой стоимости легирующих элементов Ni, Cr резко повышается себестоимость литья.

В связи с этим, на многих предприятиях при изготовлении отливок из жаропрочных сплавов вообще не предусматривается установка прибылей (поддоны, колосники и т.д.), что в конечном итоге не влияет на надежность и долговечность изделий. Однако при изготовлении деталей, идущих на комплектацию термических печей, необходимо обеспечивать достаточно высокую эксплуатационную их надежность.

Выход из строя, к примеру «радиационного колена» приводит к внеплановой остановке печи и дорогостоящему ремонту.

Целью работы являлось исследование технологии получения отливки «Колено», а также оптимизация ее изготовления с использованием САПР. Технология предусматривает литье в песчано-глинистые формы.

Данная отливка достаточно сложная с точки зрения технологии изготовления, так как толщина стенки составляет 8 мм и полость должна выполняться массивным стержнем, который может сместиться при заливке. Присутствие «соединительного» фланца вызывает разностенность отливки и приводит к возможному возникновению раковин.

Исходный заводской вариант предусматривал использование двух массивных прибылей.

Анализ процесса заполнения и затвердевания отливки показал, что в процессе затвердевания обеспечивается направленный процесс кристаллизации от U-образной части колена по направлению к фланцам и питателям, так как толщина стенки фланцев в два раза толще стенок самого колена и к ним присоединены питатели. Прибыли при этом не оказывают существенного влияния на подпитку отливки и от них можно отказаться. На рисунке 1 показаны различные этапы кристаллизации отливки с использованием режима отсечки по температуре ликвидус (желтые области содержат внутри жидкий металл, а за их внешней границей присутствует твердая фаза, которая не показывается (отсекается) системой при просмотре результатов моделирования). На рисунке 2 приведены аналогичные результаты для варианта без прибылей.

Из рисунка 2 видно, что на заключительном этапе затвердевания в зоне фланца возможно появление изолированных объемов жидкого металла, лишенных внешней подпитки, что приведет к появлению в этих областях дополнительной пористости по сравнению с исходным вариантом с использованием прибылей. В остальном кристаллизация отливки происходит аналогично базовому варианту.

Предложенный вариант литниково-питающей системы был успешно опробован и внедрен на РУП «Белоозерский энергомеханический завод».

В результате анализа оптимизированной технологии можно сделать следующее заключение.

Одним из путей повышения плотности стальных отливок является обеспечение направленного процесса кристаллизации сплава при затвердевании. Это достаточно сложная задача, и решить ее можно экспериментальным путем, затрачивая при этом большие средства и время. Использование компьютерного моделирования заливки и затвердевания отливки позволяет экономить время и материальные затраты на разработку технологии.

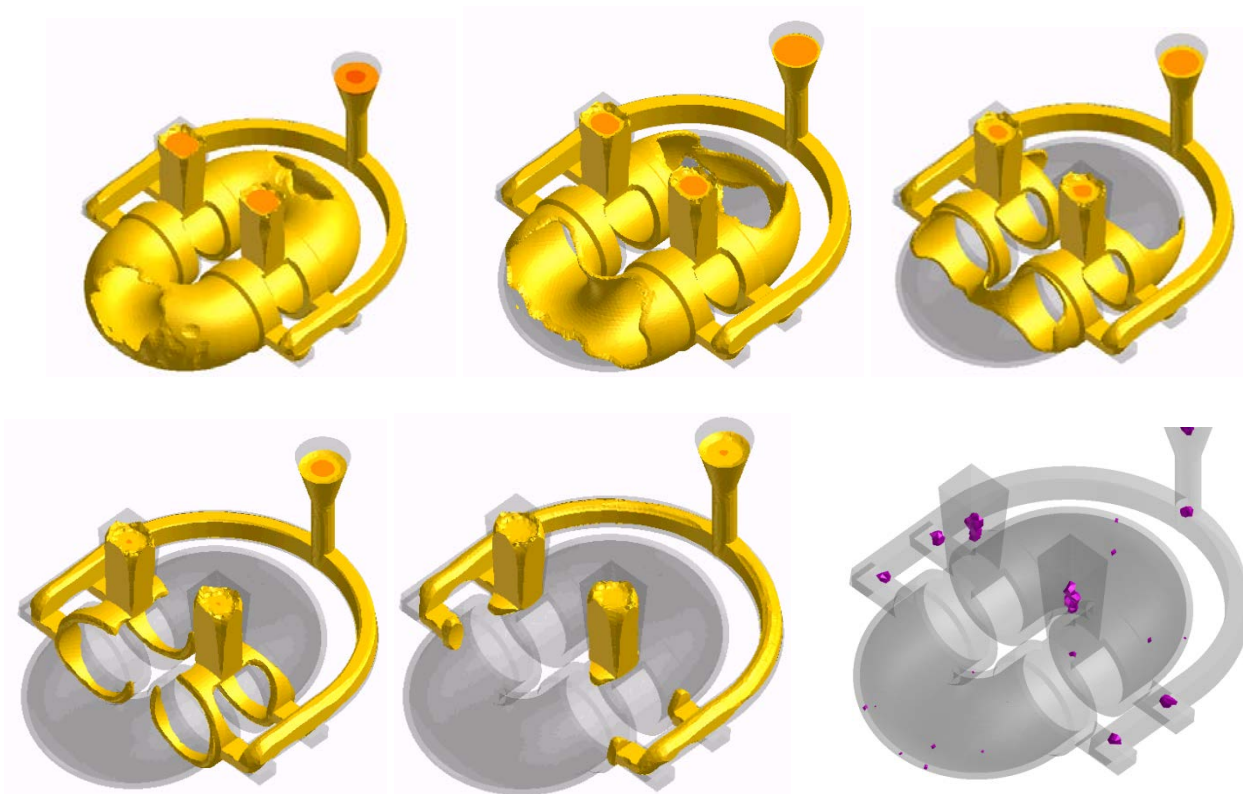


Рисунок 1 – Этапы кристаллизации базового варианта отливки «Колено» и распределение усадочной пористости с вероятностью появления более 3%

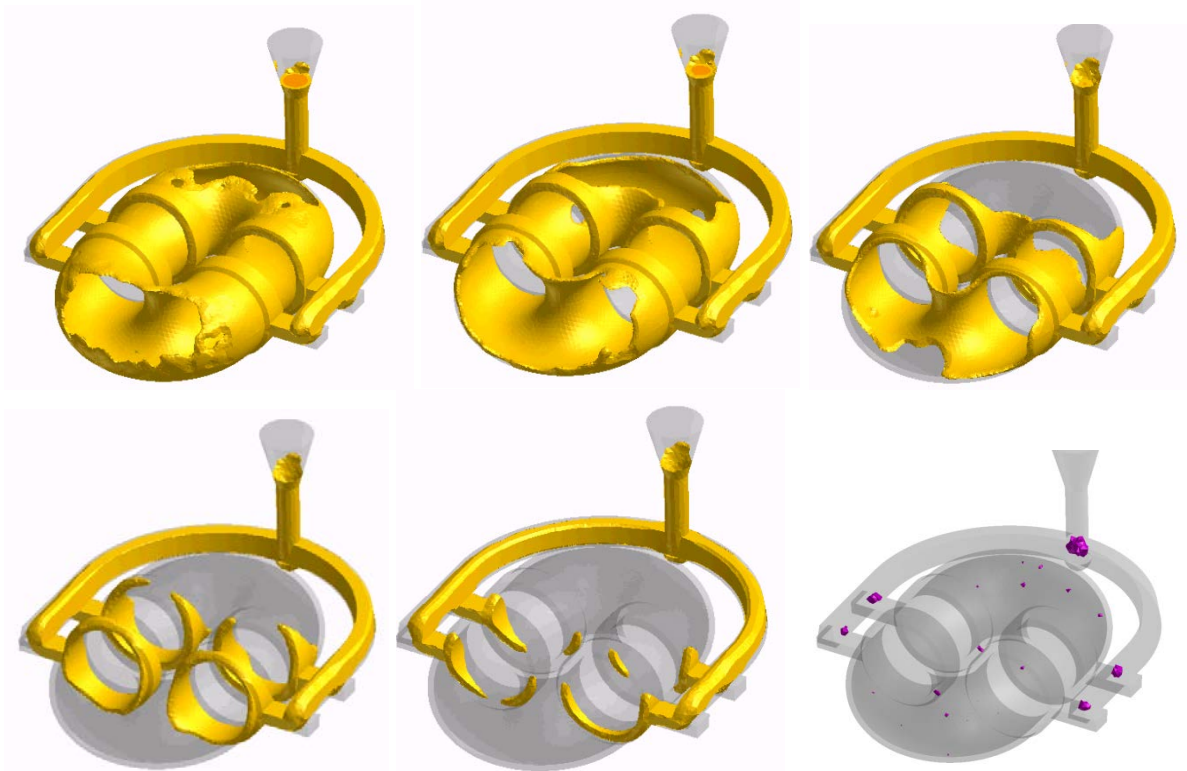


Рисунок 2 – Этапы кристаллизации варианта отливки «Колено» без прибылей и распределение усадочной пористости с вероятностью появления более 3%

# **Материаловедение в машиностроении**

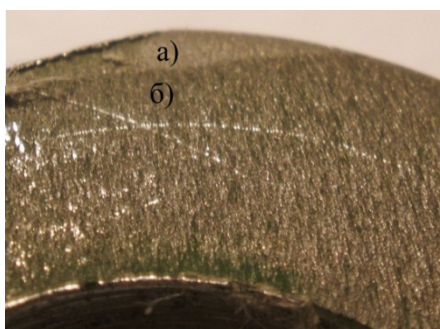
### Аналіз чыньнікаў разбурэння валу з сталі 40X13

Студэнты: гр. 104219 Кавальчук Я.В., гр 104518 Крыжнёў А.В., гр 104518 Дробаў А.Н.  
Навуковыя кіраўнікі – Стэфановіч В.А., Барысаў В.Г.  
Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт  
г. Минск

Для выяўлення чыньнікаў разбурэння валу былі выкананы наступныя даследаванні: макрааналіз злому; мікрааналіз структуры ў месцы зараджэння трэшчыны; дэюраметрычныя даследаванні.

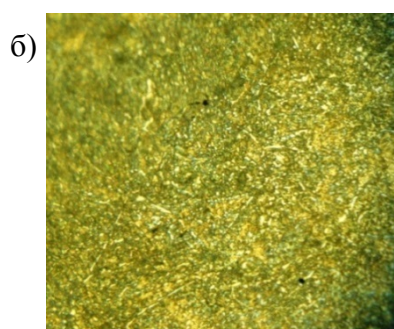
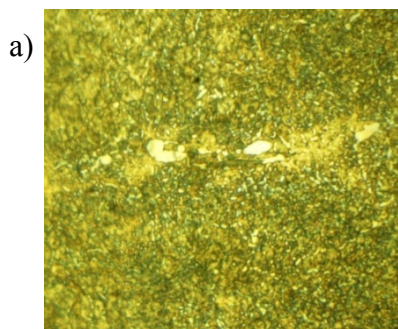
Праведзены макрааналіз злому вала выявіў наступнае: – наяўнасць на паверхні стомленай трэшчыны; – хрупкі характар злома, характарызуючыся адсутнасцю слядоў пластычнай дэфармацыі (малюнак 1).

На мікрашліфе добра візуальна бачна блестячую зародышавую трэшчыну а) і зону далому б), маючую матавую тскрысталічны характар распаўсюду.



Мікраскапічны аналіз сталі ўздоўж восі вала ў зоне, прылягаючай да злому дазволіў заўважыць наступнае: – вялічыня зерня адпавядае 11 балу, што сведчыць аб адсутнасці перагрэву сталі пры выкананні гартавання; – карбідную ліквачыю, адпаведную 3 балу; – прысутнасць другасных карбідаў у выглядзе плястын і непарарыўных ланцужкоў па межах зернаў аўстэніту. Вымярэнне цвёрдасці паказала, што цвёрдасць вала складае 34 – 38 HRC, у асобных частках цвёрдасць дасягала 40 HRC.

Малюнак 1 – Макраструктура злома вала, выгатоўленага з сталі:  
а – зародышавая шчыліна;  
б – зона далому



Малюнак 2 – Мікраструктуры сталі 40X13:  
а – з карбіднай ліквачыяй; б – з выдзяленнем па межах аўстэнітных зёран карбідаў  
пластынчатай формы

Аналіз атрыманых вынікаў дазваляе ўстанавіць наступныя чыньнікі разбурэння валу:

1. Належнасць у структуры карбіднай неаднароднасці і другасных карбідаў у выглядзе плястын, непарарыўных ланцужкоў па межах аўстэнітных зёран спрыяе зараджэнню стомленай шчыліны.

2. Няправільна абраны рэжым одпуска на цвёрдасць 34 – 40 HRC, якая адпавядае тэмпературнаму інтэрвалу адпускання другога роду, што забяспечвае нізкае значэнне ўдарнай вязкасці. Пры дынамічным ударах вал, маючы шчыліну, падвяргаецца хрупкаму разбурэнню.

### Повышение производительности печи за счёт рециркуляции газов

Студенты: гр. 104217 Сакунов М.В., гр. 104517 Зданович О.В., гр.104518 Дробов А.Н.,  
Крыжнев А.В.

Научные руководители – Стефанович В.А., Борисов С.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Повышение производительности оборудования в процессе термической обработки является одним из способов снижения себестоимости изготовления детали. Агрегат для патентирования проволоочной заготовки состоит из пяти зон: в первой зоне нагрев осуществляется за счет уходящих газов, имеющих температуру 600 – 650 °С; в остальных четырех осуществляется форсированный нагрев путем сжигания газа. График распределения температур по зонам рабочего пространства и проволоочной заготовки представлен на рисунке 1.

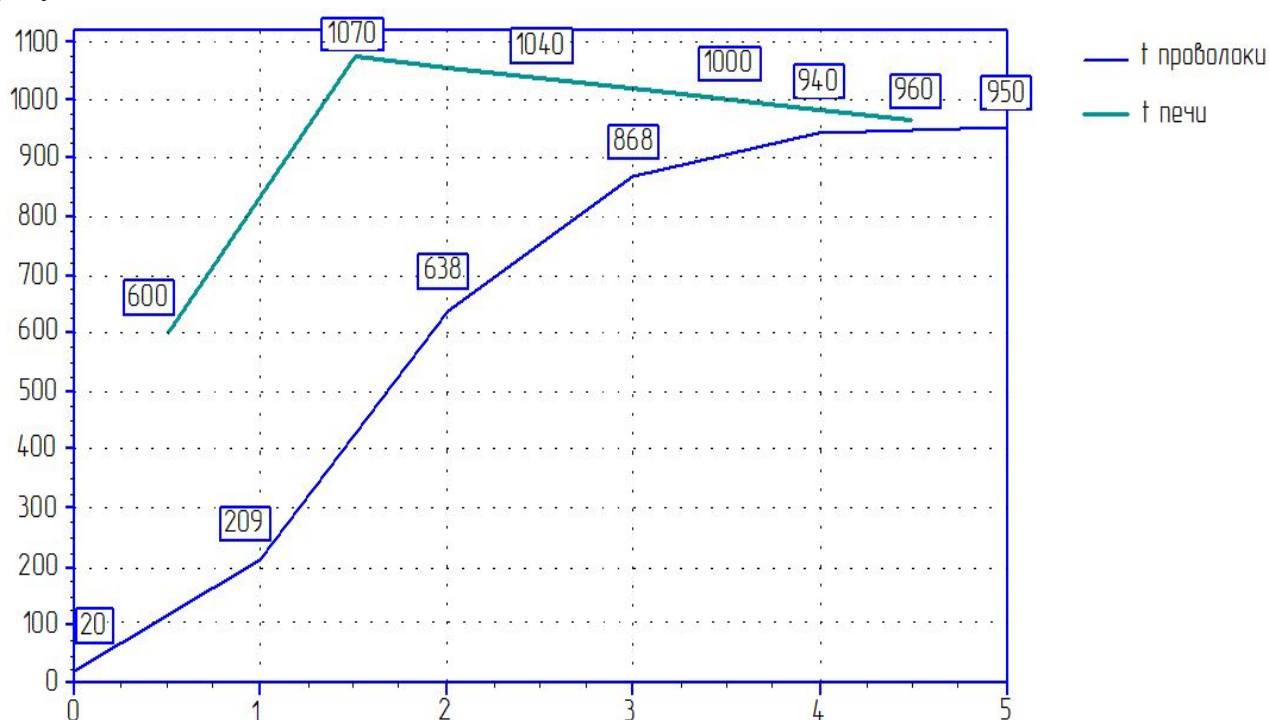


Рисунок 1 – Температурный режим нагрева проволоочной заготовки под патентирование

Из рисунка 1 видно, что на выходе из зоны подогрева проволоочная заготовка имеет температуру 209 °С. В данной зоне нагрев осуществляется за счет истечения газов по каналу со скоростью 4,0...4,5 м/с при поперечном обтекании проволоочной заготовки. Коэффициент теплоотдачи в данных условиях теплообмена будет находиться в пределах 70...77 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Увеличение скорости истечения газов позволит увеличить коэффициент теплоотдачи, а соответственно и температуру проволоочной заготовки на выходе из зоны подогрева. Увеличить скорость истечения газов можно посредством создания их рециркуляции, которая обеспечивается за счет установки вентилятора и дополнительных каналов, создающих перемешивание поступающих газов в нагревательную камеру с частью уходящих, при этом скорость истечения газов контактирующих с проволоочной заготовкой можно регулировать скоростью вращения крыльчатки вентилятора.

Рассчитанные коэффициенты теплоотдачи при скоростях истечения газов 6, 8, 10 м/с составляют 83, 97, 106 Вт/(м<sup>2</sup>·К) соответственно (таблица 1).



Таблица 1 – Расчетные технико-экономические показатели печи патентирования в зависимости от скорости рециркуляции газов

Скорость движения газов, <i>м/с</i>	4,3	6	8	10
Коэффициент теплоотдачи, <i>Вт/(м<sup>2</sup> · К)</i>	77	83	97	106
Температура проволоки в конце зоны подогрева, <i>°С</i>	209	216	245	259
Скорость движения проволоки, <i>м/мин</i>	36	36,5	37,5	38
Повышение производительности, <i>%</i>		1,4	4,2	5,6

Увеличение коэффициента теплоотдачи в зоне подогрева приведет к повышению температуры проволоочной заготовки при выходе из зоны подогрева до 216 – 259 °С в зависимости от скорости рециркуляции газов. Чтобы сохранить заданный режим нагрева проволоочной заготовки, представленный на рисунок 1, необходимо увеличить скорость движения проволоки по печному пространству от 36,5 до 38 м/мин, а это приведет к повышению производительности печи патентирования до 5,6% (таблица 1).

УДК 621.785

#### **Исследование процесса многокомпонентного насыщения углеродом и металлами стали 45**

Магистрант Белько О.С., студенты гр. 104218 Галах М.С., Жагунец Д.А.  
 Научные руководители – Борисов С.В., Стефанович В.А.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Целью настоящей работы является получение диффузионных слоёв высокой твердости в системе легирующий элемент – углерод, структура которых представляет вкрапления твердых включений карбидов, интерметаллидов в мартенситной матрице (принцип Шарпи) При этом предполагается получение диффузионных слоев значительной толщины, что позволит проводить шлифование изделий в окончательный размер после их термической обработки. Исследование проводили в порошковых смесях с определенным соотношением хромирующего и цементирующего карбюризатора. Разработанные смеси для комплексной химико-термической обработки можно будет использовать для упрочнения пуансонов с толщиной рабочей части 1...5 мм. При этом поверхностный слой будет обладать высокой твердостью и износостойкостью, а сердцевина значительной вязкостью позволяющей воспринимать динамические нагрузки. В качестве материала предполагается использовать углеродистые стали 40, 45, 50, а также низколегированные 40Х, 38ХМА, 40ХН, 40ХНФ и др.

В настоящей работе выполнены исследования по получению плотных (беспористых) диффузионных слоев, структура которых соответствовала бы принципу Шарпи, в системе углерод - хром с дополнительным введением в реакционную смесь легкоплавких добавок, а также других карбидообразующих элементов.

В предварительных исследованиях был выбран состав смеси, и параметры насыщения для стали 45 и У8. В качестве хромирующей составляющей был выбран состав на основе феррохрома: (50 % X75 + 50%  $Al_2O_3$ ) + 1,5 %  $NH_4Cl$ ; в качестве цементирующей – 85 % С (уголь) + 15 %  $NaHCO_3$ . В качестве добавок применяли порошки химических элементов (медь, цинк, сурьма и др.), а также химические соединения тугоплавких карбидообразующих металлов имеющих температуру плавления ниже температуры насыщения. Химико-термическую обработку проводили при следующих температурно-временных параметрах:  $t = 1100$  °С в течение  $\tau = 5$  ч. Насыщение осуществлялось в металлических тиглях с плавким затвором.

Предварительные эксперименты диффузионного насыщения стали 45 из порошковой смеси содержащей 20 % цементирующей смеси и 50 – 60 % хромирующей смеси, остальное активатор и легкоплавкие элементы в определенном соотношении, позволили получить диффузионный слой толщиной 1 мм. Диффузионный слой состоит мелкозернистого перлита с наличием карбидной сетки и многочисленных зернистых включений, балл зерна равнялся 7 – 8.

После термической обработки (закалка 840 °С + вода и низкий отпуск 180 – 200 °С) поверхностная твердость достигала 67 – 68 HRC. Выполненный микрорентгеноспектральный анализ показал наличие хрома в диффузионном слое. При химико-термической обработке хром проникает на глубину 50 мкм и его концентрации составляет 1 – 1,5%, при этом на самой поверхности (толщиной 3 – 5 мкм) концентрация хрома составляет несколько десятков процентов.

УДК 621.793

#### **Анализ коррозионной стойкости цинковых диффузионных слоев**

Аспирант Булойчик И.А., студентка гр. 104517 Зданович О.В.  
Научный руководитель – Константинов В.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Для оценки коррозионной стойкости цинковых покрытий в атмосферных условиях были использованы ускоренные методы коррозионных испытаний.

При ускоренных испытаниях, цель которых определение защитной способности различных покрытий, должны создаваться такие условия, которые вызвали бы коррозионные разрушения, подобные наблюдающимся на практике, но за более короткий срок.

Испытания проводили в камере влажности периодическим погружением в раствор NaCl. Периодичность погружения в концентрированный раствор NaCl составляла 1 раз в 24 часа.

Общее время испытаний: 24, 96, 240 часов, после чего образцы промываются, просушиваются, подвергаются визуальному осмотру, и определяется площадь коррозионного поражения.

Для сравнения в камеру влажности поместили образцы с гальваническим цинковым покрытием, отожженным при температурах 450, 500 °С в течение 20 минут, образцы с гальваническим покрытием без термообработки, а так же образцы, полученные термодиффузионным цинкованием (ТДЦ) в контейнере с применением порошковой смеси при температуре 420 °С в течение 20 минут.

На рисунке 1 представлена зависимость площади пораженной коррозией от времени выдержки в камере влажности для образцов, обработанных по разным режимам.

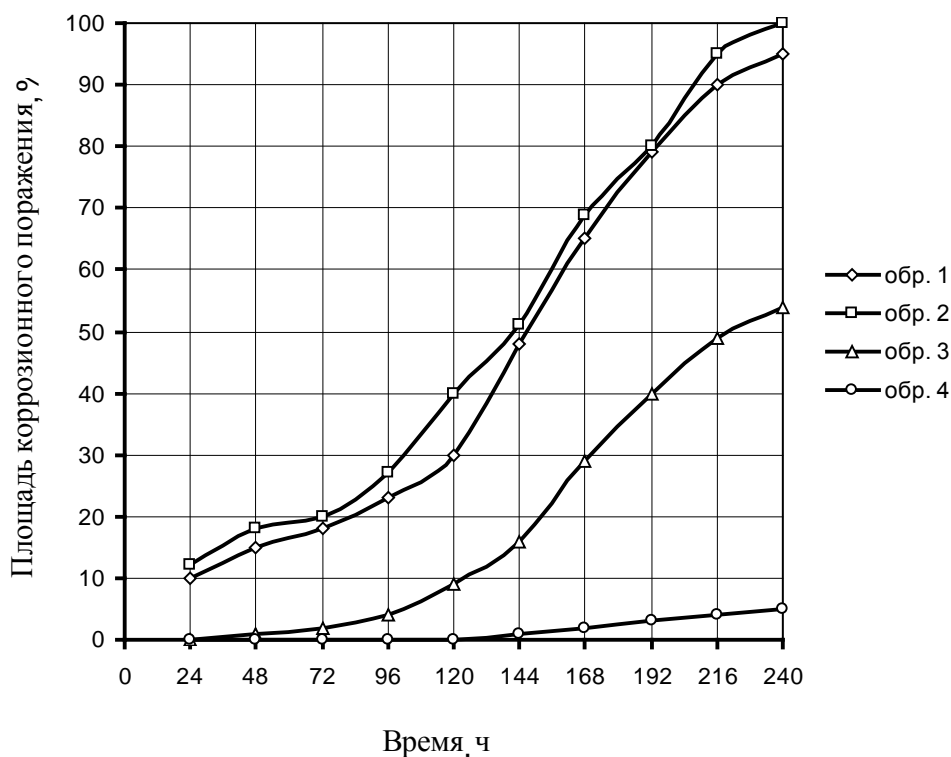


Рисунок 1 – Изменение коррозионной стойкости образцов в условиях периодического погружения (интервал – 24 ч) в раствор NaCl в зависимости от длительности выдержки: Обр.1 – гальваника, отжиг 450 °С, 20 мин; Обр.2 – гальваника отжиг 500 °С, 20 мин; Обр.3 – гальваника без отжига; Обр.4 – ТДЦ 420 °С, 20 мин.

На рисунке 2 представлены фотографии образцов после 240 часов испытаний в условиях периодического погружения в раствор NaCl.

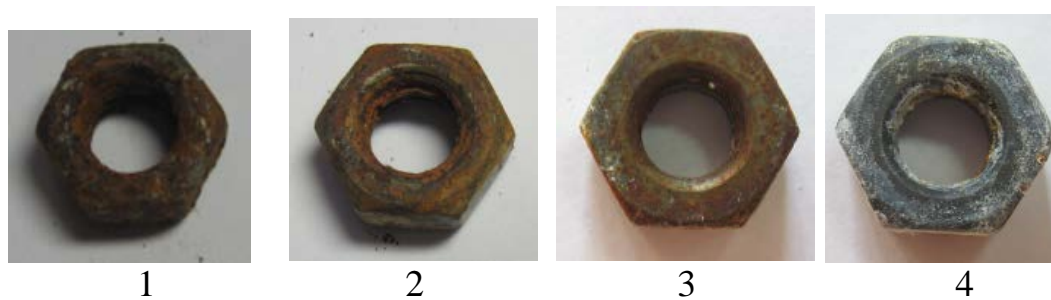


Рисунок 2 – Образцы после коррозионных испытаний (240 ч.) в условиях периодического погружения в раствор NaCl: Обр.1 – гальваника, отжиг 450 °С, 20 мин; Обр.2 – гальваника отжиг 500 °С, 20 мин; Обр.3 – гальваника без отжига; Обр.4 – ТДЦ 420 °С, 20 мин.

С учетом полученных данных, максимальную стойкость продемонстрировали образцы, полученные термодиффузионным цинкованием в порошковых насыщающих средах. К концу испытаний (240 ч.), площадь коррозионного поражения для данного типа образцов составляла порядка 5 %, что объясняется формированием на поверхности плотной защитной пленки из продуктов коррозии диффузионного слоя, оказывающей барьерное действие для проникновения кислорода к внутренней зоне диффузионного слоя. Площадь коррозионного поражения для гальванически оцинкованных образцов составила порядка 50 %, что можно объяснить недостаточной толщиной цинкового покрытия для обеспечения коррозионной защиты в данных условиях. Образцы с гальваническим покрытием после

отжига продемонстрировали минимальную коррозионную стойкость. К завершению испытаний практически на всей поверхности образцов наблюдались очаги коррозионного разрушения. Данный результат можно объяснить недостаточной толщиной исходного гальванического покрытия (порядка 10 мкм) для формирования равномерного диффузионного слоя, а также образованием в покрытии микротрещин во время проведения термической обработки (существенная разница в значениях тепловых коэффициентов линейного расширения цинка и стали).

Таким образом, на основании данных настоящего исследования, перспективу представляет получение на поверхности деталей цинкового диффузионного слоя, коррозионная стойкость которого в 3 – 5 раз выше гальванического при эксплуатации в агрессивных средах.

УДК 621.785

### **Механические свойства конструкционных сталей при низких температурах**

Магистрант Галимский А.И.

Научный руководитель – Константинов В.М.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

С понижением климатической температуры эксплуатации возрастает предел прочности и предел текучести стали, повышается усталостная прочность. Однако повышение характеристик прочности стали сопровождается обычно падением ее пластичности ( $\delta$ ,  $\psi$ ), а при критической температуре хрупкости начинается резкое падение ударной вязкости. Уменьшение хладноломкости, т.е. падение пластичности и ударной вязкости, является основной проблемой при изыскании сталей, работающих в условиях низких температур.

Для сталей, работающих при низких температурах, химический состав и режимы термической обработки следует выбирать таким образом, чтобы сталь имела по возможности мелкое зерно, а предел текучести при одинаковом временном сопротивлении разрушению должен по возможности меньше повышаться с понижением температуры. Кроме того, такие стали должны обладать достаточной прокаливаемостью при пониженной чувствительности к отпускной хрупкости.

При выборе легирующих элементов решающим оказывается их влияние на положение критической температуры хрупкости. Влияние легирующих элементов на склонность стали к хрупкому разрушению можно сформулировать следующим образом: элементы, способствующие укрупнению зерна, а так же слабо изменяющие его величину, повышают критическую температуру хрупкости и тем интенсивнее, чем сильнее повышается предел текучести стали. Элементы, способствующие получению мелкого зерна, до некоторой концентрации понижают критическую температуру хрупкости. По достижении предельного измельчения зерна их влияние становится обратным за счет повышения сопротивления феррита мелким пластическим деформациям.

При выборе составов стали для работы в условиях климатического холода необходимо учитывать, что механические свойства и хладноломкость будут определяться следующими факторами: 1) измельчение зерна; 2) твердорастворное упрочнение феррита легирующими элементами и примесями; 3) упрочнение частицами избыточных фаз различной степени дисперсности, образующимися при кристаллизации или в процессе термической обработки; 4) распределение легирующих элементов между твердым раствором (ферритом, аустенитом, мартенситом), карбидными фазами, металлическими соединениями, неметаллическими фазами; 5) распределение легирующих элементов между зерном и межкристаллитным слоем.

При выборе режимов термической обработки труб необходимо учитывать следующее. Температура режима прокатки, степень деформации и скорость охлаждения после деформации неодинаковы как в объеме одной заготовки, так и для различных заготовок. Поэтому в горячедеформированных полуфабрикатах наблюдается разнотернистость. Объемы с зерном разной величины могут по-разному вести себя при последующей термической обработке. В результате нормализации происходят следующие структурные изменения. Происходит выравнивание размера зерна по величине, устраняется разнотернистость (рисунок 1).

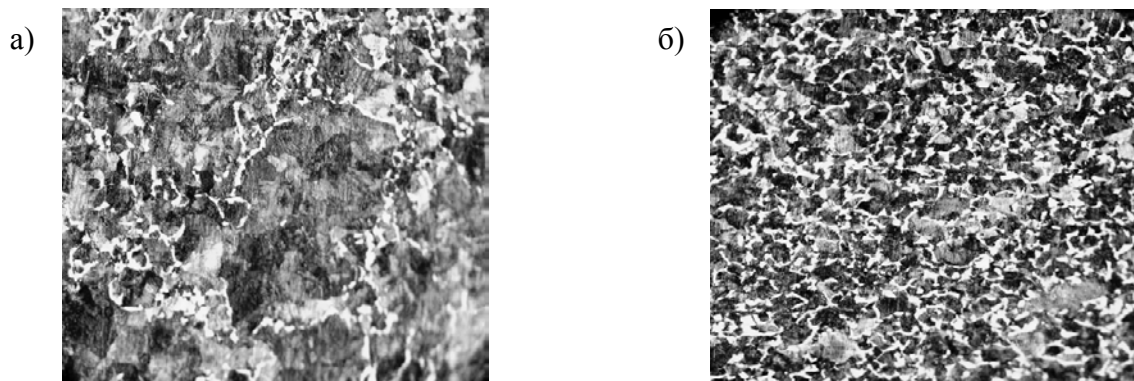


Рисунок 1 – Влияние нормализации (900 °С) на структуру стали:  
а – структура после прокатки; б – структура после нормализации

Существенным является диспергирование структуры. Наряду с общим уменьшением размера зерна, повышается дисперсность эвтектоида и уменьшается количество ферритных зерен. Указанные структурные изменения способствуют повышению прочности при сохранении ударной вязкости. С целью снятия внутренних напряжений, снижения твердости и улучшения пластических свойств изделия после нормализации подвергают высокому отпуску. Если сталь склонна к отпускной хрупкости II рода, то охлаждение после отпуска необходимо вести ускоренно (вода, спрейерное охлаждение водо-воздушная смесь).

Наиболее высокие значения пластичности и ударной вязкости при низких температурах имеет сталь, подвергнутая закалке на мартенсит с последующим отпуском на сорбит, а наименьшие – в отожженном состоянии. Нормализация дает промежуточные значения.

УДК 621.365.5

### **К проблеме коробления при термической обработке длинномерных изделий**

Магистрант Рысенков А.И.

Научный руководитель – Константинов В.М.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

При традиционной термической обработке длинномерных изделий, как известно, существует несколько проблем: громоздкость оборудования, а так же трудности с его внедрением в производственную линию; высокая обезуглерожность поверхностных слоёв обрабатываемых изделий, приводящая к снижению механических свойств; сильное коробление, вызванное внутренними напряжениями.

Рассмотрим подробнее проблему коробления. В большинстве случаев изменение геометрической формы изделия вызвано следующими факторами: неравномерностью

нагрева деталей; дефектами макроструктуры, такими как поры, волосовины, карбидные, сульфидные, нитридные, рассеянные или строчечные включения, ликвация и т.д.; неоднородностью химического состава стали в различных точках заготовки; сложной пространственной формой детали; внутренними напряжениями, которые могут возникать и накапливаться в детали при предшествующей механической либо кузнечной обработке, а так же при закалке. Особую сложность представляет термическая обработка длинномерных тонкостенных труб, используемых в качестве опор для различных конструкций, а так же рам и балок для навески оборудования. Проблема заключается в том, что невозможно быстро и одновременно охладить заготовку по всей её длине, а следовательно будут в любом случае возникать напряжения, вызванные локальными структурными превращениями, которые и приводят к короблению детали.

Анализ известных технических решений и выполненные работы свидетельствуют о следующих возможных путях уменьшения короблений при индукционной термической обработке стальных длинномерных труб: максимальное уменьшение концентраторов напряжений, в качестве которых могут выступать острые углы, сварные швы и отверстия; стремление к одинаковой толщине стенок детали по всей длине, либо плавному её изменению. Так же рекомендуется применять новый способ закалки длинномерных деталей с помощью токов высокой частоты, который заключается в заневоливании заготовки с помощью стальных тросов, которые будут растягивать её в противоположенные стороны при нагреве и закалке изделия. Это позволяет снизить деформацию как при нагреве, за счёт того, что заготовка будет постоянно находиться в напряженном состоянии, так и уменьшить коробление при закалке, так как на изделие будут действовать усилия, препятствующие изменению формы в каких-либо направлениях, помимо линии растяжения.

Метод термической обработки токамаи высокой частоты тонкостенных труб при заневоливании деталей с помощью стальных тросов позволяет не только значительно снизить коробление, но так же обеспечивает высокую производительность процесса, так как позволяет убрать дополнительные операции правки деталей. Оборудование может быть внедрено практически в любую производственную линию термической обработки длинномерных изделий с помощью токов высокой частоты.

УДК 669.771:621.774.32

### **Строение, фазовый и химический состав оксидных слоёв на прошивных оправках отечественного и зарубежного производства**

Магистрант Удот А.Ю.

Научный руководитель – Константинов В.М.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью настоящей работы является исследование строения, фазового и химического состава оксидных слоев на прошивных оправках отечественного и зарубежного производства, используемых для изготовления прошивных оправок. Изучение оксидных слоев необходимо для увеличения срока службы прошивных оправок.

Прошивная оправка является специализированным технологическим инструментом, предназначенным для получения полых заготовок в процессе винтовой прокатки. Стойкость прошивных оправок в значительной мере определяет качество внутренней поверхности полых заготовок, их геометрические параметры, производительность процесса прошивки и, в конечном итоге, себестоимость выпускаемой продукции.

В ходе работы комплексному анализу подвергались оправки следующего производства – ООО «БелГЕЛИО», ЗАО «Никопольский завод технологической оснастки»,

«SmS Meer» и ОАО «Завод «Легмаш». Химический состав сталей, из которых изготовлены прошивные оправки различных производителей, приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав сталей прошивных оправок

Производитель	Химический состав, % масс.											Аналог
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Mo	W	
ООО Бел ГЕЛИО	0,21	0,88	0,73	0,025	0,009	1,59	2,52	0,10	-	0,13	0,19	20ХН3А
ЗАО Никоп-кий ЗТО	0,20	0,27	0,45	0,017	0,016	0,82	3,89	0,16	0,12	0,05	-	20ХН4ФА
SmS Meer	0,35	0,47	0,49	0,022	0,035	1,15	2,49	0,04	0,15	0,05	6,48	X30WCrV9 4X2B5MФ
ОАО Легмаш	0,21	0,25	0,36	0,022	0,015	0,77	4,04	0,017	0,14	0,04	-	20ХН4ФА

Строение защитного покрытия оправки ООО «БелГЕЛИО» характеризуется следующими особенностями:

Оправка имеет повышенное содержание Si, Mn и Cr по сравнению с ближайшим аналогом сталью 20ХН3А; Стальная основа имеет твердость 34 – 35 HRC; Покрытие состоит из трех зон и под ним присутствует незначительный обезуглероженный слой; В нижней зоне хром и кремний присутствуют в количествах, превышающих среднее содержание этих элементов в стальной основе.

Строение защитного покрытия оправки ЗАО «Никопольский ЗТО» характеризуется следующими особенностями:

Оправка изготовлена из стали 20ХН4ФА и имеет небольшую толщину защитного покрытия (не более 0,4 мм); Стальная основа имеет твердость 27 – 28 HRC; Покрытие состоит из двух зон и присутствует развитая связь оксидного покрытия со стальной основой; Присутствует незначительный обезуглероженный слой; В нижней зоне рентгеноструктурным анализом обнаружены никель (5,23 %) и хром (1,63 %).

Строение защитного покрытия оправки фирмы «SmS Meer» характеризуется следующими особенностями:

Оправка изготовлена из стали с высоким содержанием W (6,48 %) (ближайший аналог в СНГ – сталь 4X2B5MФ); Стальная основа имеет твердость 37 – 40 HRC; Покрытие имеет сложную многослойную структуру и состоит из трех зон; Внутренние напряжения в покрытии – сжимающие (до 200 Мпа); Под покрытием отсутствует обезуглероженный слой; В переходной зоне рентгеноструктурным анализом обнаружены оксиды вольфрама ( $WO_2$ ,  $WO_3$ ,  $W_3O_8$ ).

Строение защитного покрытия оправки ОАО «Завод Легмаш» характеризуется следующими особенностями:

- наличие обезуглероженного слоя (2,0 – 2,5 мм), непосредственно контактирующего с защитным оксидным слоем;
- недостаточная горячая твердость стальной основы оправки;
- отсутствие в ряде случаев металлургической связи оксидного слоя с металлической основой, наличие отслаивания оксидного слоя, обусловленное внутренними напряжениями (напряжения растягивающие, до 90 МПа);
- относительно низкие защитные свойства оксидного слоя системы  $Fe_xO_y$  при избыточной (в ряде случаев) общей толщине;

- недостаток или отсутствие в стальной подложке и защитном слое специальных легирующих элементов, обеспечивающих устойчивое воспроизведение защитного слоя при работе прошивки.

На поверхности оправок образуются оксидные слои, состоящие из различных оксидов в разном соотношении. Также присутствуют оксиды легирующих элементов в небольшом количестве. В основном оксидный слой состоит из оксидов железа: FeO (вюстит), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (гематит) и Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (магнетит) или FeO·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Вюстит – соединение переменного состава, близкого к FeO (состав отвечает формуле Fe<sub>x</sub>O, где x = 0,89 – 0,95), устойчиво при избытке кислорода. Вюстит образуется при 1430 – 1435 °С по перитектической реакции ж + Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ↔ вюстит. Решетка вюстита типа NaCl. С увеличением содержания кислорода период решетки уменьшается почти линейно.

Гематит Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> образуется по реакции Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> + O<sub>2</sub> ↔ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при 1457 °С. Он существует в двух формах: стабильной α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и метастабильной γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Структура α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – ромбоэдрическая типа корунда с a = 0,54271 нм и α = 55° 15,8'.

Магнетит Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> [57,15 % (ат.) O] плавится с открытым максимумом при ~1600 °С. В сплавах, более богатых кислородом, при 1583 °С протекает реакция ж ↔ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> + O<sub>2</sub>. В равновесии с кислородом магнетит находится до 1457 °С. Он имеет решетку типа шпинели с периодом a = 0,8397 нм. При нагреве на воздухе окисляется до Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Получают действием водяного пара на раскаленное железо, восстановлением Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, окислением FeO.

Общий химический состав сталей, из которых изготовлены прошивные оправки, определяли на атомно-эмиссионном спектрометре DV-6. Микрорентгеноспектральный анализ проводили на сканирующем электроном микроскопе VEGA-2LMU с микроанализатором INCA Energy 350. ДюрOMETрический анализ проводили с помощью прибора ПМТ-3. Металлографический анализ проводили с использованием металлограф-го микроскопа МИ-1 и сканирующего электронного микроскопа VEGA-2LMU при увеличениях 100 – 21000 крат.

УДК 621.79.01:621.793.1

### **Некоторые пути повышения качества PVD и CVD покрытий**

Студент гр. 104217 Ковальчук А.В.  
Научный руководитель – Константинов В.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью настоящей работы являлось выявление ряда перспективных путей повышения качества PVD и CVD покрытий TiN за счет регламентированного воздействия на металлическую подложку.

Основными критериями качества PVD и CVD покрытий являются пористость и, прежде всего, адгезионная способность (прочность). Первая зависит от технологических факторов, вторая – от природы наносимого материала и материала подложки, и от характера преобладающего типа зацепления покрытия на подложке (химическое или диффузионное, физическое, механическое). Однако эти критерии не являются достаточными для оценки технической эффективности и экономической целесообразности применения покрытий. Для этого следует рассматривать как единое целое определенную конструкцию, состоящую из материала подложки и материала поверхностного слоя – топокомпозит [1], конструирование которых в настоящее время идентифицируется как создание из подложки и покрытия нового композиционного материала со свойствами, недостижимыми по отдельности ни материалом подложки, ни материалом покрытия. В западной литературе это научное направление



называют surface engineering [2], в Японии – Tribo-Design of Coating/Substrate System (TDCSS) [3]. Подтверждением тому служат теоретические исследования автора [1, 4], которые показали, что для тонких твердых покрытий проявляется эффект снижения несущей способности слоистой системы (топокомпозита). Этот эффект заключается в снижении предельной нагрузки, действующей на топокомпозит, для появления пластической деформации в материале подложки (продавливание покрытия) по отношению к нагрузке, прикладываемой к подложке без покрытия и приводящей к такой же пластической деформации в ней. Решением проблемы следует считать рассмотрение эффективных характеристик топокомпозита – эффективной жесткости и эффективных пределов твердости, текучести и несущей способности, варианты расчета которых предложены автором [4] и применение различных видов модифицирования металлической подложки.

По цели применения модифицирование металлической подложки можно условно разделить на 2 группы, в одной из которых основной целью является увеличение прочности сцепления покрытия и подложки, а во второй – получение для подложки твердости и износостойкости, близких к покрытию.

В первом случае наиболее часто рассматриваются предварительный подогрев (для уменьшения растягивающих напряжений на границе раздела между покрытием и подложкой и дополнительной взаимодиффузии); облучение (для увеличения содержания углерода и уменьшения содержания кислорода (примесные элементы) в зоне нанесения покрытия, уменьшения коэффициента трения покрытия на 20 – 30%); ионная имплантация (модифицирование тонкого поверхностного слоя подложки – изменение условий зарождения покрытия и характера его сопряжения с подложкой); ионная бомбардировка (на начальной стадии осаждения покрытия – формирование на межфазной границе протяженного переходного слоя комбинированного состава с градиентом концентрации элементов подложки и покрытия и получение текстуры, соответствующей ориентации плоскостей (100) параллельно поверхности); различные виды предварительной очистки (выявление границ зерен, углублений, дислокаций, дислокационных трубок и т.д.) [5].

Во втором случае внимание акцентируется в основном на возможности применения способов химико-термической обработки для повышения твердости и износостойкости подложки, необходимой для увеличения времени до наступления момента исчерпания несущей способности покрытия из-за локальных повреждений на участке трения [6].

В настоящее время в США, Китае, Японии и странах Европы активно ведутся разработки дуплекс-процессов, включающих первоначально один из способов одно- или многокомпонентного насыщения подложки (чаще всего уже предварительно модифицированной одним из методов 1 группы) из различных марок сталей с последующим нанесением износостойкого вакуумного покрытия [7, 8, 9].

### Литература

1. Воронин Н.А. Топокомпозиты – новый класс конструкционных материалов триботехнического назначения. Ч.1. Трение и износ, 1999. Т.20 №3. С. 313-320. Ч.2. Трение и износ, 1999. Т.20. №5. С.533-544.
2. Towards B. Designer Surfaces // Ind. Lubrication and Tribology. 1992. V.44. №1. P.2-11.
3. Diao D. Tribo-design of coating/substrate system // Proceeding of the international symposium of high performance of tribosystem, May 28-29. 1999. KETRI, Korea, P. 36-41.
4. Воронин Н.А. Особенности и прикладной аспект механики контактного взаимодействия жесткого сферического штампа с упруго-пластичным слоистым полупространством // Межвуз. сб. науч. тр. Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел и деталей машин. Тверь: ТГТУ, 2006. С.32-55.
5. Ходасевич В.В., Солодухин И.А. Роль предварительного облучения и нагрева подложки в модификации переходного слоя и механических свойств покрытий TiN. // 3-я

международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом». Октябрь 6-8. 1999. БГУ, Минск. С.109-111.

6. Андреев А.А. Вакуумно-дуговое модифицирование поверхности стальных изделий. // Технология машиностроения, Т.5, №3-4 2007. С.140-148.

7. Polok M. Comparison of the PVD coatings deposited onto plasma nitrided steel. // Journal of achievements in materials and manufacturing engineering. 2010.V.42. №2.P.172-179.

8. Shengli M. The composite of nitrided steel and TiN coatings by plasma duplex treatment and the effect of pre-nitriding // Surface and Coatings Technology. 2001. №137. P.116-121.

9. Mancosu R. Plasma nitriding and PVD hard coating: a critical overview of duplex coating processing. // Jornadas Sam/Caonamet/Simposio Materia 2003. P.600-603.

УДК 621.79.01:621.793.1

### **Основные требования к металлической подложке для нанесения наноструктурированных защитных покрытий**

Студент гр. 104217 Ковальчук А.В.

Научный руководитель – Константинов В.М.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью настоящей работы являлась разработка основных требований к материалу подложки для нанесения износостойкого наноструктурированного защитного покрытия нитрида титана.

В процессе эксплуатации инструментов и деталей машин в условиях трения важнейшую роль играют поверхностные слои, от которых зависит весь комплекс триботехнических свойств. Для повышения свойств и увеличения срока эксплуатации изделий их поверхности могут модифицироваться термической, химико-термической, термомеханической обработкой, а также нанесением покрытий. Наиболее эффективными по ряду показателей для создания тонких поверхностных слоев на поверхностях трения являются вакуумные ионно-плазменные методы (ВИП), основанные на конденсации на поверхностях изделий частиц с высокой энергией в вакууме или разреженном инертном газе. В англоязычной литературе – «physical vapor deposition» (PVD), «chemical vapor deposition» (CVD). Перспективным в области снижения издержек на производство простых покрытий является применение в качестве материала подложки вместо дорогих легированных материалов более дешевых углеродистых сталей.

При конструировании топокомпозита из наноструктурированного TiN и углеродистой стали важно уделять большее внимание стальной подложке, так как именно ее прочностные характеристики в большей степени влияют на изменение свойств топокомпозита.

Предложены следующие основные требования к металлической подложке для нанесения износостойких наноструктурированных защитных покрытий (TiN):

1. высокая адгезионная способность и адгезионная прочность материала подложки;
2. высокая когезионная прочность поверхностного слоя подложки;
3. высокая схватываемость материала подложки с наносимым покрытием;
4. высокое качество поверхности (под критериями качества понимаются шероховатость, фактура, наличие загрязнений, наличие окисных пленок);
5. выпуклая форма поверхности (при этом тепловая усадка покрытия и образующиеся в ее результате напряжения способствуют более плотному прижатию покрытия к подложке);
6. близкое к материалу покрытия значение коэффициента теплового расширения;
7. значения твердости на границе раздела между покрытием и подложкой должны быть близки к твердости покрытия и плавно снижаться в направлении от границы раздела;

8. субмикроскопический размер зерен и включений структурных составляющих материала подложки в области границы раздела между покрытием и подложкой и его возрастание в направлении от границы раздела (идеальный случай – абсолютная размерно-градиентная структура);

9. высокое сопротивление малым пластическим деформациям и локализации деформации в поверхностном слое;

10. высокое сопротивление контактной усталости и релаксации напряжений;

11. другие свойства, способствующие обеспечению преимущественно когезионного или смешанного характера разрушения системы «подложка-покрытие» и не противоречащие вышеперечисленным требованиям.

УДК 669.018.2

### **Материалы с эффектом памяти формы**

Студент гр.104218 Дубатовка С.В.

Научный руководитель – Пучков Э.П.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Разработка сплавов с эффектом памяти формы началась в 60-х годах 20 века с открытия группы металлических материалов, которые неупруго деформируются за счет структурного превращения при обратимом фазовом переходе аустенит-мартенсит.

Сплавы с эффектом памяти формы обладают уникальным свойством – термомеханическая память. Различают сплавы с эффектом памяти формы с односторонней памятью формы и с двухсторонней памятью формы. Эффект односторонней памяти формы заключается в следующем: если деформировать сплав с мартенситной структурой, а затем его нагреть в аустенитную область - он примет первоначальную макроскопическую форму. Эффект двухсторонней памяти формы не требует приложения внешней нагрузки, а циклическое изменение геометрических размеров происходит только за счет фазовых превращений при изменении температуры.

Наиболее перспективными сплавами с эффектом памяти формы являются сплавы Ti-Ni эквиатомного состава, называемые никелидом титана или нитинолом. Эти сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью и биосовместимостью. Эти свойства нашли широкое распространение в промышленности и медицине. В промышленности Ti-Ni сплавы применяются в качестве крепежных элементов, силовых преобразователей, элементов для гашения вибрации и акустического шума.

В промышленности также применяются сплавы с эффектом памяти формы на основе меди Cu-Al-Ni и Cu-Al-Zn. Эти сплавы значительно дешевле Ti-Ni сплавов, не так чувствительны к химическому составу, им легче придать необходимую форму. Также, по сравнению с Ti-Ni сплавами, сплавы с эффектом памяти формы на основе меди имеют очень хорошую механическую обрабатываемость и свойства при повышенной и пониженной температурах.

Освоение ближнего и дальнего космоса связано с созданием орбитальных станций и крупным космическим строительством. Необходимо сооружение таких громоздких объектов как солнечные батареи и космические антенны. Антенны состоят из листа и стержня из сплава Ti-Ni, которые свернуты в виде спирали и помещены в углубление в искусственном спутнике. После запуска спутника и выведения его на орбиту антенна с помощью специального нагревателя или солнечного излучения выходит в космическое пространство.

Используемые в массовом производстве способы соединения деталей, такие как сварка, пайка, склеивание, клепка и другие, непригодны в космических условиях. Особые требования предъявляются к обеспечению исключительно высокой техники безопасности.

С учетом этих особенностей создана уникальная технология соединения элементов в открытом космосе с использованием муфты из сплава ТН-1 (Ni = 53,5 – 56,5, Ti – остальное).

Для неподвижного соединения деталей обычно применяются заклепки и болты. Однако, если невозможно осуществлять какие-либо действия на противоположной стороне скрепляемых деталей (например, в герметичной пустотелой конструкции), выполнение операций крепления вызывает трудности. Стопоры из сплава с эффектом памяти формы позволяют в этих случаях осуществить крепление с использованием пространственного восстановления формы.

Материалы с эффектом памяти форм позволяют производить приводные модули типа «искусственные мышцы», не уступающие поперечнополосатым мышцам живых организмов прежде всего по массогабаритным параметрам.

Особый интерес представляет использование сплавов с памятью формы в медицине. Их применение открывает широкие возможности создания новых эффективных методов лечения.

Сплавы, используемые в медицине, должны обладать не только высокими механическими характеристиками. Они не должны подвергаться коррозии в биологической среде, должны обладать биологической совместимостью с тканями человеческого организма, обеспечивать отсутствие токсичности, канцерогенности, оказывать сопротивление образованию тромбов, сохраняя эти свойства в течение длительного времени. Если имплантируемый орган, изготовленный из металла, является активным относительно биологической структуры, то происходит вырождение (мутация) биологических клеток периферийной структуры, воспалительный прилив крови, нарушение кровообращения, затем омертвление биологической структуры. Если имплантируемый орган инертен, то вокруг него возникает волокнистая структура, обусловленная коллагенными волокнами, образующимися из волокнистых зародышевых клеток. Имплантируемый орган покрывается тонким слоем этой волокнистой структуры и может стабильно существовать в биологических организмах.

Специальные эксперименты, проведенные на животных, показали, что сплавы на основе Ti-Ni имеют биологическую совместимость на уровне и даже выше обычно применяемых нержавеющей стали и кобальтхромовых сплавов и могут быть использованы в качестве функциональных материалов в биологических организмах. Использование сплавов с эффектом памяти формы для лечения показало их хорошую совместимость с тканями и отсутствие реакций отторжения биологических структур человеческого организма.

Сплавы с эффектом памяти формы применяют для коррекции позвоночника. Из него изготавливают пластинки для соединения кости, внутри-костные шпильки, устройства для скелетного вытяжения, проволоку для исправления положения зубов и т.д.

Не смотря на высокую стоимость, сложность производства и ряд недостатков, сплавы с эффектом памяти формы незаменимы при изготовлении уникальных конструкций, инструментов в медицине, а также в космостроении и при ремонтных работах в открытом космосе.

## Применение аморфных металлов и сплавов

Студент гр. 104218 Таран С.А.  
Научный руководитель – Пучков Э.П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Аморфные металлы (металлические стёкла) – класс металлических твердых тел с аморфной структурой, характеризующейся отсутствием дальнего порядка и наличием ближнего порядка в расположении атомов. В отличие от металлов с кристаллической структурой, аморфные металлы характеризуются фазовой однородностью, их атомная структура аналогична атомной структуре переохлаждённых расплавов.

Существует множество способов получения металлических стёкол. Но самый распространённый – закалка из жидкого состояния. Методы охлаждения расплавов металлов и сплавов с большими скоростями, позволяющими достигать больших степеней переохлаждения жидкости и в конечном счете «замораживать» жидкое состояние, объединяются под общим названием – методы закалки из жидкого состояния, или методы закалки из расплава.

Методы закалки из жидкого состояния имеют несколько разновидностей. Методы выстреливания, молота и наковальни, а также экстракции расплава, они позволяют получать тонкие аморфные пластинки массой до нескольких сот миллиграммов. Методами, использующими закалку на центрифуге, закалку на диске, прокатку расплавленного металла, можно получить непрерывные тонкие ленты. Для получения пластинок массой до нескольких сотен миллиграмм, капля расплава с большой скоростью выстреливается на охлаждаемую медную плиту, скорость охлаждения при этом достигает  $10^9$  °C/с. Для получения тонких лент шириной от десятых долей до десятков миллиметров расплав выдавливается на быстро вращающуюся охлаждающую поверхность. Для получения проволок толщиной от единиц до сотен микрон применяются разные методы. Например, расплав протягивается в трубке через охлаждающий водный раствор, скорость охлаждения при этом составляет  $10^4$  -  $10^5$  °C/с. Или струя расплава попадает в охлаждающую жидкость, которая находится на внутренней стороне вращающегося барабана, где удерживается за счёт центробежной силы. Эти методы могут быть использованы для промышленного производства аморфных металлов.

С теоретической точки зрения любая жидкость при достаточно большой скорости охлаждения может избежать кристаллизации и перейти в стеклообразное состояние. Для каждой жидкости существует критическая скорость охлаждения  $R_c$ , необходимая для ее стеклования. Для жидкости достаточно высокой степени чистоты  $R_c$  можно теоретически предсказать, основываясь на общей теории образования и роста зародышей.

Несмотря на хорошие механические свойства, металлические стёкла не используются в качестве ответственных деталей конструкций по причине их высокой стоимости и технологических сложностей. Они применяются где необходимы их уникальные свойства.

Аморфные металлы можно использовать как материалы, имеющие высокие характеристики прочности и пластичности. Применения аморфных сплавов в различных конструкциях в сочетании с пластмассами и резинами, а также для изготовления пружин, малогабаритного режущего инструмента. Прочность в случае сплава  $Fe_{80}B_{20}$  составляет  $3500$  МН/м<sup>2</sup>. Однако, поскольку эти сплавы обладают низкой способностью к аморфизации, они не могут быть использованы для массового производства тонкой аморфной проволоки. В этом смысле наиболее удачным высокопрочным аморфным материалом является сплав  $Fe_{75}B_{10}Si_{15}$ . В будущем этот сплав должен составить серьезную конкуренцию существующим высокопрочным материалам.

Аморфные металлы в химическом отношении являются более активными, чем кристаллические. Однако, те аморфные сплавы, которые содержат хром и другие элементы, способствующие формированию пассивирующей пленки, обладают значительной коррозионной стойкостью. Сплав  $Fe_{45}Cr_{25}Mo_{10}P_{13}C_7$  пассивируясь даже в таком концентрированном растворе, как 12 н. раствор соляной кислоты при 60 °С, почти не корродирует. По своей коррозионной стойкости этот сплав превосходит даже металлический тантал.

Аморфные сплавы, содержащие большие количества магнитных элементов, могут обладать довольно высокой индукцией насыщения. Поскольку аморфные материалы не имеют дефектов, повышающих сопротивление движению границ доменов, и в них отсутствует кристаллографическая анизотропия, то они представляют собой превосходные практически изотропные магнитомягкие материалы. Кроме того, магнитное состояние аморфных сплавов можно изменять непрерывно, в широком диапазоне варьируя их химический состав. Поэтому можно получать сплавы с заранее заданными магнитными характеристиками, что является существенным преимуществом аморфных материалов.

Магнитные аморфные сплавы содержат большие количества немагнитных металлов и металлоидов, поэтому их намагниченность насыщения и температура Кюри, как правило, ниже, чем у кристаллов. Они уже используются для изготовления магнитных экранов, магнитных головок, микрофонов, различных элементов звуковоспроизводящих устройств, магнитострикционных линий задержки, фильтров, сердечников управляющих обмоток.

Аморфные металлы имеют высокое электросопротивление, но малый температурный коэффициент электрического сопротивления. Например, в сплавах Ni-S-B при увеличении содержания металлоидов ТКС меняется с положительного на отрицательный. У сплава  $Ni_{68}Si_{10}B_{22}$  от крайне низких температур практически до температуры кристаллизации (650 К) температурный коэффициент электрического сопротивления близок к нулю. Этот сплав можно применять в качестве эталона сопротивления.

УДК 621.785

### **Проявление структурной наследственности в стали при термической обработке**

Студент гр. 104218 Сафонов М.Г.  
Научный руководитель – Пучков Э.П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Большая часть изучению наследственной структуры принадлежит академику Садовскому Виссариону Дмитриевичу. Структурной наследственностью принято называть воспроизведение при повторном нагреве (аустенизации) первоначальных аустенитных зерен по форме, размерам и ориентации. Проявление структурной наследственности зависит от легирования сталей (сплавов), скорости нагрева и, в частности, от присутствия в составе стали некоторых примесей. Чем более легирована сталь, тем шире диапазон скоростей нагрева, при которых проявляется структурная наследственность в стали. В сталях с кристаллографически упорядоченной структурой перекристаллизация при аустенизации включает две стадии: собственно фазовое превращение, приводящее к образованию наклепанного и ориентационного связанного с исходной структурой аустенита, и рекристаллизацию, приводящую к измельчению зерна, снятию фазового наклепа и устранению внутриверхней структуры. Поэтапно реализуя процессы структурной наследственности и рекристаллизации при аустенизации, можно эффективно управлять размером и субструктурой аустенитного зерна. Структурная наследственность хорошо проявляется в конструкционных сталях типа 30ХГСА, 37ХНЗА, 20Х2Н4А и т. п. Быстрый

нагрев предварительно отпущенной стали способствует развитию процесса неупорядоченного роста аустенита и получению мелкозернистой структуры. Медленный нагрев ведет к упорядоченному превращению и, если не образуется белых полей, полному восстановлению зерна исходной структуры. Предварительная пластическая деформация стали затрудняет реализацию упорядоченного механизма превращения. Существует критическая скорость нагрева при которой реализуется эффект восстановления зерна. Эффект восстановления зерна наиболее резко проявляется после сильного перегрева стали (1250 – 1300), замедленное подстуживание от температур перегрева до 850 – 900 градусов способствует развитию белых полей при последующем медленном нагреве, предотвращая тем самым эффект чистого восстановления исходной структуры. Наблюдающееся восстановление исходного зерна аустенита есть следствие кристаллографической обратимости из феррита в аустенит превращения, а сохраняющаяся при таком превращении повышенная концентрация структурных дефектов (внутренний наклеп) обуславливает возможность самопроизвольной рекристаллизации «восстановленного» аустенита. Фазовая перекристаллизация осуществляется в две стадии. Существует особый тип распада стареющих сплавов – гетерогенный распад, при котором кристаллиты исходного пересыщенного твердого раствора разбиваются на участки с разной ориентацией. Монокристалл в результате гетерогенного старения превращается в поликристалл. Наряду с преобладанием аустенита первоначальной ориентации появляются двойниковые ориентировки. Первоначальная ориентировка аустенитных зерен воспроизводится не полностью. Исправление структуры, достигнутое нагревом стали выше критической точки  $A_{c3}$ , оправдывается далеко не всегда, и имеет много исключений. Осложнения с исправлением крупнозернистой структуры наиболее вероятны при термической обработке легированных сталей, способных подкаливаться (на мартенсит или бейнит) при охлаждении в литейной форме, или на воздухе послековки, штамповки, прокатки, сварки. Повышение температуры или некоторая выдержка в надкритической области приводят к резкому измельчению зерна аустенита и полному исправлению вида излома. В сталях 18X2H4BA и 25X2ГНТА структурная наследственность выражается в полном восстановлении исходного зерна с некоторым искажением его границ. Стали этих марок характеризуются устойчивым сохранением структур перегрева при повторных нагревах. Нагрев под штамповку необходимо производить до температур не выше 1100 градусов для стали 20X2H4A и не выше 1150 градусов для сталей 18X2H4BA и 25X2ГНТА. Предварительная термическая обработка штампованных заготовок для зубчатых колес назначается с целью исправления структурной неоднородности, создающейся при пластической деформации в процессе горячей механической обработки. Склонную к структурной наследственности сталь опасна цементировать, если ее структура была сколько-нибудь укрупнена. Обычно предварительная термическая обработка включает нормализацию для исправления структуры и последующий высокий отпуск для смягчения стали и придания ей хорошей механической обрабатываемости. Для исправления крупнозернистых структур сталей 20X2H4A, 18X2H4BA и 25X2ГНТА, получаемых при штамповке зубчатых колес, наиболее рациональный режим – предварительный отпуск при температуре 640 градусов в течение 6 и 24 ч (24 ч для стали 18X2H4BA, в которой процессы распада мартенсита и образования субструктуры замедлены присутствием вольфрама) с последующим ускоренным нагревом  $\geq 20$  град/мин) под нормализацию (до 910 – 930 градусов). При травлении деталей с крупнозернистой структурой после закалки трещины появляются уже после 24-часовой выдержки. Весьма склонна к восстановлению зерна после перегрева сталь 25X2ГНТА, в которой определенную роль играют устойчивые карбиды титана.

Студент гр. 104218 Медведев А.Э.  
Научный руководитель – Пучков Э.П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Ядерная энергетика предъявляет повышенные требования к используемым конструкционным материалам, технологии их производства и контролю работоспособности. Конструкционные материалы под действием облучения испытывают структурные превращения, оказывающие отрицательное влияние в первую очередь на механические свойства и коррозионную стойкость. Из всех видов облучения (нейтронами,  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицами,  $\gamma$ -излучения) наиболее сильное влияние оказывает нейтронное облучение.

Радиационную среду принято характеризовать нейтронным спектром и нейтронным потоком. Спектр определяется дискретными уровнями энергии нейтронов. В зависимости от энергии нейтронов, используемых для осуществления цепной ядерной реакции, различают реакторы на тепловых (медленных) и быстрых нейтронах. Нейтронный поток характеризует интенсивность радиационной среды и выражается числом нейтронов с энергией  $E > 0,1$  МэВ, пересекающих площадь  $1 \text{ см}^2$  за  $1 \text{ с}$  (нейтрон/ $\text{см}^2 \cdot \text{с}$ ). Нейтронный поток, суммированный по времени (нейтрон/ $\text{см}^2$ ), или флюэнс нейтронов, характеризует суммарную дозу облучения и является мерой накопления радиационного воздействия. Более точной характеристикой дозы облучения является суммарное количество смещений в расчете на один атом (смещ/ат). Соударения вызывают смещения атомов или каскад смещений в структуре в зависимости от количества энергии, передаваемой нейтроном атому металла. Подвергшийся удару нейтроном первый атом, подобно бильiardному шару, ударяя по другим атомам, вызывает в структуре дополнительные смещения. В результате развития каскада образуются объемы с высокой концентрацией вакансий, по периферии окруженные зонами с повышенной плотностью межузельных атомов. Например, один нейтрон способен создать в алюминии более 6000 вакансий, в бериллии с большей энергией межатомной связи — более 450 вакансий.

Помимо смещений большие нейтронные потоки за счет своей энергии возбуждают атомы, усиливают их колебания (это явление Инденбом назвал «радиационной тряской»), что сопровождается локальным повышением температуры. Рост температуры способствует радиационному отжигу, сопровождающемуся аннигиляцией вакансий и межузельных атомов. Высокие температуры и нейтронное облучение могут вызвать в материале ядерные реакции с образованием гелия, что в свою очередь приводит к появлению газовых пузырей по границам зерен.

Структурные изменения приводят к изменению механических свойств. В результате при температуре ниже температуры рекристаллизации — низкотемпературного облучения — металл упрочняется, но теряет вязкость и пластичность. Сталь приобретает максимальное упрочнение при  $\Phi = 3 \cdot 10^{19}$  нейтрон/ $\text{см}^2$ , причем  $\sigma_{0,2}$  растет интенсивнее  $\sigma_b$ , что приводит к снижению способности к деформационному упрочнению. Дальнейшее увеличение потока практически не влияет на свойства стали.

Действие низкотемпературного облучения на свойства напоминает наклеп — холодную пластическую деформацию. Однако, несмотря на такую аналогию, механизмы воздействия радиационного повреждения и наклепа на структуру материала принципиально различны, поскольку радиационное повреждение связано преимущественно с образованием точечных дефектов, тогда как деформационное упрочнение связано в основном с появлением линейных дефектов.

В условиях облучения выше температуры рекристаллизации (высокотемпературное облучение) роль точечных радиационных дефектов снижается. Вакансии и межузельные



атомы частично аннигилируют, частично взаимодействуют с примесями, дислокациями, границами зёрен. Оставшиеся межузельные атомы и вакансии объединяются в кластеры, которые в свою очередь могут превращаться соответственно в дислокационные петли межузельного или вакансионного типов.

Высокотемпературное облучение активизирует диффузионные процессы и способствует распаду пересыщенных твердых растворов (старению). Это объясняет высокотемпературную хрупкость аустенитных хромоникелевых сталей. Активизацией диффузионных процессов также объясняется снижение длительной прочности при облучении. Падение жаропрочности растет с увеличением температуры и интенсивности нейтронного потока.

При высокотемпературном облучении большими нейтронными потоками в аустенитных сталях и сплавах на основе Ni, Ti, Mo, Zr, Вe зарождаются и растут вакансионные поры, а более подвижные межузельные атомы уходят на дальние стоки (краевые дислокации, границы зерен и др.), что приводит к заметному увеличению объема металла — радиационному распуханию.

Объем аустенитных сталей, облученных при рабочей температуре 450 °С, линейно растет с увеличением нейтронного потока. Объем может увеличиться на 20 % и более. Распухание усиливается в результате скопления в микропорах газов, образовавшихся при облучении.

Легирование хромоникелевых сталей Ti, Mo, Nb снижает их распухание. Высокохромистые ферритные и перлитные стали с меньшей растворимостью водорода характеризуются меньшей склонностью к распуханию.

Радиационная ползучесть сталей проявляется при температуре 300 – 500 °С, когда роль термической ползучести еще пренебрежимо мала. Один из возможных механизмов радиационной ползучести – механизм переползания, т. е. скольжения дислокаций. Установившаяся скорость радиационной ползучести пропорциональна приложенному напряжению и повреждающей дозе.

Аустенитные стали имеют достаточно высокую длительную прочность при 670 – 700 °С за счет легирования Mo, введения Nb, микродобавок В (0,003 – 0,008 %). Длительная прочность хромистой жаропрочной стали ниже, чем аустенитных, что связано с более высокой диффузионной подвижностью атомов в ОЦК-решетке. Легирование Mo, Nb, V и В увеличивает прочность лишь при 600 – 650 °С.

Изменение свойств сталей при низких температурах при облучении называют низкотемпературным радиационным охрупчиванием (НТРО). К НТРО склонны ферритные и ферритно-мартенситные стали и в меньшей степени аустенитные коррозионностойкие стали, что связано с особенностями дислокационной структуры и фазовых превращений в феррите.

В области, где температура составляет более 0,55 температуры плавления сталей, наблюдается высокотемпературное радиационное охрупчивание (ВТРО). ВТРО проявляется в необратимом уменьшении относительного удлинения (до 3 – 5 %) и преобладании межзеренного разрушения.

**Исследование кинетики, фазового состава и свойств оксидных слоев на сталях, используемых для изготовления прошивных оправок**

Студент гр.104217 Копытко А.В., магистрант Удот А.Ю.  
Научный руководитель – Пучков Э.П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью настоящей работы является исследование кинетики, фазового состава и свойств оксидных слоев на сталях, используемых для изготовления прошивных оправок. Изучение оксидных слоев необходимо для увеличения срока службы прошивных оправок.

Во время работы оправки подвергаются длительному циклическому воздействию высокой температуры (поверхность оправки разогревается до 800 – 1000 °С) и значительного давления (до 170 МПа), поэтому материал оправок должен обладать высокой прочностью, термостойкостью и повышенной теплопроводностью. Даже при высокой прочности материала, но при недостаточной его термостойкости и теплопроводности, носик оправки быстро разогревается, теряет форму и оправка выходит из строя. Кроме того, поверхность оправки не должна свариваться с металлом заготовки, должна обладать высокой износостойкостью.

На стойкость оправок существенно влияет большое количество факторов: химический состав материала и режим термообработки оправок, их калибровка, марка прокатываемой стали, качество нагрева заготовок, режимы прокатки и условия охлаждения оправок в процессе эксплуатации. Покров окислов выполняет роль изолирующей прослойки между рабочей поверхностью оправки и металлом заготовки и предотвращает сваривание оправки и заготовки. Слой окислов обладает примерно в 20 раз меньшей теплопроводностью, чем металл, и предохраняет оправки от разогрева до высоких температур, уменьшая склонность их к свариванию.

Решающее значение на длительную устойчивую работу прошивной оправки оказывает промежуточный слой. Он обеспечивает защиту от схватывания и воспроизводство защитного слоя в процессе работы.

Высокая стойкость прошивных оправок обуславливается следующими причинами:

- отсутствие обезуглероженного слоя, непосредственно контактирующего с защитным оксидным слоем;
- достаточная горячая твердость стальной основы оправки;
- наличие металлургической связи оксидного слоя с металлической основой, отсутствие отслаивания оксидного слоя, обусловленное внутренними напряжениями;
- оптимальная толщина защитного оксидного слоя, хорошо сцепленная с основой;
- присутствие в стальной подложке и защитном слое специальных легирующих элементов, обеспечивающих устойчивое воспроизведение защитного слоя при работе прошивки.

На поверхности оправки образуются оксидные слои, состоящие из различных оксидов. В основном оксидный слой состоит из оксидов железа: FeO (вюстит), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (гематит) и Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (магнетит) или FeO·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Вюстит – соединение переменного состава, близкого к FeO (состав отвечает формуле Fe<sub>x</sub>O, где x = 0,89 – 0,95), устойчиво при избытке кислорода. Вюстит образуется при 1430 – 1435 °С по перитектической реакции ж + Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ↔ вюстит. Распадается вюстит по эвтектоидной реакции: вюстит ↔ α-Fe + Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> при 560 °С; эвтектоидная точка расположена при 51,41 % (ат.) O. Решетка вюстита типа NaCl. С увеличением содержания кислорода период решетки уменьшается почти линейно. Решетка FeO – кубическая с a = 0,4357.

Гематит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  образуется по реакции  $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2 \leftrightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$  при  $1457^\circ\text{C}$ . Он существует в двух формах: стабильной  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  и метастабильной  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Структура  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  – ромбоэдрическая типа корунда с  $a = 0,54271$  нм и  $\alpha = 55^\circ 15,8'$ . Её также интерпретируют как гексагональную с 30 атомами в элементарной ячейке и периодами  $a = 0,50345$  нм,  $c = 1,3749$  нм,  $c/a = 02,737$ .  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  обладает решеткой типа шпинели с периодом  $a = 0,834$  нм. Имеются указания и на более сложную структуру – тетрагональную сверхструктуру с периодом решетки  $a = 0,833$  нм,  $c = 2,499$  нм.

Магнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  [57,15 % (ат.) O] плавится с открытым максимумом при  $\sim 1600^\circ\text{C}$ . В сплавах, более богатых кислородом, при  $1583^\circ\text{C}$  протекает реакция  $\text{ж} \leftrightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2$ . В равновесии с кислородом магнетит находится до  $1457^\circ\text{C}$ . Он имеет решетку типа шпинели с периодом  $a = 0,8397$  нм. При нагреве на воздухе окисляется до  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Получают действием водяного пара на раскаленное железо, восстановлением  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , окислением  $\text{FeO}$ .

В окалине происходят превращения сложных твердых растворов. Окалина углеродистой стали, образующаяся при температурах свыше  $600^\circ\text{C}$ , состоит из окислов:  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и  $\alpha$ - и  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Окислы располагаются слоями в соответствии с уменьшением содержания кислорода в направлении от наружного слоя к внутреннему.

Режимы оксидирования проводились на сталях 20ХН4ФА, 6ХВ2С, Р18. В результате проведения различных режимов на сталях получился хороший оксидный слой, прочно сцепленный с основой. Поверхность плотная без разрывов и изъянов. Контроль качества проводился с помощью микродурометрического и металлографического анализов. Опытные образцы показаны на рисунке 1.



Рисунок 1 – Опытные образцы после оксидирования (20ХН4ФА, 20ХН4ФА, 6ХВ2С, 6ХВ2С)

Фазовый анализ оксидированного покрытия стали 20ХН4ФА оправки представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Интегральная интенсивность дифракционных линий фаз, входящих в состав оксидированного покрытия стали 20ХН4ФА.

Фаза	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	$\text{FeO}$	$\alpha\text{-Fe}$
Интенсивность, отн. ед.	9831	5050,5	-	1719,3
Интенсивность, %	59,2	30,4	-	10,4

Толщины оксидных слоев и их фазовый состав зависят от режимов высокотемпературного оксидирования, времени выдержки, температур выдержки, марки стали, количества легирующих элементов. С увеличением содержания в стали таких элементов как С, W, Сг и других л.э. толщина окисной плёнки уменьшается при одинаковой температуре и времени выдержки. Так толщины оксидных плёнок некоторых сталей и режимов:

20ХН4ФА	600°С, 3ч; 965°С, 2ч 20мин	0,4-0,55 мм
20ХН4ФА	965°С, 4ч 20мин	0,55-0,75 мм
6ХВ2С	600°С, 3ч; 965°С, 2ч 20мин	0,25-0,35 мм
6ХВ2С	965°С, 4ч 20мин	0,35-0,45 мм
P18	600°С, 3ч; 965°С, 2ч 20мин	0,12-0,2 мм
P18	965°С, 4ч 20мин	0,25-0,35 мм

УДК 669.58+621.785.3

### Влияние химического состава расплава цинка на цинковые диффузионные слои

Студенты гр. 104217 Конон А.А., гр. 104219 Орда Д.В., Синькевич О.Л.

Научный руководитель – Вейник В.А.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Химический состав расплава цинка, оказывает решающее влияние на образующийся ДС (диффузионный слой) при цинковании. Вводимые в расплав добавки металлов (Al, Sn, Cu, Pb, Mg и др.) в определенных концентрациях оказывают разное влияние на свойства ДС. Так же в расплаве присутствуют разные примеси (Fe, Si, Cd и др.) которые попадают в расплав вместе с обрабатываемым металлом и за счет растворения самой ванны.

Наличие в расплаве различных металлов оказывает влияние и на свойства самого расплава (температуру плавления, окисляемость, вязкость, поверхностное натяжение). Рассмотрим влияние металлов специально вводимых в расплав.

Алюминий. Многие исследователи считают что Al увеличивает жидкотекучесть расплава, так же он уменьшает окисляемость цинка на поверхности ванны, эти свойства заметны при введении в расплав 0,2 – 0,5 % Al. Но Al так же замедляет скорость образование железо-цинковых соединений, уже при содержании 0,2 % Al время образования железо-цинковых фаз или «инкубационный период» заметно увеличивается время которого так же зависит от температуры см. рисунок 1.

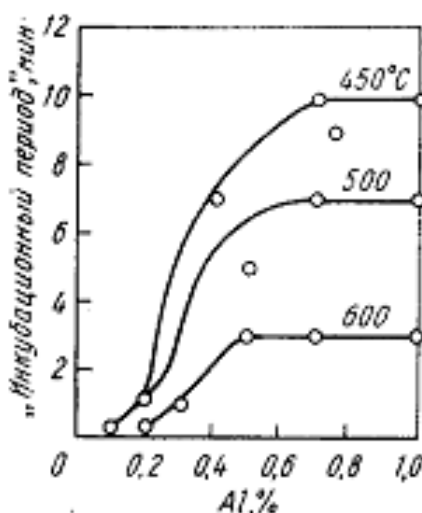


Рисунок 1 – Зависимость «инкубационного периода» от содержания алюминия в расплаве цинка

Свинец. Свинец попадает в расплав цинка вместе с цинковыми чушками. Содержание его колеблется от 0,003 – 1,75% в зависимости от сорта цинка. Если Pb в расплаве больше 1,2% то он оседает на дно ванны т.к. при 450 – 455 °С больше в цинке не растворяется. Оседая на дне ванны он препятствует взаимодействию цинка с железным дном ванны, а

также дает возможность легко удалять образующийся в процессе работы гартцинк. Некоторые исследователи считают что содержание 1% Pb улучшает жидкотекучесть и поверхностное натяжение, так же он увеличивает пластичность ДС. С увеличением содержания Pb так же увеличивается толщина и масса ДС.

Магний. Магний оказывает положительное влияние на цинковые ДС. Уже при содержании 0,003% Mg в расплаве увеличивается коррозионная стойкость на 20 – 70% в зависимости от условий испытаний. Но при содержании 0,22% Mg в расплаве ухудшается сцепление с подложкой.

Медь. Медь увеличивает коррозионную стойкость железо-цинковых ДС. Так же при содержании 1% Cu уменьшается толщина ДС. При небольшом содержании меди в расплаве пластичность ДС несколько хуже, но при увеличении содержания Cu это свойство увеличивается.

Кремний. Влияние Si оказывает на толщину ДС. Он замедляет образование железо-цинковых соединений тем самым уменьшает толщину ДС, уже при содержании 0,05 % Si получаются очень тонкие слои, которые обладают хорошей пластичностью.

Постоянной вредной примесью содержащейся в расплаве цинка является железо. Железо попадает в расплав вместе с обрабатываемым металлом за счет его частичного растворения. В расплаве Fe содержится в виде соединения с цинком (гартцинк), которое оседает на дно ванны и его необходимо периодически удалять. При повышенном содержании железа ухудшается смачиваемость и увеличивается вязкость расплава. При увеличении содержания Fe так же увеличивается толщина ДС ухудшается его пластичность и внешний вид. Железо так же ухудшает коррозионную стойкость, проникая в верхнюю часть ( $\eta$ -фаза) ДС.

Химическому составу расплава при цинковании надо уделять особое внимание, т.к. специально вводимые металлы и примеси оказывают первостепенное влияние на свойства и толщину ДС, а так же на сам расплав. Особенно тщательно следует следить за металлами увеличивающие толщину ДС т.к. экономическая целесообразность должна выполняться, и за металлами которые уменьшают коррозионную стойкость т.к. эффект от обработки должен быть наилучшим.

УДК 693.22.0014.13

### **Использование концентрированных источников энергии для поверхностного упрочнения деталей машин**

Студенты гр. 104518 Бакиновский А.А., гр. 104219 Марышева А.А.

Научный руководитель – Вейник В.А.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Концентрированными источниками энергии для поверхностного упрочнения являются лазерный луч и плазменная струя. Различают, соответственно плазменный и лазерный нагрев.

Особенности плазменной поверхностной закалки – кратковременность процесса нагрева и возможность создания условий охлаждения, обеспечивающих высокую интенсивность, – оказывают существенное влияние на структуру закаленного слоя. Упрочнение является результатом высокоскоростного локального нагрева плазменной дугой поверхностного слоя изделия до высоких (выше  $A_{C3}$ ) температур и быстрое его охлаждение со сверхкритической скоростью в результате теплоотвода в глубинные (внутренние) слои материала изделия. Образующиеся при скоростном нагреве и охлаждении структуры закалочного типа обладают высокими твердостью, износостойкостью и сопро-

тивлением разрушению. Эффект от плазменной закалки определяется повышением эксплуатационных свойств детали благодаря изменению физико-механических характеристик поверхностного слоя, вследствие образования специфической структуры и фазового состава металла, а также получения на поверхности сжимающих остаточных напряжений.

Структурные превращения в целом соответствуют происходящим при объемной закалке, однако, высокие скорости нагрева и охлаждения вызывают изменение соотношений между структурными составляющими, изменение их морфологии вследствие повышенной дефектности кристаллического строения (увеличение плотности дислокаций, измельчение блоков и рост напряжений в кристаллической решетке).

Среди упрочняющих технологий плазменная является относительно новой, интенсивно развивающейся в последние годы. Широкое распространение получил процесс плазменного поверхностного упрочнения гребней колесных пар без выкатки их из-под локомотива, а также с использованием автоматических линий.

Плазменная поверхностная закалка лезвия почвообрабатывающего инструмента дает существенные преимущества перед традиционными (объемная закалка, наплавка) процессами упрочнения. Инструмент самозатачивается при работе, а сравнительные испытания на трех машиноиспытательных станциях с различными грунтами показали примерно двухкратное увеличение стойкости. Учитывая высокую производительность закалки (2 см/с), легкость полной автоматизации процесса, простоту обслуживания оборудования, низкие текущие затраты и высокую эффективность, плазменное упрочнение лезвий почвообрабатывающего инструмента можно реализовать в условиях ремонтных предприятий.

Плазменную поверхностную обработку можно эффективно применять для повышения стойкости шестерен и металлообрабатывающего инструмента. Проблема дефицита и высокой стоимости инструментальных сталей может быть существенно снижена для машиностроительных предприятий благодаря повышению работоспособности металлообрабатывающего инструмента (резцов, сверл, фрез). Плазменная поверхностная обработка позволяет повысить стойкость данного инструмента в 2 – 2,5 раза.

Лазерное поверхностное упрочнение является одним из широко применяемых видов лазерной обработки металлов и сплавов. Структура и фазовое состояние поверхностных слоев после лазерного упрочнения привлекают внимание своими необычными физическими и механическими свойствами. Интерес к лазерному упрочнению стимулируется потребностями современного машиностроения в области создания конкурентноспособной продукции и высокопроизводительной техники. Перспективным направлением исследований в данной области является получение сверхмелкой кристаллической структуры на рабочей поверхности объемных тел, вплоть до перехода к нанокристаллическому состоянию

На практике используются две основные разновидности лазерного термического упрочнения материалов и сплавов. Наибольшее распространение получил метод лазерной закалки из твердого состояния (без оплавления поверхности). Область применения метода – средне – и высокоуглеродистые стали. Упрочнение заключается в лазерном нагреве слоев выше температуры точки Аа [1] с высокими скоростями, что приводит к перегреву а – фазы и зарождению множественных центров перекристаллизации. На стадии охлаждения происходит значительное переохлаждение аустенита и его полиморфное превращение по мартенситному механизму с образованием метастабильных фаз. С увеличением скоростей нагрева и охлаждения возрастают величины перегрева и переохлаждения фаз, при этом возникает большее количество центров перекристаллизации и активнее протекает процесс диспергирования структуры. С другой стороны, увеличение скоростей нагрева и охлаждения возможно только за счёт повышения скорости Ц, движения луча лазера, что уменьшает толщину зоны лазерного воздействия (ЗЛВ) и сокращает время диффузионной активности углерода. Таким образом, механические свойства слоев, упрочненных без оплавления поверхности, определяются взаимодействием указанных факторов и не могут быть получены

выше определенных пределов, характерных для исходной структуры и химического состава. Существенное ограничение метода – малая толщина эффективного упрочнения (0,3 – 0,7 мм).

Другой метод – лазерная закалка из жидкого состояния – используется, как правило, для увеличения толщины ЗЛВ и не получил широкого применения. Объясняется это тем, что при низких скоростях И движения лазерного луча в зоне оплавления образуется дендритно-зеренная структура, характеризующаяся пониженным значением микротвердости.

Плазменный и лазерные нагревы значительно снижают потребление энергии и ускоряют процессы термической обработки деталей, а также позволяют максимально автоматизировать процесс термообработки. Кроме того, сильно повышается качество закаляемой поверхности.

УДК 693.22.0014.9

### **Применение индукционного нагрева для термической обработки**

Студент гр. 104518 Бакиновский А.А.

Научный руководитель – Вейник В.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Термическое упрочнение стальных деталей является одним из наиболее эффективных и действенных способов увеличения ресурса работы нагруженных элементов машин и механизмов, а также снижения их материалоемкости. Во многих случаях технически и экономически оправдана локальная термообработка. При этом упрочняют только наиболее нагруженную рабочую поверхность детали, оставляя нетронутой сердцевину. Для поверхностного упрочнения деталей в промышленности широко применяют термическую высокочастотную и газопламенную обработки. Высокочастотная обработка подразумевает под собой индукционный нагрев токами высокой частоты.

В индукционных печах и устройствах тепло в электропроводном нагреваемом теле выделяется токами, индуцированными в нем переменным электромагнитным полем. Металлические тела (заготовки, детали и др.) помещают в переменное магнитное поле, которое возбуждает в них вихревое электрическое поле. ЭДС индукции определяется скоростью изменения магнитного потока. Индукционный нагрев является прямым и бесконтактным. Он позволяет достигать температуры, достаточной для плавления самых тугоплавких металлов и сплавов.

Интенсивный индукционный нагрев возможен лишь в электромагнитных полях высокой напряженности и частоты, которые создают специальными устройствами – индукторами. Простейший индуктор устройств косвенного индукционного нагрева низкой частоты – изолированный проводник (вытянутый или свернутый в спираль), помещенный внутрь металлической трубы или наложенный на ее поверхность. При протекании по проводнику-индуктору тока в трубе наводятся греющие ее вихревые токи. Теплота от трубы (это может быть также тигель, емкость) передается нагреваемой среде (воде, протекающей по трубе, воздуху и т. д.).

Наиболее широко применяется прямой индукционный нагрев металлов на средних и высоких частотах. Для этого используют индукторы специального исполнения. Индуктор испускает электромагнитную волну, которая падает на нагреваемое тело и затухает в нем. Энергия поглощенной волны преобразуется в теле в теплоту. Эффективность нагрева тем выше, чем ближе вид испускаемой электромагнитной волны (плоская, цилиндрическая и т. д.) к форме тела. Поэтому для нагрева плоских тел применяют плоские индукторы, цилиндрических заготовок – цилиндрические (соленоидные) индукторы. В общем случае они

могут иметь сложную форму, обусловленную необходимостью концентрации электромагнитной энергии в нужном направлении.

Индукционный нагрев применяют для поверхностной закалки стальных изделий, сквозного нагрева под пластическую деформацию (ковку, штамповку, прессование и т. д.), плавления металлов, термической обработки (отжиг, отпуск, нормализация, закалка), сварки, наплавки, пайки металлов.

Важнейший параметр установок индукционного нагрева – частота. Для каждого процесса (поверхностная закалка, сквозной нагрев) существует оптимальный диапазон частот, обеспечивающий наилучшие технологические и экономические показатели. Для индукционного нагрева используют частоты от 50 Гц до 5 МГц.

Процесс поверхностной индукционной закалки быстрее и экономичнее других методов поверхностного упрочнения изделия. Индукционный нагрев в большинстве случаев позволяет повысить производительность и улучшить условия труда.

УДК 621.793.74

### **Термическая обработка напыленных покрытий**

Студент гр.104217 Мороз М.С.

Научный руководитель – Соколов Ю.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Постоянное повышение требований к материалам, эксплуатируемым в агрессивных средах, вакууме, при высокой температуре и в других экстремальных условиях, ставит трудноразрешимые в материаловедческой науке вопросы. Промышленность все чаще сталкивается с проблемами нехватки сырья и энергии, все острее ощущается недостаток многих чистых металлов, являющихся легирующими элементами. Важное место в решении сформулированной глобальной проблемы принадлежит поверхностным слоям твердых тел. Именно они ответственны за износостойкость, коррозионную и усталостную прочность, ряд других физико-механических характеристик.

Принципиально новые возможности в этом направлении открывает использование для обработки поверхностей концентрированных потоков энергии (в частности лазерной и электронно-лучевой обработки).

Улучшение эксплуатационных свойств металлических материалов при различных видах лазерной поверхностной обработки связано с изменением структурного состояния, фазового и химического составов поверхностных слоев. Используя лазерный пучок как концентрированный источник тепла, можно выполнять различные виды локальной термической обработки. Для лазерного глазурирования, как правило, используют непрерывное излучение с плотностью мощности  $10^4 \dots 10^7$  Вт/см<sup>2</sup>. При перемещении обрабатываемой поверхности под лучом лазера (или луча по поверхности) тонкие слои материала расплавляются и затем быстро затвердевают за счет передачи тепла низлежащим холодным слоям металла основы.

Лазерное оплавление можно использовать для поверхностного легирования или обработки покрытий. В последнем случае наблюдается залечивание дефектов (пор и трещин) и улучшается прочность сцепления покрытия с основой вследствие образования жидкой фазы. С помощью лазера можно производить наплавку или напыление различных покрытий аналогично процессам дуговой, плазменной или пламенной наплавки или напыления.

Лазерная закалка принципиально отличается от объемной закалки тем, что она может протекать с оплавлением и без оплавления поверхности. Для лазерной закалки могут быть использованы лазеры как импульсного, так и непрерывного действия. Наиболее важные



факторы, определяющие выбор типа лазера - глубина упрочнения и производительность процесса.

Практика работы с лазерным излучением показала, что лазерная термическая обработка металлов без оплавления поверхности практически невозможна без специальных технологических мер, повышающих поглощающую способность металла. Для получения стабильных результатов лазерной термической обработки на обрабатываемую поверхность перед облучением наносят соответствующие покрытия. Чаще всего для этой цели используют фосфаты марганца или цинка, различные краски, суспензии.

Широко возможности лазерного отжига используют в электронной промышленности. В отличие от обычного печного отжига с помощью лазерного луча можно осуществлять контролируемый по температуре и времени нагрев поверхностных слоев различных материалов на заданную глубину. При этом температура соседних участков металла практически не изменяется. Применение лазерного отжига вследствие локальности и кратковременности нагрева позволяет подавить диффузионные процессы и существенно улучшить характеристики полупроводниковых материалов и структур.

Электронно-лучевые процессы основаны на использовании в качестве энергоносителя пучка электронов, который формируется в электронной пушке и направляется на обрабатываемый объект. Кинетическая энергия электронов при взаимодействии с атомами вещества превращается в тепловую энергию возбуждения атомов и молекул. Для нагрева поверхности обрабатываемого изделия применяется развертка луча с помощью электромагнитных систем. Возможные варианты электронно-лучевой обработки материалов можно разделить на два больших комплекса направлений – процессы, проводящиеся с материалами в твердом состоянии и при расплавлении их поверхности.

Наиболее интенсивно исследования применения электронных потоков для модифицирования свойств, термоупрочнения поверхностного слоя заготовок из металлов и сплавов проводятся в следующих направлениях:

1) Оплавление и последующее затверждение с небольшими скоростями продвижения фронта фазовых превращений, осуществляемые для рафинирования металла у поверхности заготовки от примесей и включения без дополнительного легирования материала, а также для устранения, заваривания поверхностных дефектов.

2) Закалка сплавов из твердого состояния со скоростями нагрева и охлаждения =  $100 - 10000 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ .

3) Поверхностное легирование, наплавка материала, обработка предварительно нанесенных на металл покрытий, нагрев слоев после ХТО;

4) Оплавление со сравнительно высокими скоростями плавления и кристаллизации, обеспечивающими закалку сплавов из жидкого состояния;

5) Оплавление и затверждение с высокими и сверхвысокими скоростями, приводящие к аморфизации (стеклованию) тонкого приповерхностного слоя материала;

6) Ударное упрочнение, проводимое с еще более высокими скоростями за промежутки времени  $10^{-6} - 10^{-8}$  с. Глубинное упрочнение материала происходит из-за действия распространяющихся в виде ударной волны упругих колебаний.

УДК 621.793.74

### **Роль разделительных покрытий моделей при формировании деталей напылением**

Студент гр. 104217 Буланов А.В.  
Научный руководитель – Соколов Ю.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Разделительные покрытия наносят на рабочую поверхность формообразующей модели, для предотвращения "приваривания" распыляемых частиц порошка к модели.

Одновременно разделительные покрытия предохраняют поверхность модели от разрушения за счет эрозионного изнашивания. В зависимости от формы и размеров детали в качестве разделительных покрытий используются органо-минеральные соединения, оксиды, бориды, карбиды металлов.

Органо-минеральные покрытия – раствор соли, минеральные масла, составы, включающие поливиниловый и этиловый спирты, силикатную муку практически не решают проблему эксплуатационной надежности модельной оснастки. К общим недостаткам этих покрытий следует отнести: невозможность достижения высокой чистоты рабочей поверхности и размерной точности получаемых оболочек; повышенную хрупкость и, как следствие, вероятность разрушения покрытий в процессе напыления; исключение возможности полировки и повторного нанесения покрытий.

Несомненным преимуществом по сравнению с органо-минеральными покрытиями обладают разделительные покрытия на основе соединений металлов – оксидные, боридные, карбидные. Оксидные покрытия, получаемые, главным образом, путем окисления электролитически осажденного на поверхность модели хрома, сохраняют защитные функции и обеспечивают удовлетворительную микрогеометрию рабочей полости напыленных оболочек на протяжении 4...5 циклов напыления.

Перспективным с точки зрения нанесения оксидных покрытий, увеличивающих кратность использования модельной оснастки, может оказаться метод высоковольтного электрохимического оксидирования (ВВЭО). Этот метод основан на использовании системы управления источника питания тензоприобразователе и системы преобразовании первичной обработки информации.

Преимущества метода ВВЭО перед традиционным методом электрохимического оксидирования заключается в возможности получения более плотных слоев оксида металла и увеличения скорости роста оксидов. Следует заметить, что при ВВЭО высокое напряжения за счет импульсной подачи энергии не приводит к возникновению микродуг, как это происходит при МДО, что обеспечивает формирование плотного оксидного слоя с низкой шероховатостью.

УДК 621.793

### **Восстановление деталей машин методом активированной дуговой металлизации (АДМ) и последующей обработкой ионно-лучевым азотированием**

Студент гр.104217 Григорчик А.Н.  
Научный руководитель – Кукареко В.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Использование традиционных методов нанесения газотермических напылений (ГТН) позволяет формировать покрытия, удовлетворяющие запросам многих ремонтных производств. Однако качественные параметры этих слоев не всегда адекватны повышенным

требованиям к эксплуатационным характеристикам деталей машин, работающих в условиях интенсификации производственных процессов. Это сильно затрудняет более широкое применение данных технологий.

Высокие свойства покрытий: износостойкость, твердость, коррозионностойкость и другие поверхностные свойства из сплавов на основе железа целесообразно получать за счет термодиффузионного насыщения и модифицирования газотермических покрытий. Использование комбинации технологий напыления и последующего упрочнения дает большие возможности в создании композиционных материалов. Химико-термическая обработка не требует дополнительного дорогостоящего оборудования.

Металлизация дает возможность покрывать поверхности деталей почти из всех металлов независимо от их геометрических размеров и формы поверхности. Толщина наносимого слоя металла может колебаться от 20 – 30 мкм до 6 – 8 мм и более. Важное значение имеет металлизация при восстановлении шеек коленчатых валов, вышедших за пределы ремонтных размеров. Металлизация применяется также для восстановления шеек распределительных валов, полуосей, поворотных кулаков колесных тракторов, наращивания наружных поверхностей втулок, верхних головок шатунов и т.п. Металлизацию используют для нанесения на вкладыши и подшипники антифрикционного слоя свинца и алюминия, цинка и алюминия или бронзы.

Вследствие особенностей процесса АДМ-покрытия устойчивее против трещинообразования при увеличенной толщине в сравнении с газопламенными. У ГПН-покрытий резко возрастает вероятность растрескивания при толщине свыше 1 мм за счёт дополнительного нагрева плазменной струей. АДМ-покрытия гораздо устойчивее к этому дефекту. Возможно нанесение покрытия толщиной 0,5 – 7,0 мм, при этом уровень термических напряжений не приводит к образованию трещин.

На ряде предприятий машиностроения, металлургии, газоперерабатывающего комплекса организованы участки АДМ-нанесения покрытий для восстановления изношенных цилиндрических поверхностей: шейки валов и осей, работающих в паре с подшипниками качения и скольжения, тормозные барабаны, восстановление плоских деталей типа направляющая, диск трения.

Метод распыления проволочных материалов с использованием способа активированной электродуговой металлизации (АДМ) обеспечивает относительно низкую твердость и износостойкость покрытий. Одним из перспективных путей повышения прочности и износостойкости покрытий представляется использование технологии ионно-лучевого азотирования поверхностных слоев.

В качестве материала выбрана высокохромистая сталь 40X13, из которой сформировано газотермическое покрытие с относительно высокими механическими характеристиками. Для нанесения покрытия использовалась установка "АДМ-10", изготовленная ИМИНМАШ НАН Беларуси. Скорость полета осаждаемых на обрабатываемую поверхность частиц составляла: 400 – 500 м/с при АДМ. Размеры частиц, из которых формировалось покрытие, составляли 5 – 40 мкм.

Ионно-лучевая обработка азотом особенно перспективна для модифицирования высоколегированных сплавов, таких, как нержавеющие аустенитные, мартенситные, ферритные и дисперсионно-твердеющие стали, когда присутствие на поверхности окислов  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  препятствует проникновению азота в нижележащие слои при насыщении из газовой фазы.

Таблица 1 – Триботехнические свойства модифицированных ионами азота слоев проволочных ГТН покрытий из стали 40Х13

Покрытие	Режим обработки	Интенсивность износа слоя, мг/м	Коэффициент трения	Удельная работа изнашивания, МДж/см <sup>3</sup>
АДМ	Исх. сост.	$4,5 \times 10^3$	0,9 – 1,0	50
	N <sup>+</sup> 670К	$0,7 \times 10^3$	1,1 – 1,2	340
	N <sup>+</sup> 720К	$1,1 \times 10^3$	1,1 – 1,2	315
	N <sup>+</sup> 770К	$1,3 \times 10^3$	1,1 – 1,2	250

Метод рационального активирования процесса напыления и последующего термодиффузионного упрочнения напыленных покрытий ионным азотированием увеличивает срок службы деталей в 8...10 раз, что позволяет снизить затраты на ремонт транспорта и оборудования. Этот метод может служить основой восстановления – упрочнения деталей металлургического производства, автомобильного, железнодорожного транспорта, а также различного инструмента и технологического оборудования. Метод восстановления деталей газотермическим напылением и последующим азотированием уменьшает экономические потери за счет отсутствия необходимости заново изготавливать деталь.



**Машины  
и технология литейного  
производства**

**Пористость отливок из алюминиевых сплавов при литье под давлением**

Студенты гр. 104317 Кузьмич В.Н., Сержан А.С.  
Научный руководитель – Крутилин А.Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Возможность экономии материальных ресурсов за счет совершенствования и широкого внедрения прогрессивных технологий и повышения качества литых заготовок достигается за счет использования специальных способов литья, которые наиболее полно удовлетворяют требованиям серийного производства. При литье под давлением отходы металла в стружку могут быть значительно уменьшены, а в ряде случаев и полностью исключены, при этом обеспечивается высокая размерная точность и качество поверхности получаемых заготовок. К преимуществам литья под давлением следует отнести высокую производительность процесса, возможность механизации и автоматизации большинства технологических операций.

Наряду с преимуществами процесса литья под давлением ему присущи и специфические недостатки – повышенное газосодержание и пористость получаемых заготовок. Пористость – один из наиболее распространенных дефектов при литье под давлением. Она резко снижает механические и эксплуатационные свойства отливок. Образование пор может происходить в результате усадки при затвердевании, выделения газов из расплава в результате снижения его растворимости при понижении температуры. Большое влияние на образование пористости оказывает процесс эжекции струей расплава воздуха и газообразных продуктов термодеструкции используемых смазок. Газосодержание отливок зависит также от конфигурации литниковой системы и места подвода питания, соотношения размеров толщин стенок отливок и питателей.

Очевидно, что необходимы достоверные количественные данные о процессе образования пористости на всех этапах ее формирования. Математическое моделирование является основой совершенствования всех показателей литья под давлением, в том числе и качества отливок.

Базовый модуль системы математического моделирования литейных процессов ProCast позволяет предсказать вероятность образования пористости усадочного происхождения. Для учета начального газосодержания расплава на образование пористости применяется специальный модуль улучшенного расчета пористости (АРМ).

В основе модуля лежит решение уравнения Дарси и микросегрегации газа. Модель микропористости используемая АРМ базируется на двух основных явлениях – падение давления в твердо-жидкой зоне и выделении газов из расплава. Для того, чтобы рассчитать падение давления в твердо-жидкой зоне мелкая и равномерная конечно-объемная сетка перепривязывается к конечно-элементной сетке, используемой для расчета гидродинамической и тепловой задач.

Первоначально модель была разработана только для алюминиевых сплавов, поэтому рассматривается только один газ - водород. В большинстве сплавов растворяется определенное количество газа в твердой фазе и в жидкости. Для образования поры расплав должен быть пересыщен растворенным газом. Перенасыщению внутридендритной жидкости сопутствует увеличение содержания водорода из-за сегрегации, падение давления во время заполнения и снижения температуры. В вышеописанной модели формирования микропористости поры начинают образовываться при содержании водорода, превышающем равновесное значение, которое определяется по закону Сивертса (зависимость концентрации растворенного вещества от действующего давления).

Т.к. объединенные уравнения Дарси и уравнение сохранения масс решаются только в твердо-жидкой зоне, то необходимо точно задавать граничные условия для этих зон. Особой точностью должны обладать условия, приложенные к переднему краю растущей эвтектики. Это необходимо для точного расчета массового баланса и поля давлений.

Процесс заполнения полости пресс-формы расплавленным металлом сопровождается вытеснением из нее газа, который выходит через особые вентиляционные каналы, а также через зазоры между сочленяющимися деталями формы. Заполнение формы происходит очень быстро, поэтому вентиляционные каналы должны обеспечить необходимую пропускную способность для выходящих газов. Если проходное сечение вентиляционных каналов оказывается недостаточным, то часть газов не успеет удалиться из формы и в результате получится брак по газовым включениям.

В расчетах расхода газов через вентиляционные каналы используется два типа технологического процесса литья по принципу максимального и минимального трения.

При минимальном трении сохранение перегрева расплава достигается вследствие быстрого заполнения полости пресс-формы, без значительных потерь тепла, за счет уменьшения гидродинамического сопротивления системы. С этой целью литниковые каналы следует делать достаточных размеров, с плавными изгибами, без резких изменений величины сечений. Сравнительно спокойное движение расплава позволяет лучше организовать вентиляцию пресс-формы при заполнении ее расплавом.

Для обеспечения максимального трения на пути металла создают специальное гидродинамическое сопротивление, чтобы вызвать разогрев расплава при заполнении формы. Необходимость создания большого гидродинамического сопротивления на пути металла вынуждает увеличивать в машинах усилие прессования. Это усложняет и удорожает процесс.

Рассматриваемые типы заполнения полости формы в чистом виде встречаются сравнительно редко.

Используемые системы моделирования, к сожалению, не позволяют рассчитать количество газа захваченного расплавом при заполнении пресс-формы, в то время как этот процесс является основным виновником образования пор.

УДК 693.22.004.18

### **Способ получения серого чугуна**

Студент гр. 104317 Завадский Д.Н.  
Научный руководитель – Невар Н.Ф.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Серые чугуны получают из литейных доменных чугунов с добавкой в состав шихты чугунного лома. Химический состав серых чугунов (%): углерод 2,8 – 3,5, кремний 1,5 – 2,8, марганец 0,4 – 0,8, фосфор 0,2 – 1, сера 0,08 – 0,12.

Фактором, обуславливающим получение серого чугуна при кристаллизации, т.е. способствующим графитизации – выделению углерода в равновесном состоянии, является прежде всего малая скорость охлаждения. Уменьшение по той или иной причине скорости охлаждения (изменение материала формы, увеличение толщины стенки отливки) способствует большей степени графитизации, т.е. выделению большей части углерода в форме графита.

Серый чугун получают при добавлении в расплавленный металл веществ, способствующих распаду цементита и выделению углерода в виде графита. Для серого чугуна графитизатором является кремний. При введении в сплав кремния около 5 %



цементит серого чугуна практически полностью распадается и образуется структура из пластичной ферритной основы и включений графита. С уменьшением содержания кремния цементит, входящий в состав перлита, частично распадается и образуется ферритно-перлитная структура с включениями графита. При дальнейшем уменьшении содержания кремния формируется структура серого чугуна на перлитной основе с включениями графита.

Также одним из способов получения серого чугуна является способ заключающийся в выплавке исходного расплава с содержанием углерода и кремния, соответственно 0,65 – 0,85 и 0,2 – 0,5 содержания по массе в готовом чугуне, выпуск расплава в промежуточный ковш, в котором проводится первая обработка расплава путем введения комплексной присадки, содержащей 20 – 35 % углерода и 50 – 70 % кремния, в количестве 1,5 – 3,5 %, а вторая обработка – в разливочном ковше путем введения графитизирующих модификаторов на основе кремния в количестве 0,1 – 0,5 % от массы жидкого чугуна и ковше.

Также получение серого чугуна можно осуществить в вагранке или индукционной печи. Для получения серого чугуна в индукционной печи расчёт химсостава следующий:

Наименование материалов	% к м/з	C		Si		Mn		Cr		Cu		% сод. На м. в кг
		% в м.	% в ш.	% в м.	% в ш.	% в м.	% в ш.	% в м.	% в ш.	% в м.	% в ш.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Чугун Л4	25,1	4,15	0,00	2,2	0,00	0,62	0,00	0	0,00	0	0,00	1506
Чугун пер.	7,1	4,24	0,3010	0,9	0,0639	0,64	0,0454	0	0,00	0	0,00	426
Лом чуг. пок	10,54	3,45	0,3636	0,25	0,0264	0,36	0,0632	0	0,00	0,2	0,000	632,4
Лом чуг. соб.	1,41	3,45	0,000	2	0,000	0,7	0,000	0	0,000	0,2	0,000	0
Возврат	21,2	3,3	0,6996	2,1	0,4452	0,85	0,1802	0,25	0,053	0,2	0,0424	1272
Ферромарганец	0,65	3,5	0,0140	3	0,0120	70	0,28	0	0,000	0	0,000	24
Ферросилиций 45	2,1	0,1	0,0023	45	1,0350	0,5	0,0115	0,5	0,0115	0	0,000	138
Лом ст. пок.	20,4	0,4	0,1280	0,2	0,0640	0,6	0,1920	0,5	0,000	0	0,000	1920
Лом ст. соб.	9,3	0,4	0,000	0,2	0,000	0,6	0,000	0,5	0	0	0,000	0
Ферросиликохром	0,3	0,05	0,000	46,5	0,00	0	0,000	28	0,000	0	0,000	0
Графит измельченный	1,9	80	0,88	0	0,00	0	0,000	0	0,000	0	0,000	66
Медь	0,23	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	98	0,2254	13,8
Итого	100		3,4428		2,1080		0,9531		0,06454		0,2888	
Угар		0	0,000	-2	-0,042	-5	-0,047	0	0	-1	-0,003	

Прогреть металл в печи для серого чугуна – до температуры 1430 – 1460 °С. Время выдержки серого чугуна в индукционной печи от окончания расплавления металлозавалки до окончания слива в последний ковш не должно превышать 40 минут.

УДК 693.22.004.18

### Влияние борсодержащего сплава на коррозионную среду

Студентка гр. 104317 Лабановская Н.В.

Научный руководитель – Невар Н.Ф.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Коррозионностойкость – способность материалов сопротивляться коррозии, определяющаяся скоростью коррозии в данных условиях. Для оценки скорости коррозии используются как качественные, так и количественные характеристики. Изменение внешнего

вида поверхности металла, изменение его микроструктуры являются примерами качественной оценки скорости коррозии. Для количественной оценки можно использовать:

- ✓ время, истекшее до появления первого коррозионного очага;
- ✓ число коррозионных очагов, образовавшихся за определённый промежуток времени;
- ✓ уменьшение толщины материала в единицу времени;
- ✓ изменение массы металла на единице поверхности в единицу времени;
- ✓ объём газа, выделившегося (или поглощённого) в ходе коррозии единицы поверхности за единицу времени;
- ✓ плотность тока, соответствующая скорости данного коррозионного процесса;
- ✓ изменение какого-либо свойства за определённое время коррозии (например, электросопротивления, отражательной способности материала, механических свойств).

Коррозионностойкие материалы, металлические и неметаллические материалы, способные противостоять разрушительному действию агрессивных сред; применяются для изготовления аппаратов, трубопроводов, арматуры и др. изделий, предназначенных для эксплуатации в условиях воздействия кислот, щелочей, солей, агрессивных газов и др. агентов. Под стойкостью материала понимают его способность сопротивляться коррозии в конкретной среде или в группе сред. Материал, стойкий в одной среде, может интенсивно разрушаться в другой.

Разные материалы имеют различную коррозионную стойкость, для повышения которой используются специальные методы. Так, повышение коррозионной стойкости возможно при помощи легирования (например, нержавеющие стали), нанесением защитных покрытий (хромирование, никелирование, алитирование, цинкование, окраска изделий), пассивацией и др. Устойчивость материалов к воздействию коррозии, характерной для морских условий, исследуется в камерах солевого тумана.

Коррозионностойкие сплавы, легированные бором, широко используют в средах разной агрессивности, атомной энергетике благодаря их специальным ядерным свойствам. Целью работы явилось определение на основе комплексных исследований причин появления склонности к межкристаллитной коррозии (МКК) из аустенитной хромоникелевой борсодержащего сплава, разработка мероприятий по ее устранению.

Установлены закономерности влияния бора (0,003; 0,03; 0,06; 0,2 и 0,4%) на структуру, склонность к науглероживанию и стойкость против МКК сплава в зависимости от температуры термической обработки; разработаны и внедрены усовершенствованные режимы термической и вакуумтермической обработки, повышающие стойкость против МКК и надежность в эксплуатации.

Исследовали влияние различных добавок бора (0,003; 0,03; 0,06 и 0,4 %) на микроструктуру и стойкость против МКК после термической обработки – закалки в воду – от температур 850 – 1200 °С через каждые 50 °С, а также после закалки и последующего провоцирующего отпуска при 650 °С с выдержкой 2 ч. разрабатывали оптимальные режимы вакуумтермической обработки (ВТО), обеспечивающие снижение содержания углерода и повышение стойкости против МКК.

Установлено, что бор тормозит рост аустенитного зерна при всех исследованных режимах термической обработки тем сильнее, чем выше его содержание, что обусловлено сегрегацией бора на границах зерен, а также дополнительным тормозящим влиянием на перемещение границ зерен первичных боридов. Закалка деформированных образцов-пластин без бора и с его добавками в исследованном диапазоне температур способствовала полной рекристаллизации структуры и выделению дисперсной вторичной избыточной боридной фазы, по-видимому,  $(\text{FeCr})_2\text{B}$ , на границах зерен борсодержащего сплава. После закалки от 1000 °С боридная фаза выделилась на границах зерен, содержащей 0,003 % В, а без бора она не наблюдается. По-видимому, здесь сказывается более мелкое зерно, а также сегрегация части бора, содержащегося в твердом растворе, на первичных боридов.

Коррозионную стойкость материалов можно повысить, если нанести на них защитные покрытия. Для защиты от атмосферной коррозии широко применяют Цинкование, Анодирование, Алитирование (покрытие алюминием), Никелирование, Хромирование, Эмалирование, а также нанесение органических материалов – лакокрасочных покрытий. Для замедления разрушения материалов в агрессивных средах широко используют ингибиторы коррозии.

УДК 693.22.004.18

### **Область применения отливок из серого чугуна**

Студент гр. 104317 Сасункевич В.С.  
Научный руководитель – Невар Н.Ф.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Как конструкционный материал серый чугун используется для широкого спектра изделий практически во всех отраслях машиностроительного комплекса. К числу наиболее крупных потребителей чугуна следует отнести автомобилестроение, станкостроение, тяжелое и металлургическое машиностроение, санитарно-техническую промышленность и пр.

В конструкции автомобилей и тракторов масса литых деталей из серого чугуна, например, составляет 15 – 25 % от общей массы. Преимущественное применение серого чугуна обусловлено тем фактом, что в нем сочетаются высокая износостойкость и противозадирные свойства при трении с ограниченной смазкой, демпфирующая способность. Основная номенклатура изделий – это блоки, головки и гильзы цилиндров, крышки коренных подшипников двигателей, тормозные диски и диски сцепления, тормозные барабаны и другие детали, для которых серый чугун является оптимально технологичным и экономичным конструкционным материалом.

Блоки цилиндров карбюраторных и дизельных двигателей изготавливают из низколегированных чугунов марки СЧ20, СЧ25, которые обеспечивают в стенках отливок толщиной 15 – 25 мм  $B = 200 - 250 \text{ Н/мм}^2$ , а в более тонких стенках до  $270 \text{ Н/мм}^2$ . Такого же типа чугуны обычно применяют для головок цилиндров дизельных двигателей и гильз цилиндров карбюраторных и дизельных двигателей. Основными требованиями к чугуну для гильз являются: перлитная структура матрицы (не более 5 % феррита), графит среднепластинчатый неориентированный, твердость в пределах 200 – 250 НВ. В конструкции автомобильных дизельных, карбюраторных, а также тракторных двигателей широко применяют гильзы цилиндров из специальных легированных чугунов, чаще всего – фосфористые.

Для блоков и головок цилиндров тяжело нагруженных дизельных двигателей (автомобильных и судовых) применяют специальные легированные чугуны, а для головок цилиндров – высокоуглеродистые (более 3,5 % С) легированные термостойкие чугуны. Эти требования выполняются при использовании для отливки гильз низколегированных чугунов, химический состав которых выбирают с учетом технологии формы, метода плавки, сечения отливки.

Чугунные распределительные валы дизельных и карбюраторных двигателей (легированные чугуны марки СЧ 25 и СЧ 30) имеют высокую износостойкость и широко применяются в автомобилестроении. Легирование молибденом, хромом, никелем обеспечивает хорошую закаливаемость и прокаливаемость чугуна, и заданную глубину отбеленного слоя (в отбеленных кулачках). Высокая твердость и износостойкость кулачков достигаются либо за счет поверхностной закалки чугуна, в структуре которого (в носике

кулачков) имеются игольчатые карбиды, либо за счет поверхностного отбела чугуна в кулачках при кристаллизации в контакте с холодильником. Отбеленные кулачки предпочтительны в тяжелых условиях работы.

Тормозные диски, барабаны и нажимные диски сцепления, работающие в условиях сухого трения с высокими скоростями скольжения должны обеспечивать в паре с фрикционной пластмассой стабильный коэффициент трения и износостойкость. При многократных циклах торможения, во время которых в контакте фрикционной пары выделяется тепло, а затем быстро отводится, на поверхности чугунной детали образуются термические трещины, снижающие прочность. Для тормозных барабанов и дисков средней нагруженности чаще всего применяют серый чугун марки СЧ20 или СЧ25. В условиях высокой нагруженности деталей, когда на поверхности трения образуются термические трещины, применяют специальные высокоуглеродистые термостойкие чугуны с повышенным уровнем легирования. Для наиболее тяжелых условий работы рекомендуется использовать перлитные чугуны с вермикулярным графитом.

Маховики в процессе работы вращаются с частотой порядка 2500 – 8000 об/мин. Соответственно, в них возникают большие растягивающие напряжения, а поверхность маховика периодически трется о сопряженную рабочую поверхность. Трение с большими скоростями приводит к выделению тепла на поверхности трения, образованию усталостных термических трещин, снижающих прочность маховика. Требования повышенной прочности с учетом большой массы маховиков и толщины сечения обусловили применение для их изготовления серых чугунов марки СЧ25, СЧ30, СЧ35 (чем больше сечение отливки, тем выше марка). Выбранная марка чугуна должна обеспечивать получение в теле отливки прочности не ниже 200 – 250 Н/мм<sup>2</sup>. Если прочность чугуна СЧ 35 недостаточна для обеспечения условий работы маховиков, то необходимо применять чугуны с вермикулярным или шаровидным графитом.

Крышки коренных подшипников из серого чугуна применяют в основном в карбюраторных двигателях легковых автомобилей. Для обеспечения перлитной структуры и твердости не менее 200 НВ крышки подшипников отливают из серого чугуна марки СЧ25. Для тяжело нагруженных карбюраторных двигателей и для дизельных двигателей применяют крышки подшипников из ковкого чугуна или чугуна с шаровидным графитом.

Выпускные коллекторы подвергаются воздействию горячих агрессивных выхлопных газов и в процессе работы подвержены окислению, термическим деформациям, а иногда – растрескиванию. Во многих случаях серый чугун является экономичным и достаточно долговечным материалом для этих деталей. Учитывая, что коллекторы имеют тонкие стенки (3 – 7 мм), их отливают из чугунов марки СЧ15, СЧ20, которые для повышения жаростойкости легируют небольшими добавками хрома и никеля. Для термически нагруженных коллекторов применяют ковкий чугун, чугун с шаровидным графитом, а иногда – аустенитный чугун с шаровидным графитом, имеющим высокую термостойкость и стойкость против окисления.

В станкостроении серый чугун применяют для широкой номенклатуры литых деталей с массой от 0,1 кг до 100 тонн с толщиной стенок от 4 до 200 мм, работающих в самых разнообразных условиях. Классификация станкостроительных литых деталей из серого чугуна с учетом этого разнообразия конструкций и условий работы осуществляется в соответствии с ГОСТ 2 МТ 21-2-83. При выборе марки чугуна конструктор в зависимости от класса, группы детали и приведенной толщины стенки отливки определяет необходимый минимальный уровень твердости и микроструктуры.

С учетом специфики большинства станкостроительных деталей, работающих преимущественно на жесткость, а не на прочность, предпочтение отдают чугунам, обладающим повышенной твердостью и пониженной пластичностью. Такие чугуны по химическому составу отличаются повышенным (против рекомендаций ГОСТ 1412-85) содержанием кремния и марганца при пониженном содержании углерода. Если невозможно

получить необходимый уровень твердости чугуна, в направляющих применяют легирование, формовку с холодильниками и др.

Отливки из серого чугуна весьма широко и успешно используются для определенной номенклатуры деталей сменного металлургического оборудования: сортопрокатные и листопркатные валки, всевозможные изложницы для разливки слитков, шлаковые чаши и т.п.

УДК 621.74

### **Разработка технологии изготовления бронзовых вкладышей подшипников торфобрикетных прессов методом центробежного литья**

Студенты гр. 104316 Лавышко П.С., Пашик Е.В.  
Научный руководитель – Рудницкий Ф.И.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Центробежное литье получило значительное распространение в литейной промышленности. Этим методом отливаются изделия из разнообразных сплавов весом от долей грамма до десятков тонн. Развитие труболитейного производства, атомной энергетики, турбо- и котлостроения с высокими параметрами пара, реактивной техники и других отраслей открывает новые возможности для использования метода центробежного литья и его совершенствования. Главная особенность процесса формирования отливок при центробежном способе литья заключается в том, что заполнение формы и затвердевание отливки происходят в поле действия центробежных сил, во много раз превосходящих силу тяжести, что позволяет обеспечить высокое качество металла.

В работе исследован ряд технологических аспектов получения вкладышей тофобрикетных прессов, начиная от плавки металла до заливки его в изложницу. В качестве объекта исследования для изготовления вкладышей выбрана бронза БрАЖМц 10-3-1,5, которую выплавляли в индукционной печи ИСТ 006, футерованной шамото-графитовым тиглем. В процессе плавки металла использовали покровные и рафинирующие флюсы стандартных составов. Для предотвращения появления таких дефектов, как расслоения, в результате попадания в изложницу со струей металла неметаллических включений на основе оксида алюминия, расплав дополнительно обрабатывали флюсом, содержащим поваренную соль и криолит. Для измельчения зерна и повышения механических и трибологических свойств расплав модифицировали.

С целью максимального приближения размеров заготовки к размерам детали наружную поверхность втулки, имеющую реборды оформляли футеровкой изложницы формовочной смесью. Для этого во вращающуюся изложницу насыпали дозу формовочной смеси, которая прижимается центробежными силами к стенкам изложницы и под их действием несколько уплотняется. Затем шаблоном, установленным на опорах, смесь распределяли и профилировали по контуру наружной поверхности отливки. После удаления шаблона на его место устанавливали ролик, закрепленный в специальных опорах, с помощью которого окончательно профилировали форму. Для обеспечения надлежащего качества поверхности отливки на формовочную смесь наносили слой антипригарной краски.

Результаты промышленного опробования вкладышей подшипников скольжения, изготовленных из бронзовых втулок, изготовленных методом центробежного литья в зафутерованную изложницу подтвердили эффективность разработанной технологии.

**Влияние наномодифицирования на структуру и свойства литой быстрорежущей стали**

Студенты гр. 104317 Егоренко А.В., гр.104318 Ермак А.Н.  
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 [1-3], 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. В результате металлографического и фрактографического анализов исследуемых образцов установлено, 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, отсутствуют фасетки скола, присутствующие на фрактограммах борсодержащей стали. Напротив, в поверхностях разрушения наномодифицированной стали преобладает ямочный микрорельеф, что свидетельствует о высокой энергоемкости такого механизма разрушения и повышенной ударной вязкости образцов.

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. Структура и свойства литой быстрорежущей стали Р6М5. // МиТОМ 2003. №5. С.3-7.
2. Чаус А. С., Рудницкий Ф.И. Влияние модифицирования на структуру и свойства литых вольфрамомолибденовых быстрорежущих сталей. // МиТОМ 1989. №2. С.27-32.
3. Рудницкий Ф.И., Хараев Ю.П. Применение растровой электронной микроскопии и микроанализа для исследования механизма модифицирования быстрорежущих сталей // Тез.

УДК 669.15.26

### Моделирование технологии изготовления отливки «Корпус»

Студент гр. 104317 Сержан А.С.

Научный руководитель – Николайчик Ю.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В современном производстве широкое распространение получили системы автоматизированного проектирования (САПР), которые позволяют проектировать технологические процессы с меньшими затратами времени и средств, но зато увеличивается точность спроектированных процессов и программ обработки, что сокращает расход материала и время обработки, т.к. режимы обработки, также рассчитываются и оптимизируются при помощи ЭВМ.

Программный комплекс для моделирования литья компании ESI Group по праву считается незаменимым для любого литейного производства инструментом проверки решений на этапе разработки технологии изготовления отливок с целью повышения выхода годного и снижения производственных расходов. ProCAST – передовой продукт, результат более чем 20-летнего сотрудничества с крупными предприятиями и академическими институтами всего мира.

Для нахождения оптимальных параметров литниково-питающей системы отливки «Корпус» (рисунок 1), в программе ProCAST изначально было промоделирована технология изготовления отливка без подпитки, с цель выявления центров усадочных раковин и пористости (рисунок 2)

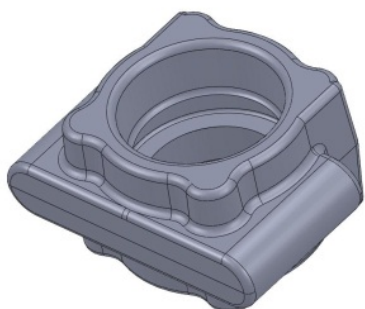


Рисунок 1 – 3D модель отливки «Корпус»

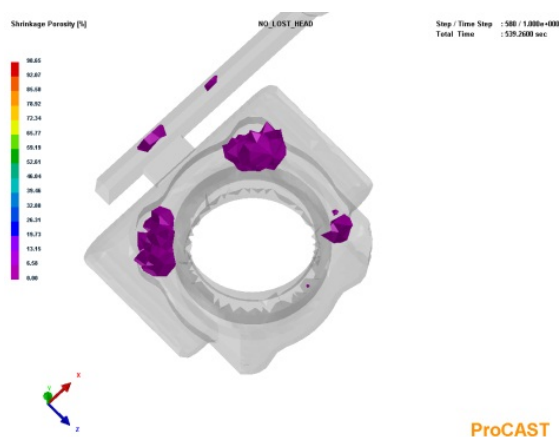


Рисунок 2 – Результат расчёта на пористость отливки «Корпус»

Предварительный расчёт позволил более точно определить место установки прибыли. Размеры прибыли определяются методом В.В. Чистякова.

Последующее моделирование технологии изготовления отливки «Корпус» с прибылью позволило установить, что вероятность образования пористости снижается, однако, не может быть полностью устранена рассчитанной прибылью по методу В.В.Чистякова (рисунок 3 а).

Метод Чистякова предусматривает выбор размеров прибыли с запасом, для оптимизации параметров литниковой системы был выполнен расчёт усечённой на четверть, от первоначального размера, прибыли. Данный расчет показал (рисунок 3б), что выбранная

конструкция прибыли не оказывает существенного влияния на пористость в сторону увеличения.

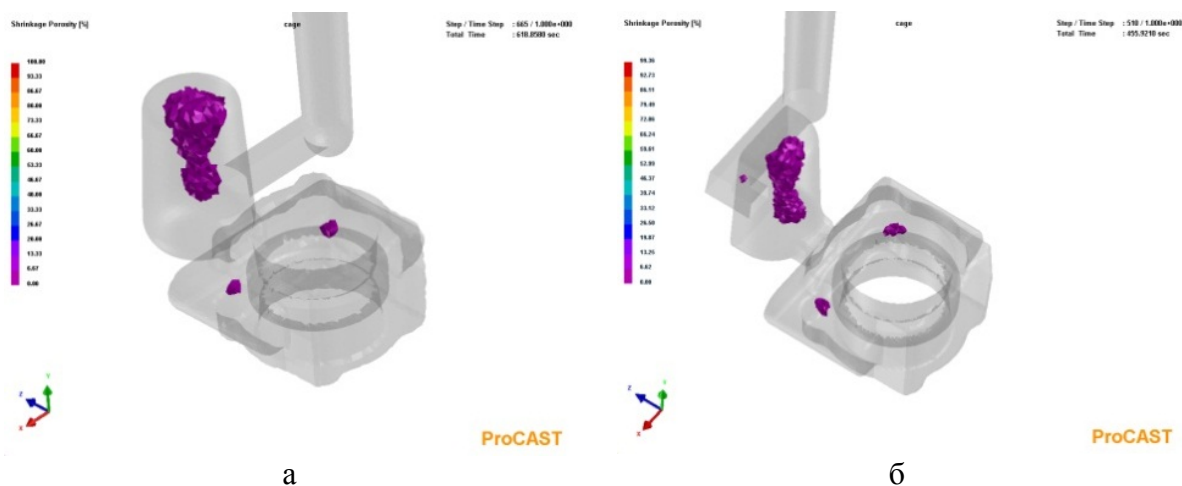


Рисунок 3 – Расчёт на пористость отливки с боковой прибылью:  
 а – отливка с боковой прибылью рассчитанной по методу В.В. Чистякова; б – отливка с усеченной боковой прибылью

С целью уменьшения вероятности образования пористости в отливке «Корпус» была промоделирована технология, которая предусматривает установку в прибыль стержня атмосферного давления. Расчетom установлено, что такой прием, позволяет минимизировать расчетные значения вероятности образования пористости, но не полностью устранить (рисунок 4).

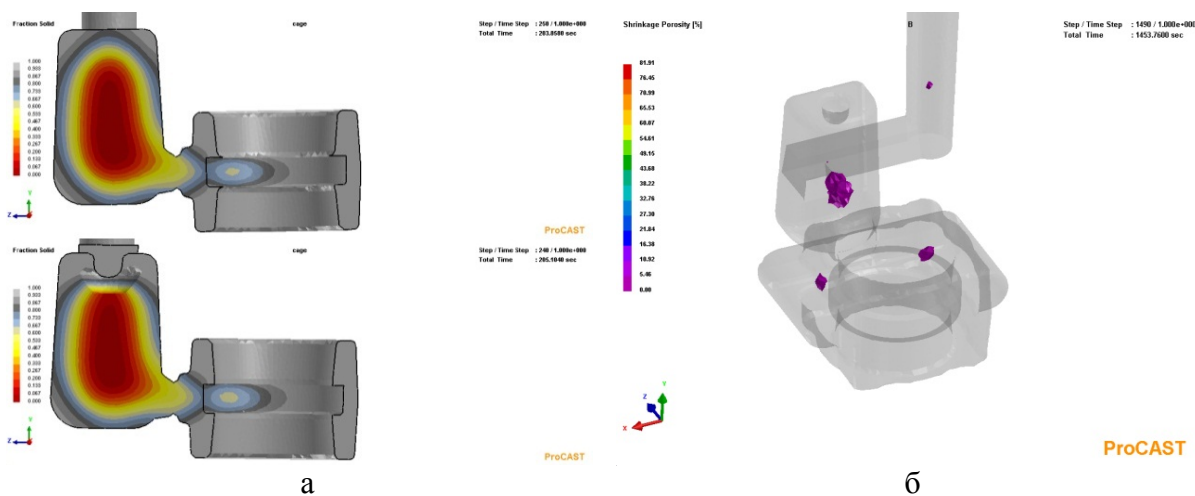


Рисунок 4 – Расчёт отливки питаемой боковой прибылью со стержнем атмосферного давления:  
 а – процесс затвердевания отливки; б – результат расчёта на пористость

На следующем этапе моделирования в дополнение к уже использованным технологическим решениям было промоделирована технология изготовления отливки «Корпус» с использованием внутренних холодильников, что как видно из рисунка 5 позволило полностью ликвидировать вероятность образования пористости (рисунок 5).



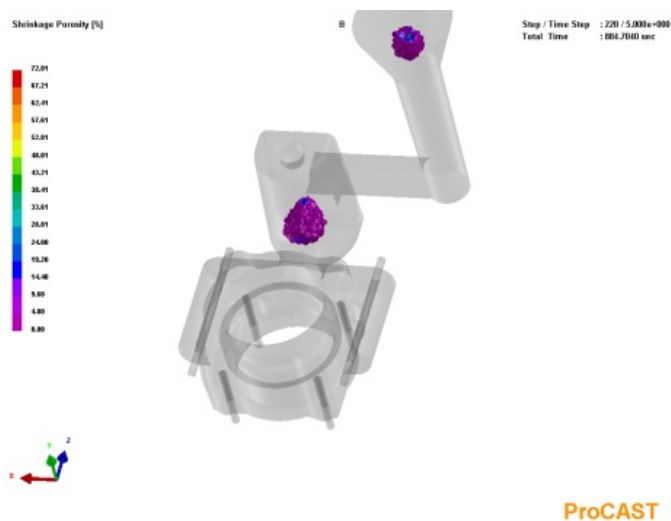


Рисунок 5 – Расчёт на пористость после установки прибылей

Таким образом, моделирование литейных процессов в системе ProCast (как показано на примере моделирования технологии изготовления отливки «Корпус») позволяет технологу-литейщику не только эффективно использовать различные технологические решения, направленные на оптимизацию технологии изготовления отливок, но в короткие сроки разрабатывать бездефектные технологии, что, безусловно, способствует повышению эффективности литейного производства в целом.

УДК 658.562

### Развитие системного подхода к управлению качеством

Студенты гр.104318 Новик Д.А., Бобровник А.А.  
 Научный руководитель – Соболев В.Ф.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Всё большее число предприятий с целью повышения своей конкурентоспособности осознаёт необходимость организации у себя системы менеджмента качества и проведения её сертификации на соответствие требованиям международным стандартам ИСО серии 9000. Во-первых, заказчик признаёт только того поставщика, система качества которого сертифицирована на соответствии этим нормам. Только в этом случае он уверен, что минимальные требования к качеству выполняются или будут выполнены.

Во-вторых, сертификат на систему качества позволяет предприятию использовать его в рекламных целях и таким образом обеспечивать себе преимущество перед конкурентами.

В-третьих, система качества приносит прибыль за счёт максимального сокращения «скрытого производства», связанного с доработками, переделками, повторными испытаниями и т.п.

Организационная структура системы менеджмента качества должна базироваться на сложившейся структуре управления процессами производства, учитывать сложившиеся технологические связи, традиции и опыт коллектива.

Непосредственное руководство системой менеджмента качества осуществляет уполномоченный. Его обязанности должны быть определены «Положением об уполномоченном от руководства по системе менеджмента качества». В частности в круг его обязанностей входит:

- Обеспечение разработки, внедрение и поддержания в рабочем состоянии системы менеджмента качества;

- Контроль за проведением внутренних аудитов системы менеджмента качества, оценка её готовности к сертификации;

- Представление отчётов директору о функционировании системы менеджмента качества, анализ её эффективности.

Оперативную деятельность, связанную с функционированием системы менеджмента качества, осуществляет специально созданная служба качества.

В её задачи входит:

- Координация работ и непосредственное участие в разработке, внедрении, и эксплуатации системы менеджмента качества;

- Создание базы данных по системе менеджмента качества;

- Организация учёта и контроля за выполнением мероприятий и документов системы менеджмента качества, проведение внутренних проверок;

- Подготовка информации руководству о функционировании системы менеджмента качества для анализа её эффективности;

- Совершенствование системы менеджмента качества.

В соответствии с новыми требованиями ИСО 9000:2000 организация должна установить

и подробно определить требования к измерению, включая критерии приёмки для продуктов и/или услуг. Измерение продукта и/или услуги должно быть спланировано для того, чтобы верифицировать (подтвердить) соответствие с подробно установленными требованиями.

Применительно к измерению продуктов и/или услуг, требования должны включать:

- План любого контроля и испытания;

- Как организация намеривается верифицировать поставщика продуктов и/или услуг;

- Где в технологической схеме процесса располагаются каждая точка контроля и испытаний;

- Какие характеристики могут быть проконтролированы и испытаны и испытаны в каждой точке, какие процедуры и критерии приёмки, какие технические приёмы и специальное оборудование, требуемая квалификация персонала;

- Где заказчик установил точки для доказательства или верификации выделенных характеристик продукта и/или услуги;

- Где требуются испытания для подтверждения работ;

- Где, когда и как организация намеривается или обязана использовать для выполнения работ квалифицированную третью сторону: выборочные испытания, верификацию продукта и/или услуги, утверждение продукта, и/или услуги;

- Сертификация материала, продукта и/или услуги, процесса, системы менеджмента качества или персонала;

- Окончательный контроль для подтверждения того, что все установленные операции контроля и испытания выполнены и приняты;

Выходные данные измеряемого процесса, продукта и/или услуги.

## Развитие системного подхода к управлению качеством

Студенты гр.104318 Снигирь М.А., Соловей Г.А., гр. 104328 Пархимович Д.В.

Научный руководитель – Соболев В.Ф.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Развитие системы управления качеством продолжается непрерывно начиная со времен зарождения производства.

На ведущих фирмах непрерывно совершенствуются системы управления качеством продукции. Были разработаны различные модели таких систем. Этапы развития систем управления качеством характеризуют последовательность развития модели Фейгенбаума, Эттингера-Ситтига и Джурана, названные по именам их авторов: американцев – А. Фейгенбаума и Дж. Джурана; и европейцев – Дж. Эттингера и Дж. Ситтига.

Основоположником систем управления качеством являлся американский ученый У.Тейлар, он предложил концепцию системного подхода на основании кадрового менеджмента, разделения ответственности, научного нормирования труда, иерархической структуры управления организацией. Итог первого этапа развития систем качества может характеризоваться моделью системного управления качеством А. Фейгенбаума.

Сущность этой системы заключается в следующем:

- 1) потребитель должен получать только годные изделия;
- 2) основные усилия должны быть направлены на итоговый контроль качества.

Воплощение в жизнь этой концепции привели к резкому росту затрат на контроль качеством (в высокотехнологичных отраслях численности контролеров составляла до 30 – 40 % от численности производственных рабочих). Уже с 20-х гг. XX в. Начались попытки если не разрешить, то ослабить указанное противоречие первого этапа. В мае 1924 г. Доктор В. Шухарт предложил контрольные карты и соответствующие статистические методы, которые позволяют сосредоточить усилие на не конечном контроле качества, а не контроле техпроцессов.

Постепенно формировалась концепция обеспечения качеством, включающая в себя следующие поступления:

- 1) главная цель-потребитель должен получать только годные изделия, т.е. изделия, соответствующие стандарту;
- 2) отбраковка сохраняется как один из важных методов обеспечения качеством;
- 3) основные условия следует сосредоточить на управлении производственными процессами, обеспечивая увеличения процента выхода годных изделий.

При управлении качеством фирма начинает учитывать внешние для них факторы, и в первую очередь покупательский спрос. Система управления качеством стала включать в себя элементы управления функциональным качеством. В 1950-х гг. ведущие предприятия начали применять концепцию непрерывного управления качеством. Итог этого этапа развития систем качества может характеризоваться моделью системы управления качеством Эттингера-Ситтига.

В отличие от модели Фейгенбаума эта модель учитывает и необходимость управлять функциональным качеством, и влияние спроса на качество продукции. Здесь первый этап каждого цикла управления качеством-изучение спроса.

Дальнейшее развитие модели систем управления качеством продукции получили в трудах американского специалиста Д. Джурана. Его модель систем УКП представляет собой восходящую спираль.

Модель Джурана включает 13 этапов, обозначенные цифрами:

- 1) обследование рынка;

- 2) составление проектора заданий для изготовления изделий нового, соответствующего запросам потребителя качества;
- 3) проектно-конструкторские работы;
- 4) составление технических условий для производственных процессов;
- 5) разработка технологии производства и подготовка производства;
- 6) приобретение материалов, комплектующих изделий, технологического оборудования, инструмента и организации связи с поставщиками;
- 7) изготовление инструментов, приспособлений и контрольно-измерительных приборов;
- 8) производства изделий;
- 9) технический контроль в процессе производства;
- 10) технический контроль готовых изделий;
- 11) испытание рабочих;
- 12) сбыт;
- 13) техническое обслуживание в процессе использования изделия по назначению.

Модель предусматривает постоянное изучение спроса на рынке сбыта и эксплуатационных показателей качества продукции, что обуславливает полную ориентацию производства на требования потребителя и рынок сбыта.

Указание модели стола основой детальной разработки в ведущих странах систем управления и обеспечения качества продукции. Положительный опыт такой деятельности отражает в международных странах ИСО серии 9000, устанавливающих требования к системам качества, разработанные Международной организацией по стандартизации ИСО.

УДК 658.562

### **Международные стандарты ИСО 9000**

Студенты гр. 104318 Брагинец Д.А., гр. 104328 Ермакович А.С.  
Научный руководитель – Соболев В.Ф.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В 1987 г. появились международные стандарты, известные под названием стандарты ИСО серии 9000, которые могут служить пособием предприятию при разработке, внедрении или совершенствовании своей системы управления качеством (эту функцию выполняет стандарт ИСО 9004), и содержат модели, на соответствие которым может проводиться оценка системы управления качеством предприятия (эту функцию выполняют стандарты ИСО 9001, ИСО 9002 и ИСО 9003).

Разработанные на основе опыта разных стран, стандарты ИСО серии 9000 стали «копилкой» международного опыта обеспечения качества. Это позволяет на постоянной основе совершенствовать и развивать данную серию, что в свою очередь делает ее все более популярной и авторитетной.

Помимо МС ИСО 9000-9004 и примыкающего к этой серии терминологического стандарта ИСО 8402, были подготовлены и опубликованы стандарты, которые уточняют, конкретизируют и развивают положения стандартов ИСО 9000-9004.

В июне 1994 г. пять основополагающих стандартов (ИСО 9000-9004) были переизданы в новой редакции. А на смену им приходят стандарты версии 2000 г.

В новой версии стандартов ИСО 9000:2000 предусмотрена единая модель системы качества – ИСО 9001 (ИСО 9002 и 9003 отменяются), в которую включены основные положения TQM.

В стандартах ИСО 9000:2000 были внесены изменения, после которых он стал ориентирован на требования к системе качества организации и использоваться для демонстрации ее возможностей, выполнять требования потребителей.

На основании стандартов ИСО 9000:2000 были провозглашены следующие восемь принципов менеджмента качества, способствующие достижению целей качества:

Принцип 1 — организация, ориентированная на потребителя.

Принцип 2 — роль руководства.

Принцип 3 — вовлечение всех работников.

Принцип 4 — акцент на процессы.

Принцип 5 — системный подход к менеджменту.

Принцип 6 — непрерывное улучшение.

Принцип 7 — метод при принятии решения, основанный на фактах.

Принцип 8 — взаимовыгодные отношения с поставщиками.

Соблюдение этих принципов и их реализация в практической деятельности предприятия требуют серьезных организационных усилий, но рост конкурентоспособности оправдывает все затраты.

УДК 693.22

### **Изготовление выплавляемых (выжигаемых) моделей при помощи трехмерных принтеров**

Студентки гр 104328 Гецман И.Ю., гр. 104310 Шапелевич И.А.

Научный руководитель – Одиночко В.Ф.

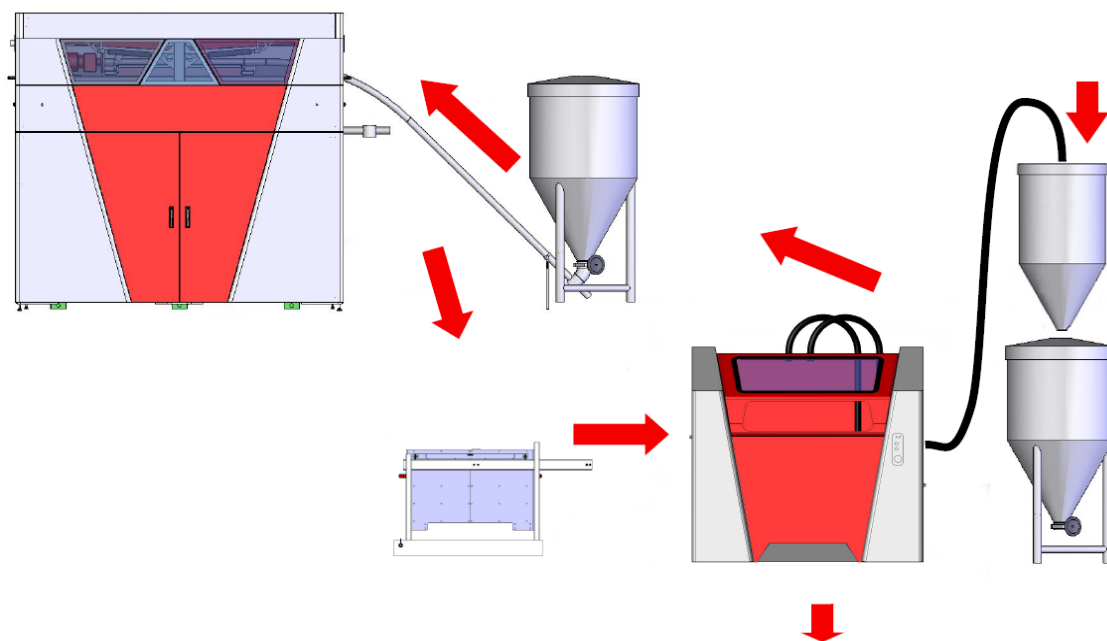
Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Традиционно выплавляемые модели изготавливают в пресс-формах, которые могут состоять из двух или более частей. Модельный состав запрессовывают в пресс-формы на автоматах или вручную. При изготовлении моделей необходимо предусматривать формовочные уклоны на вертикальных поверхностях моделей 0,5 – 1 градус. Модели обычно изготавливаются из составов, состоящих из нескольких легкоплавких компонентов таких как, например парафин, стеарин и т.д. Цикл изготовления пресс-формы может занимать от 1 – 3 месяцев, в зависимости от сложности, количества мест, габаритов и принятой схемы технологического процесса. Сложные модели изготавливаются склеиванием из нескольких частей, для каждой из которых изготавливается вся пресс-форма, что является достаточно длительным и трудоемким процессом.

Для получения прототипов, опытных образцов, единичных деталей, малых серий, поставки запчастей имеется возможность изготовления выплавляемых (выжигаемых) моделей без использования оснастки, на трехмерных принтерах 3D System и Voxeljet.

Построение модели происходит путем послойного наложения друг на друга и селективного склеивания частиц материала. После окончания процесса построения элементы конструкции извлекаются из оборудования, а несвязанный полимерный порошок удаляется пылесосом и затем повторно используется (см. рисунок).



Изготовление выплавляемых моделей на трехмерных принтерах имеет ряд немало важных преимуществ:

- Время создания одного слоя составляет 30 секунд.
- Рабочий объем построения более 190 литров.
- Система взаимозаменяемости контейнеров минимизирует время простоя оборудования.
- Процесс печати проходит при комнатной температуре.
- Автоматизированная система подачи материала.
- 680 индивидуально управляемых струй наносят связывающее вещество максимально точно.
- Прочная конструкция и использование высококачественных компонентов делает принтер Voxeljet наиболее подходящим для работы в непрерывном режиме.
- Программное обеспечение контролирует процесс построения, основываясь на истинной геометрии детали.
- Наличие интегрированной системы подачи материала с бункером для порошка и автоматизированным конвейером.
- Динамически управляемая система распределения порошка по поверхности.
- Печатающая головка оснащена очистительной станцией для работы с низкими эксплуатационными расходами.
- 100% возврат в производство неиспользованного порошка.
- Дистанционный контроль процесса.

Технические характеристики трехмерных принтеров Voxeljet представлены в таблице.

Модель	Voxeljet VX500	Voxeljet VX800	Voxeljet VX4000
Максимальный размер построения	500×400×300 мм <sup>3</sup>	850×450×500 мм <sup>3</sup>	4000×2000×1000 мм <sup>3</sup>
Толщина слоя	0,1 – 0,2 мм		0,12 мм
Разрешение	250 точек на дюйм		42,3×42,3 мкм
Скорость построения	12 – 48 мм/час	12 – 36 мм/час	6,5 мм/час
Точность	0,3 %; минимум ±0,1 мм		
Формат САD-данных	STL		
Материал построения	Модифицированное акриловое стекло (PMMA)		

## Технология последовательного изготовления песчаных литейных форм и стержней

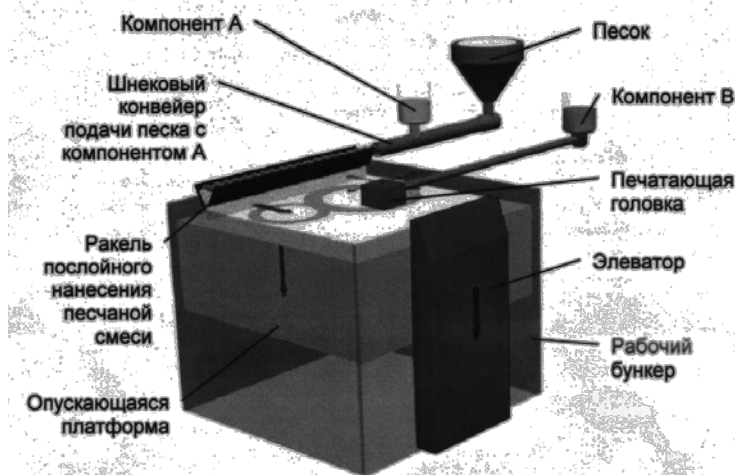
Студенты гр 104328 Забавнюк А.А., гр. 104310 Заяц И.М.

Научный руководитель – Одиночко В.Ф.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В настоящее время в промышленности (литейном производстве) для изготовления песчаных форм и стержней применяются стержневые ящики из алюминиевых сплавов, чугуна (стали), пластмасс или дерева в зависимости от выбранного технологического процесса получения стержней, степени механизации и применяемых стержневых смесей, а также серийности производства. Традиционно стержневые ящики изготавливают путем механической обработки. В современных условиях все чаще применяют автоматизацию этого процесса с использованием станков с ЧПУ. По традиционной технологии на изготовление стержневого ящика уходит от 1 до 3 месяцев. Время на изготовление зависит от наличия технической базы и сложности, количества мест, габаритов и принятой схемы технологического процесса. Однако, в случае однажды изготовленного комплекта, провести какие-либо изменения бывает затруднительно. Это приводит к дополнительным расходам трудовых, энерго- и материальных ресурсов, а зачастую бывает и просто не возможно. Оснастку приходится изготавливать заново.

Технология последовательного изготовления песчаных литейных форм и стержней на трехмерных принтерах (рисунок) по САД чертежам заключается в послойном нанесение песка, предварительно смешанного с отвердителем (компонент А) и добавления в нужных местах смолы (компонент В) с помощью многоструйной печатающей головки. Несвязанный песок в последующем удаляется пылесосом. Данная технология полностью совместима с технологией литья в разовые формы и позволяет изготавливать формы и стержни любой сложности за очень короткое время. При этом применяются формовочные пески и смолы, которые обычно применяются в литейной промышленности.



Преимущества данной технологии заключается в том, что она позволяет не только быстро изготавливать опытные образцы стержней и форм, но и отрабатывать технологию литья деталей для серийного производства. Кроме того, технология последовательного изготовления песчаных литейных форм и стержней на трехмерных принтерах позволяет изготавливать запасные части очень гибким и эффективным методом, так как САД чертежи могут быть воспроизведены с помощью оптической оцифровки уже изготовленных ранее деталей.

Для изготовления прототипов, единичных деталей, малых серий, поставки запчастей может быть применено оборудование фирмы ProMETAL GmbH (таблица).

Технические данные	
Размеры изготавливаемых форм, мм	1500 x 750 x 700
Толщина слоя, мм	0,15-0,4
Разрешающая способность	мин. 0,2 мм
Точность	0,1 % (~±0,2 мм)
Скорость изготовления	14 - 20 мм общей высоты в час/15 000 см/час
Прочность	> 300 Н/см <sup>2</sup>
Внешние размеры (длина, ширина, высота)	3113 мм × 3354 мм × 2164 мм
Вес	4500 кг
Питание	220/380 В 3 фазы x 16 А, 5 кВт
Интерфейс данных	STL, CLI

УДК 378.148

### Создание мультимедийных проектов в среде AutoPlay

Студентка гр 104311 Кисько В.М.  
 Научный руководитель – Одиночко В.Ф.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

AutoPlay Media Studio 8.0 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 создания файлов автозапуска и для разработки интерактивного обучающего софта или мультимедийной презентации.

С помощью программы AutoPlay Media Studio можно:

- оформить свой проект с помощью музыки, видео, flash-анимации и текста;
- назначить определённое действие любому элементу проекта, будь то объект или страница.

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



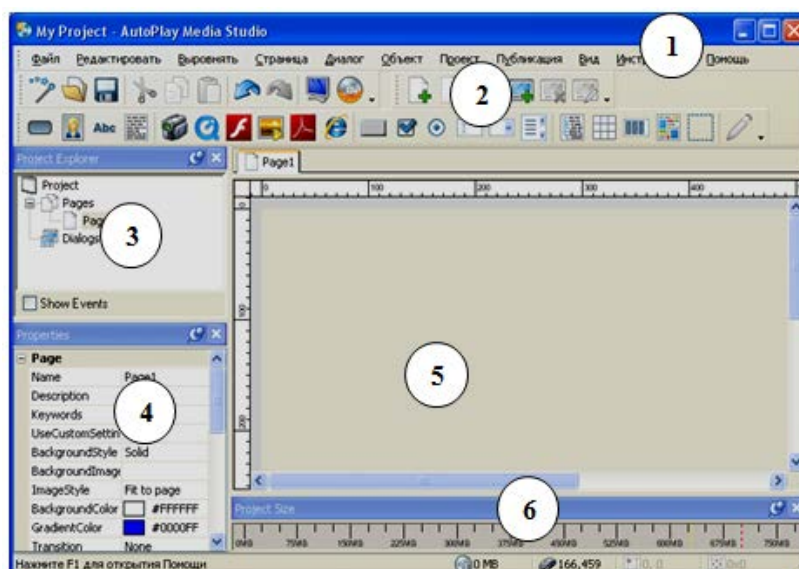


Рисунок 1

Окно программы AutoPlay Media Studio 8.0.6.0 (рисунок 1) включает шесть областей:

1. Строка меню.
2. Панели инструментов.
3. Проводник проекта.
4. Панель свойств объекта.
5. Рабочая область.
6. Шкала размера проекта.

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.

Для создания диска можно выполнить команду *Публикация/Собрать* или щелкнуть на кнопке *Собрать* на панели инструментов *Стандартная*.

В окне диалога Вывод проекта (рисунок 2) нужно выбрать вариант вывода проекта, например Записать CD/DVD/BLU-Ray и щелкнуть на кнопке Next.

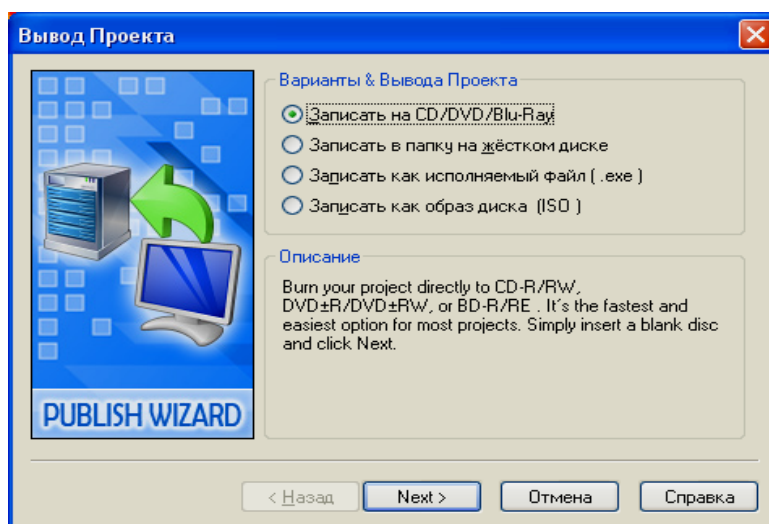


Рисунок 2

УДК 621.742

### **Методы конечных разностей конечных элементов в системах моделирования литейных процессов**

Студенты гр. 104319 Дингилевский С.П., Кобяков К.В.  
Научный руководитель – Чичко А.Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Конечно-разностные уравнения для сеточных функций тока и вихря получаются интегроинтерполяционным методом путем аппроксимации интегральных соотношений интегральных аналогов дифференциальных уравнений. Используются разнесенные сетки: сеточная функция тока вычисляется в целочисленных узлах сетки, компоненты метрического тензора, якобиан преобразования и функция вихря в центрах ячеек. Использование разнесенных сеток позволяет сохранить некоторые свойства решения дифференциальных уравнений, в частности, уравнение неразрывности на криволинейной сетке выполняется на каждом шаге итерационного процесса с точностью до ошибок округления.

Наиболее наглядно разница между МКЭ и МКР видна по способу дискретизации геометрии. При МКЭ расчетная геометрия (КЭ-сетка) представляет набор относительно крупных неправильных треугольных пирамид непрерывно без пересечений заполняющих расчетную область произвольной конфигурации - собственно геометрию моделируемого объекта. Применительно к ЛП это будет геометрия отливки и формы. (На самом деле вид конечного элемента может быть любым, в том числе и с криволинейными гранями, однако чаще всего используются тетраэдральные четырех узловые элементы.) При МКР расчетная геометрия чаще всего представляет из себя набор относительно мелких параллелепипедов, полученных наложением непрерывной прямоугольной ортогональной сетки на прямоугольную расчетную область, в которую вписана геометрия отливки и формы. В общей разностной постановке конфигурация ячейки может быть и не параллелепипедом, а например в 2D правильным шестиугольником, но неортогональные сетки практически не применяются. На рисунке 1 показан пример элементных и разностных разбинок для цилиндра.

Оба метода относятся к классу сеточных методов приближенного решения краевых задач. С точки зрения теоретических оценок точности методы обладают примерно равными

возможностями. В зависимости от формы области, краевых условий, коэффициентов исходного уравнения оба метода имеют погрешности аппроксимации от первого до четвертого порядка относительно шага. В силу этого они успешно используются для разработки программных комплексов автоматизированного проектирования технических объектов.

Методы конечных элементов и конечных разностей имеют ряд существенных отличий. Прежде всего, методы различны в том, что в МКР аппроксимируются производные искомых функций, а МКЭ – само решение, т.е. зависимость искомых функций от пространственных координат и времени. Методы сильно отличаются и в способе построения сеток. В МКР строятся, как правило, регулярные сетки, особенности геометрии области учитываются только в около граничных узлах. В связи с этим МКР чаще применяется для анализа задач с прямолинейными границами областей определения функций. К числу традиционных задач, решаемых на основе МКР, относятся исследования течений жидкостей и газов в трубах, каналах с учетом теплообменных процессов и ряд других. В МКЭ разбиение на элементы производится с учетом геометрических особенностей области, процесс разбиения начинается от границы с целью наилучшей аппроксимации её геометрии. Затем разбивают на элементы внутренние области, причем алгоритм разбиения строится так чтобы элементы удовлетворяли некоторым ограничениям, например стороны треугольников не слишком отличались по длине и т.д. Поэтому МКЭ наиболее часто используется для решения задач с произвольной областью определения функций, таких, как расчет на прочность деталей и узлов строительных конструкций, авиационных и космических аппаратов, тепловой расчет двигателей и т.д.

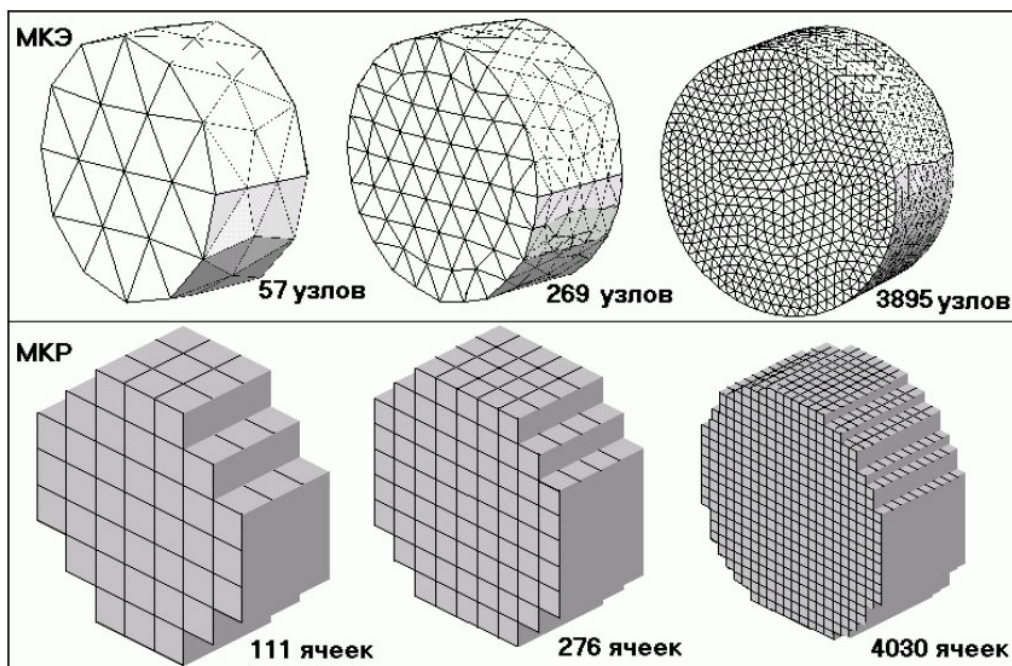


Рисунок 1 – Разбивки цилиндра при МКЭ и МКР при близких значениях густоты сетки

Общей проблемой методов является высокая размерность результирующей системы алгебраических уравнений (несколько десятков тысяч в реальных задачах). Поэтому реализация МКР и МКЭ в составе САПР требует разработки специальных способов хранения матрицы коэффициентов системы и методов решения последней.

### Литература

1. Тихомиров М.Д., Основы моделирования литейных процессов. Тепловая задача//Литейное производство.-1998.-№ 4.-С.30-34.

2. Сегерлинд Л.Дж., Применение метода конечных элементов/Пер. с англ. -М., Мир, 1979.-392 с.

3. Гиршович Н.Г., Нехендзи Ю.А. Аналитические решения простейших задач о затвердевании отливок разной конфигурации. //Литейное производство. – 1956.- № 3.-С.14-19; № 4.-С.13-17; № 6.-С.13-17; № 12.-С.13-18.

УДК 693.22.004.18

### Проблемы кристаллизации широкоинтервальных сплавов

Студент гр. 104319 Кобяков К.В.

Научный руководитель – Чичко А.Н.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Характер затвердевания отливки в форме может быть:

- последовательным (рисунок 1, а);
- двухфазным (рисунок 1, б);
- объёмным (рисунок 1, в).

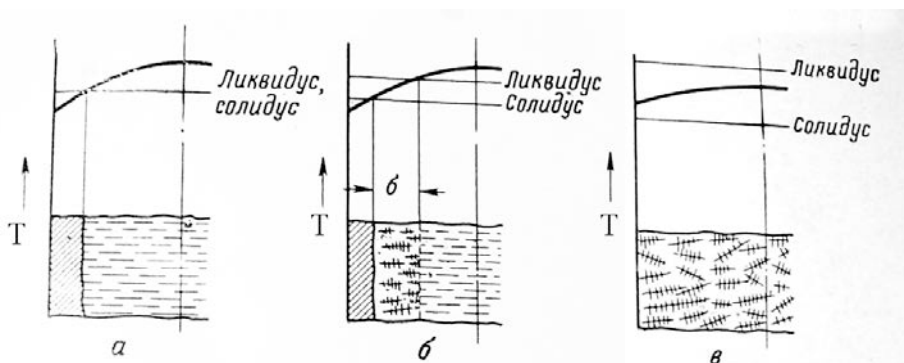


Рисунок 1 – Характер затвердевания:  
последовательное (а); двухфазное (б) и объёмное (в);  
отрезок  $\sigma$  – ширина двухфазной зоны; по оси ординат отложена температура

Последовательное затвердевание – когда поверхность контакта жидкой фазы с твёрдой является ровной. Такое затвердевание происходит без интервала затвердевания (при одной и той же температуре, т. е., когда линии солидуса и ликвидуса совпадают). А это характерно только таким сплавам, у которых нулевой интервал затвердевания. Это означает, что двухфазная зона очень мала. Следовательно, и количество дефектов сводится к минимуму.

Двухфазное затвердевание – это затвердевание, в процессе которого образуется двухфазная зона разной ширины. Такое затвердевание можно наблюдать у расплава, чья поверхность контакта имеет сложную конфигурацию. Обе фазы находятся в соприкосновении в интервале определённой ширины – двухфазной зоны (зоной затвердевания).

Таким образом, в отливке, которая затвердевает, можно выделить 3 фазы:

- затвердевший сплав;
- затвердевающий сплав (двухфазная зона, которая представляет собой смесь жидкой и твёрдой фаз);
- жидкий расплав.

Ширина двухфазной зоны – это расстояние между поверхностями солидус и ликвидус.

Ликвидус ограничивает двухфазную зону со стороны свободного расплава, в то время как солидус ограничивает эту же зону на стороне, обращённой к затвердевшей фазе.

Объёмное затвердевание происходит в том случае, если величина двухфазной зоны настолько велика, что она существует по всему сечению отливки в течение всего процесса затвердевания.

Большое влияние на процесс кристаллизации оказывают теплофизические характеристики литейной формы.

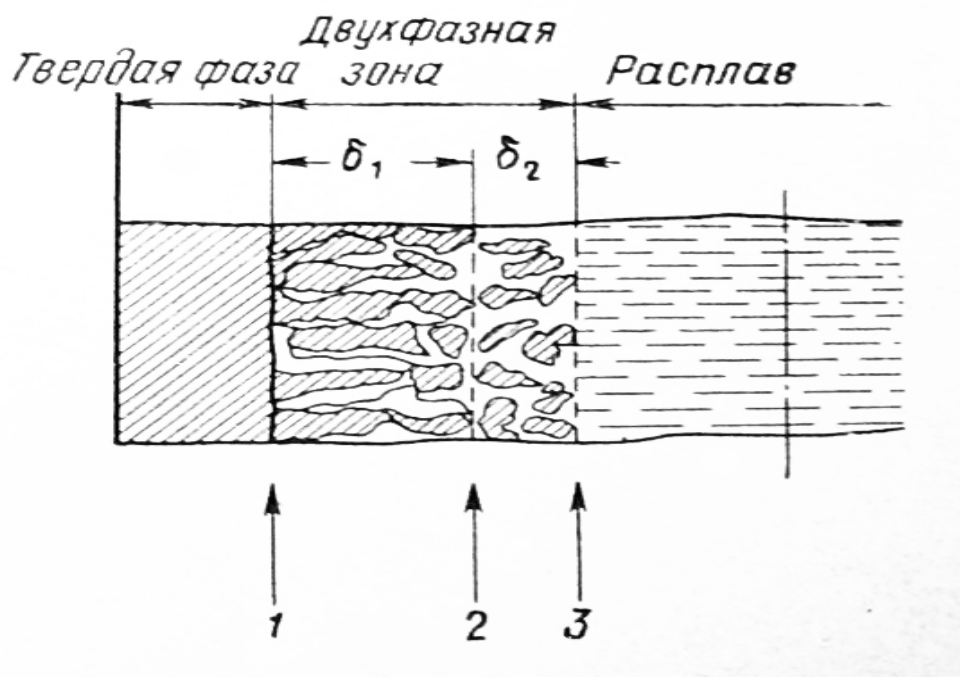


Рисунок 2 – Стадии затвердевания стенки отливки:

$\delta_1$  – твёрдо-жидкая зона;  $\delta_2$  – жидко-твёрдая зона;  
1 – солидус; 2 – граница выливаемости; 3 – ликвидус

В песчаных формах затвердевание происходит медленнее, температурные перепады в отливке меньше, тогда как в форме больше. Это связано с тем, что песчаные формы обладают малым коэффициентом теплопроводности и поэтому небольшой градиент температуры по сечению отливки, из-за чего там развита обширная двухфазная зона. Это способствует образованию различных дефектов.

У металлических форм коэффициент теплопроводности и аккумуляции тепла больше, чем у песчано-глинистых, что позволяет получать отливки с меньшими дефектами.

Таким образом, проблемой кристаллизации широкоинтервальных сплавов является развитая двухфазная зона, приводящая к образованию ряда дефектов (ликвации, пористости и др.) Чтобы получить требуемое качество необходимо обеспечить условия затвердевания отливки с минимальной двухфазной зоной. Ширина двухфазной зоны зависит от:

- градиента температуры в сечении отливки;
- интервала кристаллизации.

Интервал кристаллизации является физической характеристикой сплава, и изменить его не представляется возможным.

На градиент температуры в сечении отливки можно повлиять оптимальным выбором литейной формы. Т. е. наименьшая протяжённость двухфазной зоны формируется при изготовлении отливки в металлической форме. Поэтому отливку из сплава с широким интервалом кристаллизации целесообразно получать методом центробежного литья в кокиль или под давлением. Однако выбор конкретного вида литья зависит от конфигурации (геометрии) отливки.

Поэтому наиболее целесообразным устранением вышеупомянутых дефектов является оптимальный выбор технологии литья, обеспечивающий минимальную ширину двухфазной зоны.



**Машины  
и технология обработки  
металлов давлением**



УДК 693.22.004.18

### **Исследование процесса прокатки биметаллов для подшипников скольжения**

Студенты гр. 104418 Капаченя Е.В., гр. 104418 Ким Сан  
Научный руководитель – Белявин К.Е.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Разработка ресурсо- и энергосберегающих технологий и материалов имеет огромное значение для машиностроения. Одним из аспектов этой проблемы является повышение долговечности и работоспособности деталей и узлов, работающих в условиях трения. Одним из перспективных методов повышения ресурса и работоспособности деталей машин является нанесение износостойких покрытий методом электроконтактного припекания металлических порошков.

Процесс создания покрытий методом электроконтактного припекания присадочного материала состоит в пропускании мощных импульсов тока через металлический порошок, расположенный на поверхности детали под давлением электрода электроконтактной установки. При этом происходит разогрев и уплотнения присадочного материала, в результате чего на поверхности детали формируется износостойкое покрытие.

Электроконтактное припекание может осуществляться в точечном и шовном режимах. При припекании в точечном режиме используется специальная технологическая оснастка, обеспечивающая удержание порошкового материала в зоне формирования покрытия. В то же время припекание в шовном режиме осуществляется путём прокатки роликом порошкового материала, свободно насыпанного на поверхность упрочняемой детали.

Давление, прикладываемое к присадочному материалу в процессе электроконтактного припекания, является важным технологическим параметром, влияющим на пористость получаемого покрытия, а также его прочность сцепления с основой. С увеличением давления пористость сформованного покрытия уменьшается в результате его уплотнения, а прочность сцепления с основой увеличивается. В тоже время, при избыточном давлении возможен выброс расплавленного присадочного материала, что снижает качество получаемого покрытия. В связи с этим необходимо подбирать оптимальное значение давления, прикладываемого к присадочному материалу в процессе электроконтактного припекания, в зависимости от толщины получаемого покрытия, а также от грануляции и физико-механических свойств используемого порошкового материала.

УДК 621.733

### **Нагрев заготовок под штамповку в терморadiационных печах**

Студенты гр. 104418 Хотянович Е.Н., гр. 104418 Польшко А.Г.  
Научный руководитель – Логачев М.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Для нагрева листовых заготовок под штамповку применяют терморadiационный нагрев. Нагревателями в этом случае служат стержневые кварцевые галогенные лампы, выпускаемые нашей промышленностью.

На рисунке 1 показана схема механизированной терморadiационной печи для нагрева плоских стальных заготовок толщиной ~4мм. Печь оснащена 20 стержневыми лампами типа КГ-220-1000-5 мощностью 1 кВт. Из них 14 ламп расположены сверху и 6 снизу нагреваемых заготовок. Таким образом, общая мощность печи примерно 20 кВт. Для

загрузки-выгрузки и движения заготовок использован переталкивающий механизм, работающий от пневматического цилиндра. Подача воздуха в цилиндр осуществляется с помощью электропневматического клапана, управляемого реле времени. Таким образом печь может работать в автоматическом режиме, выдавая нагретые заготовки через 10 – 15 с. Верх и низ печи охлаждаются водой, а для уменьшения потерь теплоты через охлаждаемые и неохлаждаемые стенки внутри рабочего пространства установлены пачки листов из жароупорной стали, которые снижают тепловые потоки на неохлаждаемые и водоохлаждаемые стенки. Для защиты от механических повреждений и для охлаждения лампы установлены в кварцевых трубках, открытых с обеих сторон.

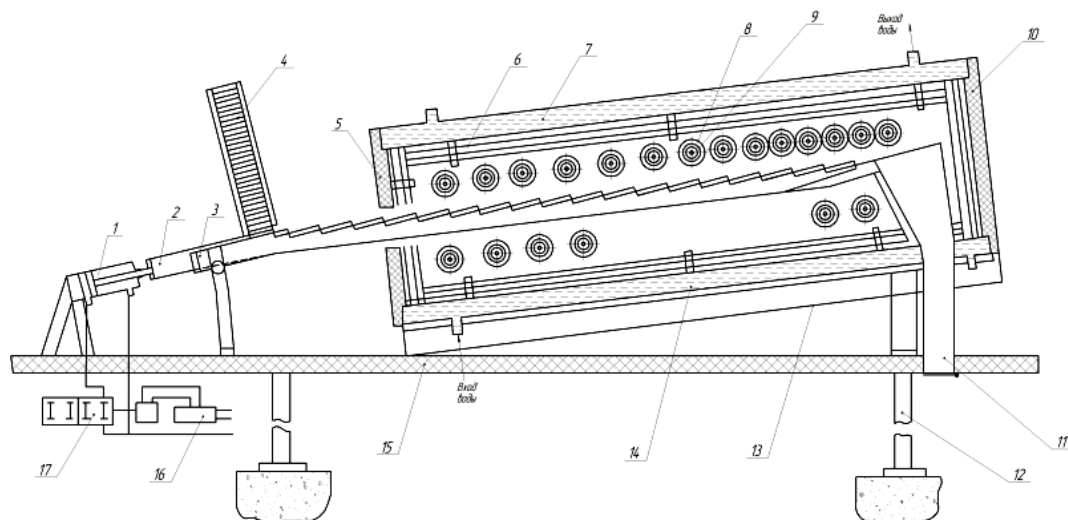


Рисунок 1 – Механизированная терморadiационная печь для нагрева листовых заготовок:

- 1 – пневматический цилиндр; 2 – подвижная балка; 3 – неподвижная балка;
- 4 – магазин для заготовок; 5 – задняя стенка; 6 – пачка листов из жароупорной стали;
- 7 – верхняя часть кожуха печи; 8 – кварцевая трубка; 9 – галогенная кварцевая лампа КГ-220-1000-5;
- 10 – передняя стенка; 11 – клапан для выдачи заготовок; 12 – ножки печи; 13 – основание печи;
- 14 – нижняя часть кожуха; 15 – монтажная плита;
- 16 – реле времени; 17 – электропневматический клапан.

Для уменьшения подсоса воздуха печь установлена наклонно с тем, чтобы окна для загрузки и выдачи находились на одной высоте, кроме того, окно выдачи снабжено заслонкой, открывающейся под действием веса выдаваемой заготовки.

Производительность печи при выдаче заготовок через 14 с была 260 штук в 1 ч или примерно 18 кг/ч. Время нагрева заготовки 240 с, температура выдачи ~ 1000 °С, мощность печи 18 кВт (при напряжении 210 В), КПД печи ~ 20 %.

Терморadiационные нагреватели можно также применять для подогрева листов при штамповке их непосредственно на штампе. Кассета с лампами вводится в пространство над листом, в течение нескольких десятков секунд излучение ламп нагревает лист до нужной температуры, потом кассета отводится в сторону, после чего осуществляется штамповка.

## Технология получения трубок малого диаметра из ленты

Студенты гр.104418 Польшко А.Г., гр.104418 Хотянович Е.Н.

Научный руководитель – Логачёв М.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Разработанная технологическая схема получения длинномерных трубчатых изделий малого диаметра из ленты, включающая гибку (свертку) плоской заготовки в трубку, редуцирование ее и калибровку [1], реализована в предлагаемом комбинированном способе формообразования трубок из ленты путем одновременной свертки и волочения через одну или нескольких волок.

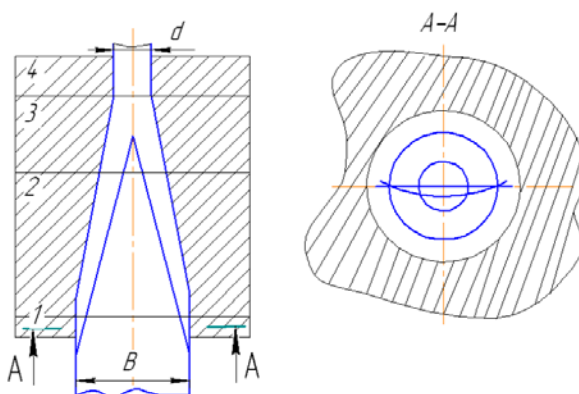


Рисунок 1 – Схема очага деформации при комбинированном способе формообразования трубок малого диаметра из ленты:

1 – зона внеконтактной деформации; 2 – зона сварки; 3 – зона безправочного волочения (редуцирования); 4 – зона калибровки

Как показано на рисунке 1, свертка исходной ленты (заготовки) осуществляется на входном участке обжимающей части волокна, протяженность которой зависит от диаметра трубки и составляет не менее  $2/3$  её длины. После того, как трубка сформируется, происходит безправочное редуцирование с определенной степенью деформации, обеспечивающей качественное стыковое соединение за счет пластической деформации.

На основании анализа технологических схем получения трубок малого диаметра предлагается комбинированный способ формообразования таких трубок из ленты, позволяющий упростить технологию их изготовления и получить качественное соединение за счет пластического деформирования сдвигом и дополнительным локальным воздействием в очаге деформации.

С целью получения точных размеров полос, по ширине отрезанных из ленты, изготовлены многодисковые ножницы. Разработанная конструкция многодисковых ножниц позволяет производить одновременную резку нескольких лент толщиной 0,15 – 0,5 мм полос, а также обрезку лент по ширине на заданный размер.

Формообразование трубчатого изделия в процессе изготовления происходит путём одновременной свертки и волочения с обеспечением качественного стыкового соединения за счет пластического деформирования сдвигом и дополнительным локальным воздействием в очаге деформации.

## **Изготовление полых двухслойных изделий послойной комбинированной вытяжкой**

Студенты гр. 104418 Новик И.В., Соболев А.П., Степурко С.Б.

Научный руководитель – Любимов В.И.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Двухслойные изделия, получаемые комбинированной вытяжкой из составных заготовок, характеризуются неравномерной толщиной слоев. Разнотолщинность слоев не только ухудшает качество изделий, но и снижает производительность процесса и увеличивает расход материалов. В настоящей работе проанализированы причины неравномерной послойной деформации составных двухслойных заготовок и предложены некоторые технологические приемы, обеспечивающие получение двухслойных изделий с равномерной толщиной слоев и заданным их соотношением.

При вытяжке заготовок из материалов с различными механическими свойствами большее утонение получает слой из материала с меньшим напряжением текучести. В процессе вытяжки соотношение напряжений текучести компонентов пакета изменяется вследствие различной интенсивности деформационного упрочнения. В результате изделия получают с неравномерной толщиной слоев по длине стенки: толщина слоя с большей интенсивностью упрочнения увеличивается по направлению к верхней кромке изделия, а толщина слоя с меньшей интенсивностью упрочнения уменьшается в этом направлении. С увеличением различия механических свойств материалов слоев неравномерность послойных деформаций возрастает.

Можно выделить три типовые технологические ситуации, возникающие при совместном деформировании металлов. Первая – когда сопротивление деформированию одного слоя больше сопротивления деформированию другого слоя на всем протяжении совместной деформации; вторая – когда в процессе совместной деформации сопротивление деформированию одного слоя становится больше сопротивления деформированию другого; и третья – когда соотношение сопротивлений деформированию слоев постоянно на протяжении всего процесса (показатели упрочнения материалов слоев одинаковы). Каждой из этих ситуаций соответствует определенный характер напряженного состояния слоев, который оказывает влияние на распределение послойных деформаций.

Наибольшая неравномерность послойной деформации наблюдается при вытяжке двухслойных изделий с большой разницей механических свойств слоев при наружном расположении мягкого слоя. Для изготовления таких изделий с равномерной толщиной слоев может быть использована послойная комбинированная вытяжка, сущность которой заключается в том, что вначале производят комбинированную вытяжку заготовки внутреннего (твердого) слоя пуансоном, диаметр которого обеспечивает размер полости готового изделия, при одностороннем зазоре между пуансоном и матрицей, равном требуемой толщине слоя в готовом изделии. Затем пуансоном с находящимся на нем вытянутым внутренним слоем производят комбинированную вытяжку заготовки наружного слоя в другую матрицу, имеющую диаметр, равный наружному диаметру готового изделия. Требуемая толщина наружного слоя и ее равномерность по длине стенки изделия обеспечивается принудительным утонением заготовки в вытяжном зазоре, образуемом матрицей и стенкой заготовки твердого слоя. Послойная вытяжка слоев может быть реализована в одном штампе с соосно расположенными вытяжными матрицами.

Для вытяжки изделий с внутренним расположением мягкого слоя может быть использован штамп, схема которого приведена на рисунке 1. Штамп работает следующим образом. В начале рабочего хода пуансон 3 с находящимися на нем полый заготовкой внутреннего слоя и опорной втулкой 5 осуществляют вытяжку с утонением плоской

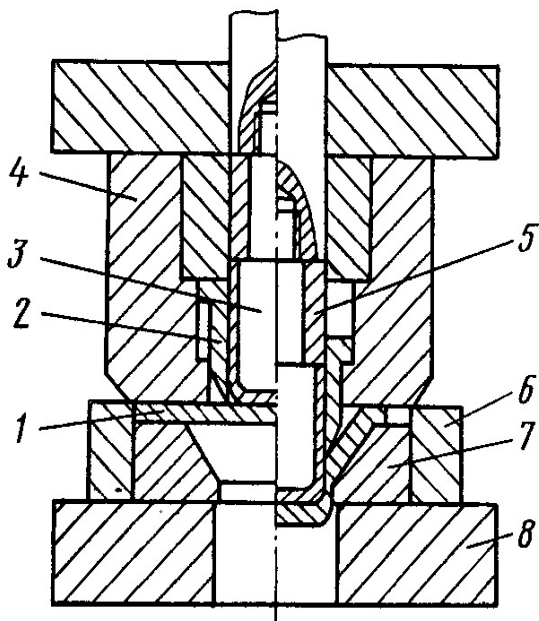


Рисунок 1 – Схема штампа для вытяжки двухслойных изделий с внутренним расположением мягкого слоя с исходной полый заготовкой внутреннего слоя (слева от оси симметрии показан штамп в исходном положении, справа – в промежуточной стадии вытяжки)

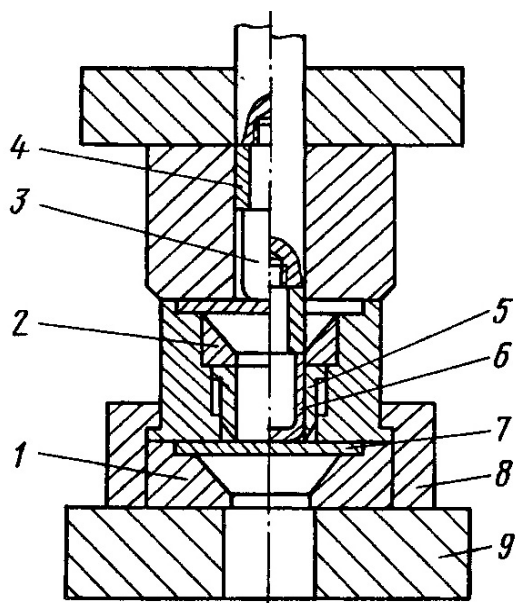


Рисунок 2 – Схема штампа для вытяжки двухслойных изделий с внутренним расположением мягкого слоя с исходной плоской заготовкой внутреннего слоя (слева от оси симметрии показан штамп в исходном положении, справа – в промежуточной стадии вытяжки)

заготовки 1 наружного (твердого) слоя изделия через матрицу 7, смонтированную в опорном кольце 6, установленном на нижней плите 8. Наружный диаметр втулки 5 превышает диаметр рабочей части пуансона и равен наружному диаметру внутреннего слоя готового изделия. По мере движения пуансона дополнительная подвижная втулка 2, опираясь на коническую поверхность вытягиваемой заготовки 1, смещается вдоль ее оси. После входа заготовки 1 в рабочий пояс матрицы 7 бурт втулки 2 доходит до выступа центрирующей втулки 4, и втулка 2 прекращает движение. При этом пластическая деформация заготовки внутреннего (мягкого) слоя предотвращается поверхностями опорной втулки 5, дополнительной втулки 2 и заготовки 1 наружного (твердого) слоя, в силу чего пластически деформируется только заготовка 1 твердого слоя.

На рисунке 2 приведена схема штампа для послойной вытяжки двухслойных изделий с внутренним расположением мягкого слоя из плоских заготовок. Штамп содержит ступенчатый вытяжной пуансон 3, на котором расположена неподвижная опорная втулка 4. На нижней плите 9 штампа установлено опорное кольцо 8, в котором смонтирована матрица 1, подвижная втулка 5 и матрица 2 для вытяжки заготовки мягкого слоя.

В начале рабочего хода пуансон 3 с находящейся на нем опорной втулкой 4 осуществляет вытяжку с утонением заготовки мягкого слоя. В момент подхода кромки опорной втулки 4 к кромке матрицы 2 на расстояние, меньшее исходной толщины заготовки мягкого слоя, происходит обрезка края полый заготовки 6. После входа втулки 4 в рабочий пояс матрицы 2 на пуансоне 3 последовательно располагаются с контактом торцовых поверхностей полый заготовка 6 внутреннего слоя получаемого изделия и опорная втулка 4. Затем процесс осуществляется так же, как и в штампе, приведенном на рисунке 1.

УДК 693.22.004.18

### **Исследование процесса получения изделия холодной объемной штамповкой**

Студенты гр. 104418 Терещенко Н.М., Жерносеченко А.А., Сацкевич В.С.  
Научный руководитель – Шиманович О.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Накатка – образование на заготовке резьбы или мелких рифлений непрерывным воздействием инструмента. Деформационное упрочнение поверхностного слоя при накатке и волокнистое строение структуры металла повышают циклическую прочность резьбовых соединений примерно в 1,6 раза по сравнению с нарезкой.

Методы накатки находят широкое применение не только при формообразовании различных резьб на сплошных и полых заготовках крепежных деталей, но и для получения различных профилей на деталях типа валов и осей, шлицевых соединений, червяков и винтов, зубчатых зацеплений, а также для упрочнения поверхности деталей, полученных обработкой резанием, и калибровки (правки) относительно длинных изделий.

Резьбы и профили наружных поверхностей цилиндрических деталей накатывают:

- плоским инструментом с тангенциальной подачей заготовки – накатка плоскими плашками;
- приводным круглым инструментом с тангенциальной, продольной (осевой) и радиально-осевой подачей заготовки;
- не приводным круглым инструментом с тангенциальной подачей.

Процессы пластического формообразования резьб и профилей имеют значительные преимущества перед другими способами и особенно перед обработкой резанием.

Высокая скорость образования профилированной длины (0,1 – 20 м/мин) обеспечивает снижение длительности цикла обработки, повышая производительность.

Важным преимуществом процессов пластического формообразования перед процессами резания металлов является высокая размерная стойкость инструмента. При накатке шлицев первоначальная точность сохраняется в течение длительного времени несмотря на значительный объем выпущенной продукции. Ухудшение формы профиля за весь цикл эксплуатации инструмента не наблюдается. При накатке тепловые воздействия и нагрузки распределяются по большей поверхности контакта (при резании они концентрируются на относительно слабой режущей кромке), что снижает возможность случайных поломок инструмента.

УДК 621.771

### **Разработка технологии изготовления ножей кормоуборочной техники**

Студенты гр.104428 Хвин А.С., гр.104428 Петровский А.С.  
Научный руководитель – Давидович Л.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Конструктивной особенностью ножей кормоуборочной сельскохозяйственной техники является наличие заостренных частей (лезвий), кроме того эти детали эксплуатируются в условиях ударно-абразивного воздействия и поэтому должны иметь высокие прочностные и вязкие свойства. Традиционной технологией изготовления лезвий на заготовках, является операция фрезерования в специальных приспособлениях, обеспечивающих получение нужного угла заострения лезвия.

Для изготовления деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники с заостренными частями разработан способ продольно-поперечной прокатки. Комплексный технологический процесс термопластической обработки (ТПО), включает в себя плазменную вырезку листовой заготовки, индукционный нагрев, продольно-поперечную прокатку лезвия изделия и закалку с температуры окончания деформации. В этом случае технологический процесс обеспечивает оптимальное соотношение прочностных и вязких характеристик изделия, необходимых в условиях ударно-абразивной эксплуатации. Такой комплекс свойств определяется образованием субмелкодисперсной мартенситной структуры в процессе ускоренного охлаждения деформированного аустенита, полученного на стадии горячего пластического формообразования изделия. Установлено, что при изготовлении ножей кормоуборочной техники целесообразно использовать сталь 30ХГСА, которая после ТПО имеет необходимые механические свойства (рисунок 1).

Отпуск после закалки деформированного металла, в зависимости от его температуры, в значительной степени влияет на показатели ударной вязкости при некотором снижении прочности металла. На рисунке 1 представлена зависимость твердости и ударной вязкости от температуры отпуска для стали 30ХГСА после обычной закалки в масле с 900 °С (1) и закалки в масле после горячей деформации (2) при 1000 °С.

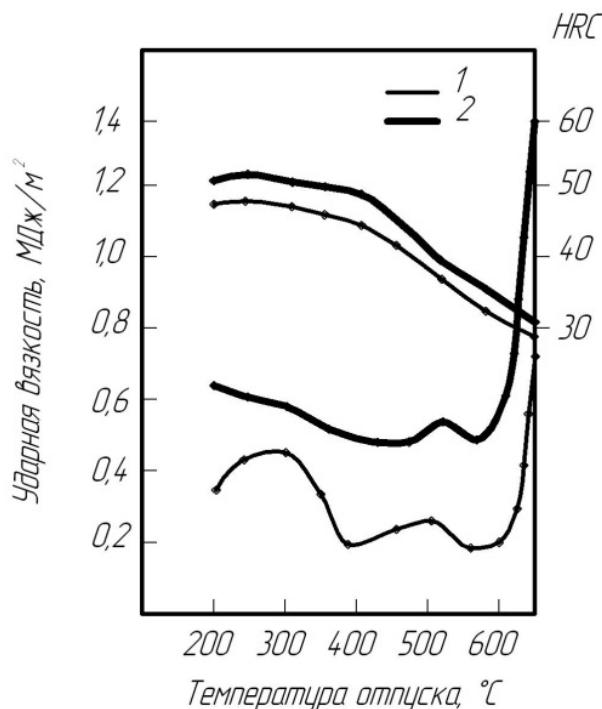


Рисунок 1

Как видно из графиков наиболее предпочтительным является режим отпуска 200 – 250 °С, когда при твердости 50 – 52 HRC достигается ударная вязкость 0,6 МДж/м². Дальнейшее повышение температуры приводит к снижению твердости – менее 40 HRC, что для почвообрабатывающих инструментов недопустимо.

### Управление уширением полосы при прокатке

Студенты гр.104428 Сидоренко С.М., Сачко Д.А.  
 Научный руководитель – Исаевич Л.А.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Уширение при прокатке полосы в гладких валках особенно проявляется в концевых ее участках и является существенным недостатком при изготовлении заготовок малолистовых рессор, поскольку для придания постоянной по длине ширины требуется дополнительная операция обрезки боковых кромок. Предложено три способа снижения уширения концевых участков полосы за счет: 1) изменения геометрии бокового профиля полосы путем пластического деформирования (обжатия концов полосы по ширине); 2) создания условий анизотропии контактного трения в зоне деформации концевых участков полосовой заготовки при прокатке на оправке; 3) применения в первом проходе ручьевых калибров с обжатием кромок полосы до конечной толщины.

Существует множество формул для расчета уширения полосы при прокатке. Наиболее простой из них является  $\beta = \frac{b_1}{b_0} = \sqrt{1 + \frac{l_0}{b_0} \left( \frac{h_0}{h_1} - 1 \right)}$ , где  $l_0$  – длина проекции дуги захвата на направление прокатки;  $h_0, b_0$  – начальная толщина и ширина заготовки;  $h_1, b_1$  – конечная толщина и ширина заготовки.

При этом

$$\lambda = \frac{l_1}{l_0} = \left[ \left( \frac{l_{1m}}{l_{0m}} - 1 \right) / \left( 1 + \frac{fDh_0}{\sqrt{3}S_0b_0} \right) \right] + 1$$

где  $l_1, l_0$  – конечная и начальная длины полосы;  $l_{1m}, l_{0m}$  – те же величины при прокатке полосы без уширения;  $f$  – коэффициент контактного трения;  $S_0$  – начальная площадь поперечного сечения полосы;  $D$  – диаметр валков.

Поскольку согласно условию постоянства объема  $\beta = \frac{1}{\eta\lambda}$ , а  $\eta = \frac{h_1}{h_0}$ , то из полученных соотношений путем их совместного решения нетрудно определить значения коэффициента уширения  $\beta$ .

Расчеты показывают, что наибольший эффект по снижению уширения обеспечивает применение в первом проходе ручьевых калибров с обжатием кромок полосы до конечной толщины. При этом сам калибр приобретает форму трапеции, высотой  $\Delta h = h_0 + h_1$ . Меньшее основание трапеции равно ширине зоны прилипания, а большее основание – начальной ширине полосы при углах наклона стенок калибра, соизмеримых с углом контактного трения.



**Применение сборных молотовых штампов в процессах горячей штамповки поковок**

Студенты гр.104428 Беть Е.О., Лесун А.Н, Манцивода А.Л.  
Научный руководитель – Карпицкий В.С.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В технологических процессах горячей объемной штамповки поковок в основном применяются молотовые штампы. Основным недостатком таких штампов является то, что при износе или поломке одного из ручьев, будь то заготовительного или штамповочного возникает необходимость замены или его ремонт. В связи с этим при штамповке на молотах, в последние годы все большее распространение получают сборные молотовые штампы. В кузнечно-штамповочных цехах применяются в основном два вида таких штампов с цилиндрическими и призматическими вставками.

Штампы с цилиндрическими вставками обычно различают по способу крепления вставок в блоке. Посадка с натягом многие годы считалась единственно надежным способом крепления молотовых вставок. Несмотря на достаточно широкое распространение вставок на посадке с натягом, нельзя не отметить, что в эксплуатации этот способ имеет существенные недостатки.

1. Не обеспечивается взаимозаменяемость вставок, так как гнездо блока при выпрессовке теряет первоначальные размеры, что вынуждает производить последующую посадку вставок «по месту». Это затрудняет нормализацию и централизованное изготовление вставок.

2. Смена вставок невозможна без снятия штампа с молота.

3. Замена вставок является трудоемкой операцией (необходим нагрев, специальные приспособления для выпрессовки и др.). При нагреве под выпрессовку часты случаи отпуса и коробления блоков, выхода их из строя и т.д.

Существует также шариковое крепление штампов. Сущность крепления шариками заключается в том, что вставки устанавливаются в блоки на ходовой посадке и соединяют с ними внутренним кольцевым замком. Для этого в блоках и вставках выполняют кольцевые канавки, заполненные шариками. Шарик заправляют через боковые отверстия в блоках и стопорят штырями, которые снаружи фиксируют. К недостатком такого крепления следует отнести большую трудоемкость процесса фиксации шариков, завышенные минимальные размеры между гнездом под вставку и краями блока.

Наиболее распространение получило клиновое крепление цилиндрических вставок. Такой способ обеспечивает взаимозаменяемость и быстросменность вставок, обладает необходимой надежностью и универсальностью. Если поковка представляет собой в плане тело вращения и не требует фиксации вставок от разворота, то крепление можно осуществлять с помощью клина и обоймы. Штампы такой конструкции нашли некоторое распространение благодаря простоте извлечения нижней вставки из гнезда блока.

Для поковок, при штамповке которых требуется фиксация вставок от разворота, применяют штампы с непосредственным креплением вставок клином. Штамп состоит из верхнего и нижнего блока. Для установки вставок в блоках расточены посадочные гнезда.

Для быстрой смены вставок без снятия штампа с молота в нижний блок вмонтирован пневматический выталкиватель. Смена вставок на молоте производится в следующем порядке. Баба молота фиксируется с зазором между блоками более высоты вставки, затем выбивается верхний клин, и удаляется верхняя вставка. Затем выбивается нижний клин, под поршень пневмовыталкивателя подается сжатый воздух и вытолкнутая из своего гнезда нижняя вставка также убирается. Установку нового комплекта вставок производят в обратном порядке: сначала крепят нижнюю вставку, затем верхнюю.

Переналадка длится 10 – 15 мин. Применение описанного способа удаления нижней вставки из гнезда показало преимущество его перед иными известными способами.

На ряде заводов применяют штампы с креплением вставок посредством круглого штифта с клиновой лыской. Такой вид клинового крепления увеличивает свободную лицевую поверхность штампа, но исключает возможность восстановления изношенных вставок.

Крепление клином является практически единственным приемлемым способом крепления призматических вставок. Штампы с призматическими вставками различают по способам фиксации последних от продольного смещения.

Наибольшее распространение получили штампы со сквозными гнездами, применяющиеся в мелкосерийном и крупносерийном производстве. В штампах с креплением вставок обычным клином для фиксации применяют шпонки самой различной формы. Соударение штампа может осуществляться либо по вставкам, либо по блоку; иногда применяются направляющие колонки. В одном гнезде можно крепить вставки различной длины.

В блоке выполняют заготовительные ручки (для коленчатых валов - подкатной, для балок - подкатной и гибочный). Средняя стойкость вставок на коленчатых валах равна 2000 поковок, а стойкость блока с подкатным ручьем – 20000 поковок. В сравнении с цельноблочными штампами общая стойкость возросла более чем в 3 раза, резко сократилась трудоемкость механической обработки, время переналадки уменьшилось более чем в 5 раз.

Штампы с закрытыми гнездами применяются обычно при крупносерийном производстве штамповок. На блоках изготавливают подкатной и гибочный ручки, отрубной нож. Верхние вставки в закрытые гнезда обычно устанавливают по ходовой посадке, а для нижних гнездо выполняют на 2 – 3 мм длиннее вставки для удобства наладки штампа под молотом.

Некоторое распространение на заводах получили также штампы с угловыми вставками, которые позволяют надежно фиксировать вставки в сквозном гнезде с помощью замка на боковой поверхности крепления подштамповой плиты в шаботе молота. Однако распространение штампов такой конструкции ограничивается из-за того, что велика трудоемкость изготовления блока и вставок, а расход штамповой стали на вставки больше, чем на призматические вставки.

Таким образом применение сборных молотовых штампов приводит к улучшению их эксплуатации, снижению расхода штамповой стали, к сокращению времени на их ремонт.

УДК 621.974.6

### **Технология изготовления рельефных полостей штампового инструмента**

Студенты гр.104428 Шпилевский Д.А., Жучёк С.А.

Научный руководитель – Кудин М.В.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Процессы выдавливания деталей инструмента и технологической оснастки нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Изготовление инструмента с точными рельефными полостями являются наиболее сложными в производстве инструментальной оснастки.

Основным способом изготовления рельефных полостей формообразующего инструмента, включающий предварительное формообразование полости мастер-пуансоном, термическую и электроэрозионную обработку, которую осуществляют в два и более

переходов. При необходимости применяется слесарная доводка отдельных участков инструмента.

Основным недостатком является неизменная продольно-ориентированная микро- и макроструктура стали, которая создает опасные микрзоны приводящие к разрушению матриц.

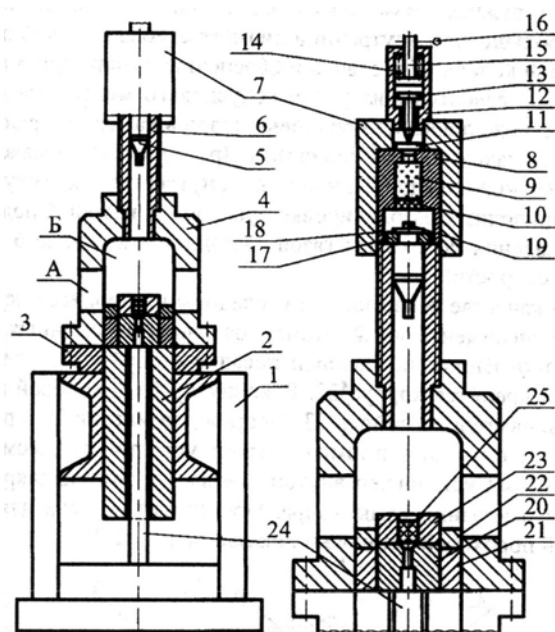


Рисунок 1 – Схема вертикального порохового копра

По мере усложнения технологических требований к процессу выдавливания рельефных полостей увеличиваются затраты времени на определение оптимальных размеров и форм заготовок, конструкции и нагрузки мастер-пуансонов и других технологических параметров, определяющих качество работы и эффективности процесса.

Целью настоящей работы являлось исследование возможности изготовления полостей формовочного инструмента с использованием высокоскоростного горячего выдавливания.

Для экспериментального исследования процесса и отработки технологии использовался пороховой копер вертикального действия, представленный на рисунке 1. Установка состоит из рамы 1, в верхнем основании которой закреплен ствол 2. Ствол 2 соединяется с опорой 3, на которой смонтирован корпус 4. Энергоузел установки состоит из направляющего ствола 6, корпуса 7 и камеры сгорания 8. Пороховой заряд 9 засыпается в камеру сгорания 8 в дозированном объеме и уплотняется с помощью пыжа 10. Для поджига применялись капсули 11, детонация которых осуществлялась с помощью ударного механизма, состоящий из корпуса 12, иглы 13, пружины 14, ударника 15 и чеки 16.

В исходном верхнем положении пуансон 5 удерживается медным кольцом 17, которое посажено на бурт в его хвостовой части и зафиксировано в этом положении прокладкой 18 и винтом 19.

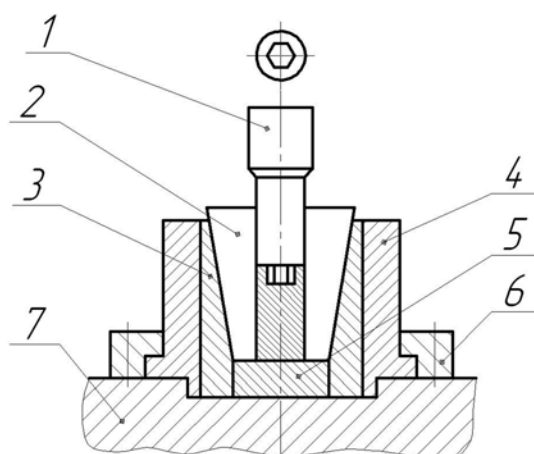


Рисунок 2 – Схема штамповой оснастки

В качестве оснастки использовался экспериментальный штамп состоящий из формовочного мастер-пуансона 1, сменных матриц 2, установленных в обойме 3, к которой винтами крепится корпус 4. Корпус 4 жестко закреплен в нижнем основании рамы порохового копра.

Процесс выдавливания исследовали в интервале скоростей ударного бойка 30 – 50 м/с. Температура нагрева для сталей изменялась от 850 до 1200 °С. Указанные ограничения значений нагрева образцов обусловлены тем, что часть экспериментов проводилась при температурах ВТМО. Для уменьшения времени контакта и самоизвлечения инструмента из заготовки использовали упругий отскок бойка.

### Литература

1. Качанов И.В. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий./ Под ред. Л.А. Исаевича – Мн.: УП «Технопринт», 2002. - 327с.
2. Палей М.М. Технология производства приспособлений, пресс-форм и штампов. – М.: Машиностроение, 1979. – 293с.
3. Капранов В.Н., Осиных В.Я. Особенности высокоскоростного горячего выдавливания формовочного инструмента повышенной точности. // Повышение качества и эффективности изготовления технологической оснастки методами пластического деформирования. – Таллинн, 1977. – С.125-129.

УДК 378.147.091.313[621.73]

### Исследование остаточных напряжений I рода при прокатке

Студенты гр. 104428 Кардаш М.М., Павловский И.В., Табальчук А.С.  
 Научный руководитель – Овчинников П.С.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

При холодном пластическом деформировании металла в очаге деформации возникают дополнительные напряжения, вызванные неоднородной деформацией, упругая составляющая которых остается в изделии после снятия нагрузки деформации. Между отдельными частями изделия остаются напряжения I-го рода, между кристаллитами – II-го, между частями кристалла – III-го рода.

В данной работе исследовали остаточные напряжения I-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 соответствовала 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 прокатываемым металлом тормозят поверхностные слои заготовки, в результате чего в поверхностной части изделия создаются дополнительные напряжения сжатия, а во внутренних – растяжения. После разгрузки в каждой половине полосы остаточные напряжения вызовут изгиб полосы. Если полагать, что при изгибе нейтральный слой будет расположен посередине 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 ленты после прокатки,  $R_{в}$  – внутренний радиус кривизны. Для приведенных выше обжатий значения  $S$  составили 1,45; 1,25; 1,1 мм, радиусы  $R_{в}$  – 280, 263, 257 мм соответственно, а степени деформации  $\varepsilon$  получат значения 0,00214; 0,00237; 0,00258.

Зная деформации, можно посчитать им соответствующие напряжения по выражению  $\sigma = E \cdot \varepsilon$ ,  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа. Эти напряжения составляют 428; 414 и 516 МПа.

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

Мы полагаем, что на поверхности полосы после прокатки действуют остаточные сжимающие напряжения, а в средней части – растягивающие, равные пределу упругости  $\sigma$ , с учетом упрочнения.

Более точная эпюра остаточных напряжений I-го рода по толщине будет установлена в продолжение работы, используя методику Давиденкова Н.И. при послойном снятии.

УДК 631.7/9.016

### **Анализ различных устройств и способов упрочнения полосовых заготовок поверхностным пластическим деформированием**

Студенты гр. 104428 Ванагель М.А., Раковец Е.А., Чернецкая А.В.

Научный руководитель – Иваницкий Д.М.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В данной работе приведены способы поверхностного упрочнения деталей. Одним из возможных вариантов обработки является обкатка роликами или шариками с помощью различных приспособлений, устанавливаемых на токарных или строгальных станках. Приспособления изготавливают одно- или многороликовыми.

Эффективным является способ холодной прокатки листов и лент в валках, вибронакатанных по схеме, изображенной на рисунке 1,а, который показан на рисунке 1,б. Недостатком приведенного способа является то, что микрорельеф на поверхности полос расположен поперек их. В случае упрочнения рессорных листов он будет действовать как концентратор напряжений и снизит усталостную прочность и долговечность.

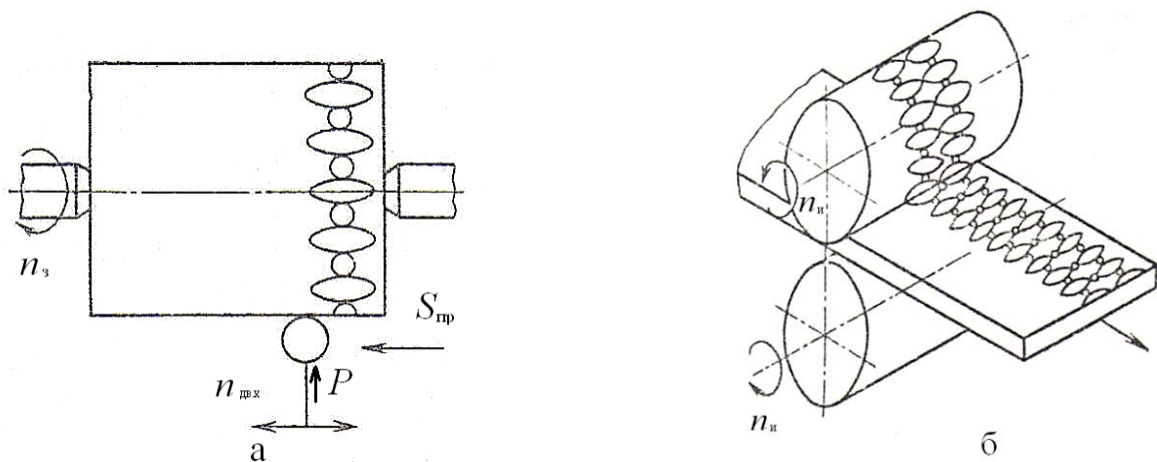


Рисунок 1 – Схемы процессов образования микрорельфов вибронакатыванием поверхностей: а – наружная цилиндрическая поверхность; б – плоские листы и ленты

Схема ротационного приспособления показана на рисунке 2. В гнезда цилиндрического корпуса 1 вставляются диски 2. Ряды дисков в осевом направлении смещены относительно друг друга за счет постановки регулировочных прокладок 3 и 4. С торцов цилиндра укреплены крышки 5. Приспособление крепится на шпинделе фрезерного станка. При вращении устройства под влиянием центробежных сил диски отжимаются к периферии корпуса и ударяют в обрабатываемую поверхность рессорного листа, укрепленного на перемещающемся в продольном направлении столе станка.

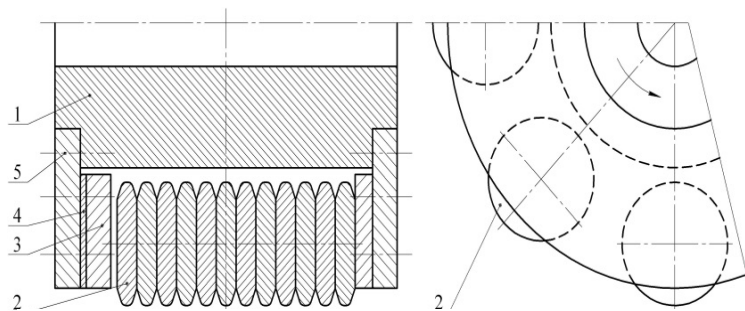


Рисунок 2 – Схема ротационного приспособления

Схема эксцентрикового приспособления показана на рисунке 3.

На плите 1 укрепляются верхний 2 и нижний 3 кронштейны. Шток 4 отжимается в нижнее положение пружиной 5. Усилие нажатия пружины регулируется гайкой 6. Перемещение штока в нижнее положение ограничивается

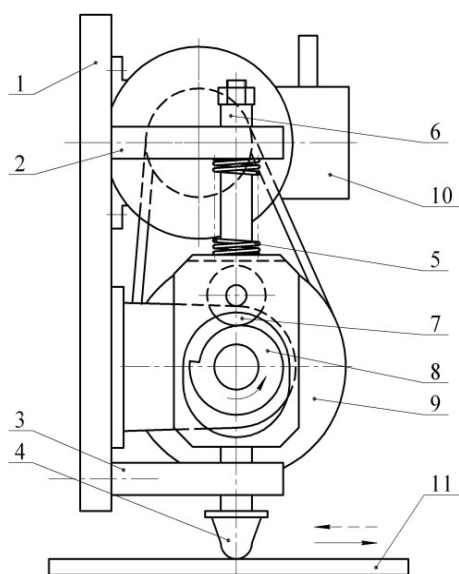


Рисунок 3 – Схема эксцентрикового

подшипником качения 7, опирающимся на эксцентрик 8, который укреплен на одном валу с ведомым шкивом 9. Вращение эксцентрика в указанном стрелкой направлении осуществляется электродвигателем 10 через клиноременную передачу. Чеканочное приспособление смонтировано на колонне фрезерного станка. Упрочняемые листы 11 крепятся к его столу. Создаваемое эксцентриком и пружиной возвратно-поступательное перемещение штока с бойком в сочетании с продольным перемещением детали позволяет наклепывать на обрабатываемой поверхности продольные полосы. В качестве недостатков способа можно отметить повышенный шум и низкую производительность, как и в предыдущем случае.

В настоящее время для поверхностного упрочнения рессорных листов используют дробеструйную обработку. Наклеп поверхности выполняют бомбардированием струей стальной или чугунной дроби и шариков. В пневматических установках дробь подается сжатым воздухом, а в

механических лопастями быстро вращающейся турбины. Механические установки имеют большую производительность и постоянную скорость выбрасываемой дроби, их можно использовать на предприятиях, не имеющих компрессорных установок. Единственным недостатком этих установок является сравнительно сложная и дорогостоящая конструкция.

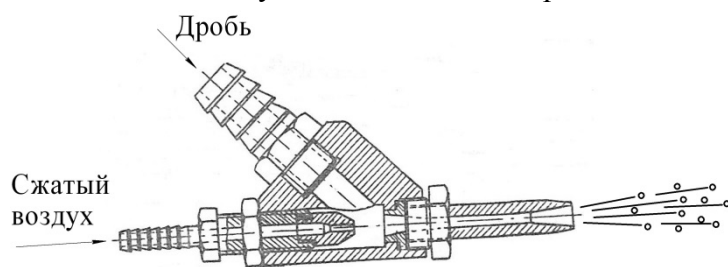


Рисунок 4 – Схема эжекторного сопла

Для пневматических установок характерна сравнительно простая конструкция и сжатый воздух к ним подается от центрального заводского воздухопровода. К недостаткам пневматических установок следует отнести их сравнительно небольшую производительность и значительные колебания скорости дроби (вследствие неравномерного давления в

воздухопроводах). Для подачи дроби используется эжекторное сопло (рисунок 4). Недостатками этого способа являются повышенный шум, создание проблем в области защиты окружающей среды, необходимость частой замены или очистки дроби, сложность регулирования параметров процесса.

На основании результатов анализа существующих схем и способов поверхностного упрочнения предложена схема упрочнения поверхности рессорных листов продольной прокаткой в профилированных валках на двухвалковом стане.

Предложенный процесс поверхностного упрочнения заключается в дробной деформации при прокатке с созданием в поверхностном слое рессоры, полученной в результате формообразования, деформированной структуры параллельных канавок периодического профиля (рисунок 5). Данный профиль выполняют на вогнутой стороне рессоры, так как она наиболее подвержена действию растягивающих напряжений, а во втором исполнении – на обеих сторонах. Чередующиеся канавки треугольного профиля с углом  $\alpha$  при вершине выступа и глубиной  $h$  впадины располагаются на поверхности с шагом  $t$  вдоль рессорного листа.

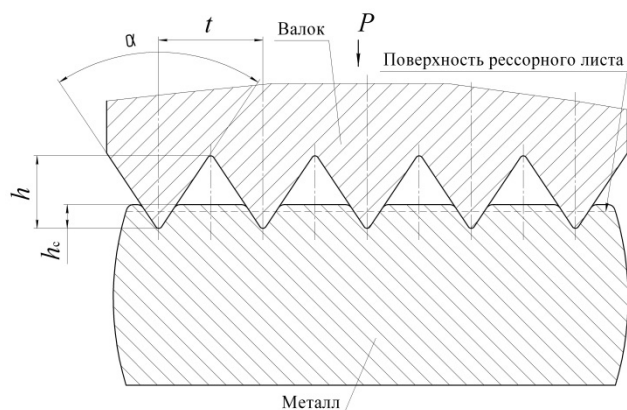


Рисунок 5 – Схема процесса деформирования

Канавки можно наносить на поверхности рессорного листа за один проход (рисунок 6, а), когда периодические впадины расположены в одном направлении и за два прохода (рисунок 6, б) с поворотом рессорного

листа на  $180^\circ$ , когда впадины перекрещиваются.

Направленная ориентация поверхностно-деформированных канавок образует полосчатую структуру (аналогично армирующим волокнам), которые обладают высокими механическими свойствами.

В результате такой обработки с плоских поверхностей рессорного листа удаляется окалина. Упрочненные канавки также являются препятствиями для лавинообразного распространения трещин по ширине рессорного листа. В случае образования поверхностной трещины, она локализуется между двумя соседними канавками, что увеличивает долговечность рессорного листа.

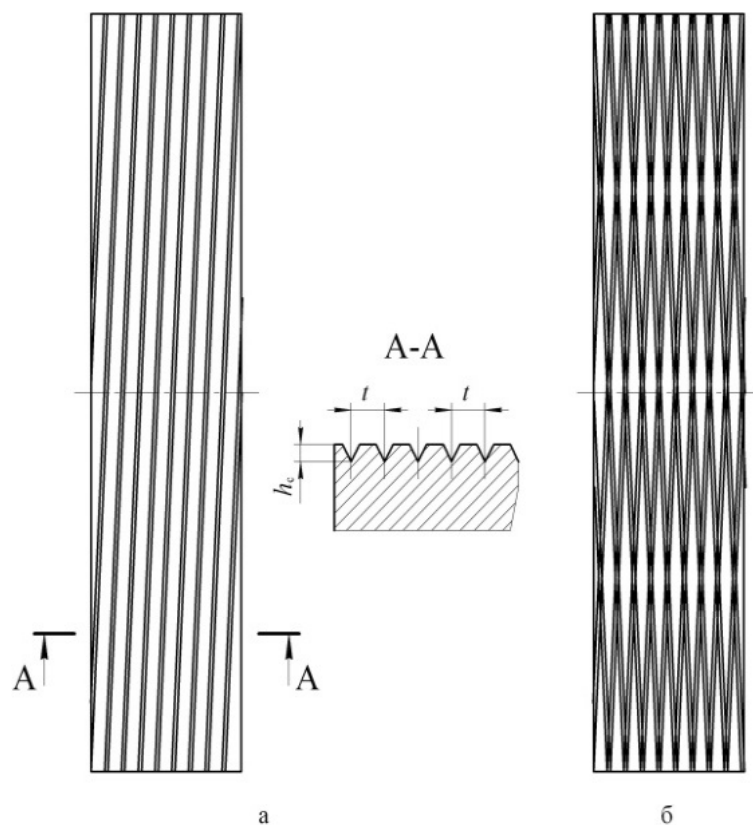


Рисунок 6 – Варианты нанесения рельефа на рессорные листы:  
а – за один проход; б – за два прохода

Существенным недостатком данного способа поверхностного упрочнения упругих элементов рессорных подвесок является повышенный износ обрабатывающего инструмента (профилированные валки), что связано с особенностями его конструкции и технологии изготовления. Данный вопрос в настоящее время на стадии теоретических и экспериментальных исследований.





# **Металлургические процессы**

**Метод конечных разностей для решения уравнения теплопроводности**

Студент гр.104210 Чепаченко Ю.И.

Научный руководитель – Трусова И.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В докладе сформулирован метод конечных разностей или метод (сетки) для уравнения теплопроводности.

Метод конечных разностей — широко известный и простейший метод интерполяции. Его суть заключается в замене дифференциальных коэффициентов уравнения на разностные коэффициенты, что позволяет свести решение дифференциального уравнения к решению его разностного аналога, то есть построить его конечно-разностную схему.

Существуют конечные разности 1-го, 2-го порядка и конечная разность порядка  $m$ .

Конечной разностью 1-го порядка называют разность между двумя соседними значениями  $f$  в узлах интерполяции, то есть

$$\Delta y_k = y_{k+1} - y_k = f(x_{k+1}) - f(x_k), \quad k = \overline{0, n-1}.$$

Конечной разностью 2-го порядка называют разность между двумя соседними конечными разностями 1-го порядка, то есть

$$\Delta^2 y_k = \Delta y_{k+1} - \Delta y_k = f(x_{k+2}) - 2f(x_{k+1}) + f(x_k), \quad k = \overline{0, n-2}.$$

Конечной разностью порядка  $m$  (для  $m \leq n$ ) называют разность между двумя соседними конечными разностями порядка  $m-1$ , то есть

$$\Delta^m y_k = \Delta^{m-1} y_{k+1} - \Delta^{m-1} y_k, \quad k = \overline{0, n-m}.$$

Погрешность. Действительные и конечно-разрядные числа

Представление действительных чисел в вычислительных машинах с фиксированной разрядной сеткой влечет появление инструментальной погрешности в обрабатываемых числах и результатах арифметических действий. Принятое при вводе преобразование исходных действительных чисел в нормализованную экспоненциальную форму и размещение их в ограниченной разрядной сетке ЭВМ с порядком и дробной частью (мантиссой) в общем случае вносит в этот операнд относительную инструментальную погрешность, величина которой не превышает.

Необходимо отметить, что данный метод позволяет свести решение дифференциального уравнения к решению его разностного аналога, то есть построить его конечно-разностную схему.

Студент гр. 104138 Кулинка С.С.

Научный руководитель – Трусова И.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В представленной работе рассмотрена одна из самых актуальных тем – энергосбережение, и в частности рекомендации по её обеспечению. Приведена также динамика энергоёмкости ВВП РБ. Рассмотрена концепция энергетической безопасности страны. Проанализирован энергобаланс страны тяжёлой промышленности и АПК РБ по отраслям.

Энергосбережение – реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное (рациональное) использование (и экономное расходование) топливно-энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии.

Основными направлениями энергосбережения в общем являются: экономия электрической энергии, экономия тепла, экономия воды, экономия газа, экономия моторного топлива и т.д. Наибольший эффект дают такие мероприятия как замена оборудования на более энергоэффективное.

Энергоэффективность – эффективное (рациональное) использование топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) – достижение экономически оправданных показателей использования ТЭР при существующем уровне развития техники и технологии и соблюдении требований к охране окружающей среды. Эффективное использование энергии (используют даже термин «пятый вид топлива») – заключается в использовании меньшего количества энергии, чтобы обеспечить тот же уровень энергетического обеспечения зданий или технологических процессов на производстве.

Проблемы энергосбережения наиболее остро стоят в следующих отраслях экономики – тяжёлая промышленность и Агропромышленный комплекс (АПК).

Топливо-энергетический баланс – это соотношение добычи разных видов топлива и выработанной энергии (приходная часть) и использования их в экономике страны (расходная часть). Прогнозные потребности в топливно-энергетических ресурсах (годовые и на отдаленную перспективу) определяются по всем направлениям их использования на основе удельных норм расхода на единицу продукции и объемов производства. Разные виды топлива обладают различной теплотворной способностью, поэтому баланс рассчитывается в условных единицах (тоннах условного топлива – т усл. т): 1 т нефти = 1,4 – 1,5 т усл. т; 1 т природного газа = 1,2 – 1,4; 1 т каменного угля = 1,0; 1 т торфа = 0,4 т усл. т.

Топливный баланс Беларуси претерпевает существенные изменения на рубеже столетий. Больше внимания уделяется эффективному использованию местных видов топлива. Изменяется структура расходной части топливного баланса: развитие энергосбережения и сокращение энергоёмких производств позволили уменьшить потребление отдельных видов топлива в ряде отраслей промышленности; низкие отпускные цены на сжиженный природный газ стимулировали его использование на автомобильном транспорте и в быту.

Природный газ и нефтетопливо (мазут) занимают доминирующее положение, особенно велик удельный вес природного газа. Политика искусственного сдерживания цен на газ, в отличие от цен на уголь, нефть и мазут, привела к тому, что в конце 90-х гг. XX в. газ стал дешевле угля в среднем в 1,5 – 2 раза и мазута — в 3,5 – 4 раза. В итоге рост потребления газа как наиболее дешевого вида топлива был экономически оправданным, и в топливном балансе страны его доля составила около 75 %.

Необходимо отметить, что в мировой экономике доля природного газа в структуре потребления первичных энергоресурсов не превышает 30 %, а критической считается доля одного вида энергоресурсов, если она достигает 40 % . В таких странах, как Франция, доля газа в топливном балансе составляет 13 % , в Германии – 21, в Канаде – 30 %. Учитывая мировые тенденции, а также необходимость обеспечения энергетической безопасности страны, считается нецелесообразным дальнейшее наращивание удельного веса природного газа в топливно-энергетическом балансе.

УДК 669.015

### **Мировые цены на металлизированные окатыши и горячбрикетированное железо**

Студент гр. 104138 Амельченя М.И.  
Научный руководитель – Трусова И.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В ходе своей научной работы я рассмотрел основные виды и способы получения металлизированных окатышей и горячбрикетированного железа. Целью своей работы я ставил изучение мировых цен на рынках сбыта и потребления окатышей и ГБЖ.

Научная работа посвящена описанию мировой и Российской продукции, относящейся к рынку черных металлов. Текущий спрос на DRI и HBI стабильно растет, невзирая на нестабильность цен, поставок и качества всех альтернативных видов сырья (железной руды, кокса и черного лома).

Применение технологий по производству железа прямого восстановления (или губчатого железа) в основном в виде металлизированных окатышей DRI (Direct Reduced Iron) и горячбрикетированного железа HBI (Hot Briquetted Iron) по-прежнему, как и несколько десятилетий назад, считается одним из самых перспективных направлений для эффективного развития мировой металлургии.

В работе рассматриваются основные характеристики рынка прямовосстановленного железа – Direct Reduction Iron (DRI), включая оценку объема производства, потребления и прогноз развития. Работа включает описание прогнозной модели и этапов развития рынка DRI, приводится структура рынка. Обзор содержит характеристику рынка DRI в условиях мирового финансового кризиса, а также основные данные по событиям в мировой железорудной отрасли.

Работа разбита по разделам: мировой и Российский рынки. В структуре описания каждого раздела есть данные по странам и компаниям, что включает в себя производство и потребление по основным странам и РФ. В каждом разделе также даны основные характеристики импорта и экспорта DRI, а также входящих в него сегментов.

Работа включает сравнительный анализ цен и запасов мировых рынков анализируемой продукции в динамике за несколько лет, рассмотрены также экспертные и статистические прогнозы.

Таким образом, на рынки прямовосстановленного железа чувствуется тенденция к еще большему расширению производства данного вида продукции, что дает нам в свою очередь войти в эту нишу мировой черной металлургии.

УДК 339.166:621

### **Конкурентоспособность продукции предприятия (на примере ОАО "МАЗ")**

Студент гр. 104138 Слижов Д.Ю.

Научный руководитель – Трусова И.А.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Успешное функционирование организации зависит, в конечном счете, от уровня конкурентоспособности продукции. А конкурентоспособность товаров - решающий фактор коммерческого успеха на конкурентном рынке. Это многоаспектное понятие, означающее соответствие товара условиям рынка, конкретным требованиям потребителей не только по своим качественным, техническим, экономическим, эстетическим характеристикам, но и по коммерческим и иным условиям его реализации: цена, сроки поставки, каналы сбыта, сервис, реклама.

В моей работе объектом исследования является ОАО «МАЗ». Предметом исследования является конкурентоспособность продукции ОАО «МАЗ». Целью работы является исследование конкурентоспособности продукции ОАО «МАЗ» с целью выработки мероприятий по её повышению. Основная продукция завода, которая будет учитываться в данной работе это: тяжелые грузовики, прицепы, спецтехника, автобусы.

В процессе работы проведены следующие исследования и разработки:

- рассмотрены теоретические аспекты конкурентоспособности товаров и методы ее оценки;
- проведена оценка конкурентоспособности продукции ОАО «МАЗ»;
- разработаны мероприятия по повышению конкурентоспособности продукции предприятия.

УДК 621.783

### **Использование рекуперативных и регенеративных горелок**

Студент гр.104138 Соболевский В.В.

Научный руководитель – Трусова И.А.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

В данной работе были рассмотрены рекуперативные и регенеративные горелки. Данные горелки были разработаны с целью непосредственного использования тепла дымовых газов для подогрева воздуха горения. Используются в нагревательных и термических печах.

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

Рекуперативные горелки позволяют сократить затраты на строительство печи, снизить удельный расход природного газа, уменьшить текущие затраты при эксплуатации печи. Эти горелки имеют высокоэффективный теплообменник - рекуператор из металла или керамики, в котором воздух, идущий на горение, нагревается до 750 °С. Коэффициент использования топлива достигает 85 %.

Также в данной работе были рассмотрены основные производители рекуперативных и регенеративных горелок, номенклатура выпускаемой продукции и их технические характеристики. К основным производителям рекуперативных горелок можно отнести Industrie Brenner System GmbH, Hotwork Combustion Technology Ltd., ООО "Волгатерм", WS Warmeprozestechnik GmbH, Научно-производительная компания «УРАЛТЕРМОКОМПЛЕКС» и другие. Основными производителями регенеративных горелок являются следующие компании: WS Warmeprozestechnik GmbH, IBS, ООО НПП "ПРОМТЕПЛОМАШ" (г. Днепропетровск), Hotwork Combustion Technology Ltd., Bloom engineering (EUROPA) GmbH и другие.

Технико-экономические показатели работы рекуперативных горелок были приведены на примере их использования на ОАО «Трубодеталь», г. Челябинск, производящем высококачественные фитинги для труб большого диаметра, а регенеративных – на примере применения на Самарском металлургическом заводе.

УДК 621.74:621.771.002.6

### **Строительство и эксплуатация литейно прокатных модулей**

Студент гр.104138 Яковлев Б.Л.  
Научный руководитель – Трусова И.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

С начала 90-х годов прошлого века в практику создания эффективных технологических систем по производству плоского проката прочно вошло понятие литейно-прокатный модуль (ЛПМ), в котором органично совмещается процесс непрерывной разливки стали на заготовку и ее последующая, без охлаждения, горячая прокатка. Это передельное предприятие сравнительно небольшой производительности.

Появление и быстрый рост числа ЛПМ обусловили следующие предпосылки:

1. Основное конкурентное преимущество мини-завода – гибкая, простая и компактная технология, реагирующая на потребности рынка и короткая производственная цепочка.
2. Низкие удельные капиталовложения и короткий строительный цикл.
3. Специализированный сортамент продукции, ориентированный на конкретного потребителя.
4. Высокая производительность труда при оптимизации производственных издержек.
5. Внедрение новых технологий, а также создание нового технологического оборудования.

В целом технологическая система на базе ЛПМ может быть представлена следующим образом: выплавка стали в плавильной печи (или конвертере) > доводка стали на установке комплексной обработки стали > (вакуумирование стали в ковше) > разливка стали на сляб > индукционный подогрев 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.

Лидером в создании ЛПМ (по объему разработок и количеству реализованных агрегатов) является фирма «SMS-Demag» (Германия). Собственную концепцию ЛПМ разработала фирма «Mannesmann Demag» и дала ей название ISP (Inline Strip Production).

Глубокие научные и конструкторские разработки в этой области выполнены итальянской фирмой "Danieli". Фирма "Siemens-VAI" также рассматривает создание ЛПМ как перспективное направление.

Необходимость использования в ЛПМ нагревательных средств обусловлена тем, что тепловое состояние заготовки, формирующейся естественным путем, не пригодно для прокатки из-за недостаточного общего теплосодержания и высокой неоднородности (температурный градиент в продольном и поперечном сечении и на углах заготовки).

Нагревательные средства в ЛПМ выполняют следующие функции:

- увеличение теплосодержания металла до уровня, требуемого для прокатки;
- выравнивание температурного поля по сечению заготовки;
- предотвращение потерь тепла металлом при его движении и задержках;
- создание буферного участка для согласования во времени работы МНЛЗ и прокатного стана, в том числе и в случае нарушения технологического процесса на участке прокатный стан-моталки.

В настоящее время наибольшее распространение в составе литейно-прокатных комплексов получили непрерывные мелкосортные станы продольной прокатки, поскольку данный тип прокатного оборудования обеспечивает широкий диапазон, как производительности, так и сортамента проката, а также позволяет достичь высокого уровня автоматизации процесса.

УДК 669.187.56

### **Производство титана**

Студент гр. 104138 Меркулов В.Г.  
Научный руководитель – Трусова И.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Титан в последние годы в технике находит все большее применение. Главное преимущество титана и его сплавов перед другими конструкционными материалами заключается в сочетании высоких механических свойств и коррозионной стойкости с малым удельным весом по сравнению с железными и другими сплавами.

Кроме того, титан и титановые сплавы имеют специфические свойства, которые крайне необходимы для ряда отраслей промышленности. Они обладают достаточно высокими механическими свойствами в условиях как повышенных температур 500 – 550 °С, так и низких; они имеют малый коэффициент линейного расширения, немагнитны и т. п.

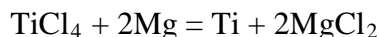
Благодаря этому титан и его сплавы применяют в ракетной технике, в судостроении, химическом машиностроении, пищевой и других отраслях промышленности.

Производство титана представляет большие трудности в связи с тем, что он обладает высокой химической активностью при высоких температурах и требует создания для плавки среды инертных газов или вакуума.

Титан – один из распространенных элементов, среднее содержание его в земной коре (кларк) составляет 0,57 % по массе (среди конструкционных металлов по распространенности занимает 4-е место, уступая железу, алюминию и магнию). Больше всего титана в основных породах так называемых "базальтовой оболочки" (0,9 %), меньше в породах "гранитной оболочки" (0,23 %) и еще меньше в ультраосновных породах (0,03 %) и др. К горным породам, обогащенным титаном, относятся пегматиты основных пород, щелочные породы, сиениты и связанные с ними пегматиты и другие. Известно 67 минералов титан, в основном магматического происхождения; важнейшие - рутил и ильменит.



Наиболее распространенным методом получения металлического титана является магниетермический метод, то есть восстановление тетрахлорида титана металлическим магнием (реже – натрием):



В обоих случаях исходным сырьем служат оксидные руды титана - рутил, ильменит и другие. В случае руд типа ильменитов титан в форме шлака отделяется от железа путем плавки в электропечах. Шлак (так же, как рутил) подвергают хлорированию в присутствии углерода с образованием тетрахлорида титана, который после очистки поступает в восстановительный реактор с нейтральной атмосферой.

Титан по этому процессу получается в губчатом виде и после измельчения переплавляется в вакуумных дуговых печах на слитки с введением легирующих добавок, если требуется получить сплав. Магниетермический метод позволяет создать крупное промышленное производство титана с замкнутым технологическим циклом, так как образующийся при восстановлении побочный продукт - хлорид магния направляется на электролиз для получения магния и хлора.

В ряде случаев для производства изделий из титана и его сплавов выгодно применять методы порошковой металлургии. Для получения особо тонких порошков (например, для радиоэлектроники) можно использовать восстановление оксида титана (IV) гидридом кальция.

Плавка титана ведется в электрических высокочастотных или в электродуговых печах. Электродуговые печи находят большое применение и разделяются на два типа с постоянным водоохлаждаемым вольфрамовым электродом или с расходуемым прессованным электродом из титановой губки.

В электропечи с постоянным вольфрамовым электродом охлаждаемый тигель постепенно наплавляется титаном, потом из него извлекают слиток. Форма слитка соответствует форме тигля. В электропечи с высокочастотным нагревом наплавляют тигель титаном и поддерживают его в жидком состоянии за счет высокочастотного обогрева. Когда емкость графитового тигля заполнена внизу, расплавляется пробка и титан заполняет изложницу. Форму слитка можно получить любую. Таким образом из титана или его сплава можно также получать и литые фасонные детали.

УДК 669.184

### **Анализ цен на футеровочные материалы в металлургическом производстве**

Студентка гр. 104138 Архипова Е.Е.

Научный руководитель – Трусова И.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью научно-исследовательской работы является нахождение наиболее выгодного и менее энергетически затратного вида футеровки для металлургического производства, а также анализ цен на эти материалы.

В современных технологических процессах металлургии роль высокотемпературных футеровок различных тепловых агрегатов, выполненных из огнеупорных материалов, исключительно важна. Удельный объем мирового потребления огнеупорных материалов в металлургии, в последние десятилетия, как показывает анализ, находится в пределах от 50 до 70 % и этот уровень потребления, по всей видимости, сохранится и впредь.

Тем не менее, в настоящее время разработано достаточное количество высокоэффективных, малоинерционных огнеупорных и теплоизоляционных материалов, способных обеспечить надежную долговечную работу при максимальной температуре длительного применения. Волокнистые материалы – один из наиболее перспективных их видов.

Срок окупаемости проектов по применению волокнистых огнеупорных и теплоизоляционных материалов для футеровки промышленных печей периодического действия составляет до 6 месяцев (для печей, работающих непрерывно: 1 – 1,5 года).

Значительные преимущества волокнистой футеровки:

Сочетает в себе свойства огнеупора и изоляции;

Не уступает по теплотехническим характеристикам традиционным шамотным огнеупорам;

Сокращает расходы топлива на единицу продукции до 20 %;

Уменьшает вес и толщину футеровки;

Сокращает продолжительность времени выхода печей на рабочий режим в 1,5 – 2 раза (время разогрева);

Снижает затраты на топливо и электроэнергию;

Простота монтажа, снижает трудоемкость монтажа футеровки в несколько раз;

Повышает производительность работы печей на 20 – 25 %;

Экономия энергетических затрат в 1,5 – 2 раза.

УДК 658.562

### **Вторичные материальные ресурсы Республики Беларусь**

Студент гр. 104138 Кравченко В.М.

Научный руководитель – Трусова И.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Обеспеченность ресурсами – это предпосылка устойчивого развития экономики и качества жизни нынешних и будущих поколений. Экстенсивный рост потребления ресурсов (многие из которых являются невозпроизводимыми) привел к определённой сырьевой зависимости экономики многих субъектов Беларуси, и к обострению экологических проблем, связанных с воздействием на окружающую среду при добычи сырья, производстве продукции и конечной утилизации отходов производства и потребления. Невысокая обеспеченность Беларуси природными богатствами стимулирует к вовлечению в использование вторичных и некондиционных ресурсов. Становление Беларуси, как технологически развитой державы, интеграция в мировую экономику окажутся невозможными в условиях современного правового и экономического пространства без способов эффективного и экологически обоснованного использования природных и техногенных ресурсов. Эта задача может быть решена за счет создания замкнутых малоотходных циклов, а так же путем стимулирования и технического обеспечения комплексного использования вторичных ресурсов, образующихся в процессах производства и потребления. На сегодняшний день совершенствование системы обращения с отходами признается одной из главных проблем в области охраны окружающей среды. Развитые европейские страны всерьез озадачились вопросом вовлечения в оборот вторичных материальных ресурсов около двух десятков лет назад. В Беларуси этот процесс активизировался фактически в последние 5 – 6 лет, и говорить о существенных результатах еще рано. Однако на сегодняшний день в республике собирают и перерабатывают все основные виды вторсырья, причем с положительной динамикой.

В работе проанализирован объем образования вторичных ресурсов в Беларуси, дана их классификация и показаны существующие технологии переработки вторичного сырья.

УДК 669.15-198

### **Динамика мировых цен на ферросплавы**

Студентка гр. 104138 Ревенько Д.Л.  
Научный руководитель – Трусова И.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью исследования является описание ситуации на мировом рынке ферросплавов, представление актуальной информации об объемах производства экспорта, импорта, потребления и конъюнктуре рынка ферросплавов, а также произошедших изменениях в последние годы,

Исследование мировых цен на ферросплавы позволит Вам:

1. Выявить основные показатели рынка ферросплавов, построить прогнозы развития собственного бизнеса на основе представленной конъюнктуры рынка.
2. Оценить потенциал роста и угрозы на рынке.

Цены производителей достигли нижнего предела еще в декабре 2011 г., но изменений пока не заметно

Резкое сокращение производства ферросилиция, начавшееся в ноябре 2011 г. (на 80 % к октябрю), продолжается до сих пор во Внутренней Монголии, Нинся и Цинхае. Крупные производители старались разгрузить излишки на складах и получить наличные деньги до новогодних праздников в КНР, для чего оставляли экспортные цены на низком уровне в \$1400/т (CIF) и даже меньше. Пока сложно сказать, в каком направлении изменится ситуация после праздников.

На рынке силикомарганца, достигшего нижнего предела в декабре 2011 г., пока не заметно изменений. Индийские поставщики сплава сталкиваются с трудностями, ослабший курс евро с конца декабря требует пересмотра цен на экспорт в Европу. Укрепление курса рупии привело к удорожанию предложений на поставки в Японию до \$1030 – 1040/т (CIF), но никаких фактических сделок заключено не было, поскольку спрос по-прежнему слаб.

Восстановление цен на передельный хром в Китае в декабре изменило атмосферу на рынке. Все большее количество участников рынка прогнозирует рост цен во втором квартале на 10-15 центов за фунт хрома (текущий уровень \$1,17 – 1,23 за фунт хрома). Низкоуглеродистый феррохром остается на уровне \$2,05 – 2,08 за фунт хрома.

Рынок металлического марганца с конца декабря остается слабым. Цены для Японии упали на \$100 до \$3100 – 3200/т (CIF), но никаких сделок даже по сниженным ценам не отмечалось. Впрочем, нынешний уровень цен невыгоден для производителей, но вскоре рынок может немного восстановиться.

Металлический кремний предлагается для Японии по цене чуть ниже \$2400/т. Оксид молибдена держится на уровне \$13,65 – 13,9 за фунт металла. Ферромolibден предлагается по \$32,5 – 32,9 за кг молибдена, а феррованадий – по \$22,8 – 23,3 за кг металла.

**Нормирование расхода топлива в промышленных печах**

Студент гр. 104138 Понетовский Е.С.  
Научный руководитель – Менделев Д.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Расход топлива в промышленных печах является величиной, которая регламентируется специальными нормативно-техническими документами. Большинство из этих документов утверждено еще до 90-х годов XX века, но они актуальны и в настоящее время.

Металлургия и литейное производство являются одними из самых энергоемких отраслей промышленности. Повышение эффективности работы оборудования, использование вторичных энергоресурсов – важнейшие вопросы развития данной отрасли. Плавка – наиболее энергоемкий процесс. Сокращение удельных энергозатрат на плавку металлов становится все более серьезной задачей. Так как цены на энергоносители постоянно растут, то даже небольшое превышение нормативов на расход топлива приведет к значительному увеличению издержек предприятия. Поэтому соблюдение установленных норм должно жестко контролироваться. Данная тема очень актуальна для Республики Беларусь, так как в нашей стране нет собственных значительных запасов газа и нефти. Это значит, что перерасход энергоносителей в промышленности негативно скажется на экономической ситуации в стране в целом.

В докладе рассмотрены нормативные документы, устанавливающие пределы расхода электрической энергии и газа для различных нагревательных и плавильных промышленных печей. После анализа имеющейся информации были приведены специальные формулы и построены таблицы, в которых показана зависимость расхода топлива от номинальной емкости и типа печи. Для печей с емкостями, отличающимися от указанных в таблицах, допустима линейная интерполяция. Также указан перечень условий и требований, соблюдение которых необходимо для определения действительных затрат энергии с целью их дальнейшего сопоставления с нормативами. Для наглядности был произведен пересчет расхода электрической энергии и газа различных печей в одинаковые единицы измерения – тонны условного топлива.

Но стоит учитывать, что в настоящее время внедряются новейшие разработки горелок и футеровки промышленных печей, что влечет за собой уменьшение расхода топлива и в ближайшем будущем может привести к надобности создания современных стандартов, которые будут не только нормировать определенные показатели, но и являться стимулом, как для модернизации существующего производства, так и для проведения действенной энергосберегающей политики, что в свою очередь позволит снизить себестоимость отечественной металлургической продукции и повысить ее конкурентоспособность на международных рынках.

## **Мировой опыт строительства металлургических мини-заводов**

Студент гр. 104138 Садовский А.В.  
Научный руководитель – Румянцева Г.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В данной исследовательской работе я изучал мировой опыт строительства металлургических заводов малого профиля. Из полученного мной материала я сделал вывод, что строительство мини-заводов намного выгоднее и перспективнее, чем гигантов металлургической индустрии.

Появлению мини-заводов способствовало несколько причин. Во-первых, резкий рост спроса на сталь (прежде всего со стороны автомобильных концернов) и продукты ее передела. Если в 1950 году в мире выплавлялось чуть более 200 млн. т. стали, то в 1970 году – уже 600 млн. т. Второй фактор, увеличение количества предприятий неполного металлургического цикла (работающих на ломе). Третий фактор – стали получать все более широкое распространение электрические способы производства стали, в отличие от мартеновского и кислородно-конвертерного, более экономичные и экологически чистые.

На мини-заводе трудится от 50 до 5 тыс. рабочих, в то время как гигант советской индустрии Череповецкий меткомбинат в лучшие годы давал работу 60 тыс. человек.

Электрические способы производства стали лучше других приспособлены под переработку лома. А значит, производителю совсем не обязательно подчиняться тарифам, которые диктуют владельцы железорудных месторождений. Достаточно просто иметь лом.

Подобные заводы перед предприятиями полного металлургического цикла имеют ряд преимуществ. Во-первых, удобное месторасположение: все заводы строятся рядом с крупными потребителями стальной продукции и рядом с надежными источниками сырья. Это дает серьезную экономию на транспортных расходах. Во-вторых, многие мини-заводы работают на ломе, а это сырье примерно в полтора раза дешевле железорудного концентрата.

Лидером в области возведения мини-заводов, понятно, стала самая автомобильная нация - Соединенные Штаты (уже к 1970 году в США насчитывалось более тысячи металлургических мини-заводов), а в СНГ эта отрасль активно развивается лишь в настоящее время.

Строительство мини-заводов гораздо экономичнее строительства предприятий с полным металлургическим циклом. Кроме этого мини-заводы являются более экологически чистыми, что и делает их гораздо перспективнее.

## **Мировые тенденции по использованию вторичных энергоресурсов в металлургии**

Студент гр. 104138 Савченко А.И.  
Научный руководитель – Румянцева Г.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Современная металлургия базируется на использовании: горючих ископаемых (уголь, нефть, природный газ), электроэнергии (источниками которой являются нефть, уголь и природный газ) и кислорода (производство которого связано со значительными расходами электроэнергии).

В настоящем докладе произведен аналитический обзор использования и областей применения вторичных энергоресурсов, к которым обычно относят нагретые до высоких температур отходящие газы металлургических агрегатов.

Произведенные исследования показали, что на современных металлургических предприятиях теплоту отходящих газов используют в различных целях. Так, использование теплоты отходящих газов при работе дуговых сталеплавильных печей обеспечивает стабильную температуру газов на входе в аппараты газоочистки, а следовательно, эффективную их работу и соблюдение экологических требований. Отходящие газы доменных печей (доменный газ) является горючим газом и используется в качестве топлива для нагрева кауперов (воздухонагревателей), в мартеновских и коксовых печах, в котельных; возможно использование доменного газа и в газовых турбинах. В нагревательных печах теплота отходящих газов используется для подогрева газа и воздуха, поступающих в печь, что повышает экономичность работы и уменьшает расход топлива этих печей.

В нашей стране и во многих промышленно развитых странах немаловажную роль играет эффективное использование вторичных энергоресурсов. Это в значительной мере повышает эффективность работы и производительность металлургических агрегатов, а также повышает экономичность топлива, которое необходимо для их функционирования.

УДК 679.073

### **Производство металлокорда**

Студент гр. 104138 Сорокин К.Б.  
Научный руководитель – Ратников П.Э.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

С каждым годом в мире увеличивается потребление металлокорда. Постоянный рост потребления металлокорда обуславливается удачным сочетанием его эксплуатационных характеристик. Металлокорд – один из самых прочных промышленно используемых материалов. Хотя металлокорд уступает по удельной прочности арамидам, стеклокорду, поликапрамиду, но его высокая прочность, жесткость и сопротивление сжатию позволяет уменьшать число слоев, закладываемых в шину, и, тем самым, снижать вес самой шины.

В ходе своей научной работы я рассмотрел технологию производства металлокорда, а также привел примеры наиболее крупных мировых предприятий по производству металлокорда. Самым крупным из них является Bekaert Group (Бельгия). По мнению руководства компании, Bekaert контролирует 38% мирового рынка металлокорда. Компания имеет заводы в Европе, Северной и Южной Америке, Азии и Австралии. Крупными производителями металлокорда также являются Amercord Inc. (США), TrefilArbed Kiswire (Люксембург\Корея), Hyosung (Корея), Pirelli (Италия), Sodetal (Франция), БМЗ (Беларусь) и др.

В докладе особое внимание уделит производству металлокорда на РУП «БМЗ». С момента строительства и ввода в эксплуатацию первого комплекса в 1984 году предприятие стало одним из крупнейших производителей металлокорда в Европе. Численность персонала на конец 2009 года около 12 000 человек, из которых около 4 000 человек занято в метизном производстве. С каждым годом предприятие наращивает выпуск своей продукции. По итогам проведенного в марте аудита Белорусский металлургический завод признан лучшим поставщиком металлокорда и бортовой проволоки компании Michelin в 2009 году. В 2009 году компания Michelin закупила у БМЗ свыше 11 тыс. тонн металлокорда и более 4 тыс. тонн проволоки для бортовых колец, став вторым по объемам закупок потребителем данных видов продукции белорусского производителя.

В связи с ежегодным увеличением потребления металлокорда, стратегическими задачами развития РУП «БМЗ» являются: выпуск высокотехнологичной конкурентоспособной продукции; обновление и расширение ассортимента выпускаемой продукции; расширение существующих и выход на новые сегменты рынка метизной продукции; осуществление поэтапной модернизации и реконструкции путем внедрения прогрессивных технологий и оборудования; развитие новых высокотехнологичных видов продукции глубокого передела с высоким уровнем добавленной стоимости с необходимостью повышения конкурентоспособности.

УДК 621.763

### **Сравнительный анализ свойств металлов и композиционных материалов**

Студент гр. 104138 Сенюк А.В.

Научный руководитель – Ратников П.Э.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В ходе своей научной работы я рассмотрел основные виды, способы получения и свойства некоторых композиционных материалов. Так же я рассказал о металлических сплавах и описал получение, свойства и особенности основных сплавов. Целью моей работы является проведение анализа свойств металлических сплавов и композиционных материалов.

Освоение и разработка композиционных материалов на современном этапе проходит бурными темпами. Композиционный материал – конструкционный материал, в котором имеются усиливающие его элементы в виде нитей, волокон или хлопьев более прочного материала, то есть имеется матричный и армирующий материал. При помощи определенных комбинаций материалов можно достичь того что необходимые свойства матричного материала будут еще больше усиливаться а недостатки нивелироваться. Существует два основных пути получения композиционных материалов - усиленные либо волокнами, либо диспергированными твердыми частицами. Благодаря этому разработано большое количество композиционных материалов, например: углепластик, стеклопластик, керамика, композиционные материалы на основе металлов и т. д. Приведена подробная их классификация, а так же основные структурные составляющие. Благодаря своим разнообразным физико-химическим свойствам, композиционные материалы используются во многих областях промышленности, таких как автомобилестроение, авиастроение, строительство, космонавтика и многое другое.

Сплав образуется сплавлением 2-ух или более металлов и других различных добавок. Существует большое количество различных металлических сплавов с различными свойствами. Основными сплавами являются: сталь, чугун, медные, алюминиевые сплавы.

Анализируя основные физико-химические свойства композиционных материалов на основе алюминиевой матрицы и алюминиевых сплавов, можно сделать вывод, что добавление волокон С, В, SiC, B·SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в 3 – 5 раз увеличивает временное сопротивление, в 3 – 4 раза модуль упругости. Такой же эффект наблюдается при усилении матриц Ti и Mg различными волокнами.

Таким образом, на современном этапе существуют композиционные материалы, которые значительно превосходят по своим физико-химическим свойствам металлические сплавы.

Студент гр. 104139 Волошко П.В.  
Научный руководитель – Ратников П.Э.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Вакуумные технологии нашли самое широкое применение в современной металлургии. Это не случайно, потому что обработка материала в вакууме позволяет достичь высокой эффективности и степени чистоты процесса плавления металла.

Область применения вакуумных технологий. Вакуумная плавка позволяет сегодня создавать такие материалы, которые невозможно получать никаким другим способом, а также осуществлять самые совершенные процессы в металлургии. Например, в вакууме можно производить дегазацию стали, вакуумную переплавку, внепечную обработку и высокоточное литьё.

Вакуумная переплавка. Этот процесс востребован во «вторичной металлургии», когда необходимо рафинирование металлов или нужно получить особый химический состав. Вакуумные технологии просто незаменимы в производстве специальных сплавов, в составе которых есть компоненты инертные и высоко окисляемые. Безвоздушная среда позволяет решить эти проблемы и получить уникальные по составу и свойствам сплавы, которые затем применяются в космической, авиационной и автомобильной промышленности.

Высокоточное литьё. Современные вакуумные печи позволяют отливать заготовки не только идеальной формы, но и самого высококачественного состава. Особенно актуально применение подобного оборудования при работе с редкими и драгоценными металлами, т.к. эффективность их обработки с лихвой окупается стоимостью самого оборудования.

Дегазация стали. Вакуумное оборудование позволяет эффективно осуществлять дегазацию расплава и получать очень точный состав сплава, а значит, и придавать ему нужные свойства.

Как правило, для прецизионных процессов используются печи с индукционным нагревом, т.к. такая вакуумная плавка имеет свои преимущества:

- возможна длительная выдержка жидкого металла в условиях глубокого вакуума;
- степень дегазации металла очень высока;
- в процессе плавки не только возможна дозагрузка печи, но и регулировка интенсивности процессов рафинирования и раскисления;
- возможен контроль и изменение состояния расплава в течение процесса плавки по температурным характеристикам и химическому составу;
- достигается особая степень чистоты отливок, т.к. присутствие неметаллических компонентов исключено;
- высокая однородность расплава, которая достигается благодаря перемешиванию металла в процессе обработки;
- к применению допускается сырьё любой формы;
- возможен быстрый нагрев, что позволяет достичь высокой скорости плавки и повысить производительность;
- процесс плавки экологически чист и обладает высокой экономичностью.

Внепечная обработка. Этот процесс позволяет повысить качество металла после его обработки в вакууме.

В результате внепечной обработки получают металлы и сплавы с минимальным количеством ненужных примесей, что отражается на их свойствах.

Область применения вакуумных технологий с каждым днём расширяется. Помимо всего вышеперечисленного, с их помощью можно получать высоколегированные и



жаропрочные стали, прецизионные сплавы, редкоземельные металлы, материалы с мелкозернистой структурой разной направленности.

Таким образом, актуальность и полезность подобного оборудования невозможно переоценить, т.к. сфера применения полученных материалов практически неограниченна: от авиакосмической промышленности до медицины.

**Порошковые  
и композиционные  
материалы, покрытия  
и сварка**

**Методики и оборудование для исследования структуры и свойств  
порошковых алюминиевых материалов**

Студентки гр.104617 Рахманько Е.Б., гр.104619 Колодинская Н.С.  
Научные руководители – Тарусов И.Н., Керженцева Л.Ф.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Малая плотность, достаточная механическая прочность, высокая электропроводность и коррозионная стойкость обуславливают широкое применение алюминия в различных областях современной техники.

Одним из эффективных методов создания новых алюминиевых материалов и изготовления из них изделий является порошковая металлургия. Методы порошковой металлургии позволяют сократить энергетические и трудовые затраты, снизить отходы сырья и автоматизировать производство изделий. Несмотря на преимущества, порошковая металлургия алюминия не получила широкого применения в мире. Причиной этого является наличие тугоплавкой, трудно восстанавливаемой оксидной пленки на поверхности части порошка алюминия и сплавов на его основе, которая препятствует процессу консолидации частиц и образованию прочных металлических связей между ними при спекании. Для образования жидкой фазы, разрушения оксидных пленок и повышения прочности в порошок алюминия вводят порошки меди и магния.

Целью настоящей работы является исследование процесса спекания, структуры и свойств порошкового алюминиевого материала, содержащего медь и магний.

В качестве исходных материалов для проведения исследований использовали порошок алюминиевый марки ПА-4. Для образования жидкой фазы, активации процесса спекания порошков алюминия и формирования на их основе материалов с повышенными механическими свойствами использовали порошок медный ПМС-1 в количестве 4 вес. % и порошок магниевый МПФ-4 в количестве 1 вес.%. Приготовление шихты осуществлялось смешиванием порошков в четырех баночном смесителе без использования шаров в течение 1,5 часов.

Для прессования порошков использовались стальные пресс-формы. Плотность брикетов  $\gamma_6$  (г/см<sup>3</sup>) после прессования при заданном давлении и спекания определяли расчетным методом. Спекание осуществляли в вакууме с остаточным давлением воздуха в камере спекания  $2 \times 10^{-3}$  Па при температурах 580 °С и 590 °С в течение 30 минут. Испытание на растяжение проводили на испытательной машине “Instron-1195”. Твердость материалов определяли методом Бринелля. Микроструктуру материалов исследовали методами оптической и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). В нашей работе для изолирования прессовок использовалась углеродная ткань “УРАЛ” Т-1

Проведенные исследования показали, что на особенности спекания алюминиевых смесей существенное влияние оказывают плотность прессовок, температура и время спекания. На рисунке 1 приведены зависимости плотности спеченных прессовок из смесей порошков алюминия, меди и магния от температур спекания в вакууме и их исходной плотности.

Температура спекания чистого алюминия составляет 630 °С. Добавки в порошок алюминия 4 % меди и 1 % магния снижают оптимальную температуру спекания до 580 °С, при которой прессовки с плотностью 80 – 90 % после спекания имеют максимальную плотность. Надо отметить, что с повышением плотности исходных (не спеченных) прессовок объем пор в материале уменьшается. Поэтому прессовки с меньшей исходной плотностью дают большую усадку при спекании, чем высокоплотные, что приводит к большим изменениям их размеров и плотности после спекания. Они имеют порог максимальной

плотности исходных прессовок, после которого при спекании происходит их рост и образование газовых пузырей в материале, что недопустимо. Это выражается в виде перегибов на кривых. Плотность прессовок, спекаемых при температуре 590 °С не должна превышать 90 %.

При изучении фрактограмм изломов установлено, что разрушение спеченных материалов идет по границам зерен (рисунок 2). Поэтому существенную роль в формировании свойств спеченных алюминиевых материалов играет пористость, содержание и распределение легирующих элементов, размер зерен и протяженность их границ.

Несколько по иному изменяются свойства спеченного материала от величины содержащейся в них пористости. Зависимости прочности и твердости, относительного удлинения и электрического сопротивления спеченных материалов от их относительной плотности будут иметь параболический характер. Как показали наши исследования, прочность и твердость исследуемых спеченных материалов возрастают с увеличением плотности. Причем основной рост механических свойств достигается при увеличении плотности от 80 % до 90 %. Изменение плотности от 90% до 95% в меньшей степени изменяет свойства спеченного материала.

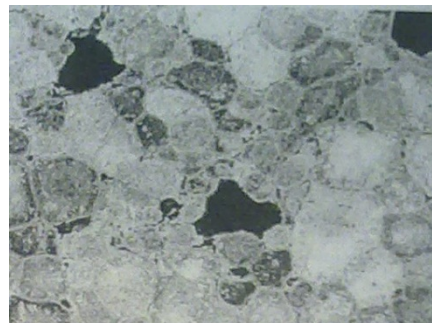
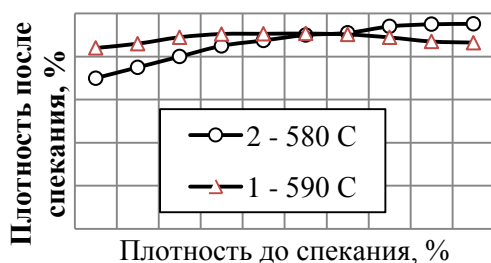


Рисунок 1 – Зависимости плотности спеченных прессовок из материала Al-4%Cu-1%Mg от температур спекания и их плотности до спекания. Микроструктура спеченного при оптимальных температурах порошкового алюминиевого материала × 200

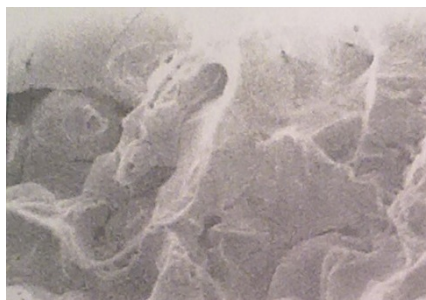


Рисунок 2 – Фрактограмма излома спеченного порошкового алюминиевого материала Al-4%Cu-1%Mg после спекания ×700

## Разработать технологию изготовления синхронизирующих колец коробки передач из низколегированной порошковой стали

Студент гр. 104617 Жариков Е.В.  
 Научный руководитель – Керженцева Л.Ф.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Материалы, получаемые методами порошковой металлургии, заняли прочное место в современном машиностроении, автотракторной и сельхозтехнике, электронике, строительстве и других отраслях промышленности.

Наиболее широкое распространение получили порошковые углеродистые и легированные стали, получаемые прессованием и спеканием смесей порошков железа и легирующих добавок или легированных порошков. Стандартный метод холодного прессования не позволяет получать высокие механические свойства из-за низкой плотности изделий, а применяемые в практике режимы спекания являются энергоемкими из-за высоких температур и длительных выдержек. Перспективным методом повышения плотности является теплое прессование, а снижения температуры спекания - активации процессов, происходящих при спекании.

В работе изучали свойства порошковых смесей Densmix на основе диффузионно-легированных порошков следующих составов: Distaloy AE + 0,6 % C + 0,6 % DN120, смазки для прессования легированных порошков на основе железа, которую можно использовать как при теплом, так и при холодном прессовании.

Порошок Densmix на основе порошка Distaloy AE + 0,6 % графита и 0,6 % пластификатора DN 120 имеет следующий химический состав: железо – основа; молибден – 0,5 %; никель – 4 %; медь – 1,5 %; графит – 0,6 %.

Анализ экспериментальных кривых уплотнения показывает, что использование теплового прессования, в сравнении с холодным, позволяет получить на 2 – 5 % более плотные прессовки.

Лучшей прессуемостью обладает смесь на основе порошка Distaloy AE, худшей – на основе порошка железа. Анализ показал, что повышение температуры свыше 130 °С не приводит к значительному повышению плотности, поэтому в обычной практике прессования можно использовать температуры 125 – 130 °С. Повышение давления свыше 650 – 700 МПа при прессовании нецелесообразно из-за небольшого прироста плотности и повышенных нагрузок на прессующий инструмент.

Маркировка	Состав порошковой смеси	Теоретическая плотность компакта $\rho_T$ , г/см <sup>3</sup>
Fe	Fe + 0,8 % стеарата цинка	7,43
Distaloy AE	Distaloy AE (1,5 % Cu, 4 % Ni, 0,5 % Mo) + + 0,6 % углерода + 0,6 % смазки DN120	7,47



Рисунок 1 – Порошковые заготовки детали «Кольцо блокировочное» синхронизатора коробки передач трактора «Беларус»

Блокировочное кольцо из порошковых сталей обладает твердостью HB 180 – 210 в нетермообработанном состоянии, 42 – 47 HRC - после термообработки, микротвердость специального покрытия 290 – 330 кгс/мм<sup>2</sup>, коэффициент трения пары молибденовое покрытие-сталь: 0,09 – 0,1.

УДК 621.762.8

### **Исследование влияния добавок высокомолекулярных соединений на структуру и свойства порошкового железа**

Студент гр.104618 Сманцер Р.В.  
Научные руководители – Дьячкова Л.Н., Керженцева Л.Ф.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью работы явилось исследование влияния введения высокомолекулярных соединений в порошковые материалы на основе железа на структуру и свойства спеченного железа.

Для выполнения поставленной цели решались следующие задачи:

- исследовать влияние вида и содержания добавки на прессуемость железа,
- исследовать влияние вида высокомолекулярного соединения на объемные изменения железа при спекании,
- исследовать влияние введения добавок высокомолекулярных соединений на структуру спеченного железа.

Структура и свойства порошковых углеродистых сталей зависят от степени однородности структуры, формирующейся при спекании, т.е. протекания диффузионных процессов, которые определяются структурным состоянием и дисперсностью частиц железа и углеродсодержащей добавки, соотношением взаимодействующих компонентов, степенью окисленности железного порошка, режимами спекания, характером атмосферы. Изменяя указанные факторы, можно получать разнообразное сочетание структурных составляющих [1]. Большую роль в процессах структурообразования порошковых углеродистых сталей

играет активность углеродсодержащей добавки, в качестве которой используется графита различных марок, сажа, чугун. Наиболее распространенным является использование графитового порошка. Скорость и степень растворения графита возрастают с повышением его дисперсности и активности. Активирование диффузионных процессов при спекании порошковых углеродистых сталей возможно также за счет введения углерода в виде активной углеродсодержащей добавки, либо введения добавок, вызывающих реакции окисления – восстановления, в результате которых образуется атомарный углерод, активно диффундирующий в железную основу.

В работе в качестве углеродсодержащих добавок использовали высокомолекулярные соединения марок полидиэтиленгликольадипинат; полипропиленгликольадипинат, полипропиленгликольсукцинат; полипропиленгликольсебацинат.

Исследование прессуемости железа с углеродсодержащими добавками выполняли на образцах диаметром 10 мм при давлении прессования 200, 400, 600, 800 МПа. Спекание производили в проходной печи в атмосфере эндогаза при температуре 900, 1100 °С.

Исследование прессуемости железной шихты с добавками высокомолекулярных соединений показало (рисунок 1), что вводимые соединения при всех давлениях прессования позволяют получить значительно большую плотность, чем стандартная добавка стеарата цинка.

Так, при давлении прессования 200 МПа плотность железа со стеаратом цинка составляет 3,8 г/см<sup>3</sup>, с высокомолекулярными соединениями: 4,6 – 4,8 г/см<sup>3</sup>, при 600 МПа – 6 г/см<sup>3</sup> и 6,6 – 7,0 г/см<sup>3</sup> соответственно.

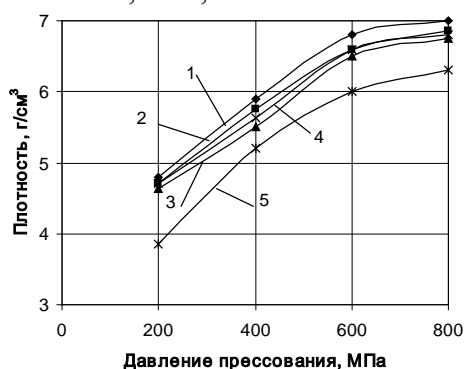


Рисунок 1 – Кривые прессуемости образцов из железа с добавками различных смазок:

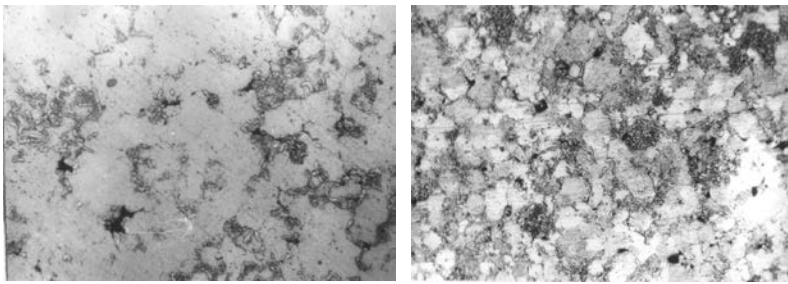
- 1 – Fe + 1 % полидиэтиленгликольадипината;
- 2 – Fe + 1 % полипропиленгликольадипината;
- 3 – Fe + 1 % полипропиленгликольсукцината;
- 4 – Fe + 1% полипропиленгликольсебацината;
- 5 – Fe + 1 % стеарата цинка

Последующее спекание в атмосфере эндогаза привело к повышению плотности железа с высокомолекулярными соединениями, величина усадки образцов после спекания приведена в таблице.

Таблица 1 – Усадка образцов после спекания

Состав материала	Объемная усадка, %	
	900 °С	1100 °С
Fe + 1 % полидиэтиленгликольадипината	0,62	0,63
Fe + 1 % полипропиленгликольадипината	0,22	0,3
Fe + 1 % полипропиленгликольсукцината	0,44	0,5
Fe + 1 % полипропиленгликольсебацината	0,74	0,76
Fe + 1 % стеарата цинка	0,09	0,1

Исследование нетравленных шлифов выявило, что введение таких добавок высокомолекулярных соединений, как полиэтиленгликольадипинат и полиэтиленгликольсебацинат обеспечивает после спекания малопористое состояние. В отличие от аномальной структуры, формирующейся в железо-графитовой композиции при спекании, в материалах с добавкой высокомолекулярных соединений выделений свободного цементита не наблюдается (рисунок 2).



а)

б)

Рисунок 2 – Микро-структура спеченного при температуре 1100 °С железа с добавками 1 % высокомолекулярных соединений x100:  
а – полиэтиленгликольадипинат;  
б – полиэтиленгликольсебацинат

Добавки высокомолекулярных соединений позволяют на 280 – 310 МПа повысить предел прочности при сжатии железа после спекания при 1100 °С и на 500 – 565 МПа – после спекания при 900 °С. Твердость спеченного при 900 °С железа с добавкой полипропилегликольсукцината составляет 95 НВ, полиэтиленгликольсебацината – 77 НВ, с добавкой стеарата цинка – 63 НВ, при температуре 1100 °С – 67 НВ, что практически в два раза меньше, чем при введении высокомолекулярной добавки.

УДК 621.793

### Получение порошков с нанесённым конденсатом для фильтрующих элементов

Студент гр. 104617 Антончик Д.И.

Научные руководители – Ковалевский В.Н., Жук А.Е.

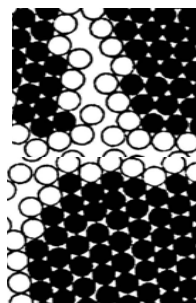
Белорусский национальный технический университет

г. Минск

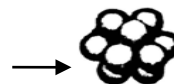
Нанесение конденсата проводили с использованием МРС (магнетронной распылительной системы), в которой замена постоянных магнитов на индукционную катушку с арочной формой магнитного поля с магнитной индукцией до 0,1 Тл и саморегулированием мощности индукции позволила одновременно распылять полупроводниковый Si и графит, Mo и кремний. Распыление кластерами и дисперсными частицами кремния и графита при нагреве приводит к образованию рельефа на поверхности конденсата, который способствует в процессе формования в металлической пресс – форме. Комбинированный катод (Mo+Si) и схема – модели твердого тела из атомов (черные шарики) и межзеренной области, поясняет удаление с поверхности кремния кластеров ускоренными ионами аргона за счет ослабления связи в этой области при нагреве (рисунок 1).



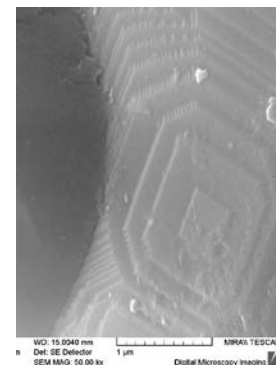
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1 – Внешний вид комбинированного катода (Mo+Si) (а), схема распыляемой поверхности при длительном распылении (б) и, удаляемый ионом  $Ar^+$  кластер (в) и морфология поверхности Si конденсата (г)



Моделирование и расчет параметров процесса распыления плоской мишени в планарном магнетроне с постоянным магнитом выполнены для тонкопленочного покрытия при скорости осаждения 5 – 50 нм/с и дистанции напыления 30 – 50 мм [1]. Рекомендуемая область магнитной индукции составляет 0,03 – 0,1 Тл при рабочем давлении 0,1 – 10 Па. Наиболее технологичным решением является управление процессом с помощью изменения индукции магнитного поля с минимальной инерцией и максимальной скоростью. Максимальная относительная напряженность для МРС достигается при радиусе катода 35 – 40 мм, а максимум плотности электронов определяет плотность ионного тока ( $200 \text{ mA/cm}^2$ ) и соответствует максимуму профиля эрозии мишени, имеющей вид нормального распределения. Конструирование комбинированных катодов для планарного магнетрона проводили с учетом диаграммам состояния элементов композиционного конденсата [2]. Экспериментальные исследования процессов образования фаз проводили при нагреве покрытых порошков в дилатометре. Различие в плотности и строении эмиссионного потока уменьшали за счет расположения на его пути дополнительно сетчатого анода и катода и перемешивающего барабана в зоне фарадеевого пространства.

Для получения состава конденсата близкого к стехиометрическому определяли параметры элементарных ячеек осаждаемых компонентов и соединений, которые образовывались после реакционного спекания. Основное распыление материалов комбинированной мишени происходило в узкой эрозионной зоне. Рассчитывали площади и конфигурацию поверхности компонентов, которые находились в зоне эрозии. Распределение элементов катода в конденсате принимали, исходя из нагрева катода при длительном распылении (свыше 2ч.) их и перемешивания при осаждении.

### Литература

1. Моделирование и расчет параметров электрического разряда в планарном магнетроне / С.Г.Клопов [и др] // Известия РАН. Серия Физическая, 2006, том 70, №8, с.1204 – 1209.
2. Пластическая деформация графита при нагреве порошков – композитов /В.Н.Ковалевский [и др] // Вестник БНТУ. – 2011.-№ 6.- С.9 – 13.

УДК 621.793

### Конструирование и распыление комбинированных катодов

Студентка гр. 104618 Жарикова К.В.

Научный руководитель – Ковалевский В.Н.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Процесс нанесения покрытий магнетронным распылением моно или комбинированных катодов протекает в три этапа: распыление (эрозия) приводит к выбиванию атомов из первых нескольких атомных слоев поверхности моно или комбинированных катодов за счет бомбардировки, ускоренными ионами рабочего газа; транспортировка неоднородного потока вещества через локализованную плазму повышенной плотности изменят состав и плотность потока в зависимости от расстояния между катодом и порошком при наличие дополнительных сепарирующих устройств на пути потока (перфорированных катода и анода); осаждение конденсата на поверхность порошковых частиц различного фракционного состава и формы происходит в условиях низких температурах в области фарадеевого пространства на расстоянии от катода  $\geq 200 \text{ мм}$ ,

Для распыления комбинированного катода (Si+C), конструкция которого предусматривает конический профиль графитового катода с четырьмя или шестью пазами, размещенного на плоском кремниевом с крепежным кольцом из алюминия, применяют режимы распыления близкие к параметрам распылению полупроводникового кремния, высокая плотности ионов образуется в узкой эрозионной зоне под циклоидной ловушкой, скорости распыления C и Si различны. Конструирование комбинированных катодов кремний – графит должно исходить из объемных изменений, происходящих при карбидообразовании в конденсате (Si+C) с учетом объема элементарных ячеек карбида кремния, кремния и графита. Для формирования порошка – композита с заданным покрытием использовали комбинированные катоды (рисунок 1). Геометрия катодов рассчитывается из условия, что весь графит переходит в карбид кремния. Объемные изменения при карбидообразовании в твердой фазе протекают по формуле:  $V_{SiC} = 2V_{Si} + V_C$ .

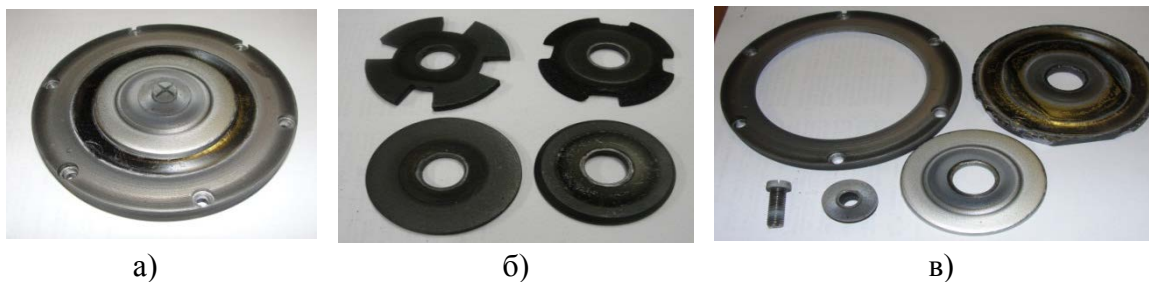


Рисунок 1 – Комбинированный катод кремний – графит в сборе (а), графитовые катоды (б), кремниевый катод с элементами крепления (в)

Комбинированный катод состоит из плоского кремниевого  $d_n = 110$  мм, охлаждение которого происходит от медной диафрагмы охладителя, и размещенном на нем графитовом катоде  $d_n = d_{зр} = 72$  мм. Графитовый катод по высоте имеет конус с  $<30^\circ$  к периферии распыляется атомами или единичными кластерами при длительности  $< 20$  мин. со скоростью 1,2 нм/с. Распыление при  $>20$  мин приводит к разогреву поверхности катода до  $600$  °С. При распылении комбинированного катода индукция магнитного поля арочного типа увеличивалась с 35,5 (монографит) до 78.5 мТл, что сопровождается смещением поля по высоте на 10 мм. Низкая теплопроводность графита ( $\sim 15,5$  Вт/м·К) по сравнению с Si ( $\sim 30,6$  Вт/м·К) затрудняет отвод тепла из зоны интенсивной эрозии графита, что приводит к его разогреву до температуры  $560$  °С. Температурные условия распыления графитового катода приводят к изменениям теплофизических свойств (при  $200$  °С) снижается теплопроводность в 8,5 раза, а температуропроводность (при  $100 - 500$  °С) в 3 раза, коэффициент термического расширения увеличивается в 1,5 раза в интервале  $20...500$  °С) и снижению способности сопротивляться эрозии.

УДК 621.793

### **Особенности распыления комбинированных катодов и нанесения конденсата на микропорошки**

Студент гр. 104617 Илюкевич А.И.  
 Научные руководители – Ковалевский В.Н., Григорьев С.В.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Инженерная методика определения начальных параметров и расчета относительной напряженности электрического поля в системе MATCAD 6.0 показали, что на первых 5 – 10 мм  $E/E_0$  растет, а затем остается постоянным. Распределение

относительной плотности электронов  $n/n_0$  имеет максимум, который ярко выражен при повышенных значениях индукции  $B_m$ . Распределение относительной напряженности  $E/E_0$  и относительной плотности электронов  $n/n_0$  в МРС по радиусу мишени для повышенных значений индукции 70 – 80 мТл. выполнены для случая, когда вместо постоянных магнитов использовали индукционную катушку [1]. Экспериментальное определение максимума профиля эрозии мишени показало, что для исследуемых материалов он приходится на радиусе мишени 36 мм и соответствует максимуму плотности ионного тока разряда. Конструирование ППМ проводили по пластической предельной нагрузке, которая в процессе формования фильтров из сферических порошков стали 12Х18Н10Т не превышала предела текучести стали ( $\sigma_S = 200$  МПа). Для сцепления частиц с графитовым покрытием в процессе формования необходимо увеличить давления формования до  $\approx 300$  МПа, что обеспечивало пластическую деформацию крупных частиц и заклинивание между ними мелких частиц. Реакционное спекание смеси активных компонентов в вакууме протекает при температуре ниже  $1000^\circ\text{C}$  по экзотермической реакции с образованием SiC или MoSi<sub>2</sub>. Диффузионные процессы Si и Fe протекают на контакте частицы и конденсата с образованием Fe<sub>3</sub>Si. На порошок, размещенный в области плазменной тени, конденсат осаждается с низким уровнем энергии, что обеспечивает отсутствие химического взаимодействия компонентов на этапе осаждения. Интенсивное распыление катодов в узкой зоне эрозии с осаждением конденсата малых толщин на микрочастицы подчиняется закону нормального распределения. При длительности распыления кремния и молибдена до 2 ч. 40мин. на поверхности частицы осаждается конденсат с формированием аморфно – кристаллической структурой, образуются поверхности покрытий с рельефом кластерных структур. Формование сферического порошка в образцы 1 – 3 проводили в пресс – форме на прессе под давление 120 – 128 МПа, а образца 4 формовали под давлением 297МПа. Получены элементы фильтров с пористостью для образцов 1 – 36,5 до 26,2 %, для образца 4 пористость составляла 21%. Экспериментально определены номинальная точность очистки составляет 7 – 8 (образцы 1 и 2) и 3 – 4 мкм (образцы 3,4). Коэффициент проницаемости составлял 55 и  $2,9 \cdot 10^{13} \text{ м}^2$  соответственно. Использование в качестве наружного покрытия конденсата графита (образец 4) не позволило осуществить формование при низком давлении, так как графит, облегчая проскальзывание частиц, не позволял зафиксировать контактное схватывание между частицами. На частицах  $\varnothing < 0,02$  мкм и частицах вытянутой формы при  $l/\varnothing > 10$  конденсата протекает активное спекание. Комбинированная технология включала активирование поверхности частиц и нанесение на них конденсата, формование и ступенчатое спекание с изотермическими выдержками в течение 1ч. при  $850^\circ\text{C}$  для экзотермической реакции с образованием  $\alpha$  – SiC и при  $940^\circ\text{C}$  с образованием MoSi<sub>2</sub> и спекание активированных частиц через прослойку Si с образованием фазы (Fe<sub>3</sub>Si) при температуре  $1150^\circ\text{C}$ .

### Литература

1.Морфология поверхности и структура покрытий как показатели оценки работоспособности композиционных материалов /В.Н.Ковалевский [и др] // Литье и металлургия – 2011.-№ 3 (61).- С.128-133.

**Демпфирующие свойства высокопористых материалов на основе титана**

Студент гр. 104619 Шарецкий А.В.

Научные руководители – Марукович А.И., Сморгыо О.Л.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Введение. В настоящее время демпфирующие металлические материалы с ячеистой структурой (пенометаллы) находят широкое применение в системах пассивной безопасности для поглощения механической энергии при динамических нагрузках. Наибольшее распространение получили демпферы на основе вспененного алюминия – как наиболее технологичного и недорогого материала. Однако, для получения демпфирующих материалов с более широким спектром механических, коррозионных и др. свойств очевидный научный интерес представляет исследование демпфирующих свойств пеноматериалов на основе других металлов. Особенный интерес представляют пенометаллы на основе титана. Изделия на основе титана характеризуются высокой удельной прочностью (при комнатной температуре превосходит все металлы и большинство легированных сталей) и высокой коррозионной стойкостью (превосходят коррозионно-стойкую сталь и приближаются к благородным металлам). Такое сочетание физико-механических и коррозионных свойств расширяет возможности использования высокопористых металлов в качестве демпферов.

Цель работы: исследовать демпфирующие свойства пенометаллов на основе титана в широком диапазоне макропористости.

Экспериментальная часть. Высокопористый титан с ячеистой структурой и изолированными порами получали прессованием композиционных гранул: гранулы, представляющие собой сферический органический порообразователь (карбамид) с нанесенным на него слоем титанового порошка (ПТОМ-2), прессовали при давлении 500 МПа, термообработывали для удаления порообразователя и спекали в вакууме при температуре 1250 °С (изотермическая выдержка при максимальной температуре - 1 ч). Были получены экспериментальные образцы с макропористостью 65, 75 и 85 %.

Демпфирующие свойства образцов пенометаллов определяли анализом деформационных кривых, полученных статическим сжатием на разрывной машине Instron-1195 при скорости нагружения 2 мм/мин.

Демпфирующие свойства пенометаллов характеризовали 3 параметрами: пределом текучести ( $\sigma_T$ ), количеством поглощенной механической энергии ( $C$ ) и эффективностью поглощения механической энергии ( $E_{эф}$ ) при статическом сжатии. Предел текучести ( $\sigma_T$ ) пенометаллов определяли по ГОСТ 25.503-97. Количество поглощенной механической энергии рассчитывали по уравнению (1):

$$C = \int_0^l \sigma d\varepsilon, \quad (1)$$

где  $C$  - количество поглощенной механической энергии, Дж/м<sup>3</sup>;  $\sigma$  – напряжение при сжатии, МПа;  $\varepsilon$  – относительная деформация;  $l$  – абсолютная деформация.

Эффективность поглощения механической энергии рассчитывали по уравнению (2):

$$E_{эф} = \frac{C}{\sigma_{\max} \cdot l}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{\max}$  – максимальное напряжение в рассматриваемом диапазоне деформаций пористого тела, МПа.

Результаты исследований.

На рисунке 1 представлены полученные образцы пенометаллов на основе титана.



Рисунок 1 – Полученные образцы пенометаллов на основе титана

На рисунке 2 представлена поровая структура полученных пенометаллов на основе титана.

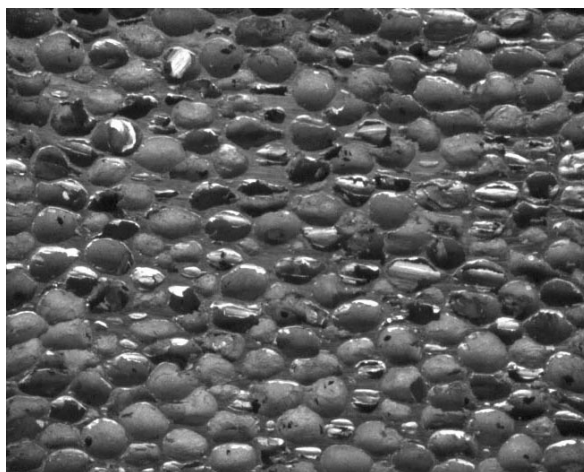


Рисунок 2 – Поровая структура полученных пенометаллов на основе титана

Проведенные эксперименты показали, что все исследованные материалы имели типичный для пенометаллов вид деформационной кривой, на которой можно выделить три области: область упругой деформации, плато текучести и участок уплотнения с резким ростом напряжения. При росте макропористости происходит: уменьшение предела текучести от 120 МПа до 10 МПа, уменьшение количества поглощенной механической энергии от 55 МДж/м<sup>3</sup> до 6 МДж/м<sup>3</sup>, увеличение эффективности поглощения механической энергии от 0.74 МДж/м<sup>3</sup> до 0.86 МДж/м<sup>3</sup>.

Заключение. Проведенные исследования позволяют создавать высокопористые пенометаллы на основе титана, с использованием которых только за счет варьирования макропористости можно создавать демпфирующие устройства с контролируемым комплексом физико-механических характеристик для применения в различных областях техники.

УДК 621.791.052:621.791.65

### **Изучение некоторых технологических особенностей сварки плавлением стали 45 для получения равнопрочных сварных соединений**

Студент гр. 104829 Снарский А.А.  
Научный руководитель – Голубцова Е.С.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью данной работы является оптимизация условий сварки среднеуглеродистой стали 45, обеспечивающих создание требуемого уровня механических свойств металла сварного соединения, и предотвращение образования нежелательных структурно-фазовых превращений в зоне термического влияния (ЗТВ).

Среднеуглеродистые стали имеют повышенное содержание углерода, который является причиной образования кристаллизационных трещин при сварке, а также малопластичных закалочных структур и трещин в зоне термического влияния.

Стали с содержанием более 0,25 % С считаются условно свариваемыми. Это означает, что для сварки этих сталей должны быть созданы определенные условия.

Холодные трещины могут возникать как в интервале температур образования мартенсита (250 °С и ниже), так и спустя некоторое время после остывания сварного соединения (от 0 до 72 ч). При этом, чем выше уровень остаточных напряжений, тем вероятнее образование холодных трещин.

Для предотвращения охрупчивания участка ЗТВ выбор режимов сварки должен проводиться с учетом технологических приемов, обеспечивающих снижение скорости охлаждения сварного соединения после сварки и снижения уровня возникающих сварочных напряжений. Для этого прибегают либо к предварительному подогреву свариваемого металла, либо к увеличению погонной энергии при сварке — увеличению сварочного тока и снижению скорости сварки. Часто приходится одновременно использовать подогрев и увеличение погонной энергии, что позволяет уменьшить хрупкость металла ЗТВ. Все это требует введения дополнительных технологических операций, связанных с материальными и энергетическими затратами.

Даже при использовании всех указанных приемов сварные соединения из среднеуглеродистой стали чаще всего получаются недостаточно пластичными, так как закалочные структуры в ЗТВ все же имеют место. Если к сварному соединению предъявляются требования высокой пластичности, то для выравнивания свойств приходится применять последующую термообработку, чаще всего закалку с отпуском.

Образование хрупкой структуры мартенсита является необходимым, но не всегда достаточным фактором для реального появления трещины. Необходимо наличие и других факторов — растягивающих напряжений, остаточного аустенита и избыточного водорода. Многие конструкции свариваются и надежно эксплуатируются (особенно из низкоуглеродистых легированных сталей) при наличии структуры мартенсита в сварном соединении, если устранены концентраторы напряжений в хрупкой зоне или созданы благоприятные условия в сварном соединении, снижающие чувствительность конструкций к концентрациям напряжений (применены аустенитные присадки, обеспечивающие

аустенитную структуру шва с высокой пластичностью, или поверхностная обработка путем наклепа).

Образование закалочных структур являются крайне нежелательным явлением, поскольку они характеризуются высокой твердостью, хрупкостью, плохо обрабатываются, склонны к образованию трещин. Если скорость охлаждения ниже критической скорости, образование закалочных структур исключается. В зоне термического влияния наиболее желательными являются пластичные, хорошо обрабатываемые структуры типа перлита или сорбита. Поэтому получение качественных соединений непременно связано с достижением желаемых структур в основном регулированием скорости охлаждения.

Образование холодных трещин при сварке закаливающихся сталей уменьшается при применении подогрева, уменьшающего вероятность образования закалочных структур. Подогрев способствует перлитному превращению и является действенным средством исключения закалочных структур. Поэтому он служит в качестве предварительной термической обработки сварных соединений (нагрев до сварки и в процессе ее). Меняя скорость охлаждения, можно получить желаемую твердость в зоне термического влияния.

Отпуск сварных конструкций снимает остаточные сварочные напряжения, улучшает структуру и свойства металла шва, снижает твердость закаленных зон сварного соединения и устраняет опасность образования холодных трещин со временем. Перерыв между началом сварки и термической обработкой устанавливают различный (от 30 мин до нескольких часов) в зависимости от марки стали и склонности ее сварных соединений к замедленному разрушению. В тех случаях, когда немедленное проведение высокого отпуска (местного с помощью ТВЧ или общего в печи) затруднено, применяют предварительно низкий стабилизирующий отпуск при 250 – 300 °С с последующим высоким отпуском в печи. В некоторых случаях последующий высокий отпуск не применяют, если механические свойства соединений удовлетворяют эксплуатационным требованиям.

Для повышения стойкости металла шва против образования кристаллизационных трещин следует понизить количество углерода в металле шва. Это достигается применением электродов с пониженным содержанием углерода, а также уменьшением доли участия основного металла в металле шва.

Применение специальных присадочных проволок и флюсов, многослойной сварки, колебательных движений электрода при автоматической сварке, импульсного режима сварочного тока (при малых толщинах металла), подбор оптимальных режимов сварки позволяют обеспечить более равноосную зернистую структуру металла шва и предупредить чрезмерное развитие зоны перегрева основного металла с крупнокристаллической структурой.

УДК 621.791.052:669.141.24

### **Изучение структур, образующихся при сварке плавлением стали 45 в зоне термического влияния**

Студентка гр. 104829 Щавелева О.А.

Научный руководитель – Голубцова Е.С.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью данной работы изучение структур, образующихся в зоне термического влияния (ЗТВ) при сварке плавлением среднеуглеродистых сталей на примере стали 45.

Обеспечение требуемой работоспособности сварных соединений разных сталей в значительной мере определяется ходом структурно-фазовых превращений, протекающих в металле шва и ЗТВ.

К среднеуглеродистым относят стали, содержащие 0,2...0,45 %С. Рассматриваемая в качестве примера сталь 45 относится к среднеуглеродистым конструкционным сталям. Как правило, среднеуглеродистые стали используют в нормализованном состоянии.

Основным легирующим элементом, определяющим механические свойства углеродистых сталей, является углерод. С повышением содержания углерода увеличивается прочность и снижается пластичность.

Сварка также является металлургическим процессом, но имеет ряд особенностей:

- а) происходит при высокой температуре нагрева;
- б) протекает с большой скоростью;
- в) характеризуется очень малыми объемами нагретого и расплавленного металла;
- г) при сварке имеет место быстрый отвод тепла от расплавленного металла сварочной ванны в прилегающие к ней зоны твердого основного металла;
- д) на расплавленный металл в зоне сварки интенсивно воздействуют окружающие его газы и шлаки;

е) в ряде случаев для образования металла шва используется присадочный металл, химический состав которого может значительно отличаться от состава основного металла.

В процессе сварки имеет место непрерывное охлаждение. Характер структурных превращений при этом отличается от случая распада аустенита при изотермической выдержке. При непрерывном охлаждении значение инкубационного периода в 1,5 раза больше, чем при изотермическом. С увеличением скорости охлаждения получаемая структура в зоне изотермического влияния измельчается, твердость ее повышается. Если скорость охлаждения превышает критическую скорость, образование структур закалки неизбежно. Структуры стали 45 в состоянии поставки и после закалки представлены на рисунках 1, 2.



Рисунок 1 – Микроструктура среднеуглеродистой стали: феррит (светлый) и перлит

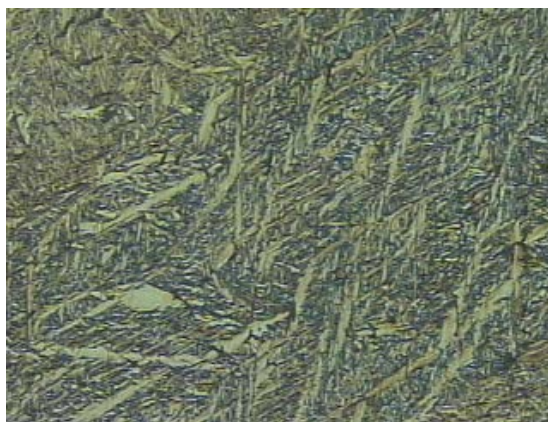


Рисунок 2 – Микроструктура закаленной среднеуглеродистой стали 45 (мартенсит)



В сталях с содержанием углерода 0,3 % и выше при быстром охлаждении металла в зоне термического влияния образуется твердая мартенситная или трооститная структура, значительно более хрупкая, чем основной металл, что создает опасность хрупкого разрушения как в процессе изготовления изделий (холодные трещины), так и в процессе эксплуатации. Структура зоны термического влияния сварного соединения стали 45 и распределение в ней микротвердости представлено на рисунке.

Исходя из представленных данных видно, что для конструкционных среднеуглеродистых сталей, а в данном случае стали 45 характерной особенностью является образование закалочных структур в зоне термического влияния, создающих опасность хрупкого разрушения. Поэтому для получения надежных сварных соединений из сталей этой группы необходимо исходить не только из показателей прочности основного металла, но и с учетом получения необходимых стабильных механических свойств сварных соединений в условиях производства данного конкретного изделия и полной реализации этих свойств при работе конструкций.

УДК 621.791:004.42

### **Компьютерное моделирование структуры и свойств сварного соединения с помощью программы “SYSWELD”**

Магистрант Галаев К.О.

Научный руководитель – Голубцова Е.С.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью данной работы является представление результатов компьютерного моделирования при монтаже днища и стенок резервуара с алюминиевым понтоном для сырой нефти и газового конденсата.

В последнее время усилилась роль компьютера и компьютерных технологических расчетов в инженерии. Необходимо отметить разнообразие перспективных программ, служащих для упрощения и усовершенствования работы инженера в целом. Одна из таких программ – “SYSWELD”. Применяя методы компьютерного моделирования с помощью программы “SYSWELD” можно произвести исследование напряженного состояния в сварном соединении, просмотреть структуру металла после термической обработки, определить механические свойства металла шва. Данная программа использовалась при монтаже днища и стенок резервуара с алюминиевым понтоном объемом 20.000 м<sup>3</sup> для сырой нефти и газового конденсата, на заводе ООО “ПО КИРИШИНЕФТЕОРГСИНТЕЗ” в городе Кириши, Ленинградской области, Российской Федерации.

Преимущество метода компьютерного проектирования заключается в том, что с помощью него возможен анализ наиболее напряженных швов в резервуаре исходя из типа конструкции, ее загрузки и входящих материалов. В эпоху компьютеризации, необходимо чтобы результаты пневмо- и гидроиспытаний резервуаров подтверждались еще и компьютерными вычислениями. Поэтому считаю необходимым до, во время, и после проведения испытаний производить расчеты по нагруженности сварных швов, их остаточные напряжения, что, в первом приближении, поможет выявить причину их возникновения, а, следовательно, и первые шаги для их частичного, либо полного устранения. Зачастую пневмо- и гидроиспытания отвечают лишь на один поставленный вопрос: “выдержит ли конструкция при данной нагрузке, в данный момент”, однако при этом не затрагиваются вопросы продолжительности работы (срок эксплуатации) резервуара, его коррозионной стойкости. С помощью вышеупомянутой программы можно подобрать

оптимальный вариант нагрузки, подобрать марку основного и сварочного материала, наиболее подходящего при данных условиях, подобрать оптимальный химический состав и структуру наплавленного металла, для большей работоспособности резервуара.

В рассматриваемом варианте резервуара существуют швы, соединяющие разнородные стали, это применено конструктивно для увеличения прочности резервуара, его технических и экономических показателей. Структура наплавленного металла, в разнородных сталях достаточно сложна и заведомо точно не может быть определена, т.к. в процессе сварки происходит перемешивание двух основных металлов друг с другом и со сварочным материалом, образуя третью структуру, вполне возможно отличающуюся от основного металла. Эту структуру можно определить металлографическим способом контроля. Однако данный способ контроля – разрушающий и в данном случае затруднен. Программа же позволяет в первом приближении определить структуру металла после кристаллизации, позволяет инженеру управлять сварочными процессами и на выходе получать нужные характеристики основного металла и металла шва. Это обстоятельство в сфере сварочных технологий делает данную программу незаменимой.

УДК 621.787.52

### **Исследование влияния температуры на толщину цинкового покрытия при термодиффузионном насыщении в порошковой среде гартцинк – $Al_2O_3$**

Студенты гр. 104128 Бандарович Д.Н., гр. 104119 Комарова Т.Д.  
Научные руководители – Урбанович Н.И., Басалай И.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Краткий анализ литературных данных показал, что исследования по влиянию температуры на толщину цинкового слоя, полученного при термодиффузионном насыщении в смеси, состоящей из гартцинка –  $Al_2O_3$  не проводились. Поэтому целью данного этапа работы являлось установление экспериментальной зависимости температурного параметра процесса диффузионного насыщения на толщину цинкового покрытия и его цвет. Исследовали влияние следующих температур оцинкования: 400; 450; 500 550°C. Опыты проводили в диффузионной смеси, содержащей 40 % гартцинка, 59%  $Al_2O_3$  и 1%  $NH_4Cl$  с выдержкой в течение 4 часов. Слой наносили на образцы из стали 3. В процессе исследований было замечено, что изменение температуры оцинкования не оказывает влияния на цвет образцов. Микроструктурный анализ цинковых слоев показал, что покрытие, полученное при 400 °С состоит из трех слоев, соответствующих  $\Gamma$ -,  $\delta_1$ -,  $\zeta$ - фазам,  $\delta_1$ -фаза имеет равноосную структуру. С повышением температуры до 450 °С общая толщина покрытия увеличивается с 40 мкм до 80 мкм. Слой также состоит из  $\Gamma$ -,  $\delta_1$ -,  $\zeta$ - фаз, при этом толщина слоя увеличилась в основном за счет роста  $\delta_1$ -фазы. При этом,  $\delta_1$ -фаза имеет равноосную структуру, а толщина  $\Gamma$ -фазы несколько уменьшилась.

При 500 °С и 550 °С увеличивается толщина слоя до 135 мкм. В  $\delta_1$ -фазе наблюдается зона столбчатой структуры  $\delta_{1П}$  (зона полисадов), которая примыкает к компактной зоне с равноосной мелкокристаллической структурой  $\delta_{1К}$ . Также наблюдаются две зоны  $\Gamma$ -фазы: светлая, которая представляет собой  $\Gamma_1$ -слой и по данным работы [1] обозначается формулой  $Fe_5Zn_{21}$  и темная, собственно  $\Gamma$ -фаза, которая соответствует формуле  $Fe_3Zn_{10}$ .

Анализ исследований свидетельствует о том, что рост толщины слоя покрытия по мере повышения температуры происходит неравномерно, рост толщины слоя в диапазоне температур 400 – 450 °С происходит за счет  $\delta_{1К}$ - фазы, имеющей равноосную структуру, а в диапазоне температур 500 – 550 °С за счет  $\delta_{1П}$  (зоны полисадов).

На рисунке 1 представлена зависимость изменения общей толщины цинкового слоя от температуры химико-термической обработки. Следует отметить, что наращивание слоя в смеси, состоящей из 40 % гартцинка, 59%  $Al_2O_3$  и 1%  $NH_4Cl$  носит плавный характер. Менее интенсивный характер наращивания слоя происходит в диапазоне температур 500 – 550 °С.

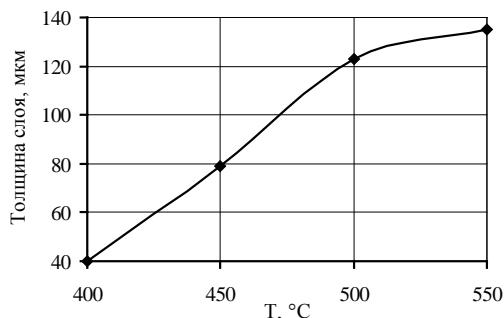


Рисунок 1 – Влияние температуры насыщения на толщину диффузионного цинкового слоя

На рисунке 2 представлена зависимость влияния температуры на изменение размеров образцов. Анализ зависимости показал, что с увеличением температуры термодиффузионного цинкования размер образцов также увеличивался. Следует отметить, что при сопоставлении полученных зависимостей толщина цинкового слоя при всех температурах термодиффузионного цинкования в системе гартцинк –  $Al_2O_3$  превышает увеличение размера образцов, что свидетельствует о росте слоя внутрь образца.

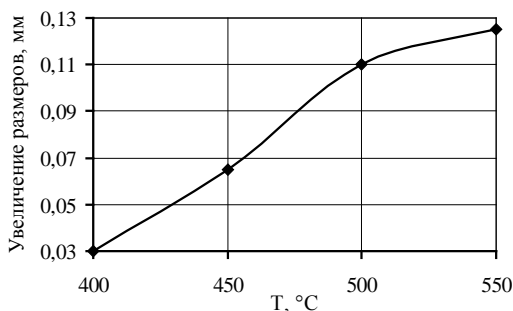


Рисунок 2 – Влияние температуры насыщения на увеличение размеров образцов

Таким образом, результаты исследований позволили установить, что повышение температуры термодиффузионного цинкования в системе гартцинк-  $Al_2O_3$  приводит к увеличению толщины покрытия. Формирующиеся слои состоят из  $\Gamma$ ,  $\delta_1$  и  $\zeta$ - фаз, которые характерны и для цинковых слоев в порошковых средах на основе системы  $Zn - Al_2O_3$  в диапазоне температур 400 – 550 °С.

Установлено, что рост толщины покрытия происходит за счет  $\delta_1$ -фазы, причем в диапазоне температур 500 – 550 °С за счет зоны полисадов  $\delta_{1П}$ -фазы, а в диапазоне 400 – 500 °С – за счет  $\delta_1$ - компактной фазы.

Показано также, что формирование цинковых слоев в среде с гартцинком идет внутрь образца, что не противоречит предыдущим исследованиям, результаты которых представлены выше.

### Литература

1. Hershman A.A. Proc. 7<sup>th</sup> International Hot Dip Galvanizing Conference, Paris, 1964. Oxford: Pergamon Press, 1967, p. 203.

**Установка для оптимизации технологических параметров получения ультрадисперсного порошка  $Al_2O_3$  золь-гель методом**

Студенты гр. 104119 Комарова Т.Д., гр. 104128 Бандарович Д.Н.  
Научный руководитель – Комаров О.С.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В последние 20 – 30 лет основное направление по созданию новых конструкционных и функциональных материалов базируется на получении и применении наноразмерных и ультрадисперсных порошков (УДП). Одним из широко используемых материалов этого класса является гидроксид алюминия –  $Al(OH)_3$  и полученный из него после прокаливания  $\gamma-Al_2O_3$ . Разработано несколько способов получения  $\gamma-Al_2O_3$ : методы механического измельчения, термолиза, золь-гель метод, химического осаждения из водных растворов солей, плазмохимический, электровзрыва проводников в атмосфере кислорода, самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, лазерного газофазного осаждения и другие. У каждого из этих методов есть свои достоинства и недостатки.

В Республике Беларусь нет промышленного производства ультрадисперсных и наноразмерных порошков, но создаются условия для его появления. На Дзержинском опытно-механическом заводе осваивается производство никелевого концентрата и оксида молибдена на базе отработанных катализаторов нефтехимии, носителем которых является  $\gamma-Al_2O_3$ . Побочным продуктом переработки катализаторов является раствор алюмината натрия  $Na_2Al_2O_4$ . Гидролиз которого приводит к осаждению УДП  $Al(OH)_3$ . Таким образом, из всех перечисленных методов получения УДП для условий Беларуси наиболее приемлем золь-гель метод, основанный на осаждении порошка из пересыщенного раствора.

Этот метод широко используется при производстве алюминия из бокситов, но размер частиц порошка составляет 5-40 мкм и такой порошок не является ультрадисперсным.

Установлено, что на дисперсность порошка влияют степень пересыщения раствора, отношение  $Na_2O: Al_2O_3$  в растворе, температура процесса, скорость перемешивания раствора, наличие затравок и поверхностно-активных веществ, но отсутствуют работы по количественной оценке степени влияния каждого из факторов. С целью оптимизации технологического процесса получения УДП  $Al_2O_3$  разработана установка, позволяющая оценить степень влияния каждого из факторов на дисперсность порошка (рисунок 1).

Пересыщенный раствор  $Na_2Al_2O_4$ , полученный при переработке отработанных катализаторов, заливается в стаканы (3), установленные в чаши (4), заполненные водой с контролируемым термометром (6) температурой. Вода подогревается нагревателем (7) или охлаждается льдом. В стаканы опускаются инжекторы (5), через которые от распределителя (1) по трубкам (2) из ресивера компрессора подается сжатый воздух, давление которого позволяет изменять скорость перемешивания раствора. Анализ степени влияния каждого из выше перечисленных факторов ляжет в основу оптимизации технологического процесса получения УДП  $\gamma-Al_2O_3$ .

Чтобы показать насколько актуально для Республики Беларусь освоения производства УДП  $Al_2O_3$  приведем примеры его использования в различных областях народного хозяйства. Нанодисперсный гидроксид алюминия нашел широкое применение в промышленности как связующее для высокопрочной огнеупорной керамики, его используют при производстве катализаторов дожигания в автомобильной промышленности, катализаторов нефтехимии, в качестве упрочняющего жаростойкого покрытия для печей и керамических форм литья по выплавляемым моделям. Добавка 0,01 % УДП в индустриальное масло уменьшит износ деталей в 5 раз. Одно из важных свойств

наноразмерного  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  – его способность связывать ионы металлов в водных растворах, в связи с чем он применяется для изготовления фильтров очистных устройств.

Гидроксид алюминия в промышленности полимерных материалов применяется как нетоксичная огнезащитная добавка с хорошими дымоподавляющими свойствами в большом перечне огнезащитных материалов. Аморфный гидроксид алюминия нашёл применение в промышленности строительных материалов. Его добавки в количестве 1–3% в портландцемент сокращают сроки схватывания, а также повышают в 2–3 раза прочность через сутки твердения.

Из приведенного неполного перечня областей применения УДП  $\text{Al}(\text{OH})_3$  и  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  следует, что изучение степени влияния различных технологических факторов на дисперсность выделяемых золь-гель методом порошков этого материала явится основой для освоения УДП в Беларуси и будет способствовать улучшению свойств функциональных материалов, выпускаемых промышленностью. Существенно и то, что производство этого материала базируется на побочном продукте переработки отработанных катализаторов, что обеспечивает безотходность процесса получения никелевого концентрата.

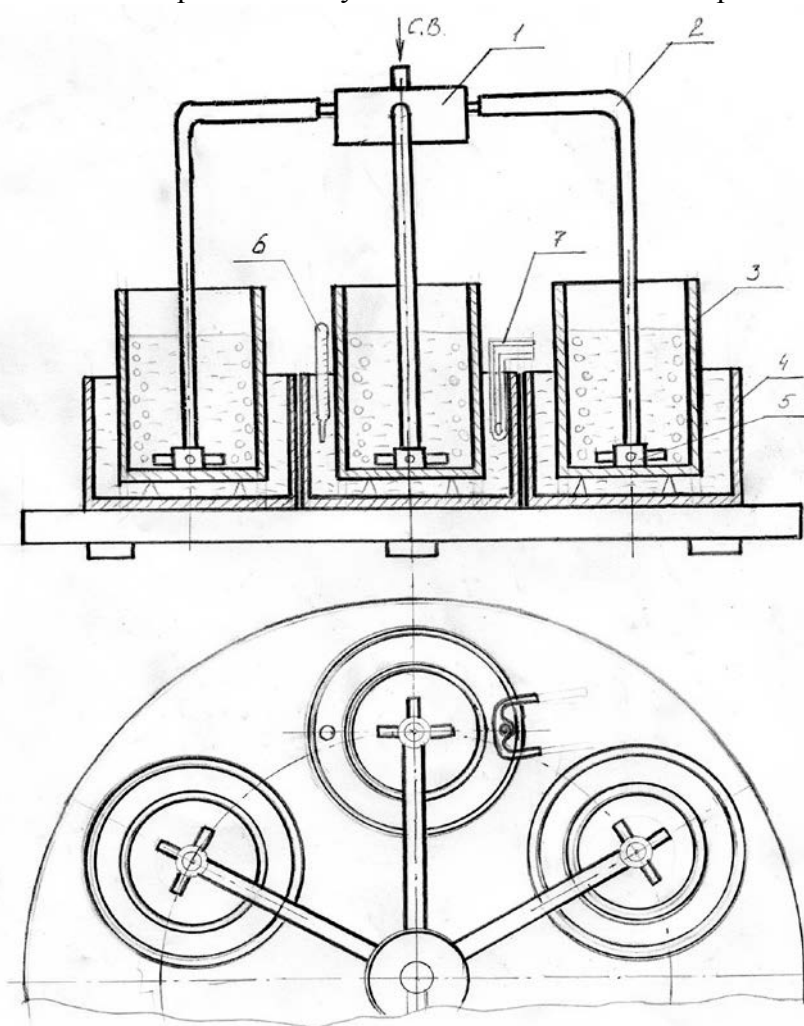


Рисунок 1 – Установка для оптимизации технологических параметров получения ультрадисперсного порошка  $\text{Al}_2\text{O}_3$  золь-гель методом

Аспирант Хвасько В.М.

Научный руководитель – Дудяк А.И.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Существует три основных модификации структуры нитрида бора: графитоподобная, кубическая, вюрцитная. Стабильной фазой высокого давления является кубический нитрид бора. В области низких давлений термодинамически стабилен графитоподобный нитрид бора. Вюрцитная модификация не имеет области стабильности и образуется, как промежуточная фаза при переходе одной стабильной модификации в другую, или обусловлена наличием примесей. Это подтверждается экспериментальными данными по плавлению углерода и нитрида бора, а также экспериментальными работами Банди и Венторфа по изучению каталитических превращений графитоподобной структуры в кубическую.

Известно, что превращение графитоподобного нитрида бора в кубический может происходить прямым или каталитическим путем. Прямое превращение протекает при высоких давлениях и температурах без помощи каких-либо катализаторов или растворителей. Для получения кристаллов алмазов при более низких давлениях в условиях, приближенных к равновесным, превращение графита в плотную модификацию должно осуществляться в присутствии материалов-растворителей, в качестве которых хорошо применимы щелочные и щелочно-земельные металлы, их нитриды, фториды и гидриды. Установлено, что активно снижают давление и температуру такие металлы как хром, марганец, тантал, сурьма, олово, свинец, кальций, литий, магний, а также их нитриды, бориды и гидриды. Именно в таких условиях возможно получение крупных кристаллов алмазов с хорошей огранкой.

Венторф считал, что синтез кубического нитрида бора происходит из смесей, которые обеспечивают растворение бора и азота. Другие ученые рассматривали металл как компонент тройной системы бор – азот – металл. Эксперименты с использованием магния в качестве катализатора показали, что в результате взаимодействия с нитридом бора он образует тройной эвтектический расплав, температура плавления которого определяет наименьшую температуру кристаллизации кубического нитрида бора. Однако некоторые авторы утверждают, что при использовании магния или нитрида магния процесс кристаллизации кубического нитрида бора протекает при отсутствии жидкой фазы, что не позволяет получить кристаллы с хорошей изометрией, прочным зерном и абразивной способностью.

Для улучшения перечисленных характеристик кристаллизация кубического нитрида бора может протекать в присутствии лития, кальция, их нитридов, гидридов и боридов. Установлено, что при синтезе кубического нитрида бора в гидридных системах он кристаллизуется при участии газовой фазы (флюида), что увеличивает подвижность расплава, а значит, позволяет активизировать процессы диффузии и конвекции, что улучшает однородность давления.

Существенное влияние на параметры синтеза и качество кристаллов оказывает исходное состояние порошка графитоподобного нитрида бора: степень неупорядоченности кристаллической структуры, размер исходного зерна графита. Также выход порошков кубического нитрида бора зависит от основного компонента реакционной смеси. При наличии большого количества кислорода в нитриде бора для кристаллизации его кубической модификации необходимы более высокие температуры и давления синтеза, что может

привести к увеличению скорости спонтанного зарождения и роста кристаллов кубического нитрида бора, и в результате образуются мелкие кристаллы с несовершенствами формы.

Однако до конца механизм образования порошков кубического нитрида бора пока не выяснен. Необходимы дальнейшие исследования по изучению влияния сплавов на основе магния, лития и кальция на качество кристаллов и  $p$ ,  $T$  – параметры синтеза.

УДК 621.791; 004.942

### **Применение комплекса LS-Dyna для моделирования процессов модифицирования поверхности с использованием высокоэнергетических источников**

Магистрант Поболь А.И.

Научный руководитель – Горанский Г.Г.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

С использованием комплекса LS-Dyna можно решать статические и динамические проблемы теплопереноса в двухмерных, цилиндрически симметричных (осесимметричных) плоскостях и трехмерном пространстве. Теплоперенос может быть совмещен с другими возможностями пакета для обеспечения возможностей моделирования термонапряженного состояния и пластических деформаций с выделением тепла.

Одним из высокоэнергетических источников является электронный луч, который представляет собой поток быстро движущихся электронов, эмитированных катодом. Электроны ускоряются в вакууме в высоковольтном электрическом поле между катодом и анодом, а затем формируются в аксиально-симметричный пучок, как правило, узкий (диаметром 0,01 – 1 мм). При электронной бомбардировке мишени с плоской поверхностью и перпендикулярно к ней эффективный КПД нагрева пучком электронов составляет 80 – 95 %.

Расфокусированный электронный луч может быть в первом приближении представлен как равномерный тепловой поток к поверхности детали, плотность мощности которого определяется площадью облучения и эффективной мощностью. Облучаемая деталь, находясь в вакууме, практически адиабатически изолирована, т.к. не подвержена конвекционному теплообмену с окружающей средой, а влиянием возможного отвода тепла теплопроводностью в оснастку и тепловым излучением по причине быстрого протекания процессов можно пренебречь. Следовательно, изменение термодинамического состояния детали будет происходить исходя из свойств плотности, теплоемкости и теплопроводности материалов детали путем выравнивания градиента температур между нагретой облучаемой поверхностью и холодной сердцевиной.

Практически каждая техническая характеристика электронно-лучевого источника (ускоряющее напряжение, удельная мощность, время воздействия, режим тепловыделения на поверхности) непосредственно влияет на температуру и скорость нагрева поверхности, характер теплового поля обрабатываемого изделия. Это, в свою очередь, определяет структурные и фазовые превращения в материалах и уровень их физико-механических свойств.

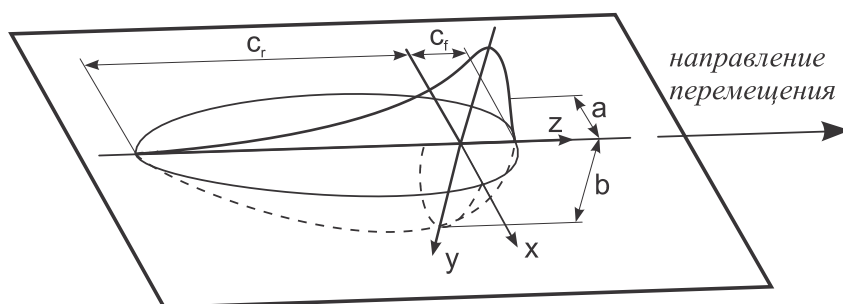
Процесс электронно-лучевого модифицирования (ЭЛМ) поверхностей осуществляется в двух основных режимах: без оплавления и с оплавлением. Выбор одного из этих режимов зависит от требуемой глубины модифицированного слоя материала и от области применения упрочненного изделия.

Для моделирования движущегося источника теплоты в LS-Dyna имеются следующие инструменты:

- команда \*BOUNDARY\_FLUX, описывающая тепловой поток. Команда определяет граничные условия теплового потока в тепловых или связанных тепловых и прочностных расчетах;

- команда \*BOUNDARY\_THERMAL\_WELD. Её назначение: задавать движущийся источник тепла для моделирования процесса сварки или термообработки. Используется только для связанных тепловых и прочностных расчетов, в которых источник теплоты или изделие движутся.

Это граничное условие позволяет моделировать движущийся источник тепла в соответствии с работой Голдака (J. Goldak, 1984). Тепло выделяется в эллиптической области с центром в источнике нагрева и ослабевает по экспоненциальному закону в зависимости от расстояния. Источник теплоты Голдака основан на Гауссовом распределении плотности мощности в пространстве. Особенность модели в использовании профиля распределения энергии, описываемого двойным эллипсоидом, что позволяет адаптировать источник теплоты как под неглубокое проникновение, характерное для ЭЛМ, так и под глубокое «кинжальное» проплавление. Известны процессы закалки из жидкого состояния, реализованные путем глубокого проплавления (до 10 мм) электронным лучом или лазером. Модель описывается следующими уравнениями на рисунке 1.



$$q_f(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3}f_f Q}{abc_f \pi^{3/2}} e^{(-3x^2/a^2)} e^{(-3y^2/b^2)} e^{(-3z^2/c_f^2)}$$

$$q_r(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3}f_r Q}{abc_r \pi^{3/2}} e^{(-3x^2/a^2)} e^{(-3y^2/b^2)} e^{(-3z^2/c_r^2)}$$

Рисунок 1 – Уравнения, описывающие геометрию источника теплоты Голдака и их графическое представление

Определяющими параметрами являются плотность энергии Q (Вт/м<sup>2</sup>) и скорость перемещения по поверхности v. Остальные параметры регулируют геометрию источника теплоты. Примеры параметров, соответствующих распределению температуры с использованием поверхностных и направленных в глубь источниками, приведены на рисунке 2.

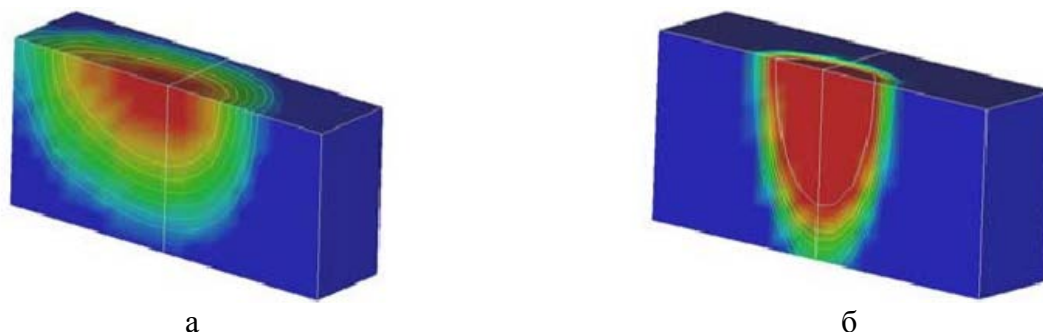


Рисунок 2 – Распределение температуры по объему материала в случае использования поверхностного источника (а – коэффициенты в уравнениях: a=1, b=2, c<sub>f</sub>=1, c<sub>r</sub>=4) и источника с высокой плотностью энергии (б – коэффициенты: a=1, b=5, c<sub>f</sub>=1, c<sub>r</sub>=1)



Применяя метод конечно-элементного моделирования, можно на основе оптимизированной для расчетов геометрической модели и известных свойств материала, а также задавая место, площадь, мощность и продолжительность воздействия, провести термодинамический расчет и получить температуру любой точки детали через определенный временной промежуток. Построение графика температура-время и совмещение его с термодинамической диаграммой превращения аустенита для исследуемой стали позволяет оценить структурные изменения, характерные для моделируемого режима ЭЛМ. Применение корректирующих коэффициентов, полученных путем сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными, позволит получить эффективную и недорогую методику предварительной оценки результатов ЭЛМ.

Применение на практике данной методики позволяет подбирать оптимальные режимы ЭЛ воздействия на детали и минимизировать расходы на дорогостоящие экспериментальные исследования.

УДК 621.785.545

### **Исследование физико-механических свойств конструкционных сталей после лазерного и электронно-лучевого воздействия**

Магистрант Юревич С.В.

Научные руководители – Поболь И.Л., Олешук И.Г.

Белорусский национальный технический университет, Физико-технический институт  
г. Минск

Целью работы являлось исследование влияния режимов воздействия концентрированными источниками энергии на структуру и физико-механические свойства поверхностных слоев заготовок из сталей 45 и 40Х.

Из сталей 45 и 40Х в состоянии поставки были изготовлены экспериментальные образцы, которые для изучения структуры подвергали шлифовке, полировке и травлению. Исследования микроструктуры проводили на оптическом металлографическом микроскопе ММР с цифровой камерой ТКМ и оптическом микроскопе Микро 200-01. Измерение твердости выполняли методом Роквелла. Измерение микротвердости осуществляли на поперечных шлифах образцов с помощью приборов ПМТ-3.

Образцы подвергали объемной закалке и отпуску при различных температурах.

После проведения объемной термообработки экспериментальные образцы подвергали поверхностной закалке лазером. Лазерную обработку выполняли на CO<sub>2</sub>-лазере непрерывного действия при различных режимах: диаметр луча 6 мм, скорость перемещения луча 10; 13,3 и 16,6 мм/с. Лучшие результаты по глубине упрочненного слоя независимо от скорости перемещения лазерного луча ( $v = 10; 13,3$  и  $16,6$  мм/с) получены для образца с предварительной термообработкой по режиму - закалка при 850 °С и отпуск при 500 °С. Глубина упрочненной зоны составила от 340 мкм до 480 мкм для максимальной и минимальной скорости перемещения луча, соответственно.

Исследовано распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя в стали 40Х после лазерной обработки. Установлено, что микротвердость образцов в зоне поверхностного упрочнения составляет 6,6 – 7,4 ГПа, затем при переходе к основе уменьшается до 2,6 – 4,3 ГПа в зависимости от режима предварительной термообработки (рисунок 1).

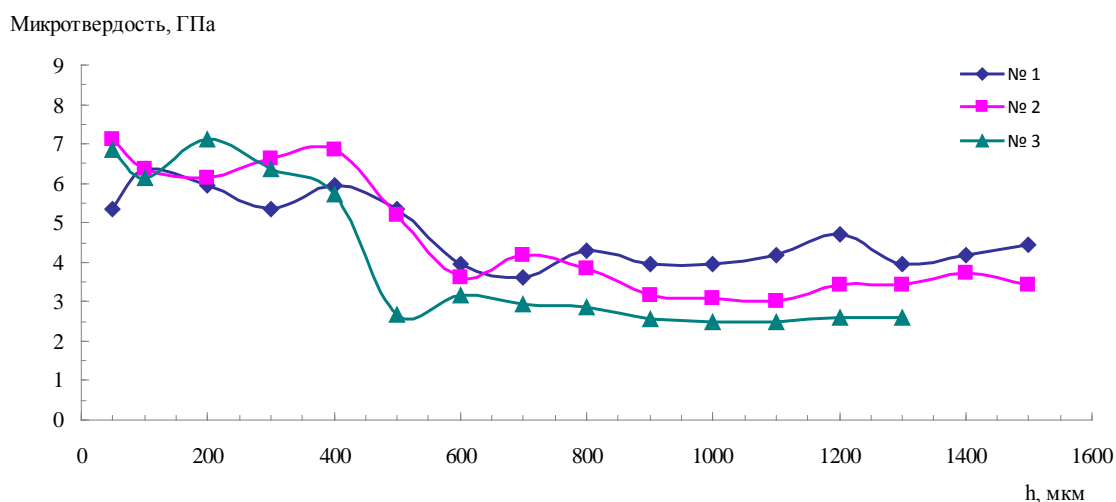


Рисунок 1 – Распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя в стали 40X после лазерной обработки при скорости перемещения луча 10 мм/с в зависимости от режима предварительной термообработки: закалка при 850 °С и отпуск при 400 °С (1), 500 °С (2), 600 °С (3)

Таким образом, оптимальным режимом предварительной обработки конструкционных сталей 45 и 40X является закалка и отпуск при температурах 400 – 500 °С, обеспечивающие исходную твердость указанных материалов 32 – 37 HRC. При этом достигается максимальная микротвердость до 6,6 – 7,4 ГПа и глубина упрочненного слоя до 400 – 500 мкм для стали 40X и микротвердость 5,4 – 6,1 ГПа и глубина закаленной зоны до 1000 мкм для стали 45.

На рисунке 2 показано распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя в стали 40X после электронно-лучевой обработки в зависимости от режима предварительной термообработки.

Установлено, что микротвердость образцов в зоне поверхностного упрочнения составляет 5,5 – 8,7 ГПа, причем у поверхности значения микротвердости ниже, а в области с мелкодисперсной структурой (расстояние от поверхности 500 мкм и более) повышаются до 7,7 – 8,7 ГПа. При переходе к незакаленной области микротвердость снижается до 3,1 – 4,2 ГПа в зависимости от режима предварительной термообработки материала.

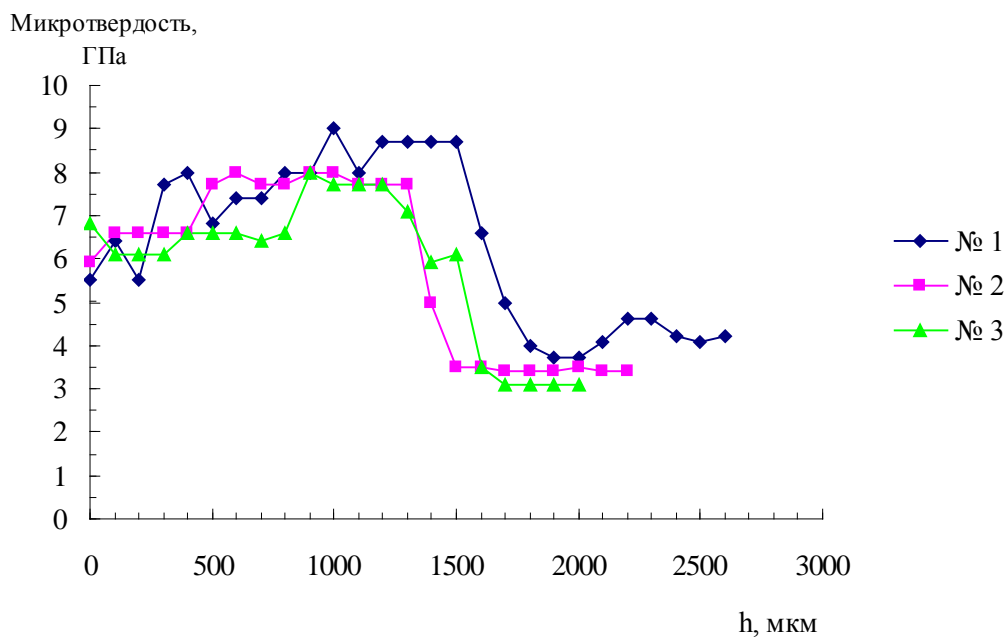


Рисунок 2 – Распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя в стали 40X после электронно-лучевой обработки в зависимости от режима предварительной термообработки: закалка при 850 °С и отпуск при 400 °С (1), 500 °С (2), 600 °С (3)

Для стали 45, подвергнутой объемной закалке при температуре 820 °С и отпуску при 400 °С, после электронно-лучевой поверхностной обработки наблюдалось увеличение твердости до 60 HRC, т.е. в 1,7 раза. По сравнению с лазерной закалкой упрочненная зона более глубокая и составляет порядка 1200 мкм.

Выбраны следующие параметры электронно-лучевой закалки образцов: ускоряющее напряжение 60 кВ, ток луча 12 мА, скорость перемещения луча 10 мм/с. В зависимости от режима предварительной термообработки образцов из стали 40X твердость после поверхностного упрочнения увеличилась в 1,6 – 2,5 раза и составила 56 – 61 HRC.

Глубина упрочненного слоя после электронно-лучевой закалки исследуемых материалов достигала 1200 – 1600 мкм. Микротвердость в закаленной зоне для стали 40X составила 5,5 – 8,7 ГПа, а для стали 45: 7,4 – 9,0 ГПа.

УДК 674.055

### **Обработка древесностружечных плит хвостовыми фрезами с дополнительным движением вдоль режущей кромки лезвия с вакуумно-плазменным покрытием TiN**

Студенты 2- го курса, гр. 3<sup>А</sup> Канашевич В.В., Ильяшенко Е.О.  
 Научный руководитель – Рудак П.В.  
 Белорусский государственный технологический университет  
 г. Минск

Древесностружечные плиты (ДСтП) плоского прессования относят к труднообрабатываемым древесным материалам. Вместе с тем их широко применяют для производства деталей мебели, элементов строительных конструкций.

Одним из направлений повышение эффективности обработки ДСтП хвостовыми фрезами является разработанный в БГТУ способ фрезерования с дополнительным движением вдоль режущей кромки лезвия (осцилляцией) инструмента благодаря которому

повышается равномерность износа лезвия с вакуумно-плазменными покрытиями и сокращаются энергетические затраты на резание.

Для реализации данного способа резания хвостовой фрезе помимо скорости главного движения  $V_o$  и скорости движения подачи  $U$  сообщается скорость касательного движения  $V_{os}$  по гармоническому закону вдоль режущей кромки лезвия.

В процессе фрезерования с осцилляцией уменьшается потребляемая мощность резания и обеспечивается повышенная работоспособность фрезы до возникновения сколов отделки ДСтП. Это обусловлено появлением угла скорости резания  $\lambda$  (рисунок 1).

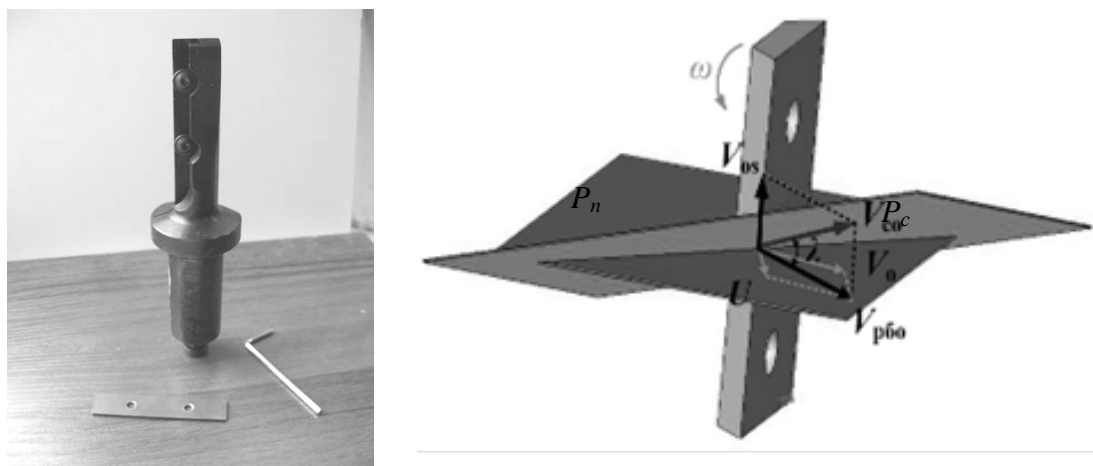


Рисунок 1 – Сборная хвостовая фреза и схема векторов скоростей вращающейся хвостовой фрезы с дополнительным движением вдоль режущей кромки:

$P_n$  – плоскость резания;  $P_c$  – плоскость схода стружки;

$V_{os}$  – скорость касательного движения;

$V_{co}$  – скорость результирующего касательного движения;

$V_o$  – скорость резания;  $V_{pbo}$  – скорость результирующего движения резания;

$U$  – скорость движения подачи;  $\lambda$  – угол скорости резания;  $\omega$  – циклическая скорость

Достоинства резания хвостовыми фрезами с осцилляцией подчеркивает также рассмотрение процесса внедрения (проникания) лезвия хвостовой фрезы в ДСтП.

На рисунке 2 представлена схема сил, действующих на лезвие хвостовой фрезы в процессе ее проникания в ДСтП и схема сил, действующих на обрабатываемый материал со стороны проникающего в него лезвия осциллирующей хвостовой фрезы.

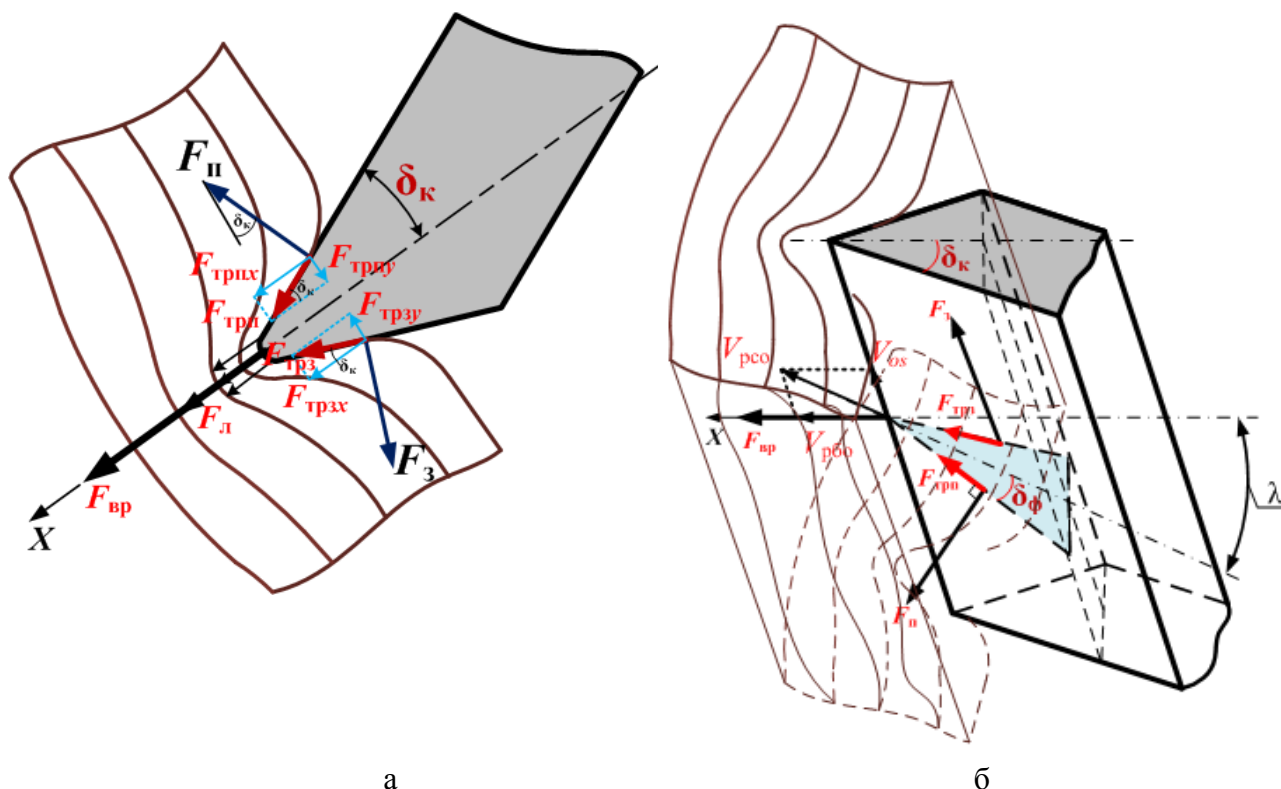


Рисунок 2 – Схема сил, действующих на лезвие хвостовой фрезы в процессе ее врезания в ДСтП (а) и схема сил, действующих на обрабатываемый материал со стороны проникающего в него лезвия осциллирующей хвостовой фрезы (б)

На основе разработанного уравнения сделан вывод о том, что горизонтальная составляющая усилия внедрения лезвия осциллирующей хвостовой фрезы в ДСтП уменьшается в связи с уменьшением горизонтальной составляющей силы трения поверхностей лезвия об обрабатываемый материал. При этом требуемое для разрушения волокон напряженное состояние достигается при меньших значениях внедрения лезвия в материал и силы резания.

Следует учитывать и наличие неровностей на режущей кромке, которые в процессе осциллирующих перемещений хвостовой фрезы обеспечивают эффект «подпиливания».

Согласно разработанному уравнению, величина угла скорости резания  $\lambda$  возрастает при увеличении амплитуды осцилляции и числа двойных ходов инструмента в минуту.

На этой основе разработан режим фрезерования с осцилляцией применительно к конкретному функционирующему оборудованию – деревообрабатывающему станку модели ВАССИ Master, эксплуатируемому на ЗАО «Холдинговая компания «Пинскдрев»». Данный станок обеспечивает вертикальные перемещения хвостовой фрезы с числом двойных ходов в минуту от 0 до 96. Возможная амплитуда осцилляции от 0 до 29 мм.

В результате проведения опытно-промышленных испытаний на ЗАО «Холдинговая компания «Пинскдрев»» при обработке ДСтП толщиной 16 мм со скоростью движения подачи 4 м/мин, при частоте вращения хвостовой фрезы 12 000 мин<sup>-1</sup> установлено, что сообщение хвостовой фрезе осциллирующего движения обеспечивает равномерный износ лезвия ножа с вакуумно-плазменным покрытием TiN. С ростом амплитуды осцилляции от 0 до 29 мм и числа двойных ходов в минуту от 0 до 96 энергетические затраты на процесс обработки сокращаются до 15 % при обеспечении качества обработанной поверхности.

Аналогичные результаты могут быть получены при проведении испытаний разработанного способа фрезерования с дополнительным движением вдоль режущей кромки лезвия с вакуумно-плазменными покрытиями на других деревообрабатывающих

предприятиях, выпускающих продукцию из ДСтП и применяющих оборудование с возможностью задания в процессе резания перемещений фрезы по вертикали.

УДК 678.06:629.02

### **Стеклоармированные термопластичные полимеры в конструкциях колес транспортных средств**

Студент гр. 1 Купраш Е.А.

Научный руководитель – Ставров В.П.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

С возрастанием скоростей передвижения транспортных средств повышаются требования к удельной жесткости и прочности колес. Одновременно повышаются требования к экономической эффективности процессов производства. Как следует из анализа технической и патентной информации, в наиболее развитых в экономическом и техническом отношении странах в последние годы активно ведутся поиски технических решений, обеспечивающих снижение массы колеса и затрат на его изготовление. В числе перспективных решений рассматривается использование волокнистых композиционных материалов. Вследствие сложной формы элементов колеса и сложной системы действующих на него нагрузок, высоких требований к безопасности и надежности в условиях эксплуатации конструкция колеса также оказывается сложной, а реализация предлагаемых решений требует значительных инвестиций.

Литьем под давлением из термопластичных полимеров, армированных короткими волокнами, получают изделия достаточно сложной формы, однако удельная жесткость и прочность такого изделия невелики, к тому же необходима дорогостоящая оснастка.

Колесо из композита с непрерывными (обычно углеродными или арамидными) волокнами обычно получают из двух частей - обода и звездчатого силового элемента, передающего нагрузку на ступицу. Применяют две системы армирования: в ободе - преимущественно по окружности, а в спицах - в радиальном направлении. Обод из композита с однонаправленной структурой в области бортовых краев обода не обладает достаточной прочностью при изгибе и срезе под действием давления в шине.

Колесо, содержащее обод и спицы, получают из плетеного волокнистого каркаса-заготовки с последующей пропиткой терморезактивной смолой или методом намотки (Leichtbau-Zentrum Sachsen; BMW; Du Pont; Goodyar Tire Co). Процесс неэффективен из-за низкой производительности и применения дорогостоящего оборудования.

В докладе изложен оригинальный метод изготовления колес транспортных средств (на примере колеса скутера) из термопластичных полимеров, армированных стеклоармированием, с использованием пултрузионной технологии. Конструкция обода и спиц разработана с учетом особенностей структуры материала и условий формообразования. Спицы изготавливаются по одностадийной технологии путем намотки однонаправленного препрега непосредственно после пропитки стеклоармирования полимерным расплавом. Проработаны два варианта намотки обода: одностадийный, по которому на оправку с установленными предварительно спицами наматывается препрег на основе тканого стекловолокнистого наполнителя, и двухстадийный, предусматривающий намотку препрега гибридной структуры, сформированной из однонаправленных лент, полученных также по пултрузионной технологии.

Расчеты на жесткость и прочность позволили оптимизировать конструкцию обода и спиц и за счет этого снизить массу изделия. Выполнены также технологические расчеты, обосновывающие режимы получения препрега на основе полиамида или

полибутилтерефталата и режимы консолидации слоев препрега при формообразовании спиц и обода. Проработана конструкция специальных средств технологического оснащения, необходимых для реализации технологии. Предлагаемые конструктивные и решения проверены на макетах.

Показано, что применение для изготовления колес транспортных средств стеклоармированных термопластов, получаемых по пултрузионной технологии, технически возможно и может быть экономически эффективным.

**Охрана труда  
и промышленная  
безопасность**



**Обеспечение взрыво-, пожаробезопасности при эксплуатации печей с контролируруемыми атмосферами**

Студент гр. 104217 Матеюк А.В.  
Научный руководитель – Киселева Т.Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Проведение процессов различных видов термической обработки металлов может сопровождаться возникновением пожаров и взрывов. Взрывопожарная ситуация может возникнуть при нарушении разработанных технологических процессов и неправильной эксплуатацией технологического оборудования. Высокую опасность представляют контролируемые атмосферы, соляные и щелочные составы, используемые в качестве нагревательных средств, масла для охлаждения деталей. Для обеспечения пожарной безопасности следует следовать следующим принципам: исключить образование горючей и взрывоопасной среды, исключить наличие источника воспламенения, локализовать очаг взрыва или пожара.

Серьезную проблему в обеспечении взрыво- пожарной безопасности в термических цехах представляют печи с контролируемыми атмосферами. При эксплуатации таких печей создается опасность образования взрывоопасной смеси внутри печного пространства и за его пределами. Возникновение взрывоопасной смеси в печном пространстве может произойти при снижении температуры в печи ниже 750 °С, уменьшения давления атмосферы. Для обеспечения безопасности печи снабжаются приборами безопасности и блокирующими устройствами (например, блокирующими механизмами загрузки – выгрузки для восстановления нормального давления или состава контролируемой атмосферы).

Образование взрывоопасной смеси вне печного пространства возможно при замене одного газа другим. Продувка печей может производиться методом выжигания или вытеснения для снижения концентрации удаляемого газа до безопасных значений. Наиболее опасным газом, входящим в состав контролируемых атмосфер, является водород, имеющий достаточно широкие пределы воспламенения. Он может накапливаться в верхней зоне производственного помещения, образуя взрывоопасную смесь с воздухом. Сжиженные горючие газы (пропан, бутан) имея большую плотность, чем воздух, накапливаются в нижних частях помещения, что может привести к взрыву.

Для предотвращения образования взрывоопасной смеси на печах с периодически открываемыми проемами используются пламенные завесы. В случае нецелесообразности или невозможности использования завес предусматривается устройство запальников, обеспечивающих воспламенение контролируемой атмосферы.

При беспламенной загрузке и выгрузке используются газовые завесы из негорючего газа, что исключает образование горючей среды вне печного пространства.

Для защиты печного пространства при увеличении давления в печи используются взрывные клапаны. Они устанавливаются на печах с рабочей температурой ниже 750 °С. Давление срабатывания клапана должно быть менее 500 Па. Он автоматически закрывается после окончания сброса давления, что исключает возможность вторичных взрывов.

Таким образом, соблюдение требований пожарной безопасности при эксплуатации печей с контролируемыми атмосферами позволяет исключить возникновение пожароопасной ситуации в цехе, и значительно расширить перспективы дальнейшего развития термической и химико-термической обработки металлов.

**Оценка воздушной среды рабочих зон литейных цехов**

Студенты гр. 104317 Астапенко Н.И., Печенко М.М.  
Научный руководитель – Лазаренков А.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Основными источниками выделения вредных веществ в литейных цехах являются стержневые автоматы с нагреваемой оснасткой, установки холоднотвердеющих смесей, заливаемые формы и выбивка отливок из форм. При разработке современного оборудования для указанных процессов предусматривается оснащение его устройствами по улавливанию и удалению вредных выделений, чтобы не наблюдалось попадания газов в воздух рабочей зоны.

Однако для производств, где используется устаревшее литейное оборудование и не предусматривается его замена современным, оценку ожидаемой загазованности воздуха рабочих зон участков литейных цехов необходимо осуществлять.

На основании результатов проведенных исследований были получены данные по содержанию вредных веществ в воздухе рабочих зон участков литейных цехов с различным характером производства, которые показывают, что в воздушной среде рабочих зон отмечаются оксид углерода, азота оксиды, фенол, формальдегид, метиловый спирт, этиловый спирт, углеводороды, ангидрид сернистый, аммиак и др. Наличие и количество того или иного вещества в воздухе рабочих зон определяется применяемыми технологическими процессами.

Наибольшему влиянию вредных веществ подвергаются работающие при подготовке формовочных материалов, приготовлении стержневых смесей, плавке металла, заливке и выбивке форм. Причем практически на всех участках фиксируется оксид углерода, в одних случаях происходит его выделение при протекании технологических процессов (стержневой, плавильный, заливочный, выбивной, термообрубной участок), а в других – за счет миграции с соседних неизолированных друг от друга участков (высокая подвижность воздуха и разные величины кратностей воздухообмена на различных участках). Поэтому при проектировании литейных цехов необходимо размещать участки с различными газовыделениями изолированно друг от друга или создавать одинаковые кратности воздухообмена во избежание переноса загазованного воздуха на рядом расположенные участки, где нет выделений вредных веществ.

Наиболее неблагоприятная обстановка по содержанию оксида углерода отмечается на рабочих местах плавильщиков и заливщиков, где концентрации превышают допустимые в 1,3 – 2,4 раза. При этом следует отметить, что в цехах массового производства, несмотря на большую интенсивность технологических процессов, не фиксируются наибольшие концентрации оксида углерода. Это говорит об эффективности вытяжной системы вентиляции. И совершенно иная картина имеет место при заливке форм на плацу в цехе среднего и крупного литья серийного производства, когда концентрация достигает в среднем  $30 - 45 \text{ мг/м}^3$ .

Наибольшему воздействию вредных веществ подвергаются стерженщики литейных цехов (в основном массового производства), где используются технологические процессы изготовления стержней по нагреваемой оснастке. На этих рабочих местах фиксируется превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) в среднем до 1,5 – 2 раз, однако максимально разовые концентрации веществ превышают допустимые до 4 – 5 раз. Такое положение создается недостаточным отсосом загрязненного воздуха системой вытяжной вентиляции от стержневых ящиков, а также тем, что доотверждение стержней происходит здесь же у рабочих мест.

Значительные газовыделения характерны и для выбивных участков литейных цехов массового и серийного производства. Однако на рабочих местах выбивальщиков, как правило, их содержание незначительно превышает ПДК, так как выбивные решетки чаще всего расположены в изолированных помещениях, а рабочие места операторов — в специальных кабинах. И совершенно иная картина наблюдается при выбивке средних и крупных отливок на решетках, установленных на участках.

Существующее положение с загазованностью рабочих мест литейных цехов объясняется несовершенством технологических процессов изготовления отливок в песчаных формах с использованием смесей на органических связующих, недостаточной эффективностью работы систем вытяжной вентиляции, несовершенством технологического оборудования (отсутствие укрытий и встроенных местных отсосов или неэффективностью их работы).

Таким образом можно сделать вывод о том, что вредные вещества оказывают влияние на работающих в литейных цехах, степень воздействия которого определяется применяемыми технологическими процессами и оборудованием для приготовления смесей связующими материалами для изготовления стержней и форм, плавки и заливке металла, выбивке форм, уровнем механизации и автоматизации, а также характером производства.

УДК 621.74:628.517

### **Освещение рабочих мест литейных цехов**

Студенты гр. 104117 Буртыль Ю.Ф., Мокуха О.И.  
Научный руководитель – Лазаренков А.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Исследование естественного освещения участков литейных цехов показало, что коэффициент естественного освещения не соответствует нормированным значениям практически на всех участках цехов. Такое положение создается за счет того, что остекления боковых окон и светоаэрационных фонарей сильно загрязнены и не подвергаются чистке в установленные сроки. Часто часть площади оконных проемов закрыты эстакадами, технологическим оборудованием.

Результаты исследований искусственного освещения рабочих мест литейных цехов приведены в таблице 1. Сравнение фактической освещенности рабочих мест с нормативной показало недостаточность в системе искусственного освещения практически на всех участках литейных цехов. При изучении причин выявлено, что не все лампы работают (перегоревшие лампы длительное время не заменяются), установленные сроки чистки светильников не соблюдаются. Все это приводит к значительному снижению освещенности рабочих мест. Такое неблагоприятное положение в литейных цехах серийного и мелкосерийного производств в сравнении с цехами массового производства объясняется тем, что в данных цехах невысокий уровень механизации и автоматизации, а на каждом участке необходимо использовать грузоподъемные механизмы, такие как мостовой кран. Использование же мостовых кранов приводит к размещению светильников общего освещения на большой высоте (8–15 м от пола цеха), что значительно затрудняет оперативную замену перегоревших ламп, чистку и мойку светильников. А это существенно снижает световой поток от светильника и не обеспечивает требуемой освещенности. Исследования, проведенные нами в ряде литейных цехов, показали, что плановые чистки и мойки светильников и замена перегоревших ламп увеличивают освещенность рабочих мест. Однако плановые чистки и мойки светильников проводятся крайне редко (в лучшем случае два раза в год), в то время как на отдельных участках их нужно осуществлять ежемесячно.

Исследуя освещенность рабочих мест литейных цехов построили гистограммы распределения искусственного освещения по уровням (ступеням) до и после чистки, мойки светильников и замены перегоревших ламп. Анализ полученных результатов показал, что до проведения профилактических мероприятий освещенность соответствовала нормам только на 12,5 % рабочих мест литейных цехов массового, 2,4 % – серийного и в 9,8 % цехе мелкосерийного производства. Несколько лучшее положение с освещением отмечается в литейных цехах массового и мелкосерийного производств, технологические процессы и оборудование которых позволяет размещать светильники на меньшей высоте в связи с отсутствием на большинстве участков мостовых кранов, а также использованием в светильниках дуговых ртутных высокого давления ламп.

Таблица 1 – Результаты исследований освещенности рабочих мест литейных цехов

Участок цеха	Факт освещенность люкс (лк)		Норма освещенности, (лк)
	до профилактики	после профилактики	
Шихтовый	40-90	80-150	200
Смесеприготовительный	30-100	90-170	200
Стержневой	60-145	130-240	300
Формовочный	50-125	100-140	200
Плавильно-заливочный	70-135	100-160	200
Выбивной	30-85	85-140	200
Обрубочно-очистной	50-110	90-150	200

После осуществления профилактических мероприятий освещенность соответствовала нормам на 58,7 % рабочих мест литейных цехов массового, 36,6 % – серийного и 49,5 % рабочих мест цеха мелкосерийного производства. Как видно из приведенных данных, профилактика систем освещения играет большую роль и дает ощутимые результаты.

Таким образом, анализ результатов исследований освещения действующих литейных цехов со всей очевидностью показал, что действующие системы искусственного освещения, как правило, не отвечают предъявляемым к ним требованиям по созданию нормальных зрительных условий труда и не позволяют получить требуемую освещенность на большинстве рабочих мест литейных цехов. Поэтому необходимо определять оптимальные варианты осветительных установок с использованием ламп типа ДРЛ и МГЛ на стадии проектирования или реконструкции, а также для действующих литейных цехов; следует строго выполнять рекомендуемые сроки проведения профилактических мероприятий, что позволит создавать требуемые зрительные условия труда литейщиков или значительно улучшить их.

УДК 621.791.65:658.345

### **Аттестация рабочих мест электрогазосварщиков по условиям труда**

Студент гр. 104818 Подлипский С.Н.  
 Научный руководитель – Данилко Б.М.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Электрическая сварка широко применяется в машиностроении и других отраслях промышленности. Помимо высоких технико-экономических показателей электросварка обладает и некоторыми отрицательными свойствами, что неблагоприятно воздействует на

организм человека и условия труда. В связи с этим аттестация рабочих мест по условиям труда имеет важное значение.

Основными профессиями сварочного производства являются профессии электрогазосварщика и электросварщика ручной сварки. При выполнении сварочных работ на них воздействует целый ряд вредных производственных факторов.

В воздух рабочей зоны выделяется сварочная аэрозоль, в состав которой входят марганец, оксиды азота, оксиды кремния, оксида железа, хрома, никеля, оксид углерода, озон и др. вредные вещества. Фактическая концентрация вредных веществ зависит от способа сварки и режима сварки. Опыт показывает, что при соблюдении оптимальных режимов сварки и эффективной вентиляции концентрация вредных веществ не превышает ПДК.

Сварочная дуга является источником образования лучистой энергии – теплового (инфракрасного) излучения и ультрафиолетового излучения. Эти два фактора всегда превышают предельно допустимые уровни из-за особенностей технологического процесса сварки. Фактическая интенсивность инфракрасного излучения в зависимости от режимов сварки может составлять 170 – 240 Вт/м<sup>2</sup> при допустимых значениях 140 Вт/м<sup>2</sup>. При этом облучению должно подвергаться не более 25 % поверхности тела. Ультрафиолетовое излучение влияет на организм человека, в частности при электросварке вызывает электроофтальмию глаз. Это воздействие зависит от спектра излучения. Различают три области: УФА – с длиной волны 315 – 400 нм; УФВ – с длиной волны 280 – 315 нм; УФС – с длиной волны 200 – 280 нм. Согласно санитарным нормам для электросварочных работ установлены следующие допустимые интенсивности излучения в области УФА – 10 Вт/м<sup>2</sup>, в областях УФВ и УФС (суммарно) – 1,0 Вт/м<sup>2</sup>. Исследования показали, что при электррварке интенсивность излучения в области УФА превышает допустимые величины в 1,1 – 1,3 раза, в области УФВ + УФС с 2 – 3 раза, что требует эффективной защиты глаз.

При проведении электросварочных работ возникает шум. При сварке покрытыми электродами на оптимальных режимах шум не превышает ПДУ, при механизированной сварке в углекислом газе уровень звука превышает допустимый на 2 – 6 дБА.

Все эти факторы учитываются при аттестации рабочих мест, на основании которой определяется право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда, право на дополнительный отпуск, право на доплату за вредные условия труда и разрабатываются мероприятия по улучшению условий труда.

УДК 614.841.4

### **Техника безопасности при обслуживании электрооборудования подстанций**

Студент гр. 106228 Чернецов Р.А.

Научный руководитель – Мордик Е.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Как и другое сложное и высокотехнологическое электрооборудование, эксплуатация оборудования трансформаторной подстанции требует особенно бережного отношения и тщательного соблюдения требования безопасности. Обычно «Межотраслевые правила по охране труда при работе в электроустановках» уже содержат в себе рекомендации, которые нужно выполнять неукоснительно для того, чтобы не допустить аварийной ситуации. К сожалению, никто не совершенен, и людям свойственно совершать ошибки, которые могут привести к аварии и в худшем случае к гибели людей.

Работать под поднятой крышкой трансформатора во время ревизии обмоток или переключателя ступеней напряжения разрешается только при условии, если между крышкой

и баком трансформатора установлены предохранительные прокладки, надежно удерживающие выемную часть трансформатора.

Работать внутри бака разрешается только в том случае, если из бака полностью удалены масляные пары, выемная часть не висит над баком и внутри бака применены переносные лампы на напряжение не выше 12 В. Запрещается использовать для промывки бака и арматуры трансформатора бензин или другие легковоспламеняющиеся вещества. Удалять остатки масла из баков и очищать их внутреннюю поверхность разрешается только при вынутой и отведенной в сторону выемной части. Зажигать огонь и курить в баке трансформатора запрещено.

Проезды к помещению или месту, где производится сушка, должны обеспечить беспрепятственный проезд пожарной автомашины в случае возникновения пожара.

Помещение, в котором будет производиться сушка трансформатора и трансформаторного масла, должно быть обеспечено вентиляцией, телефоном, водоснабжением и противопожарными средствами.

В помещениях, предназначенных для сушки, запрещается находиться посторонним лицам, разводить открытый огонь или курить, хранить бочки с трансформаторным маслом или другими горючими материалами, применять войлок, древесные стружки или паклю для теплоизоляции трубопроводов, емкостей и кожухов.

До начала сушки трансформаторов электрическим током корпуса, трубопроводы и баки трансформаторов должны быть заземлены. При сушке силовых трансформаторов необходимо место работы оградить. Во всех опасных местах необходимо вывесить знаки безопасности. Все электровоздуходувки и другие нагревательные приборы и аппараты должны иметь приспособление, не пропускающее искры.

При сварочных работах должны соблюдаться следующие условия:

- сварщик должен пройти специальный инструктаж по пожарной безопасности;
- при сварке маслонаполненной аппаратуры могут допускаться сварщики высокой квалификации, прошедшие специальную подготовку и имеющие опыт данной работы.

Производить сварочные работы или пайку в помещении, в котором работает маслоочистительная аппаратура, запрещается.

Установка маслоочистительной аппаратуры на монтажной площадке должна позволять обслуживающему персоналу свободный подход к аппаратуре со всех сторон. Расстояние между стенами и оборудованием до аппаратуры должно быть не менее 0,75 м с трех сторон, а со стороны управления – не менее 1,5 м.

Запрещается устранять какие-либо дефекты в маслоочистительной аппаратуре во время ее работы.

Установку и крепление радиаторов, расширительного бака, выводов в фарфоровых маслонаполненных изоляторах и других деталей трансформатора разрешается производить только с помощью грузоподъемных механизмов. Перед тем как производить измерение сопротивления изоляции обмоток, необходимо отключить питание намагничивающей и рабочих обмоток соединенных в схему нулевой последовательности.

Совмещать монтажные работы на трансформаторе с работами по его испытаниям категорически запрещается.

## **Применение глушителей для снижения шума на энергетическом оборудовании**

Студент гр. 106328 Метелица Д.В.  
Научный руководитель – Филянович Л.П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

На современных электростанциях шум, как правило, превышает допустимые уровни. Поэтому активно ведутся работы по шумоглушению.

Известны три основных метода уменьшения производственного шума: снижение шума в самом источнике; снижение шума на путях его распространения; архитектурно-строительные и планировочные решения.

Метод уменьшения шума в источнике его возникновения заключается в усовершенствовании конструкции источника, в изменении технологического процесса.

Наиболее эффективно применение этого метода при разработке нового энергооборудования.

Для звукоизоляции различных помещений электростанции (особенно машинного и котельного залов как наиболее шумных) используют строительные решения: утолщение наружных стен зданий, применение окон со сдвоенными стеклами, пустотелых стеклянных блоков, двойных дверей, многослойных акустических панелей; уплотнение окон, дверей, проемов; правильный выбор мест забора и выпуска воздуха вентиляционных установок. Необходимо также обеспечивать хорошую звукоизоляцию между машинным залом и подвальными помещениями, используя тщательную заделку всех отверстий и проемов.

На станциях часто сооружают отдельные звукоизолированные помещения щитов управления, в результате чего уровень звука не превышает нормы.

Иногда в машинных залах устанавливают акустические камеры для размещения обслуживающего персонала (дежурные электрики и др.). Эти звукоизолирующие кабины представляют собой самостоятельный каркас на опорах, к которому прикрепляют пол, потолок, стены. Окна и двери кабины должны иметь повышенную звукоизоляцию (двойные двери, сдвоенные стекла). Для проветривания предусматривается вентиляционная установка с глушителями на входе и выходе воздуха.

Если необходимо иметь быстрый выход из кабины, ее выполняют полузакрытой, т.е. одна из стенок отсутствует. При этом акустическая эффективность кабины снижается, однако отпадает необходимость в устройстве вентиляции.

Применение отдельных кабин закрытого или полузакрытого типа в помещениях станций можно отнести к индивидуальным средствам защиты обслуживающего персонала от шума. К индивидуальным средствам защиты относятся также различные типы вкладышей и наушников. Акустическая эффективность вкладышей и, особенно, наушников в области высоких частот довольно велика и составляет не менее 20 дБ. Недостатками этих средств является то, что наряду с шумом уменьшается уровень полезных сигналов, команд и т.п., а также возможно раздражение кожного покрова, главным образом, при повышенных температурах окружающей среды. Тем не менее рекомендуется использовать вкладыши и наушники при работе в условиях шума, превышающего допустимые уровни, особенно в области высоких частот. Безусловно, целесообразным является их применение при кратковременных выходах из звукоизолированных кабин или щитов управления в зоны повышенного шума.

Одним из способов снижения шума на путях его распространения в помещениях станций являются акустические экраны. Акустические экраны изготавливаются из тонколистового металла или другого плотного материала, который может иметь звукопоглощающую облицовку с одной или двух сторон. Обычно акустические экраны

имеют небольшие размеры и обеспечивают локальные снижения прямого звука от источников шума, не оказывая существенного влияния на уровень отраженного звука в помещении. При этом акустическая эффективность не очень велика и зависит, главным образом, от соотношения прямого и отраженного звука в расчетной точке. Повышения акустической эффективности экранов можно достичь путем увеличения их площади, которая должна составлять, по крайней мере 25 – 30 % от площади сечения ограждений помещения в плоскости экрана. При этом эффективность экрана возрастает за счет снижения плотности энергии отраженного звука в экранируемой части помещения. Применение экранов больших размеров позволяет также существенно увеличить число рабочих мест на которых обеспечивается снижение шума.

Наиболее эффективно применение экранов совместно с установкой на ограждающих поверхностях помещений звукопоглощающих облицовок.

Для снижения шума в помещении машинного зала установки, излучающие интенсивный звук, закрывают кожухами. Звукоизолирующие кожухи обычно изготавливают из листового металла, облицованного с внутренней стороны. Поверхности установок сплошь или частично можно обшивать звукоизолирующим материалом.

Наиболее интенсивен аэродинамический шум, возникающий при работе вентиляторов, дымососов, газотурбинных и парогазовых установок, сбросных устройств (линии продувки, предохранительные линии, линии антипомпажных клапанов компрессоров ГТУ). Сюда же можно отнести и РОУ.

Для ограничения распространения такого шума по потоку транспортируемой среды и выхода его в окружающую атмосферу применяются шумоглушители. Глушители занимают важное место в общей системе мероприятий по снижению шума на энергопредприятиях, ибо через заборные или сбросные устройства звук из рабочих полостей может непосредственно передаваться в окружающую атмосферу, создавая наибольшие уровни звукового давления (по сравнению с другими источниками звукоизлучения). Также полезно ограничивать распространение шума по транспортируемой среде, чтобы предупредить чрезмерное проникновение его через стенки трубопровода наружу путем установки глушителей шума (например, участок трубопровода за редукционным клапаном). На современных мощных паротурбинных блоках шумоглушители ставятся на всасе дутьевых вентиляторов

.Глушители шума принято делить на активные и реактивные. Снижение шума в глушителях активного типа происходит за счет затухания звуковой энергии в поглощающей облицовке, в качестве которой используют специальные рыхловолокнистые и пористые материалы. Поглощение шума в глушителях реактивного типа происходит путем отражения и рассеяния звуковой энергии на акустических фильтрах, которые образованы сочетанием акустической массы и упругости в виде камер и соединительных трубок. В электроакустике активные глушители рассматривают как системы с распределенными параметрами, а реактивные – как системы с сосредоточенными параметрами. Характерной особенностью глушителей активного типа является довольно плавный вид частотной кривой заглушения; у реактивных глушителей эта кривая имеет ряд острых пиков и провалов. В реальных конструкциях глушителей затухание звука происходит как за счет активных, так и за счет реактивных процессов.

Для снижения шума низких частот, а также при выбросе ряда агрессивных газов, например, в автомобильных двигателях внутреннего сгорания, целесообразнее использовать реактивные глушители шума. Одним из простейших и распространенных типов реактивных глушителей является одиночная расширительная камера.

Наибольшее применение реактивные глушители камерного типа нашли для заглушения шума в трактах поршневых компрессоров, которые имеют относительно небольшие диаметры. Причем, для увеличения заглушения часто используют не однокамерные, а многокамерные глушители. В этих глушителях отдельные камеры связаны между собой либо с помощью отверстий в разделительных перегородках, либо с помощью



внутренних или внешних соединительных трубок. Оси соединительных трубок смещают относительно друг друга для устранения «лучевого» распространения звука на высоких частотах.

УДК621.311.22

### **О снижении вибрации энергетических установок**

Студент гр. 106328 Алексевиc С.Т.  
Научный руководитель – Филянович Л.П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Вибрации трубопроводов энергетических установок проявляются в виде периодических перемещений сечений трубопровода около некоторого «нулевого» положения, к которому трубопровод возвращается при затухании вибрации. Это положение называют положением равновесия. Трубопровод, как и всякая механическая упругая система, если его вывести из состояния равновесия, будет находиться под действием восстанавливающих упругих сил, интенсивность которых пропорциональна отклонению сечений трубопровода от исходного положения. Под действием этих сил трубопровод будет стремиться возвратиться к исходному положению. Вследствие наличия инерции массы трубопровода при достижении положения равновесия движение не может мгновенно прекратиться, и возникают колебания.

На трубопроводы энергетических установок воздействуют нагрузки, обусловленные конструктивно-технологическими и эксплуатационными факторами.

Для удобства анализа надежности трубопроводных систем нагрузки разделяют на три основные группы: статические; повторно-статические; динамические.

К статическим относятся нагрузки, вызываемые внутренним давлением теплоносителя в системах, весом трубопровода и теплоносителя, деформация трубопроводов при монтаже и замене агрегатов и связанного с трубопроводами оборудования.

Повторно-статические нагрузки вызываются внутренним давлением теплоносителя при срабатывании запорной арматуры и клапанов, температурными деформациями, тепловым ударом, а также при замене или регулировке упругих опор и т.п.

К динамическим нагрузкам относятся нагрузки, вызываемые вибрацией агрегатов и технологического оборудования, пульсирующим потоком теплоносителя, гидравлическими ударами, а также инерционными нагрузками при кинематическом возбуждении колебаний трубопроводов.

Вращающиеся роторы, воздействуя на свои опоры, вызывают вибрации корпусов и вибрации всей машины в целом на ее опорах. Если с такой машиной окажутся жестко связаны трубопроводы, то узлы стыковки трубопроводов с корпусом в процессе вибрации последнего будут также перемещаться вместе с машиной. Главным источником вибрации трубопроводов в энергетических установках в большинстве случаев является пульсирующий поток транспортируемого по трубопроводам теплоносителя.

При работе циркуляционных и питательных насосов в трубопроводах часто возникают значительные колебания давления, возбуждаемые насосами. Возникновению колебаний давления в трубопроводах с пульсирующим потоком способствует наличие крутых поворотов технологических трубопроводов, гибов и разветвлений. При этом особенно высокие амплитуды колебаний имеют место при образовании в трубопроводных системах стоячих волн, которые создаются при отражении периодических импульсов давления в теплоносителе от неоднородностей трубопроводов. Особенно опасными являются условия акустического резонанса.

Возможности появления неисправностей в трубопроводах энергетических установок под действием вибрации весьма разнообразны.

При вибрациях трубопроводов энергетических установок должна быть обеспечена достаточная виброустойчивость конструкции. Это требование ограничивает вибросмещение трубопроводной системы уровнем, безопасным для нормального функционирования технологического оборудования и для прочности силовых элементов, связанных с трубопроводом. Обеспечение виброустойчивости трубопровода может быть также осуществлено различными средствами. В частности, предъявляются требования к частотным спектрам колебаний трубопроводов, исключая динамические воздействия со стороны трубопровода на элементы оборудования с резонансными частотами последних. Аналогично способам обеспечения прочности требование виброустойчивости может означать, что условиями нормальной эксплуатации энергетической установки наложены ограничения по виброактивности на различные элементы трубопроводной системы, например назначен допуск на предельные уровни колебаний давления на входе основных технологических агрегатов, ограничены вибрации корпусов циркуляционных насосов, установлен предел для максимальных динамических усилий со стороны опор трубопровода на фундамент и т.п.

Вибрации трубопроводов во многом определяются:

- соотношением основных гармоник возмущающего воздействия и спектра собственных частот трубопровода; при совпадении составляющих спектра (нагрузок с собственными частотами) возникают резонансные вибрации трубопроводов;
- величинами возмущающих воздействий, которые непосредственно определяют амплитуды вибраций, усилия в трубопроводе;
- направлением действия внешних возмущающихся сил и распределением их по длине трубопровода;
- демпфирующими свойствами трубопроводов и их опор.

Выбор наиболее эффективного метода устранения вибраций может быть сделан только в результате тщательного анализа всех этих факторов. Иначе применение метода, эффективного в одних случаях, может привести к увеличению вибраций и разрушения конструкции в других случаях.

В качестве меры борьбы с вибрациями часто используют крепления вибрирующих трубопроводов к несущим конструкциям. Применение такого метода может приводить к разрушению опор и нарушению связей, на которые передаются усилия, возникающие в местах креплений. Известны случаи, когда вибрации трубопроводов, закрепленных к конструкциям цехов, приводили к разрушению зданий. Это связано с тем, что опоры и крепления устанавливаются без тщательного анализа характера вибраций, который определяется взаимодействием источников возмущений с трубопроводной механической системой.

К настоящему времени разработаны многочисленные методы для устранения вибраций конструкций. Условно их можно разработать на следующие группы:

- методы уменьшения возмущающих сил (уравновешивание роторов, улучшение проточной части трубопроводных систем с целью снижения возмущений колебаний давления теплоносителя);
- методы, предусматривающие изменения параметров трубопроводов с целью отстройки собственных частот колебаний от частот возмущающих сил;
- методы виброизоляции и амортизации трубопроводов от источников вибраций;
- методы динамического гашения вибраций с помощью специальных динамических и импульсных гасителей колебаний или при помощи специальных систем электромеханической обратной связи;
- методы демпфирования колебаний силами трения.

Снижение амплитуд колебаний давления в трубопроводах энергетических установок может достигаться следующими способами:

- созданием трубопроводной системы, спектр собственных частот которой отличается от частот внешних воздействий, что предотвращает возможность возникновения резонансных колебаний в среде теплоносителя;
- устранением или уменьшением интенсивности источников возмущений в проточной части трубопроводной системы;
- применением гасителей колебаний давления.

УДК 621.181

### **Условия труда в котлотурбинном цехе**

Студентка гр. 106428 Махина С.А.  
Научный руководитель – Винерский С.Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Надежную и безаварийную эксплуатацию оборудования котлотурбинных цехов (далее – КТЦ) тепловых электростанций и руководство безопасной работой работающих в этих цехах обеспечивают начальник КТЦ, машинисты и старшие машинисты турбинного отделения, котельного оборудования, машинисты котлов и другой эксплуатационный персонал.

Начальник КТЦ относится к группе руководящего оперативного персонала, поэтому фактический баланс его рабочего времени включает организационное обслуживание (15 % времени смены он затрачивает на ведение технической документации и работу с персоналом в кабинете) и оперативное время, которое предусматривает необходимость осуществления контроля за работой оперативного персонала и оборудования как по показаниям КИП, приборов автоматики на главном щите управления, так и личным осмотром работающего оборудования во время обхода наиболее важных точек обслуживания котлов.

Машинист и старший машинист котельного оборудования осуществляют организационное обслуживание (оформляют допуск к работе по наряду), контроль за работающим оборудованием по показаниям КИП и приборов автоматики, опробирование работоспособности предохранительных клапанов и осмотр работающего оборудования с целью своевременного выявления нарушений в его работе во время регулярных осмотров.

Функции машиниста котлов заключаются в контроле за работающим оборудованием по показаниям КИП и приборов автоматики, осмотре и обслуживании отдельных узлов котлов во время регулярных обходов.

Анализируя работу этого персонала следует заметить, что большую часть оперативного времени персонал проводит в одних и тех же зонах обслуживания, которые характеризуются неблагоприятными и вредными санитарно-гигиеническими факторами в рабочей зоне.

Загазованность воздуха рабочей зоны, уровни шума, параметры микроклимата и теплового излучения в местах контроля и обслуживания приведены в таблицах 1 – 4.

Таблица 1 – Концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Место замера	NO <sub>2</sub> (ПДК = 2 мг/м <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (ПДК = 10 мг/м <sup>3</sup> )	CO (ПДК = 20 мг/м <sup>3</sup> )	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> (ПДК = 300 мг/м <sup>3</sup> )
Главный щит управления	1,0	0,9	10,0	36,0
Мазутный, газовый и питательный узлы (отметка 6,6 м)	1,6	1,4	15,8	70,0
Отметка обслуживания барабана котла (отметка 18,0 м)	4,2	1,8	21,2	65,0
Нулевая отметка котла	0,8	0,7	8,6	30,0

Таблица 2 – Уровни шума в точках обслуживания котлов

Место замера	Нормативное значение (ПДУ), дБА	Фактическая величина, дБА
Главный щит управления	65	66
Мазутный, газовый и питательный узлы	80	88
Отметка обслуживания барабана котла	80	84
Нулевая отметка котла	80	81

Таблица 3 – Параметры микроклимата (работа контролировалась в холодный период года)

Место замера	Температура, °С		Относительная влажность, %	
	Нормативное значение	Фактическая величина	Нормативное значение	Фактическая величина
Главный щит управления	20...25	29,8	не более 15-75	30
Мазутный, газовый и питательный узлы	19...24	23,2	не более 15-75	39
Отметка обслуживания барабана котла	19...24	50,0	не более 15-75	18
Нулевая отметка котла	19...24	21,0	не более 15-75	46

Таблица 4 – Интенсивность инфракрасного (теплого) излучения на местах обслуживания котла

Место замера	Нормативное значение	Фактическая величина
Мазутный, газовый и питательный узлы	100	70
Отметка обслуживания барабана котла	100	210...350

Анализ всех приведенных санитарно-гигиенических факторов показывает, что работа начальника КТЦ, старшего машиниста, машиниста котельного оборудования и машиниста котлов выполняется в потенциально жизне- и травмоопасных условиях с возможностью аварийных ситуаций и риском для жизни (с сосудами под давлением) при постоянном присутствии в воздухе рабочей зоны вредных химических веществ, при повышенном уровне шума, высокой температуре и наличии инфракрасного (теплого) излучения в местах обслуживания котлов.

**Функции и обязанности оперативно-выездной бригады по оперативному управлению объектами распределительной сети и подстанциями**

Студенты гр. 106618 Баран А.А., Демешкевич Е.В.  
Научный руководитель – Винерский С.Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Нами проанализированы функции и обязанности оперативно-выездной бригады (далее – ОВБ), осуществляющей оперативное управление объектами распределительных сетей, обслуживание, ремонт и ликвидацию аварийных ситуаций на подстанциях и в распределительных сетях района электрических сетей (далее – РЭС).

Смена ОВБ состоит из 2-х человек – дежурного электромонтера (старшего в смене, имеющего группу по электробезопасности не ниже IV) и дежурного электромонтера, совмещающего обязанности водителя.

Рабочим местом дежурного электромонтера ОВБ являются обслуживаемые объекты распределительной сети 0,4 – 10 кВ закрепленной зоны, обслуживаемые подстанции, коммутационные аппараты, установленные на воздушных линиях 35 – 110 кВ, оперативные переключения на которых производятся ОВБ, помещение ОВБ и закрепленный за ОВБ автомобиль.

В соответствии с графиком дежурств, составленным начальником районной диспетчерской службы (далее – РДС), согласованным с цехкомом и утвержденным начальником РЭС, электромонтер и электромонтер-водитель для приема смены должны прибыть на базу за 20 минут до начала смены.

После оценки начальником или диспетчером РДС физического состояния электромонтеров диспетчер РДС дает разрешение на приемку смены.

По прибытии на участок РЭС электромонтер и электромонтер-водитель по средствам связи сообщают диспетчеру РДС о готовности к несению дежурства и, получив его разрешение, приступают к приемке смены.

Прием-сдача смены оформляются в оперативном журнале.

При приемке смены дежурный ОВБ должен:

- получить сведения от сдающего смену (предыдущего дежурного) о состоянии оборудования, о произошедших изменениях в схемах;
- ознакомиться со всеми записями и распоряжениями за время, прошедшее с предыдущего дежурства;
- выяснить виды работ, выполняемых на закрепленном участке по нарядам-допускам и распоряжениям;
- проверить комплектацию машины по табелю комплектации и журналу учета защитных средств, исправность защитных средств, средств связи,
- принять помещение, а водитель-электромонтер обязан проверить состояние и исправность автомобиля.

Затем дежурный электромонтер ОВБ должен оформить приемку смены записью в оперативном журнале и доложить диспетчеру РДС о приемке смены и готовности приступить к работе.

В течение смены дежурный электромонтер обязан:

- производить оперативное обслуживание оборудования подстанции и распределительной сети обслуживаемой зоны;
- включение и отключение оборудования подстанций и распределительной сети в нормальном и аварийном режимах (под руководством диспетчера РДС либо оперативной диспетчерской службы (далее – ОДС));

- следить за нагрузками оборудования и напряжением, а в случаях их отклонения от допустимых значений сообщать об этом диспетчеру РДС и под его руководством принимать меры по ликвидации нарушений;

- выполнять работы на оборудовании подстанций и распределительных сетей в соответствии с перечнем основных работ, выполняемых ОВБ, который утвержден главным инженером электросетей;

- выполнять работы по ликвидации аварий на подстанциях и в распределительных сетях обслуживаемой зоны;

- вести оперативные переговоры;

- выполнять оперативные распоряжения диспетчера РДС (ОДС) и своевременно докладывать об их исполнении;

- делать записи в оперативном журнале о всех произведенных переключениях, результатах осмотра оборудования и т.д.;

- производить подготовку рабочих мест, осуществлять допуск к работе персонала ремонтных бригад на подготовленные рабочие места, надзор на их работой и производить приемку рабочих мест после окончания ремонтных работ;

- соблюдать требования нормативных документов и инструкций по технике безопасности при проведении оперативных переключений, обслуживании оборудования, ликвидации аварий и выполнении аварийно-восстановительных работ.

Дежурный ОВД по окончании смены проверяет защитные средства, инструмент, приспособления, документацию, аварийный запас топлива в автомашине, оформляет необходимые записи в оперативном журнале, затем:

- сообщает принимающему смену об имеющихся замечаниях в работе оборудования, полученных устных указаниях от вышестоящего оперативного персонала и руководства;

- перечисляет какие, где и кем производятся работы, имеющиеся отключения и ограничения потребителей в зоне обслуживаемой электросети;

- сдает принимающему смену защитные средства, инструмент, приспособления, материалы аварийного запаса и документацию;

- докладывает диспетчеру РДС об окончании смены и расписывается в оперативном журнале о сдаче смены.

Приемка смены во время переключений, ликвидации аварий производится только с разрешения вышестоящего оперативного персонала.

Выезд ОВД на оперативные переключения, на аварии в сети, на устранение повреждений может быть разрешен только по команде диспетчера РДС и после проверки работы радиосвязи. При этом радиостанция на машине должна быть включена постоянно, а в случае отказа в ее работе электромонтер должен поддерживать связь с диспетчером РДС с ближайшего по пути следования телефона.

Электромонтер ОВБ имеет право:

- отстранять от работы в обслуживаемой сети бригады или лиц, работающих без наряда-допуска, распоряжения;

- самостоятельно проводить ряд операций с оборудованием, устройствами релейной защиты подстанций с целью ликвидации аварий, обеспечения безопасности людей, сохранности оборудования при отсутствии связи с диспетчером РДС (ОДС);

- вызывать на рабочее место начальника РДС и других ИТР РЭС для решения вопросов,

связанных с ликвидацией или предупреждением аварий;

- в случае пожара на энергообъектах обслуживаемой зоны или помещения ОВБ самостоятельно принимать меры по пожаротушению, вызывать персонал МЧС и сообщать о нем диспетчеру РДС и руководству РЭС;

- делать предложения и участвовать в обсуждении мероприятий по улучшению условий труда и защитных мер по технике безопасности.

## Противопожарные обои

Студент гр. 111167 Моисеенко С.С.  
Научный руководитель – Ушакова И.Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Стеклообои (Стеклотканевые обои) – особый тип рулонного настенного покрытия, изготавливаемый ткацким методом из стеклонитей различной плотности и толщины, с последующей пропиткой специальным составом для придания тканому полотну противопожарных свойств. Стеклотканевые обои состоят исключительно из натуральных природных исходных компонентов, безопасных в использовании (не содержат винил и других органических и высокоопасных веществ). Исходное сырье для производства стеклонити: кварцевый песок, сода, известняк и глина. В процессе изготовления к сплетенному из стеклонитей полотну добавляется пропитка из модифицированного крахмала, который также является натуральным природным компонентом. Стеклообои не накапливают статического электричества, поэтому на них не скапливается пыль. Благодаря такому составу стеклотканевые обои поддерживают в помещении уникальный экологически чистый микроклимат.

Стеклотканевые обои – во многом уникальный отделочный материал, который обладает целым рядом неоспоримых преимуществ перед общепринятыми и широкоупотребляемыми настенными покрытиями. Главное преимущество стеклотканевых обоев – их противопожарные свойства. В случае возникновения пожара стеклотканевые обои не горят и не поддерживают горения, что позволяет использовать их не только в жилых и общественных помещениях, но и для отделки путей эвакуации в производственных зданиях. Данный факт засвидетельствован зарубежными и российскими сертифицированными и аккредитованными лабораториями. Являясь негорючим материалом, стеклотканевые обои выделяют мало опасные вещества ( $\text{ПДК} > 10,0 \text{ мг/м}^3$ ).

Стеклотканевые обои, к примеру марки Wellton, относятся к группе горючести Г1 (слабо горючие), к группе воспламеняемости В1 (трудновоспламеняемые), к группе токсичности продуктов горения Т1 (малоопасные по токсичности продуктов горения), группе дымообразующей способности Д2 (умеренной дымообразующей способностью) и группе распространения пламени по поверхности РП1 (не распространяющие). После нанесения на поверхность стены стеклотканевые обои рекомендуется окрашивать латексными красками и красками на водной основе, которые должны быть негорючими строительными материалами.

Наиболее крупные производители этого вида настенных покрытий сосредоточены в Швеции, Германии, чешской Республике, Китае и Российской Федерации, в Республике Беларусь осваивается их производство. Наиболее известными и широко распространенными торговыми марками стеклотканевых обоев являются стеклотканевые обои Wellton, Oscar и Vitulan.

Студент гр. 110427 Ковшер М.А.  
Научный руководитель – Вершеня Е.Г.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

С ростом энергообеспеченности современных сооружений увеличивается и риск возникновения пожаров и пожароопасных ситуаций. Между тем, помимо прямого ущерба, пожары наносят огромный косвенный урон всей экономике. Сегодня на первый план выходит организация пожарной безопасности – создание комплекса мер, который позволит если не потушить сразу возникший очаг возгорания, то хотя бы с наименьшими потерями дождаться приезда пожарных.

Строящиеся современные здания требуют и современных технологий противопожарной защиты. Дело в том, что вода и по сей день – самый используемый материал пожаротушения, до 90 % всех пожаров ликвидируется именно водой. Это наиболее простой, экологичный и дешевый способ ликвидировать огонь. Но традиционные приспособления – пожарные стволы или стационарные системы, хотя и очень надежны, имеют ряд недостатков. Проблема состоит в том, что они потребляют огромное количество воды (более 0,08 л/с/м<sup>2</sup>) и их использование требует наличия емкостей и резервуаров. Кроме того, обычное распыление с диаметром капель от 0,4 – 2 мм вызывает буквальное затопление помещения. Это приносит большие убытки, особенно в современных зданиях, переполненных электрокабелями и сложной техникой. Ущерб, наносимый средствами тушения пожаров, в частности, водой, порой несоизмеримо больше урона от самого пожара. Применение безводных средств ограничено по ряду соображений - порошковые, газовые, аэрозольные системы хотя и обладают очень высокой эффективностью, но не безупречны с точки зрения экологии, ведь в них используется хладон (халон), а от него решено было отказаться по Монреальскому соглашению о защите озонового слоя Земли. Замены хладону существуют, но они намного дороже.

В настоящее время все большее применение находит метод тушения тонкораспыленной водой (ТРВ). Технология эта известна с 1950-х годов, но не находила широкого применения. Считалось, что большое количество воды эффективнее тушить очаг возгорания. Действительно, мощная струя (с диаметром капель более 400 микрон) легко достигает ядра очага пожара, проникает в него и тушит, но при этом большая часть воды (до 60%) стекает ниже уровня возгорания и на горение не влияет. При технологии тушения тонкораспыленной водой механизм действия на пламя иной. Можно выделить три причины эффективности тонкодисперсной воды:

1. Вместо механического «сбивания» пламени водяной туман (микрокапельки величиной менее 200 микрон) увеличивает скорость поглощения тепла из горючих газов и пламени. Суммарная поверхность капель гораздо выше, чем при традиционных методах тушения, поэтому помимо увеличения скорости испарения увеличивается и суммарная площадь испарения мелких капель, а значит, потери тепла тоже гораздо больше.

2. При быстром испарении водяной пар замещает воздух в зоне горения, вытесняя кислород. Огонь попросту «задыхается».

3. Снижается тепловое излучение. Данные экспериментов свидетельствуют, что тепловой поток от стандартных очагов возгорания на расстоянии 1,7 м снижается более чем в 4 раза, что локализует очаг возгорания, при этом воды выливается в разы меньше, чем при обычном тушении.

Кроме всего этого, известно, что главную опасность при пожаре представляет не открытое пламя, а неконтролируемое распространение дыма и огня.



Раскаленный до критических температур дым не только ядовит, но и способен оказывать поджигающее действие. Кроме того, он с легкостью распространяется по вентиляционным каналам. Тонкораспыленная вода не только охлаждает дымовые газы, но и осаждает ядовитые аэрозоли и позволяет контролировать начавшееся возгорание.

Системами ТРВ можно даже тушить возгорания электрощитовых – водяной туман не вызывает замыкания. Нельзя их применять только для тушения щелочных металлов, металлоорганики, карбидов, раскаленного угля и железа – все эти вещества при контакте с водой вступают в химическую реакцию с выделением огромного количества тепла.

Модульные системы ТРВ автономны, не требуют ни подвода электроэнергии, ни дополнительных резервуаров воды. Не последним фактором является и то, что ТРВ практически безвредны для человека. Все это предполагает широкое поле для использования этих установок. Назовём некоторые области применения, где ТРВ практически не имеет конкурентов:

1. Жилые помещения (гостиницы, общежития, индивидуальные дома).
2. Публичные помещения (театры, кинотеатры, стадионы, рестораны).
3. Объекты культуры (музеи, картинные галереи, библиотеки).
4. Производственные помещения.
5. Складские помещения (бумага, продукты деревообработки), продовольственные и фармацевтические склады, склады со сложной и дорогой электронной техникой.
6. Архивы.
7. Подземные автостоянки.
8. Объекты транспорта.
9. Места содержания животных.

УДК 621.791

### **Новые средства индивидуальной защиты в строительной сфере**

Студент гр. 112119 Бегменов Б.О.  
Научный руководитель – Вершеня Е.Г.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Средства индивидуальной защиты применяют в тех случаях, когда безопасность работ не может быть обеспечена конструкцией оборудования, организацией производственных процессов, архитектурно-планировочными решениями и средствами коллективной защиты.

В зависимости от назначения средства индивидуальной защиты подразделяют согласно ГОСТ 12.4.011-89 на следующие классы:

- специальная одежда (комбинезоны, полукомбинезоны, куртки, брюки, костюмы, полусубки, тулупы, фартуки, жилеты, нарукавники)
- специальная обувь (сапоги, ботинки, галоши, боты)
- средства защиты головы (каска, подшлемники, шапки, береты)
- средства защиты органов дыхания (противогазы, респираторы)
- средства защиты лица (защитные щитки и маски)
- средства защиты глаз (защитные очки)
- средства защиты органов слуха (противошумные шлемы, наушники, вкладыши)
- предохранительные приспособления (диэлектрические коврики, ручные захваты, манипуляторы, наколенники, налокотники, наплечники, предохранительные пояса)
- средства защиты рук (рукавицы, перчатки)
- защитные дерматологические средства (пасты, кремы, мази, моющие средства)

Средства защиты глаз и лица необходимы рабочим многих профессий для защиты от летящих частиц, дымов и раздражающих твердых веществ, жидкостей и газов при выполнении полирования, измельчения, резки, взрывных работ, дробления, при выполнении гальванических и химических процессов; защита от интенсивного лазерного излучения, от ультрафиолетового и инфракрасного излучения при выполнении сварки или при работе вблизи источников высокой температуры. Используемые средства защиты глаз и лица соответствуют конкретному виду опасности. В отдельных случаях предпочтительнее использовать средства защиты всей поверхности лица. При необходимости пользуются защитными капюшоном или шлемом, либо защитной маской для лица. Для защиты глаз можно пользоваться открытыми и закрытыми очками.

Новое измерение комфорта защитных очков:

Инновационные защитные очки uvex i-3 обеспечивают идеальное прилегание к лицу. Гибкие боковые дужки благодаря различным углам наклона можно регулировать, а специальные зоны Softflex подстраивают очки под любой размер головы. Мягкий носовой упор Softflex предотвращает скольжение и давление даже при использовании очков uvex i-3 в течение длительного периода времени. Мягкие заушники Softflex обеспечивают удобную посадку и безопасность в любой ситуации.

Открытые панорамные очки Икс-Тренд – анатомическая форма линзы и панорамный обзор. Помимо модного современного дизайна обеспечивают наивысшую степень защиты в классе открытых очков. Оптический класс № 1 (не дают искажения и не имеют ограничения по длительности ношения).

Отличительные характеристики: сверхлегкие открытые очки с монолинзой из ударопрочного поликарбоната с неограниченным полем зрения, с покрытием против царапин и против запотевания. Обеспечивают защиту от ультрафиолета.

Серая линза защищает от яркого солнечного света и обеспечивает хорошую видимость сигнальных огней.

Травмы головы происходят относительно часто и составляют от 3 до 6% всех несчастных случаев. Нередко они бывают тяжелыми и приводят к значительным, до трех недель, потерям рабочего времени по нетрудоспособности. Причиной травм являются падение предметов с острыми углами, например, инструмента или крепежных болтов с высоты нескольких метров, а также удары головой о землю или о какие-либо фиксированные предметы во время падения.

Основное назначение защитной каски заключается в том, чтобы предохранять голову рабочего от удара, а также обеспечивать дополнительную защиту от других механических воздействий, тепла и электрического тока.

Универсальная каска, обеспечивающая эффективную защиту и удобство в эксплуатации, еще не создана. Поэтому при выборе защитной каски следует учитывать защитные свойства и удобство в использовании различных моделей. Защитные свойства каски должны соответствовать характеру потенциального производственного риска и условиям их эксплуатации.

Новая разработка – каска Эйрвинг изготовлена из высококачественного полиэтилена. Оголовье имеет 6 точек крепления, что обеспечивает равномерное распределение усилия при ударе. Данная модификация каски не имеет вентиляционных отверстий и защищает от контакта с проводниками под напряжением до 1000 В. Текстильное оголовье и кожаная вставка для впитывания пота обеспечивает особый комфорт при длительном ношении. Каска имеет дополнительную защиту затылочной части головы. Плавная и удобная регулировка по размеру головы (52 – 61 см) надежно фиксирует каску, ремешок необходим только при проведении монтажных работ и при работах на высоте.

Средства защиты органов слуха это специально разработанные устройства для защиты органов слуха от воздействия громких нежелательных звуков. На крупных производствах часто бывает необходимо оградить сотрудников от излишнего шума. Для

этого существуют средства индивидуальной защиты от шума. Различные средства защиты слуха имеют конструктивные особенности и соответственно разный уровень защиты. Средства защиты слуха рассчитаны на широкий диапазон шумовых нагрузок. Удобные в использовании, гигиеничные и комфортные средства защиты слуха – противошумные вкладыши и наушники – используются во многих отраслях промышленности. Современные комфортные наушники для повышенной шумовой нагрузки, шумоподавление 31 – дБ иех 3V: маленький вес и оптимальная сила прижатия чашечек наушников позволяет достигать максимального удобства при использовании. Прочная стальная дуга с двумя точками крепления на чашечке. Сменные мягкие подушечки. Плавная регулировка по размеру головы.

Наушники яркого желтого цвета хорошо заметны в темноте, флюоресцентная поверхность дужки отражает свет. иех 3V делают человека заметным в условиях плохой видимости.

УДК 693.22.004.18

### **Современные устройства эвакуации с высоты**

Студенты гр. 112159 Гусь О.В., Иванов А.Л.

Научный руководитель – Вершеня Е.Г.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Эвакуация часто единственный способ спасения человека, оказавшегося в опасной для жизни ситуации. Стихийные бедствия, террористические акты, техногенные катастрофы собирают обильный урожай смертей потому, что люди не смогли вовремя покинуть опасное место. Во время террористической атаки 11 сентября 2001 года в США большинство погибло через 40 минут после того, как самолеты врезались в «Башни Близнецы». Если бы эти высотные здания были оборудованы средствами эвакуации, погибли бы только те, кто погиб от удара самолетов, а это десятки, а не тысячи. Любой человек, живущий выше третьего этажа, рискует жизнью, ведь в случае пожара задымление и высокая температура часто делают эвакуацию невозможной, а помощи можно и не дожидаться. В связи с развернувшимся в последнее время активным строительством, возникла ситуация, когда жители или работники этих зданий, да и остальные люди работающие или находящиеся на высоте оказались предоставлены сами себе при возникновении чрезвычайных ситуаций. Способов спасения при помощи специальных служб существует множество и различного оборудования у них достаточно, проблема в том, что далеко не всегда эти службы успевают вовремя. Часто покинуть опасное место необходимо быстро, а специальная подготовка отсутствует. Люди гибнут, прыгая с высоты, не выдерживая высокой температуры, или задыхаются. Возникла потребность в устройствах, которые помогли бы людям быстро и безопасно покинуть оказавшиеся в зоне бедствия сооружения.

В настоящее время на рынке предлагаются различные устройства, выполняющие роль средств эвакуации с высоты. В большинстве случаев для данного применения предлагаются либо профессиональное альпинистское снаряжение, такое как сур2, восьмерка и т.п., либо устройства, такие как парашюты, надувные воланы и т.п.

Наиболее распространенными устройствами являются канатно-спусковые устройства. Устройства данного типа конструктивно проработаны досконально и широко применяются в промышленном альпинизме, спасательных службах, специальных подразделениях силовых структур, а также для безопасности производства работ (например машинистам башенного крана). Устройство данного типа условно делятся на две группы:

- спасательные устройства с ручным регулированием скорости спуска;

- спасательные устройства с автоматическим регулированием скорости спуска.

Устройства с ручным регулированием скорости спуска конструктивно являются наиболее простыми. Принцип их работы заключается в ручном торможении каната за счет силы трения или заклинивания на поверхностях тормозного механизма. В спасательных устройствах с автоматическим регулированием скорости спуска применяются тормозные механизмы, которые обеспечивают бесступенчатое автоматическое регулирование скорости спуска за счет использования центробежных или гидравлических муфт, инерционных рекуператоров энергии. Устройства этой группы выпускаются в большом количестве и ассортименте. Высота применения, в зависимости от назначения, от 5 до 300 метров. Наиболее часто их используют в строительной и монтажной практике. В качестве средства спасения при пожарах их стационарно монтируют в общественных зданиях. В отличие от устройств с ручным регулированием скорости спуска устройства автоматического типа обладают неизмеримо большим потенциалом с точки зрения использования на пожаре. Также следует отметить, что при использовании устройства автоматического типа не требуется специального обучения и как следствие оно может использоваться в каждой семье.

В заключении хочется отметить, что проблема безопасности действительно очень актуальна. И нужно думать о сохранении своей жизни и жизни своих близких. Учитывая сложившуюся ситуацию на рынке и реальные возможности спасения среднестатистического человека, канатно – спусковые системы, представленные в нашей работе, являются наиболее востребованными в конъюнктуре нашей реальности.

УДК 331.4

### **Система «Человек – машина – среда»**

Студент гр. 112127 Малашко А.М.

Научный руководитель – Журавков Н.М.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

С получением в свое распоряжение огромных энергетических ресурсов, новой техники и технологий, человек вместе с тем оказался перед сложнейшей задачей – обеспечением эффективного, устойчивого и безопасного управления этой техникой.

Система «Человек – машина – среда» представляет собой сложную многофункциональную систему, включающую неживую, живую материю и общество.

Человеческий фактор – очень сложная информационно-энергетическая система, состоящая на 95% из информационно-энергетических слоев подсознания.

На физиологическом уровне выделяются следующие блоки: зрительный анализатор (ЗА), слуховой анализатор (СА), тактильный анализатор (ТА), коммутатор (К), которые осуществляют прием и преобразование входных сигналов, управляющие движения, обеспечивающие взаимодействие человека с окружающей средой.

На психологическом уровне выделяются следующие блоки: оперативно запоминающее устройство (ОЗУ); постоянно запоминающее устройство (ПЗУ); блок принятия решения (БПР). С их помощью решаются стратегические задачи, определяющие цели и направления деятельности человека при минимальном риске, вопросы обеспечения устойчивости и надежности поведения человека в будущем.

К основным параметрам анализаторов относятся:

1. Абсолютная чувствительность – минимальное значение раздражителя, вызывающего начальное ощущение.
2. Предельно-допустимая интенсивность сигнала – болевой порог восприятия.

3. Диапазон чувствительности – зона восприятия сигнала от абсолютного до болевого порога.

4. Дифференциальная чувствительность - минимальное изменение интенсивности сигнала, ощущаемое человеком.

5. Границы спектральной чувствительности – абсолютный порог ощущений по частоте сигнала.

6. Дифференциальная чувствительность к изменению частоты сигнала - дифференциальной, различительный порог по частоте.

Специфической особенностью рецепторов человека является большой диапазон значений интенсивности сигналов, в пределах которого возможно эффективное функционирование анализаторов, вместе с весьма высокой дифференциальной чувствительностью к интенсивности. Такое сочетание оказывается возможным благодаря системе адаптации и сенсбилизации анализаторов (понижение и повышение их чувствительности в зависимости от средней интенсивности сигналов, воздействующих в течение некоторого времени).

Адаптация - свойство анализаторов, заключающееся в изменении чувствительности под влиянием их приспособления к действующим раздражителям. Ученые Э.Вебер и Г.Фехнер определили количественную зависимость соотношения между физическим параметром сигнала (стимулами) и ощущениями человека. Ими показано, что величина прироста интенсивности, вызывающая отчетливую дискретность между двумя стимулами, находится в постоянном отношении к исходной интенсивности.

Закон Вебера – Фехнера: ощущение человека  $L$  пропорциональны логарифму раздражения  $X$ :

$$L - \ell q \frac{X}{X_0}$$

где  $X_0$  – порог восприятия интенсивности раздражения человеком;

$X$  – исходная интенсивность раздражения.

Закон Вебера – Фехнера является одним из наиболее фатальных физиологических законов человека, так как он накладывает свой отпечаток на большинство катастроф, связанных с человеком в его социальной жизни. (войны за передел собственности, глобальные техногенные катастрофы и др.)

Положительный момент этого закона в том, что он обеспечивает безопасность органов чувств человека – даже сильные входные воздействия не могут разрушить анализатор.

Отрицательный момент этого закона действует на социальном уровне. Чем больше человек имеет, тем больше ресурсов требуется для удовлетворения его потребностей, которые возрастают в логарифмической пропорции, а ресурсы земли ограничены, что приводит к социальным взрывам, революциям и войнам за передел собственности.

Человек в информационном плане система не устойчивая. Эффективность и устойчивость работы «Человек – машина – среда» зависит от многих составляющих и в первую очередь от распределения и согласования функций между человеком и машиной.

### **Методы очистки вентиляционных выбросов**

Студенты гр.113418 Чакуков Р.Ф., Шаплыко Д.А.  
Научный руководитель – Автушко Г.Л.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Выбор метода очистки вентиляционных выбросов определяется их составом, количеством и агрегатным состоянием вредных веществ (ВВ), а также требованиями, предъявляемыми к вторичным продуктам. Известно, что при обезвреживании ВВ уничтожить их совсем невозможно. Для создания мало- или безотходного производства электронной техники необходимо знать, что собой представляет каждый метод очистки вентиляционных выбросов от ВВ и в какой мере он выполняет основную задачу – защиту атмосферы.

При создании современных очистных систем комплексно решаются следующие вопросы:

- 1) специализация сбора и удаления отходов;
- 2) сочетание различных методов очистки;
- 3) получение малотоксичных соединений.

Вентиляционные выбросы в атмосферу могут представлять собой различные гетерогенные системы: (Г-Т) и (Г-Ж), а также (Г-Г).

Выбросы гетерогенной системы в первую очередь подвергаются разделению методами отстаивания, фильтрования и коагуляции.

Далее выбираем метод адсорбции. При использовании твердого вещества поглощение идет за счет притяжения молекул под действием сил Ван-дер-Ваальса. Этим методом можно улавливать пары многих органических и неорганических веществ. В качестве адсорбентов применяют твердые вещества, обладающие развитой поверхностью. Адсорбент в процессе очистки используется многократно, после чего его подвергают регенерации, используя инертный газ или водяной пар. При использовании жидкого адсорбента его выбирают из условий растворимости в нем удаляемых веществ. При использовании жидкого адсорбента его выбирают из условий растворимости в нем удаляемых веществ. В зависимости от конкретных задач применяются адсорберы различных конструкций: пленочные, насадочные, трубчатые и др. В химических адсорберах достигается уровень санитарной очистки газов от соединений HF, HCl, NH<sub>4</sub>, KCl, NaCl и др.

### **Охрана труда при производстве технической керамики**

Студенты гр.113418 Беляева О.Д., Дрозд Л.А.  
Научный руководитель – Автушко Г.Л.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

При производстве керамики возможно проявление ряда общих факторов, представляющих опасность для здоровья. Рассмотрим операции изготовления керамики с возможными вредными воздействиями на человека:

· воздействие шума в диапазоне от 85 до 100 дБ. Основные источники шума - пневматические вибраторы, компрессоры, пускатели, приводные двигатели смесителей, вентиляторы и пылесборники;

- воздействие эргономических факторов, связанных с выполнением вручную погрузочно-разгрузочных операций и подъемом мешков с сырьем, с работой вибраторов, транспортных средств и эксплуатацией оборудования;
- воздействие дымов и аэрозолей исходного сырья (например, окиси кремния, металлов, щелочной пыли) или побочных продуктов (например, фтористого водорода, кристобалита, дыма тяжелых металлов);
- пожары или взрывы, обусловленные использованием топлива для нагрева или топлива для автопогрузчиков;
- электротравматизм - прямое воздействие высокого напряжения, необходимого для работы нагревателей сопротивления, которые используются как источники дополнительного нагревания наряду с топливной системой, может быть причиной производственной травмы со смертельным исходом и представляет опасность, как источник электромагнитных полей.

В рассматриваемом секторе промышленности наблюдается травматизм кумулятивной природы, связанный с повторяющимся характером движений при выполнении рабочих операций, перенапряжением и чрезмерной нагрузкой. Для предотвращения колебаний уровня шума и защиты слуха целесообразно использовать средства защиты слуха и осуществлять программы сохранения слуха. Для уменьшения опасности воздействия окиси кремния проводят уборку помещений пылесосами или обеспечить влажную уборку. При повышенных концентрациях окиси кремния осуществляют периодические медицинские осмотры с контролем функций органов дыхания и просвечиванием грудной клетки. Необходимо также предпринимать меры по уменьшению до минимума воздействия тяжелых металлов, присутствующих в исходном сырье, глазури и пигментах.

Одновременно осуществляются меры по предотвращению раздражения кожи и органов дыхания. Во многих странах предусмотрено государственное регулирование содержания формальдегида, как канцерогенного вещества. В процессе производства, обработки, резки и монтажа изделий из стекла, горных пород, шлака и огнеупорных, керамических, волокнистых материалов образуются респираторные волокна. Хотя в большинстве случаев концентрация аэрозоля волокон различных материалов достаточно низкая (менее 1 волокна в куб. см), при нарушении работы вентиляции их концентрация может увеличиться.

УДК 678.5.02:628.5

### **Охрана окружающей среды при производстве полимеров**

Студенты гр.113418 Беляева О.Д., Дрозд Л.А.

Научный руководитель – Автушко Г.Л.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Наряду с требованиями к качеству продукции, предъявляемыми потребителями, серьезными факторами в сохранении, укреплении и расширении рынков сбыта на сегодняшний день являются экологические показатели, характеризующие работу предприятия, экологическая оценка производства продукции, а также системы управления этим производством.

Одним из структурных подразделений ОАО «БЗПИ» является аккредитованный испытательный центр, который ведет контроль воздуха санитарно-защитной зоны и территории предприятия на содержание формальдегида, контроль воздуха рабочей зоны по 19 ингредиентам: формальдегид, уксусная кислота, ацетальдегид, оксид углерода, стирол и др., контроль производственных сточных вод по 11 ингредиентам, контроль работы очистных сооружений. Количество выбросов в атмосферу приведено в таблице 1.

Таблица 1

Наименование выброса, отделение, аппарат, диаметр и высота выброса.	Суммарный объем отходящих газов, т/год	Состав выброса, т/год	Допустимое количество компонентов, сбрасываемых в атмосферу, т/год.
Выбросы ВУ.Диаметр-0,4м. Высота-10,6м.	2,26	уксусная кислота- 0,2683; оксид углерода-0,5158	уксусная кислота-7,333; оксид углерода-6,0

На предприятии реализована система оборотного водоснабжения, реализованы организационно-технические мероприятия по уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, а именно – в качестве установок очистки воздуха используются рукавные фильтры, циклоны, стружкоотсосы, передвижные эластатические фильтры.

На предприятии внедрена система контроля за образованием, отдельным сбором, учетом, движением отходов производства, ведется целенаправленная работа по снижению объемов образования отходов и их утилизации. Неиспользуемые на предприятии отходы передаются для дальнейшего использования в качестве вторичного сырья, для обезвреживания и утилизации предприятиям по их переработке. Также в настоящее время на предприятии ведутся работы по созданию и внедрению системы управления окружающей средой (СУОС) в соответствии с требованиями международных стандартов ИСО серии 14000.

УДК 667.637

### **Проектирование цветовой отделки интерьера производственных помещений**

Студентка гр. 113538 Чайкова Л.Д.  
Научный руководитель – Науменко А.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Хорошо продуманная система внедрения эстетики – действенное средство повышения производительности труда. Сущность этой системы заключается в том, чтобы на каждом предприятии при активном участии самих работников создавались такие условия, при которых процесс труда доставлял бы работающему эстетическое удовлетворение, а результаты труда становились наиболее эффективными. Известно, что плохие условия труда снижают работоспособность, приводят к заболеваниям и травматизму, а производительность труда значительно снижается из-за недостаточной освещенности, нерациональной окраски интерьера и оборудования.

Эти требования прописаны в «Указаниях по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий». Настоящий документ распространяется на проектирование цветовой отделки производственных помещений и окраски оборудования вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий. Цветовая отделка интерьера должна проектироваться на основе общего архитектурно-композиционного решения интерьера с учетом физиологического воздействия цвета и способствовать улучшению гигиенических условий труда в производственных помещениях, снижению утомляемости, повышению производительности труда, обеспечению безопасности производственных процессов, а также способствовать улучшению освещения помещений и повышению эстетического уровня промышленных предприятий.

При цветовом решении производственных помещений промышленных предприятий надлежит учитывать:



- а) общий характер работ;
- б) степень точности работ;
- в) климатические и географические особенности района строительства, характер и интенсивность освещения, в том числе спектральный состав света, обусловленный типом источника или ориентацией помещения по странам света;
- г) санитарно-гигиенические условия в помещении;
- д) особенности объемно-пространственной структуры интерьера (абсолютные размеры и пропорции помещений, планировочное решение, степень насыщенности оборудованием и коммуникациями, характер конструктивного решения и др.);
- е) требования техники безопасности (сигнально-предупреждающая и опознавательная окраска, знаки безопасности);
- ж) наличие поверхностей, не подлежащих цветовой отделке и окраске или цвет которых назначается исключительно по правилам применения функциональной окраски.

В качестве характеристик цвета поверхностей следует принимать:

цветовой тон, оцениваемый длиной волны излучения ( $\lambda$ ), выражаемой в нанометрах (нм); чистоту цвета ( $P$ ), оцениваемую степень приближения цвета к чистому спектральному и выражаемую в долях единицы; коэффициент отражения ( $r$ ), представляющий отношение светового потока, отраженного от поверхности, к световому потоку, падающему на поверхность, выраженный в процентах; яркость ( $B$ ), выражаемую в нитах (нт), которая для поверхностей с рассеянным отражением определяется по формуле:

$$B = \frac{E_p}{\pi \cdot 100}$$

где  $B$  – яркость поверхности в нт;

$E$  – освещенность поверхности в лк;

$r$  – коэффициент отражения в процентах.

Для поверхностей с рассеянным отражением при одинаковых условиях освещения яркость оценивается коэффициентом отражения.

Основные правила цветового оформления производственных помещений заключаются в следующем: в любом производственном помещении должно быть светло, стены и потолки должны быть окрашены в светлые тона при относительно небольшой насыщенности и высоком коэффициенте отражения. Необходимо использовать также контрасты между теплыми и холодными тонами (если стены окрашены в теплые тона, то оборудование – в холодные, и наоборот). При выборе цвета для оформления помещений и оборудования надо ориентироваться прежде всего на те цвета, которые отражают не менее 40 – 50 % падающего на них света. В соответствии с этим предлагается для оформления цехов использовать следующие цвета: для потолков железобетонных перекрытий, а также для металлоконструкций - белый, светло-лимонный; для стен, перегородок – белый, светло-зеленый, светло-голубой, светло-желтый, бирюзовый и другие светлые тона. Эти цвета будут способствовать увеличению освещенности и, следовательно, меньшему зрительному напряжению работающего, снижению утомляемости, повышению производительности труда и качества работы. Окраска помещений в светлые тона дает также экономию электроэнергии. Потолки и самый верх стен должны быть белыми. Белый цвет повышает эффективность и равномерность освещения. Только при небольшой высоте помещений можно красить потолок в белый цвет с голубым оттенком.

Соотношение условий труда и культуры производства влияют не только на результативность человеческой деятельности, но и на отношение человека к своей работе. Изменяя условия труда, человек, сам того не замечая, изменяет и совершенствует самого себя, свое отношение к людям вообще, и к коллегам по работе в частности. Такие качества дизайнера, как

общая дружелюбность, мягкость в колорите, психологическая привлекательность стиля, обычно способствуют тому, что сотрудники начинают чувствовать себя не просто комфортно, но, при условии хорошего морального климата в рабочем коллективе, начинают еще как бы «жить на работе» - то есть где-то в глубине души начинает считать свою работу «вторым домом». Ведь если и моральный климат и интерьер на работе ужасные, то человек вряд ли будет спешить по утрам на свою работу, он, конечно, будет обязан это делать, но желания у него не будет. А то, что мы делаем с желанием, мы обычно делаем во сто крат лучше.

УДК 621.316

### **Сравнение основных показателей в области освещения региональных и национальных стандартов**

Студентка гр. 113538 Гиль Н.Н.  
Научный руководитель – Науменко А.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Важность нормирования в современном мире очевидна и определяется, с одной стороны, теми затратами, которых требует устройство и эксплуатация освещения, с другой – эффективностью любых видов деятельности, которая достигается хорошим освещением. Поэтому во всех развитых странах существуют нормы освещения, как правило, имеющие силу закона или стандарта.

На сегодняшний момент в мире действует около двух тысяч стандартов или технических требований, нормирующих освещение и светотехническую продукцию на различных уровнях стандартизации. Главной организацией, занимающейся нормированием освещения признана Международная комиссия по освещению СIE, в числе которой 24 стандарта и более 100 технических отчетов и путеводителей.

Основным документом, действующим на территории Республики Беларусь и нормирующим параметры освещения, является ТКП 45-2.04-153-2009. Данный документ распространяется на естественное и искусственное освещение помещений вновь строящихся и реконструируемых зданий и сооружений различного назначения, мест производства работ вне зданий, площадок промышленных и сельскохозяйственных предприятий, железнодорожных путей площадок предприятий, наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов и устанавливает строительные нормы их проектирования.

Проведем сравнение параметров освещения, нормируемых в ТКП, европейском стандарте EN 12464-1, российским нормам СНиП 23-05-95 и международным нормам.

В российских нормах в осветительных установках промышленных предприятий нормируется показатель ослепленности  $P$ , равный отношению пороговых разностей яркости при наличии и отсутствии слепящих источников в поле зрения. Для расчета показателя ослепленности разработаны инженерные методики, которые приведены в СНиП в виде приложения.

Для общественных зданий, вместо коэффициента ослепленности, нормируется показатель дискомфорта  $M$ . Величина  $M$  зависит от характера выполняемой работы и может принимать значения от 15 до 90. В новых европейских нормах освещенности, в частности в EN 12464-1, нормируется обобщенный показатель дискомфорта  $UGR$ . Значения  $UGR$  заключены в диапазоне от 14 до 27, что значительно меньше значений аналогичного показателя в российских нормах. В ТКП 45-2.04-153-2009 показатель ослепленности лежит в пределах от 20 до 60. Можно сделать вывод, о том что белорусские нормы более строгие, чем российские, однако уступают европейским.

Одним из важных параметров нормирования является параметр освещенности. Основным показателем измерения освещенности является Лк – люкс. Освещенность Лк – люксов = 1 люмен/м. кв.

В европейских и международных нормах данный параметр лежит в пределах от 100 Лк до 1 000 Лк (например, офисы общего назначения с использованием компьютеров – 500 Лк, офисы с чертежными работами – 1000 Лк, кладовые – 100 Лк). В СНиП 23-05-95 все показатели ровно в 2 раза меньше и лежит в пределах от 50 Лк до 500 Лк, что повышает количество травматизма и снижает работоспособность людей. В ТКП 45-2.04-153-2009 основные показатели варьируются от 50 Лк до 500 Лк, но при особо ответственных условиях, например при производстве особо точных деталей комбинированная освещенность может достигать 2000 Лк.

Важными нормируемыми параметрами являются индекс цветопередачи и коэффициент пульсации света (источника света). Индекс цветопередачи (Ra) – это отношение передачи цвета предметов при освещении их данным источником света. Для ламп накаливания почти во всех странах индекс цветопередачи принят равным 100.

Принята следующая система оценки качества цветопередачи:

Ra = 90 – отличное качество;  $90 > Ra > 80$  – очень хорошее;  $80 > Ra > 70$  – хорошее;

$70 > Ra > 60$  – удовлетворительное;  $60 > Ra > 40$  приемлемое; Ra < 80 – плохая.

В этом случае во всех странах нормы освещения устанавливают следующее: для предприятий полиграфической, текстильной, лакокрасочной отрасли промышленности, а также для хирургических отделений больниц общий индекс цветопередачи должен быть не ниже 90.

Коэффициент пульсации – это количество раз изменения светового потока (пульсации или мерцания) в секунду. У газоразрядных источников света таких как люминесцентные, металлогалогенные, натриевые лампы – величина светового потока изменяется с удвоенной частотой тока сети. Так при частоте переменного тока в электрических сетях 50 Гц. Световой поток ламп изменяется («пульсирует») 100 или 120 раз в секунду – все газоразрядные лампы как бы мерцают с такой частотой. Глазу эти мерцания не заметны, но они воспринимаются организмом и на подсознательном уровне могут вызывать такие расстройства как – повышенную утомляемость, головную боль, возможно стрессы. Кроме этого, при освещении пульсирующим светом вращающихся или вибрирующих предметов возникает так называемый «стробоскопический эффект», когда при совпадении частоты вращения или вибрации с частотой пульсаций света предметы кажутся неподвижными, а при неполном совпадении – вращающимися с очень малыми скоростями. Это вызывает у людей ошибочные реакции и является одной из серьезных причин травматизма на производстве. Глубина пульсаций измеряется коэффициентом пульсации освещенности, и в белорусских нормах не должна превышать 20% на рабочих местах, а для некоторых видов производства – 15%. Эти значения одинаковы и для российских норм. В европейских нормах EN 12464-1 нет количественных показателей пульсации освещенности, хотя этому явлению посвящен специальный раздел. Вместо значений коэффициента пульсации в этом разделе просто сказано, что в помещениях с длительным пребыванием людей пульсации освещенности и возникновение стробоскопического эффекта не допускаются.

Кроме вышеназванных показателей, используются и другие, например коэффициент эксплуатации и различные энергетические характеристики.

Можно сделать вывод, о том, что отечественный уровень нормирования освещения несколько слабее, чем международный и европейский, о чем свидетельствует уровень травматичности на производстве. Решением этой проблемы может являться совершенствование технологий и принятие европейских стандартов в рамках программы по гармонизации.

**Вредное воздействие шума на организм человека и защита от него**

Студенты гр. 113638 Сыроежкин А.А., Беланович В.В.  
Научный руководитель – Яганова А.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Шум – одна из форм физической среды жизни. Влияние шума на организм человека зависит от возраста, слуховой чувствительности, продолжительности действия, характера шума. Шум – такой же медленный убийца, как и химическое отравление. Первые дошедшие до нас жалобы на шум можно найти у римского сатирика Ювенала (60 – 127 гг.).

Современный шумовой дискомфорт вызывает у живых организмов болезненные реакции. Шум от пролетающего реактивного самолета, например, угнетающе действует на пчелу, она теряет способность ориентироваться. Этот же шум убивает личинки пчел, разбивает открыто лежащие яйца птиц в гнезде. Транспортный или производственный шум действует угнетающе на человека - утомляет, раздражает, мешает сосредоточиться.

Уровень шума в 20 – 30 децибел практически безвреден для человека. Это естественный шумовой фон, без которого невозможна человеческая жизнь. Для “громких звуков” допустимая граница примерно 80 децибел. Звук в 130 децибел уже вызывает у человека болевое ощущение, а в 150 – становится для него непереносимым, звук в 180 децибел вызывает усталость металла, а при 190 заклепки вырываются из металлических конструкций. Недаром в средние века существовала казнь “под колоколом”, звон колокола медленно убивал человека.

Последовательность, с которой происходит утрата слуха, сейчас хорошо изучена. Сначала интенсивный шум вызывает временную потерю слуха. В нормальных условиях через день или два слух восстанавливается. Но если воздействие шума продолжается месяцами или, как это имеет место на производстве, годами, восстановление не происходит и временный сдвиг порога слышимости превращается в постоянный. Сначала повреждение нервов сказывается на восприятии высокочастотного диапазона звуковых колебаний (4 тыс. герц или выше), постепенно распространяясь на более низкие частоты. Высокие звуки “ф” и “с” становятся неслышными. Нервные клетки внутреннего уха оказываются настолько поврежденными, что атрофируются. Шум мешает нормальному отдыху и восстановлению сил, нарушает сон. Систематическое недосыпание и бессонница ведут к тяжелым нервным расстройствам.

Шум оказывает вредное влияние на зрительный и вестибулярный анализаторы, снижает устойчивость ясного видения и рефлекторной деятельности. Шум способствует увеличению числа всевозможных заболеваний еще и потому, что он угнетающе действует на психику и способствует значительному расходу нервной энергии.

Неслышимые звуки также опасны. Ультразвук, занимающий заметное место в гамме производственных шумов, неблагоприятно воздействует на организм, хотя ухо его не воспринимает. Пассажиры самолета часто ощущают состояние недомогания и беспокойства, одной из причин которых является инфразвук. Инфразвуки вызывают у некоторых людей приступы морской болезни. Даже слабые инфразвуки могут оказывать на человека существенное воздействие, если они носят длительный характер. Некоторые нервные болезни, свойственные жителям промышленных городов, вызываются именно инфразвуками, проникающими сквозь самые толстые стены.

Один из основных источников шума в городе – автомобильный транспорт, интенсивность движения которого постоянно растет. Наибольшие уровни шума 90 – 95 дБ отмечаются на магистральных улицах городов со средней интенсивностью движения 2 – 3 тыс. и более транспортных единиц в час. Уровень уличных шумов обуславливается

интенсивностью, скоростью и характером (составом) транспортного потока. Кроме того, он зависит от планировочных решений (продольный и поперечный профиль улиц, высота и плотность застройки) и таких элементов благоустройства, как покрытие проезжей части и наличие зеленых насаждений. Каждый из этих факторов способен изменить уровень транспортного шума в пределах до 10 дБ. Шум, возникающий на проезжей части магистрали, распространяется не только на примагистральную территорию, но и вглубь жилой застройки. Так, в зоне наиболее сильного воздействия шума находятся части кварталов и микрорайонов, расположенных вдоль магистралей общегородского значения (эквивалентные уровни шума от 67,4 до 76,8 дБ). За последнее время средний уровень шума, производимый транспортом, увеличился на 12 – 14 дБ. Вот почему проблема борьбы с шумом в городе приобретает все большую остроту.

Основные мероприятия по борьбе с шумом в производственных условиях - организационно-технические. Это применение малошумных технологических процессов и машин (изменение технологии производства, способов обработки и транспортирования материалов и сырья, изменение конструктивных элементов машин и т.д.); своевременное проведения планового и предупредительного ремонтов; рациональный режим труда и отдыха работников. Снизить шум на пути его распространения можно за счет применения звукоизолирующих преград (кожухи, экраны, перегородки).

Наиболее эффективным методом борьбы с шумом является дистанционное управление оборудованием (технологическим процессом).

На рабочих местах, где снизить шум до допустимых значений за счет технических мероприятий не представляется возможным, обслуживающий персонал должен применять средства индивидуальной защиты (противошумные наушники и вкладыши, противошумные шлемы и каски, противошумные костюмы).

При гигиеническом нормировании в качестве допустимого устанавливается такой уровень шума, влияние которого в течение длительного времени не вызывает изменений во всем комплексе физиологических показателей, отражающих реакции наиболее чувствительных к шуму систем организма.

Санитарные нормы допустимого шума обуславливают необходимость разработки технических, архитектурно-планировочных и административных мероприятий, направленных на создание отвечающего гигиеническим требованиям шумового режима, как в городской застройке, так и в зданиях различного назначения, позволяют сохранить здоровье и работоспособность населения.

УДК 661.852.3/7

### **Об экологических проблемах при утилизации автомобильных аккумуляторов**

Студент 3 курса Литвинов Д.А.

Научный руководитель – Малашонок И.Е.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

С появлением большего числа автомобилей одной из острых экологических проблем стала утилизация автомобильных аккумуляторов и загрязнение окружающей среды свинцом и его всевозможными соединениями. Вместе с тем в последние годы наблюдается устойчивый спрос на свинец, что в свою очередь обусловлено увеличением производства автомобилей и автомобильных аккумуляторов. Создание системы рециклинга свинцового сырья и предотвращение негативного воздействия свинца на окружающую среду должно стать одним из фундаментальных принципов политики охраны окружающей среды. Объемы переработки вторичных свинецсодержащих материалов, к которым относится лом

аккумуляторных батарей, достигают сотни тысяч тонн в год и постоянно растут. В промышленно развитых странах прирост производства свинца из вторичного сырья существенно превышает его добычу из рудного сырья. Основным технологическим процессом предприятий свинцовой вторичной металлургии является пирометаллургический передел.

Содержание свинца в автомобильных аккумуляторах составляет около 50 % от общей массы аккумулятора, присутствует также около 2% сурьмы, 15% различных пластмасс и до 15 % раствора серной кислоты.

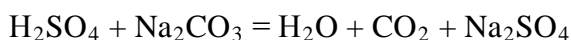
По степени воздействия на живые организмы свинец отнесен к классу высокоопасных веществ наряду с мышьяком, кадмием, ртутью, селеном, цинком, фтором. Опасность свинца для человека определяется его значительной токсичностью и способностью накапливаться в организме. Электролит аккумулятора (разбавленная серная кислота) относится ко второму классу опасности. Вредное воздействие свинца на здоровье взрослых проявляется в повышении кровяного давления, нарушении деятельности нервной системы, печени, почек, снижении репродуктивной функции. Свинец является конкурентным биометаллом по отношению к кальцию и может его вытеснить из избирательных мест связывания с фосфатными, карбоксильными и сульфатными группами в тканях и на клеточных мембранах, при этом происходит нарушение транспорта кальция. Свинец поражает все внутренние органы, в том числе почки. На фоне длительного контакта со свинцом развиваются нарушения функционального состояния почек, заканчивающиеся необратимой хронической нефропатией. Если в скелете первобытного человека было лишь 1 мг свинца, то у современного его в 50–100 раз больше, особенно это актуально для рабочих, обслуживающих регенерацию свинца [1].

Рециклинг свинцовых отработавших аккумуляторных батарей можно разбить на следующие стадии [2, 3]:

1. Слив и переработка отработанного электролита.
2. Дробление батарей и разделение их компонентов.
3. Утилизация органических компонентов батарей.
4. Десульфуризация.
5. Пирометаллургическая переработка свинцового сырья.

Когда аккумулятор попадает на завод для переработки, из него удаляют электролит, затем распиливают и разделяют на составные части, каждый материал перерабатывается с учетом своих технологических особенностей.

В качестве способов утилизации отработанного электролита, содержащего серную кислоту, загрязненную примесями меди, железа и др., применяют нейтрализацию кальцинированной содой ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), при этом образуется раствор сульфата натрия:

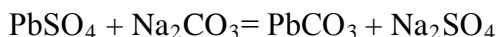


Из раствора можно получить товарный сульфат натрия, который используется в производстве моющих средств, стекла, бумаги.

Лом свинцовых батарей содержит около 60 % пастообразного материала и 40 % пластин из свинца с небольшим содержанием сурьмы. В состав пасты входит ~40 %  $\text{PbSO}_4$ , а также  $\text{PbO}_2$  и мелкодисперсный металлический свинец. Процесс получения чернового свинца ведут при температурах 1000–1200 °С, которая достигается за счет сжигания топлива. Во вращающуюся печь на 1т сырья загружают 15 кг кальцинированной соды, 10 кг негашеной извести, 90 кг кокса, 120 кг чугуновой стружки.

При пирометаллургической переработке пасты сера из сульфат-иона переходит либо в газовую фазу в виде  $\text{SO}_2$ , либо в сульфидно-железистый штейн или штейно-шлаковый расплав, состоящий из сульфидов железа, натрия и свинца. Для исключения выбросов

сернистого ангидрида перед плавкой кеки следует подвергать карбонизации. В качестве десульфуризирующих реагентов применяют карбонаты щелочных металлов:



Сущность десульфуризации состоит в переводе сульфат-иона из сульфата свинца в раствор. Образование сульфидов свинца – перевод  $\text{PbSO}_4$  в менее растворимое соединение  $\text{PbS}$ , не создающее затруднений при его пирометаллургической переработке, увеличивает затраты на предотвращение загрязнения окружающей среды соединениями серы.

Основными недостатками плавки во вращающихся печах являются периодичность работы, принятие специальных мер по избежанию запыленности и загазованности на рабочих местах, получение вместо шлака натриевого штейно-шлакового расплава, опасного для окружающей среды из-за своей химической нестойкости.

Как показали исследования [4] при черновой варке свинца образуется пыль, представляющая собой многокомпонентную систему. Из печи уносятся свинец и его соединения: сульфат  $\text{PbSO}_4$ , карбонат  $\text{PbCO}_3$ , сульфид  $\text{PbS}$ , оксиды  $\text{PbO}$ ,  $\text{PbO}_2$  и металлический свинец.

Большую опасность представляют частицы оксидов свинца, неизбежно попадающие в воздух. Их размер составляет 0,1 – 0,5 мкм. Такие мелкие частицы легко уносятся газом и парами в атмосферу. Вдыхание соединений свинца является еще более опасным, чем их контакт с кожей. У многих работающих симптомы отравления свинцом проявляются уже через очень короткое время работы.

Свинец и его соединения, выброшенные с отходами производства в атмосферу и воду, попадают в почву и включаются в кругооборот веществ в природе. Правовое обеспечение охраны окружающей среды и здоровья человека от воздействия загрязняющих веществ реализуется различными отраслями законодательства, а также нормативными правовыми актами, международными конвенциями и соглашениями. Создание системы рециклинга свинцового сырья и предотвращение негативного воздействия соединений свинца и серы на окружающую среду должно стать одним из фундаментальных принципов политики охраны труда.

### Литература

1. Ливанов П. А., Соболев М. Б., Ревич Б. А. Свинцовая опасность и здоровье населения. // Рос. Сем. Врач. 1999, № 2. С. 18–26.
2. Гардон, Г.М. Пылеулавливание и очистка газов в цветной металлургии. / Г.М. Гардон, И.Л. Пейсохов. – М.: Металлургия, 1977. – 456 с.
3. Hartmann, I. Recent Research on the Explosibility of Dust Suspensions. / I. Hartmann // Ind. And Eng. Chem. – 1968. – V.40. №4. P.762-758.
4. Ашуйко В.А., Малашонок И.Е., Протасов С.К. Некоторые проблемы плавки аккумулятора-торного кека во вращающейся печи // Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ, №3 (141) – Минск, 2011. – Вып. XVII. – С. 30–33.

**Оценка качества косметических минеральных солей природного происхождения по анионному составу**

Студентка ТОВ-III-9 Скробот Н.В.  
Научный руководитель – Савосько И.В.  
Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

О пользе солевых ванн известно уже давно. Благодаря современным технологиям косметологи не только сумели раскрыть всю целительную силу, но и позволили в домашних условиях ощутить эффект воздействия солей, минералов и растительных экстрактов.

В морской воде содержится столько же растворимых минералов, сколько в крови человека. Поэтому морская среда не воздействует агрессивно на человеческий организм, в море или морском климате коже практически не нужно защищать себя от окружающей среды. Косметические серии с морскими элементами включают витамины и антиоксиданты, которые не только борются со свободными радикалами, но и успешно выводят их из организма.

Морская соль – один из самых распространенных косметических продуктов. Благодаря богатству входящих в состав морской соли минералов она улучшает микроциркуляцию крови в капиллярах, оказывает общеукрепляющее, тонизирующее и расслабляющее действие.

В настоящее время в аптеках и сетях косметических салонов предлагается большое количество солей для ванн на основе морских солей и минералов древних отложений. На упаковке, как правило, отсутствует информация о химическом составе соли, однако имеются заверения в истинности природного происхождения компонентов данной продукции. По данным СМИ в последнее время участились случаи фальсификации товаров подобного типа. Поскольку минеральные соли для ванн весьма активно используются потребителями в оздоровительных целях, несомненно, такая продукция должна соответствовать требованиям и нормам безопасности, так как может серьезно повлиять на организм человека.

В нашу задачу входило исследование химического состава ряда солей для ванн, для которых отсутствовала подробная информация такого рода на этикетке, с целью проверки природного происхождения входящих в ее состав ингредиентов. Эталонном для выявления отклонений в анионном составе служили литературные данные по исследованиям минеральных солей соответствующих морских отложений, проводимые ранее геологическими и геодезическими службами. В качестве исследуемых объектов были выбраны следующие соли для ванн:

- соль для ванн на основе минералов Мертвого моря для SPA-процедур (производство РБ),
- соль для ванн на основе бишофита (Волгоградского происхождения, Россия),
- соль для ванн из смеси морских солей с экстрактами лекарственных растений «Саулес Сапнис» (производство РБ).

Литературный поиск показал, что для минеральных солей Мертвого моря и бишофита Волгоградского происхождения имеются данные по их химическому составу. Для соли фирмы «Саулес Сапнис» найти данные о ее составе оказалось невозможно, поскольку на упаковке отсутствовала информация об источнике происхождения составляющих ее солей.

Мертвое море является ценным источником солей и минералов. Концентрация солей в Мертвом море в 10 раз выше, чем в воде других морей и океанов. В Мертвом море содержится 30% минералов, в других морях и океанах – 3%.

Волгоградское месторождение бишофита отличается чистотой состава и высоким содержанием  $MgCl_2$  и значительно большей концентрацией Br, нежели другие



месторождения. Бишофит – составляет в породе от 80 до 99 %, остальное – примесь в виде изоморфного брома (0,5 – 0,9 %), а также незначительное содержание хлоридных, сульфатных и др. минералов.

Исходя из полученной информации, было проведено качественное и количественное определение анионного состава смеси солей для ванн с использованием физико-химических методов анализа, с целью проверки их природного происхождения.

При проведении исследований были определены следующие характеристики: общая растворимость смеси солей в воде (г/л), значение рН, качественный анионный состав (по анионам I–III группы сероводородной классификации). Полученные данные приведены в таблице 1 и сопоставлены с литературными данными:

Таблица 1 – Основные показатели и качественный состав минеральных солей для ванн

№ п/п	Наименование показателя	Натуральная морская соль для ванн «Саулес Сапнис» (РБ)		Бишофит Волгоградского происхождения (Россия)		Соль для ванн на основе минералов Мертвого моря (РБ)	
		Данные анализа	Литературные данные	Данные анализа	Литературные данные	Данные анализа	Литературные данные
1	Растворимость в воде (г/л) при t = 18°C	85,0–95,0	—	108,0–110,0	132,0–133,0	120,0–130,0	—
2	рН	6,0–6,5	—	5,0–6,0	5,5–6,8	5,5–6,5	—
3	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	+	+	+	+	+	+
4	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	—	—	+	—	—	—
5	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	—	—	—	—	—	—
6	Г <sup>-</sup>	+	+	+	+	+	+
7	Сl <sup>-</sup>	+	—	+	+	+	+
8	Br <sup>-</sup>	—	+	+	+	—	—
9	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	—	—	—	—	—	—
10	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	—	—	—	—	—	—

Количественное определение анионов в солях осуществлялось методами кондуктометрического (индикаторный платиновый электрод) и потенциометрического титрования (индикаторный серебряный электрод), турбидиметрии (определение сульфат-ионов) с использованием методов ионного обмена и осаждения для маскировки и разделения ионов. В процессе пробоподготовки органическая часть, входящая в состав некоторых солей (экстракты лекарственных трав, морских водорослей, ароматизаторы), удалялись с помощью органических растворителей.

Полученные в результате анализа данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание анионов в минеральных солях для ванн

№ п/п	Наименование показателя (массовая доля %)	Натуральная морская соль для ванн «Саулес Сапнис» (РБ)		Бишофит Волгоградского происхождения (Россия)		Соль для ванн на основе минералов Мертвого моря (РБ)	
		Данные анализа	Литературные данные	Данные анализа	Литературные данные	Данные анализа	Литературные данные
1	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	24,0	+	5,0	0,1–3,5	15,5	—
2	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	—	—	3,2	—	—	—
3	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	—	—	—	—	—	—
4	Г	2,6	+	—	—	5,5	—
5	Cl <sup>-</sup>	71,0	—	90,0	88,0–97,0	56,5	+
6	Br <sup>-</sup>	3,5	+	<1,0	0,5–1,0	4,2	—

Таким образом, можно сделать выводы, что наиболее полно по своему анионному составу литературным данным соответствует соль для ванн на основе бишофита и, в чуть меньшей степени, соль для ванн на основе минералов Мертвого моря для SPA-процедур, а соль из смеси морских солей «Саулес Сапнис» обладает повышенным содержанием хлоридов.

УДК 331.45:658.382

#### Применение методов статистического анализа для оценки профессионального риска

Студенты гр. 07-ИТ Сташевич Е.В., гр. 10-ХТ-2 Сергеева Е.В.  
 Научный руководитель – Булавка Ю.А.  
 Полоцкий государственный университет  
 г. Новополоцк

Улучшение условий и охраны труда, сохранение жизни и здоровья работающих были и остаются одним из важных направлений социально-экономической политики в Республике Беларусь, в настоящее время накоплен существенный опыт по разработке, внедрению и сертификации систем управления охраной труда, в соответствии с отечественным стандартом СТБ 18001-2009 «Системы управления охраной труда. Требования» в основе которого заложены принципы международной системы организации охраны труда OHSAS-18001:2007 «Система менеджмента профессионального здоровья и безопасности. Требования», а необходимость продолжать активную работу по внедрению в организациях современных и эффективных систем управления охраной труда, обеспечивающих предупреждение травм и аварий на производстве закреплена в Республиканской целевой программе по улучшению условий и охраны труда на 2011 – 2015 годы утвержденной постановлением Совета Министров РБ от 29.06.2010 № 982. В статье 13 закона РБ об охране труда принятого в 2008 году указано, что наниматель обязан «разрабатывать и внедрять процедуры, обеспечивающие мероприятия по снижению профессиональных рисков, анализ их эффективности».

Анализ методологии оценки риска воздействия вредных и опасных факторов условий труда на работников показал, что отсутствует единая методика оценки профессионального риска. В настоящее время среди специалистов по охране труда наиболее распространен упрощенный методом оценки рисков на основе матрицы «вероятность-ущерб».

Учреждение «НИИ труда Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь» разработал в 2011 году проект Методики оценки профессионального риска на рабочих местах, которая отличается от других применением унифицированной

номенклатуры показателей (реестров профессиональных рисков) на различных рабочих местах; универсальностью по технологии расчета для различных видов деятельности; предоставляет возможность учитывать не только имеющиеся риски, но и вероятные, а также может быть автоматизирована. Однако следует заметить, что данный метод оценки допускает большую долю субъективизма, результаты во многом зависят от квалификации и опыта экспертной группы и специалисты не спешат переходить на новую методику расчета, поскольку она носит рекомендательный характер.

Таким образом, на современном этапе повышению качества оценки и управления профессиональными рисками препятствует отсутствие единой общепринятой методики оценки профессиональных рисков. На предприятиях используются различные подходы, вследствие чего затруднено сравнение состояния охраны труда. Вне зависимости от используемой методики большое значение имеет достоверность индикаторов опасности – статистических сведений о производственном травматизме, профессиональной заболеваемости и аварийности.

На наш взгляд методология оценки профессиональных рисков, кроме существующих экспертно-статистических методов, должна включать вероятностно-статистические методы, учитывающие математические модели зависимости уровня травматизма, заболеваемости и аварийности от времени, внешних и внутренних условий, их распределение по тяжести.

К примеру, если известно распределение несчастных случаев на производстве по тяжести возможно введение обобщенного показателя профессионального риска  $R_{np}$ , который учитывает все возможные виды ущерба для здоровья и жизни работника с учетом частоты и тяжести этого вида ущерба (включая смертельный исход). Этот показатель может быть выражен в виде [1]:

$$R_{np} = \sum_{i=1}^L \alpha_i W_i$$

где  $\alpha_i$  – относительная доля (удельный вес)  $i$ -го вида происшествий на предприятии;

$W_i$  – величина среднего ущерба (тяжесть), связанного с  $i$ - тым видом происшествий;

$L$  – количество учитываемых видов ущербов (количество уровней дискретности ущерба по тяжести).

На одном из нефтеперерабатывающих предприятий республики выполнен анализ состояния производственного травматизма (ПТ) по вышеуказанной методике за период с 2005 по 2009 гг. в соответствии с актами формы Н-1 о расследовании несчастных случаев на производстве, результаты анализа представлены в таблице 1. Учетные ПТ условно классифицировались на 7 групп: микротравмы ( $W_0$ ), «легкие» ПТ - с утратой трудоспособности до 10 дней ( $W_1$ ), ПТ «средней тяжести» - с утратой трудоспособности 11-60 дней ( $W_2 \dots W_6$ ) и «тяжелые» - с утратой трудоспособности свыше 60 дней ( $W_7$ ), несчастные случаи со смертельным исходом ( $W_8$ ) Каждой учтенной ПТ присваивался балл с учетом тяжести (от 0,3 – для микротравм ( $W_0$ ) до 30 – со смертельным исходом ( $W_8$ ). Данное соотношение принимается с таким расчетом, чтобы риск каждой категории ПТ (произведение частоты на тяжесть) был примерно одного порядка.

Таблица 1 – Анализ производственного травматизма на НПЗ за 2005 – 2009 гг.

№ п/п	Причина	Показатели тяжести НС									$\Sigma n_j$	$\Sigma n_j \cdot W_j$
		$W_0$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$W_6$	$W_7$	$W_8$		
		0,3	1	2	4	6	8	10	20	30		
1	Нарушения руководящими работниками требований по организации безопасного производства работ								2	1	3	70
2	ДТП					1			2		3	46
3	Нарушение требований безопасности	1				1					2	6,3
4	Личная неосторожность потерпевшего		3	1		2			1		7	37
5	Конструктивные недостатки		1								1	1
6	Неприменение средств индивидуальной защиты потерпевшим		2								2	2
7	Неудовлетворительное содержание территории								1		1	20
8	Неквалифицированные действия			1							1	2
Всего за период с 2005 по 2009		1	6	2	0	4	0	0	6	1	20	184,3

Из представленных данных видно, что вычисленный по примененной методике усредненный за пятилетие показатель профессионального риска на НПЗ, при среднегодовой численности работников около 6700 человек составляет  $R_{пр} = 9,2$ . Этот показатель является коэффициентом частоты наступления некоторого «усредненного по тяжести» условного несчастного случая, т.е. прогнозируемый риск ПТ – 9 условных несчастных случаев в год на 1000 работающих.

### Литература

1. Радаев Н.Н. Повышение точности прогноза вероятности катастроф за счет учета неоднородных статистических данных по ущербу// Автоматика и телемеханика, 2000 г.- №3, с.183-189.



# **Химические технологии**

**Получение и исследование свойств наночастиц гидроксида магния**

Студенты гр. 104110 Фурсевич Т.М., гр. 113611 Глинская Т.М.

Научный руководитель – Меженцев А.А.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Повышенный интерес исследователей к нанообъектам вызван обнаружением у них необычных физических и химических свойств, что связано с проявлением так называемых «квантовых размерных эффектов». Последние возникают в том случае, когда размеры исследуемых систем сравнимы с длинами де-бройлевских волн распространяющихся в них электронов, фононов или экситонов.

Одной из главных причин изменения физических и химических свойств малых частиц по мере уменьшения их размеров является возрастание в них относительной доли «поверхностных атомов, находящихся в иных условиях (координационное число, симметрия локального окружения и т.п.), чем атомы объемной фазы. С энергетической точки зрения уменьшение размеров частицы приводит к возрастанию доли поверхностной энергии в ее химическом потенциале.

Метод получения нанодисперсных материалов, основанный на гидролизе органических и неорганических солей металлов, является одним из наиболее рациональных путей получения нанопорошков с точки зрения перспектив их промышленного применения. Основным преимуществом является простота используемого оборудования, возможность организации непрерывного процесса производства и низкий уровень энергозатрат».

В качестве исходных веществ для металлоорганического синтеза использовали: металлический магний в виде порошка или стружки, метанол, а в качестве стабилизатора толуол или этанол.

Металлический магний растворяли в метаноле при интенсивном перемешивании. К раствору в качестве геля – стабилизатора добавляли толуол, или этанол, после чего метилат магния медленно гидролизовали водой при интенсивном перемешивании, что приводило к образованию геля гидроксида магния.

Определение размеров частиц образовавшегося геля наноразмерного гидроксида магния проводилось турбидиметрическим методом.

В результате проведенных исследований было установлено, что размер частиц полученного методом металлоорганического синтеза геля гидроксида магния, определенный турбидиметрическим методом, составил для порошка магния ~ 250 нм, для стружки ~ 280 нм. Полученный гель является стабильным в течение длительного времени, что позволяет использовать его в качестве антипирена при пропитке деревянных изделий.

Огнестойкость деревянных конструкций может быть повышена за счет использования огнезащитных облицовок из листовых материалов, оштукатуривания, окраски огнезащитными красками и лаками, использования вспучивающихся и фосфатных огнезащитных покрытий, а также глубокой или поверхностной пропитки антипиренами. Глубокая или поверхностная пропитка антипиренами сводится к введению в древесину веществ, которые при определенной концентрации воздействуют на кинетику пиролиза древесных материалов, уменьшая при этом образование горючих летучих продуктов, ингибируют газофазные реакции пламени и исключают горение без источника пламени.

Предлагаемый в качестве антипирена гель гидроксида магния состоит из частиц со средним размером 250-280 нм, что не позволяет ему проникать в древесину на достаточную глубину и поэтому потеря массы образцом составляла 25 %, что соответствует второй группе антиперенов.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о возможности получения наноразмерного гидроксида магния и его применения.

УДК 625.7

### Синтез высокодисперсных продуктов методом Печини

Студент гр. 104110 Джураев Т.Х.  
Научный руководитель – Яглов В.Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В начале 90-х г.г. XX в. Печини предложил использовать для синтеза неорганических веществ метод, включающий предварительную стадию взаимодействия исходных компонентов в растворе. Исходными веществами для синтеза сложного оксида служили нитраты металлов, водные растворы которых смешивали в стехиометрических количествах, и добавляли в полученный раствор органическое вещество, которое должно удовлетворять двум условиям: 1) образовывать комплексные соединения с искомыми металлами; 2) являться органическим топливом. Этим требованиям хорошо удовлетворяет лимонная кислота, винная кислота, глицин. Таким образом, глицин-нитратный метод является фактически частным случаем метода Печини. В классическом случае в синтезе Печини использовалась лимонная кислота. Синтез Печини также имеет две разновидности.

В первом случае в растворы нитратов добавляют лимонную кислоту, которую тщательно перемешивают до полного растворения и раствор упаривают. Далее раствор нагревают, происходит воспламенение смеси с образованием пепла, который отжигают при более высоких температурах с промежуточными перетирами, в результате чего формируется ультрадисперсный порошок сложного оксида.

Во втором случае в раствор нитратов металлов, помимо лимонной кислоты вводят этиленгликоль. Раствор медленно упаривают до образования резиноподобного прекурсора, который затем подвергают термической обработке. В ходе синтеза металлические ионы и лимонная кислота образуют хелатные комплексы. Хелаты имеют свободные гидроксильные группы, за счет которых происходит полиэтерификация хелатов с многоатомным спиртом (этиленгликолем, например). Вследствие этого достигается равномерное распределение ионов различных металлов в резиноподобном прекурсор, при сжигании которого и последующей термообработке образуется однофазный высокодисперсный сложнооксидный продукт.

Как уже отмечалось, вместо лимонной кислоты можно использовать любое другое органическое топливо, способное образовывать комплексы с металлами. Например, в литературе имеется описание синтеза методом Печини нанокристаллического ниобата лития, где в качестве топлива использована мочевины. В результате синтеза, последней стадией которого был изотермический отжиг при 550 °С в течение двух часов, получен однофазный продукт с размерами частиц менее 1 мкм.

Преимущества метода Печини состоят в том, что он позволяет приготовить сложные составы, обеспечивает хорошую однородность через смешение исходных компонентов на молекулярном уровне в растворе. Этот метод позволяет контролировать стехиометрию в синтезируемых образцах, а также не требует высокой температуры для реализации процесса. Методом Печини обычно получают сложные оксидные материалы с размером частиц порядка сотен нанометров.

Метод сжигания имеет множество разновидностей. При приготовлении многокомпонентных смесей (особенно смесей различных по химической природе реагентов) могут возникать трудности с удержанием их в растворимом состоянии.



Существуют различные способы перевода всех или нескольких компонентов таких смесей в комплексные соединения с последующей сушкой и сжиганием полученных полупродуктов. Установлена возможность применения солей карбоновых кислот в целях получения оксидных материалов, что привело к созданию нового направления синтеза карбоксилатной технологии, успешно развиваемой в настоящее время и являющейся достаточно перспективной.

УДК 625.7

### **Синтез $CeVO_4$ под действием микроволнового излучения и по целлюлозной технологии**

Студент гр. 104610 Щербо А.С.

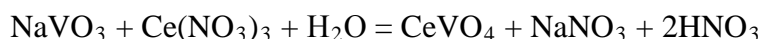
Научный руководитель – Яглов В.Н.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Синтез нанопорошков под действием микроволнового излучения - новый и очень быстро развивающийся перспективный метод. Как и во всех растворных методах, здесь проводят реакцию осаждения продукта реакции из раствора исходных веществ, но на этот процесс воздействуют микроволновым излучением источника, используемого в бытовой микроволновой печи. Энергия микроволн переходит к исходному материалу, что приводит к его быстрому нагреванию, в результате чего инициируется химическое взаимодействие. Механизм воздействия микроволн на наносинтез пока практически не разработан.

В литературе описано получение данным методом некоторых простых и сложных оксидов, в частности, нанокристаллического ванадата церия. В качестве исходных веществ используют оксида ванадия (V), нитрат церия (III), гидроксид натрия и аммиак. Оксид ванадия растворяют в щелочи с образованием ванадата натрия  $NaVO_3$ , к полученному раствору приливают раствор, содержащий стехиометрическое количество  $Ce(NO_3)_3$  и с помощью аммиака и уксусной кислоты придают раствору нужное значение pH (от 4 до 10). Раствор помещают в микроволновую печь мощностью 700 Вт и проводят синтез в течение 10 мин в режиме включения (6 с) — выключения (10 с).

Реакция синтеза ванадата церия протекает по уравнению:



После охлаждения до комнатной температуры осадок ванадата церия отделяют от раствора центрифугированием и фильтрованием, промывают и сушат на воздухе. Полученный таким способом ванадат церия имеет размер зерен от 6 до 18 нм в зависимости от pH исходного раствора. Наименьшие частицы получаются при проведении синтеза в нейтральной среде.

Микроволновый синтез имеет много достоинств: его можно провести очень быстро, он прост и энергетически эффективен. Поэтому этот новый метод в настоящее время очень быстро развивается и находит все большее применение.

Может быть предложен и другой метод синтеза  $CeVO_4$  по целлюлозной технологии.

При синтезе по данной методике бумажный фильтр или чистая целлюлоза пропитывается растворами  $NaVO_3$  и  $Ce(NO_3)_3$ . Особенно хороший результат может быть получен при использовании структурно-модифицированной целлюлозы, которая обладает значительно большей (в 2,5 раза) сорбционной способностью к неорганическим солям.

Структурно-модифицированную целлюлозу получают путем обработки ее 70 %-азотной кислотой. При этом образуется соединение Кнехта  $(C_6H_{10}O_5)_m \cdot nHNO_3$ , при гидролизе которого образуется структурно-модифицированная целлюлоза.

Полученный продукт пропитывают растворами солей в необходимых соотношениях. Последней стадией является сжигание высушенных целлюлозных волокон.

УДК 625.7

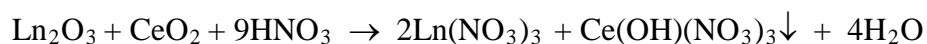
### **Исследование процесса азотнокислотного разделения промышленных шламов на основе оксидов редкоземельных металлов цериевой группы**

Студент гр. 104110 Лопатин М.А.  
Научный руководитель – Горбунова В.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Области применения редкоземельных элементов (РЗЭ) и их соединений весьма разнообразны. Сферы производства, потребляющие неразделенные РЗЭ, - производство стекла, катализаторов нефтехимической промышленности, полировальных порошков, металлургия. Помимо традиционных областей применения разработаны уникальные сферы использования неразделенных РЗЭ, такие как производство пигментов, удобрений, изоляционных волокон. Республика Беларусь не имеет собственных месторождений РЗЭ и для промышленных нужд закупает сырье, содержащее РЗЭ, в других странах (Эстония, Россия и др.). Однако на некоторых предприятиях РБ накоплены РЗЭ-содержащие промышленные отходы, например, отработанные стеклополировальные порошки (в основном марок «полирит» и «фторопол» производства Эстонии и России). Химические составы полировальных отходов различных модификаций достаточно близки - сумма РЗМ в отработанных шламах составляет 70 – 77 масс.%.

Нами был изучен процесс разделения стеклополировального отхода оптико-механического завода БелОМО на два полупродукта – полилantanонидных концентрата – обедненного по оксиду церия и с высоким содержанием оксида церия.

В основу данного процесса положена азотнокислотная обработка, а также особенности химического поведения церия. Как известно, основной нитрат церия (IV)  $\text{Ce}(\text{OH})(\text{NO}_3)_3$  может осаждаться при действии смеси окислов РЗЭ на растворы нитрата церия (IV), образующиеся при растворении  $\text{CeO}_2$  в  $\text{HNO}_3$ :



На этом принципе был основан следующий метод работы. Навеску отхода (в среднем 10,0 г) взмучивали с небольшим количеством дистиллированной воды до кашицеобразного состояния, затем приливали азотную кислоту (концентрация варьировалась в пределах 16 – 55 масс.%) в объёме 35 мл. Перемешивая, смесь нагревали, при этом основная часть оксидов  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  вместе со значительным количеством диоксида церия  $\text{CeO}_2$  переходит в раствор в виде нитратов. Смесь нагревали в течение 1 – 2 часов на водяной бане, перемешивая и добавляя дистиллированную воду взамен испаряющейся. При этом осаждался основной нитрат церия (IV) (см. реакцию). Затем раствор выпаривали до влажного осадка и прибавляли воду, подкисленную азотной кислотой. Через 1 – 2 часа жидкость над осевшим желтовато-белым осадком становилась красновато-розовой, что свидетельствует о накоплении в нем преимущественно нитратов лантана, неодима, празеодима, а в осадке содержится преимущественно основной нитрат церия (IV). Кроме этого осадок содержит нерастворимый в азотной кислоте  $\text{SiO}_2$ , часть нерастворенных оксидов РЗЭ. Раствор подвергали декантации, затем осадок заливали подкисленной водой для промывки. После декантации основной и промывной растворы анализировали на сумму условных оксидов РЗЭ и на содержание церия.

Сумма оксидов РЗЭ в нитратном растворе, полученном после описанной обработки отхода, определялась стандартным термогравиметрическим методом, концентрация ионов церия в растворе – методом обратного титрования  $\text{KMnO}_4$  с солью Мора (методика ГИРЕДМЕТ). Общая степень извлечения условного  $\text{Ln}_2\text{O}_3$  (без  $\text{CeO}_2$ ) в раствор составляла 63,5 – 77,9 масс. %. Степень извлечения  $\text{CeO}_2$  в растворы составила 9,7 – 26 масс. %. Лучшие результаты по вскрытию были получены с  $\text{HNO}_3$  концентрацией 33 – 40 %.

По результатам опытов предложена схема разделения полировального отхода на два полупродукта (полилантаноидных концентрата):

1 – концентрат, обедненный церием (в виде раствора нитратов РЗЭ с примесью Са, Fe), - может применяться в производстве каталитических материалов, металлургии;

2 – концентрат, обогащенный церием (осадок, содержащий в основном церий в виде  $\text{CeO}_2$  и  $\text{Ce}(\text{OH})(\text{NO}_3)_3$ ) может использоваться для получения полировального порошка, с концентрацией  $\text{CeO}_2$  до 90 %, по стандартной промышленной технологии, либо в производстве стекла, катализаторов.

УДК 71.023.7+778.33

### **Нетрадиционные методы получения наночастиц серебра**

Студент гр. 104110 Алампиев Р.О.

Научные руководители – Шнып И.А., Лукьянова Р.С.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Задача получения химически чистых НЧ благородных металлов является важной проблемой и разработка универсальных и высокоэффективных методов получения и очистки наноматериалов должна быть решена в недалеком будущем.

Метод лазерной абляции. Под действием лазерного импульса происходит быстрый разогрев микрочастиц, сопровождающийся испарением металла с поверхности. В конечном счёте происходит образование наноматериала с бимодальным распределением частиц по размерам: более мелкой и более крупной фракций

Радиолитические методы. Радиолитические методы основаны на воздействии на образец электронов или УФ-излучения высокой энергии. При этом отпадает необходимость в использовании традиционных восстанавливающих агентов, стабилизаторов, избыток и продукты разложения которых загрязняют конечный продукт.

Вакуумное испарение металла и электроконденсационный метод Сведберга. Наночастицы можно синтезировать непосредственно из атомарного серебра, образующегося при испарении металла. Пары металла могут быть получены путем испарения в вакууме или при пропускании высокочастотного (800 – 900 кГц) разряда сквозь слой органического растворителя, содержащего порошок металла. Последний способ известен под названием электроконденсационного метода Сведберга. Данный метод позволяет получать устойчивые (в течение более 6 месяцев) золи НЧ серебра в кислородосодержащих растворителях, таких как ацетон или этилацетат. Средний размер частиц в системе серебро-ацетон составляет 1,5 нм.

Биосинтез наночастиц серебра. Существуют микроорганизмы, способные осуществлять биоминерализацию, т.е. продуцирование неорганических материалов и биодеграцию солей тяжелых металлов. Так проведен биосинтез наноразмерных серебряных объектов с помощью бактерий, грибов, ферментов, олигопептидов, синтез, НЧ на основе биотехнологии исключает применение токсических реагентов.

Метод редокс-диспергирования. Описано формирование НЧ серебра в водной среде в процессе редокс-диспергирования. Объектом исследования являлись частицы серебра,

полученные контактным восстановлением ионов серебра из раствора  $\text{AgNO}_3$  с концентрацией  $10^{-3} - 10^{-2}$  моль·л<sup>-1</sup> на алюминиевой пластинке при температуре  $18 \div 20$  °С. Редокс-диспергирование Ag - частиц осуществляли в растворе следующего состава: феррицианид калия (окислитель), борогидрид натрия (восстановитель), щелочь, моноэтаноламин.

В отличие от методов, основанных на восстановлении серебра из растворов его солей в присутствии стабилизатора, метод редокс-диспергирования базируется на принципиально ином подходе. Формирование наноразмерных частиц серебра в водной среде происходит в результате диспергирования более крупных частиц, которые вводятся непосредственно в редокс-раствор в начале реакции.

Таким образом, осуществляемый непосредственно в одной среде процесс редокс-диспергирования серебра приводит к образованию частиц высокодисперсного серебра, размер которых составляет от 1 до 10 нм. Это открывает новые возможности использования процесса редокс-диспергирования в качестве способа формирования наноразмерных частиц серебра в жидкой фазе и свидетельствует о его перспективности для создания наноструктурированных систем на основе серебра.

УДК 546.824-31

#### **Влияние добавки мелкодисперсного диоксида титана на кинетику водопоглощения бетона**

Студент гр. 104110 Свиридов С.А.  
Научный руководитель – Слепнева Л.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В последнее время все больше требований предъявляется к функциям строительных материалов. Помимо грязезащитных свойств, строительные материалы должны обладать и экологическими свойствами, в частности, антиплесневыми, дезодорирующими, бактерицидными, воздухоочистительными и др. В качестве строительного материала для внешних и внутренних поверхностей зданий наиболее широко используются панели на основе цемента, которые не всегда обеспечивают надлежащей защиты. Одним из способов защиты лицевой поверхности внешнестенового материала от загрязняющего воздействия окружающей среды является придание этой поверхности гидрофильных свойств, благодаря чему при выпадении осадков влага распределяется по поверхности пленки покрытия на лицевой поверхности внешнестенового материала, захватывает налипшую грязь, и смывает ее. В качестве гидрофильных полимерных материалов могут применяться, в частности, метилсиликат, жидкое стекло, коллоидный кремнезем, поли(мета)акриловая кислота, политетрафторэтилен, модифицированный путем графт-полимеризации с сульфоновой кислотой и т.д. Эти гидрофильные полимеры обеспечивают достаточную защиту материала от загрязнения, но для получения материалов, обладающих дополнительно антиплесневыми, дезодорирующими и бактерицидными свойствами, добавляют фотохимические катализаторы. Одним из лучших фотохимических катализаторов является золь диоксида титана.

Для испытаний были приготовлены цементные кубики с длиной ребра 2 см. Цемент смешивали с просеянным через сито (размеры ячейки < 2,5 мм) песком в соотношении 1:3, добавляли 10% воды и после тщательного перемешивания заполняли форму. По прошествии 48 часов затвердевшие кубики извлекали из формы, помещали в воду на 28 суток, после чего кубики высушивали на воздухе две недели. Перед испытаниями кубики дополнительно просушивали в сушильном шкафу при 80 °С в течение 1 часа. Кинетику водопоглощения

изучали, помещая кубик в фиксированный объем воды и отмечая прирост массы через определенный интервал времени. После кинетических испытаний сформованные кубики высушивались и обрабатывались диоксидом титана. Существуют различные способы нанесения материала покрытия на лицевую поверхность строительного материала, а именно: аэрозольное распыление, нанесение обливом, нанесение с помощью валика, щеточное нанесение, электростатическое нанесение, нанесение с помощью колокола (центробежное нанесение), вращательное аэрозольное нанесение и др. Обработка кубиков диоксидом титана производилась погружением сформованного бетонного кубика в постоянно перемешивающуюся с помощью магнитной мешалки суспензию  $TiO_2$ . В таблице представлена кинетика водопоглощения до и после обработки бетонных кубиков суспензией диоксида титана.

Таблица

Время, мин	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Масса кубика, г	16,57	17,26	17,35	17,42	17,51	17,52	17,56	17,61	17,63	17,65	17,69	17,69	17,69
Масса кубика с $TiO_2$ , г	18,98	19,42	19,58	19,66	19,69	19,77	19,77	19,77	19,77	19,77	19,77	19,77	19,77

Водопоглощение обработанных  $TiO_2$  бетонных кубиков достигало равновесия в два раза раньше, чем для необработанных, и составляло 4,16 % по сравнению с 6,76 % до обработки. Это свидетельствует о том, что более половины пор в бетонных кубиках оказались доступны для проникновения в них диоксида титана. Учитывая, что размеры мелкодисперсного диоксида титана составляют около 300 нм, можно заключить, что около 38 % пор приготовленного образца бетона имело размеры менее 300 нм.

УДК 621.74.669.14

### **Получение и применение нитридов и карбонитридов титана для наномодифицирования чугуна и литейных сплавов**

Студенты гр. 104110 Лысаковский Г.А., гр. 101150 Шевченко А.А.  
 Научный руководитель – Медведев Д.И.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Комплексные научные исследования показали, что модифицирующая обработка расплава чугуна различными ПАЭ и их комбинациями открывает новые аспекты воздействия на наноструктуру расплава чугуна, что оказывает положительное влияние на процессы структурообразования в графитизированных чугунах. В результате модифицирования в расплаве образуются искусственные эндодральные наносоединения на основе фуллеренов и ПАЭ, которые активно изменяют характер кристаллизации железоуглеродистых расплавов. Установлено, что наномодификатор эффективно влияет на кристаллизацию не только графитной фазы, но и на первичное зерно чугуна, и на фазу неметаллических включений, активизируя последнюю в качестве дополнительных гетерогенных центров графитизации. Наномодифицирование носит единый и всеобщий характер воздействия как на жидкий, так и на кристаллизующийся чугун, независимо от его предыстории. Другой важнейшей особенностью наномодифицирования является его низкая чувствительность к значительным колебаниям химического состава расплава чугуна и к способам плавки, а также подавление проявления «наследственности» шихтовых материалов в структуре чугуновой отливки,

поскольку ПАЭ, входящие в состав модификатора, воздействуют избирательно на формирование структуры чугуна при его кристаллизации. Также наномодифицирование противодействует явлению увядания инокулирующего эффекта в процессе выдержки расплава в ковше перед заливкой формы, что увеличивает технологический цикл живучести расплава чугуна. Модифицирование ковких чугунов позволило сократить длительность графитизирующего отжига до 1 – 5 часов при снижении температуры отжига до 850...950 °С, что способствует экономии топливно- энергетических ресурсов.

В данной работе получены высокодисперсные нитриды и карбонитриды титана с целью модифицирования чугуна и литейных сплавов. Выбор указанных соединений осуществляли на базе имеющихся литературных сведений с учетом основных свойств матрицы и вводимых соединений. Методы идентификации соединений РЗЭ: рентгенофазовый и ИК спектроскопический анализ. Определение химического состава и изучение морфологии ранее полученных нанодисперсных образцов проводили по стандартной методике электронномикроскопическим методом с использованием растрового микроскопа LEO-1420.

Содержание каждого элемента определяли по стандартной методике исходя из 100 %-ного баланса элементов. Идентификацию твердых фаз проводили оптическим методом с использованием микроскопа типа Полам Л-213 (видимый проходящий поляризованный свет), в основу которого было положено сопоставление показателей преломления и дисперсии у исследуемых образцов и соответствующих иммерсионных жидкостей по стандартной методике (метод "фокального экранирования", кратность увеличения 350-500). Микрофотографирование исследуемых на микроскопе (Полам Л-213) объектов проводили при той же кратности увеличения.

Для исследования форм и размера частиц порошка была использована сканирующая электронная микроскопия (электронный микроскоп VEGA II LMU с микроанализатором INCA ENERGY 350 ЭМВ).

В ходе проведенных исследований установлено, что частицы порошков нитрида титана имеют кубическую структуру и содержащие равноосные включения (для карбонитрида титана) и размер частиц составляет от 0,05 до 0,1 мкм. Химический состав синтезированных образцов однороден: образцы содержат 99,3 – 99,6 % мас. основного вещества.

УДК 544(075.8)

### **Влияние гидросульфоалюмината кальция на процесс твердения бетона**

Студент гр. 104111 Горбель И.А.

Научный руководитель – Кречко Н.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Большой интерес в последнее время вызывают нанокристаллические материалы. Они обладают уникальными свойствами и область их применение постоянно расширяется. В этом направлении развития современных материалов перспективными являются нанопорошки.

Процесс твердения бетонной смеси равно как и свойства получаемого материала зависят не только от взаимодействия цемента с водой, но и от добавок в составе бетонной смеси. Современное развитие данных материалов предполагает наличие минимального количества добавок при значительном эффекте улучшения технологических и экспериментальных характеристик материалов.

В данной работе изучался гидросульфоалюминат кальция как компонент бетонной смеси. Процесс твердения бетона и эксплуатационные характеристики полученного материала зависят от формы указанного соединения: либо оно присутствует в виде

трёхсульфатной формы  $[3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot(30-32)\text{H}_2\text{O}]$ , возникающей в насыщенном водном растворе, либо односульфатной  $[3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaSO}_4\cdot12\text{H}_2\text{O}]$ , образующейся при пониженных концентрациях. Трёхсульфатная форма в водных растворах, с содержанием окиси кальция меньше 0,027 г/л неустойчива. В пределах 70-110 °С она вначале дегидратируется, пока количество воды не составит 8 – 10  $\text{H}_2\text{O}$ , а затем разлагается с образованием односульфатной формы и гипса. Можно предположить, что введение исследуемой добавки в бетон в малых количествах будет способствовать оптимизации технологических процессов твердения и улучшать прочностные характеристики готовых изделий.

Для исследования свойств гидросульфатоалюмината кальция данное вещество было синтезировано согласно стехиометрическим коэффициентам. Далее синтезированный просеивался через сито с размером ячеек 0,063 мм. Для изучения водостойкости полученного материала как вяжущего контактного давления, исследуемое вещество было таблетировано под давлением. Полученные образцы помещались в воду и визуально изучались в течение всего эксперимента. Было замечено, что через шесть суток после погружения таблеток в воду, верхний слой начал разрыхляться, на 12 сутки верхний слой начал отслаиваться. Через 25 суток от начала эксперимента таблетка поддалась механическому разрушению. Данный материал оказался неводостойким.

Так как большое влияние в данных процессах играет водная фаза, имеет смысл в предварительных исследованиях оценить поведение водной фазы при нагревании. Для этого образцы массой 5 г прокаливались при 500 °С один час. Потеря массы составила 1,88 г. По результатам эксперимента можно предположить, что введение данной добавки в бетон будет улучшать прочностные характеристики изделий при одновременном уменьшении сроков схватывания. Также введение данной добавки целесообразно после предварительной сушки. Наряду с этим, из данных эксперимента следует необходимость проведения анализа ДТА и определения дисперсности полученного материала для обоснования результатов исследований с учетом кристаллической структуры материалов.

УДК 621.74; 699.131.7

### **Кинетика легирования ваграночного чугуна за счет использования отработанных медно-магниевого катализаторов**

Студент гр. 104119 Комарова Т.Д.  
Научный руководитель – Проворова И.Б.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Чаще других элементов для легирования чугуна применяют медь, содержание которой в количестве около одного процента позволяет получить чугун марки СЧ25, себестоимость которого выше, чем нелегированного.

С целью снижения себестоимости можно использовать вторичные ресурсы, такие как отработанный медно-магниевый катализатор, который содержит (в процентах по массе): 87CuO; 7,4MgO; 2,6Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,9SiO<sub>2</sub> и 0,2CaO.

Для изучения кинетики перехода меди из шлака в чугун проведена серия экспериментов, в ходе которых плавку осуществляли в лабораторной силитовой печи. В качестве шлаковых материалов использовали отработанный медно-магниевый катализатор (87% CuO), ваграночный шлак (41% CaO, 21% SiO<sub>2</sub>, 11% MnO<sub>2</sub>, 22% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), мел, хлорид натрия и плавиковый шпат, которые предварительно прокалили и измельчили до размера частиц 0,1 - 0,2 мм. В кварцевые тигли с внутренним диаметром 15,5 мм помещали образцы чугуна, содержащего (% по массе) 3,2 С, 2,5 Si, 0,5 Mn, 0,12 Cr. Шлаковые

материалы и восстановитель (древесный уголь), смешивали из расчета 1 % содержания  $\text{Cu}$  в чугуна, при условии её полного восстановления и перехода в чугун. Смесь загружали сверху на навеску чугуна, после чего тигли устанавливали в разогретую до температуры  $1450\text{ }^{\circ}\text{C}$  печь и выдерживали в течение 5, 10, 15 или 20 мин с момента окончания плавления чугуна в тигле. После выдержки в печи тигли извлекали, охлаждали, а затем проводили химический анализ сплава на содержание меди в различных по высоте участках.

В процессе проведения лабораторных плавок изучали влияние времени выдержки расплава в печи, основности шлака и количества затравки (чугунная стружка) на переход меди из шлака в металл.

Анализ полученных результатов показывает, что выдержка в течение 10 – 15 минут обеспечивает максимальный переход меди в чугун и её равномерное распределение по высоте. Дальнейшая выдержка расплава под шлаком приводит к обратному процессу в ходе которого, по видимому, медь окисляется на поверхности шлака кислородом атмосферы и происходит её обратный переход из металла в шлак. Выдержка в течение 5 минут недостаточна для диффузии меди в нижние слои слитка. Верхние слои насыщаются медью уже в процессе плавки и непродолжительной выдержки.

Время максимального перехода меди из шлака в чугун сопоставимо со временем нахождения расплава шлака и чугуна в горне вагранки.

Состав шлака и его вязкость оказывает влияние на коэффициент распределения меди между шлаком и металлом и скорость диффузионного переноса оксида меди в шлаке. Для проверки этого влияния в состав шлака дополнительно вводили 1,2; 3,6 и 4,8 % (от навески чугуна) смеси  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{CaF}_2$  с соотношением 4:1. Анализ полученных результатов показывает, что увеличение основности шлака вначале положительно влияет на среднее содержание меди в слитке, а затем увеличение количества шлака и его вязкости снижает степень легирования чугуна через шлаковую фазу.

Кроме того, изучено влияние дополнительно введенной в состав шлаковой смеси затравки (чугунная стружка) на переход меди из шлаковой фазы в металл. Время выдержки расплава в печи во всех случаях было одинаковым (15 мин). Количество чугунной измельченной стружки, добавляемой в шлак, составило 3 % от массы слитка.

Анализ полученных результатов показывает, что введение затравки в состав шлаковой смеси приводит к ускорению перехода меди из шлака в металл. Это связано с уменьшением расстояния диффузии. Вместо диффузии к границе шлак — металл происходит диффузия к границе шлак - капли расплавленного в шлаке чугуна и дальнейшая седиментация капель с растворенной медью в расплав. Кроме того, капли чугуна осуществляют восстановление меди уже в шлаке.

Таким образом, установлено, что время выдержки расплава под слоем шлака существенно влияет на степень извлечения меди из медьсодержащих отходов. Превышение оптимально необходимой выдержки, приводит к обратному переходу меди из металла в шлак. Показано, что проведение процесса восстановления в шлаке и, особенно, в присутствии капель чугуна обеспечивает ускорение восстановления меди из оксида и её переход из шлака в расплав чугуна.



Студент гр. 104140 Заноско О.А.

Научный руководитель – Зык Н.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Свойства наноматериалов, в том числе эксплуатационные характеристики, определяются их структурой, изучение последней является одной из важных задач наноструктурного материаловедения. Определение химического состава и изучение структуры ранее полученных НИЛ МТФ нанодисперсных образцов карбида бора ( $B_4C$ ) и карбида кремния ( $SiC$ ) проводили по стандартной методике электронномикроскопическим методом с использованием растрового микроскопа LEO-1420 (полупроводниковый детектор рентгеновского излучения Si (Li), разрешение 20 нм, диаметр столика 50 мм, чувствительность от 1,0 % мас.), позволяющего поэлементно (начиная с алюминия) определять химический состав исследуемых объектов. За результат анализа принимали среднее арифметическое трех параллельных определений, абсолютное значение расхождения между которыми не превышало суммарной погрешности результата измерений ( $\pm 10,0$  % отн.) при доверительной вероятности 0,95. Содержание каждого элемента определяли по стандартной методике исходя из 100%-ного баланса элементов. Методы идентификации соединений РЗЭ: рентгенофазовый и ИК спектроскопический анализ. Рентгенограммы всех исследованных соединений записаны на рентгеновском дифрактометре ДРОН-4-13 с медным  $CuK_{\alpha}$  излучением (никелевый фильтр). Образцы для съемки дифрактограмм применяли в виде порошка. Исследуемый образец вращался вокруг своей оси автоматически со скоростью 1 градус в минуту, скорость вращения счетчика квантов - 2 градуса в минуту. Запись показаний счетчика производилась электронным самопишущим потенциометром типа КСП-4, который одновременно отмечал углы  $2\theta$  на диаграммной ленте. Образец поворачивался от 10 до 90 °. На основании записи потенциометра КСП-4 были установлены значения углов  $\theta$ , соответствующие дифракционным максимумам на диаграмме и определены их относительные величины (интенсивности отражения). Зная угол  $\theta$ , по таблицам межплоскостных расстояний были найдены величины межплоскостного расстояния, соответствующего этому углу отражения. Инфракрасные спектры поглощения анализируемых соединений были записаны в диапазоне частот 400 – 4000  $cm^{-1}$  путем непосредственного анализа индивидуальных веществ без предварительного смешения с KBr при использовании DTGS-детектора. Спектры получены на однолучевом ИК-Фурье спектрофотометре "FTIR-8601 PC" фирмы "SHIMADZU" с алмазной кюветой "5<sup>x</sup> beam condenser" фирмы "Graseby specac" с разрешением 8  $cm^{-1}$  (аподизация Хаппа - Гензеля) после усреднения накопленной спектрограммы, содержащей 64 сканирования. Градуировку шкалы спектрофотометра проводили по полосам поглощения полистирола (область 700 – 4000  $cm^{-1}$ ). Отклонение показаний прибора от истинного значения волнового числа по спектру колебалось в пределах 0 – 1  $cm^{-1}$ . При анализе записанных нами ИК спектров поглощения исследуемых соединений согласно общепринятой методике ИК спектроскопических исследований рассматривали в общем случае число полос поглощения, относящихся к колебаниям данного иона или молекулы, и частотный интервал их проявления. Кроме того, идентификацию твердых фаз проводили оптическим методом с использованием микроскопа типа Полам Л-213 (видимый проходящий поляризованный свет), в основу которого было положено сопоставление показателей преломления и дисперсии у исследуемых образцов и соответствующих иммерсионных жидкостей по стандартной методике (метод "фокального экранирования", кратность увеличения 350 – 500). Микрофотографирование исследуемых на микроскопе (Полам Л-213) объектов проводили при той же кратности увеличения. Для

исследования форм и размера частиц порошка была использована *сканирующая электронная микроскопия* (электронный микроскоп VEGA II LMU с микроанализатором INCA ENERGY 350 ЭМВ). Установлено, что частицы порошков образованы первичными структурными элементами, имеющими преимущественно пластинчатую форму и размер (после дробления) около 50 – 200 нм, которые объединяются в агрегаты различной формы с размером до 900 нм (рисунок 1).

а)



б)

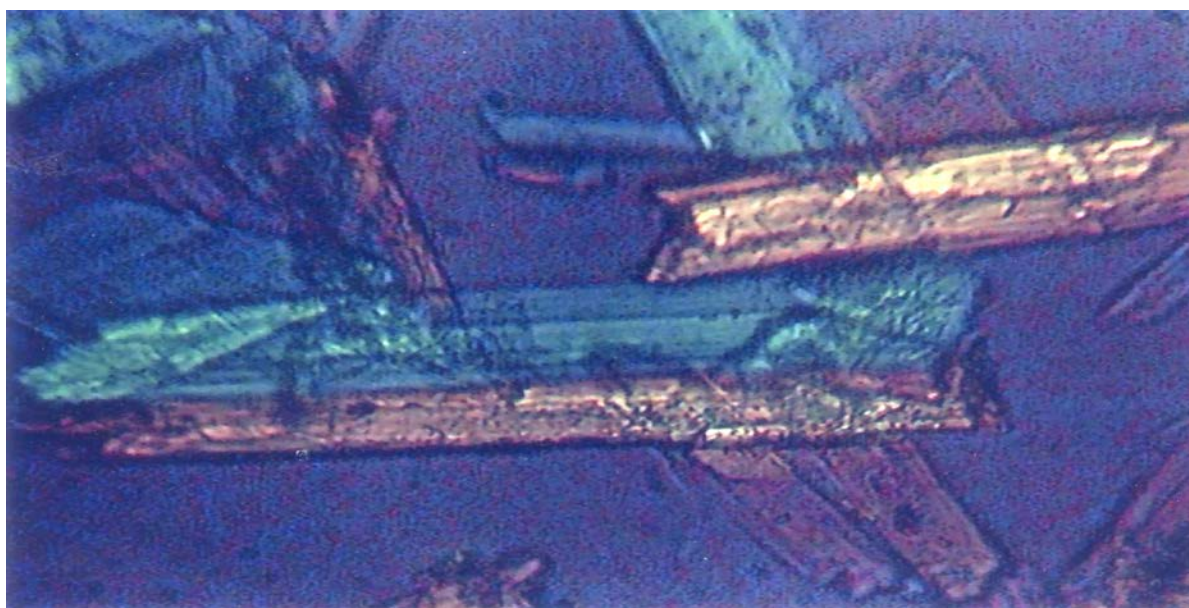


Рисунок 1 – Фотографии нанодисперсных образцов в проходящем свете (увеличение 350 – 500<sup>x</sup>):  
а – карбид бора, проходящий видимый свет (увеличение 350<sup>x</sup>); б – карбид кремния,  
проходящий поляризованный свет (увеличение 500<sup>x</sup>)

Исследуемые образцы карбидов кремния и бора легко раздавливались. Установлено, что большинство их кристаллов однородно по показателям преломления, что было обнаружено иммерсионным методом. Показатели преломления исследуемых кристаллов в разных оптических плоскостях составляли: плоскость Ng – 1,574; плоскость Np – 1,572; плоскость Ng-Np – 0,04. В отобранных пробах обнаружено большое количество двойников стрельчатой формы (рисунок 1). На поверхности образцов видны тонкие и мелкие складки

или бороздки разного размера, располагающиеся вдоль кристалла. Форма этих частиц характерна для данных условий кристаллизации. Частицы имеют огранку, типичную для монокристаллов данной соли. Однако видно, что эти частицы не являются монокристаллом, а представляют собой сростки множества кристаллов, принявших форму монокристалла. Очевидно, что при кристаллизации карбидов кремния и бора имеет место явление кристалломимикрии, которое применительно к исследуемому образцу состоит в том, что агрегация и срастание кристаллов происходит так, что при доращивании сростшихся кристаллов формируется тело, внешне неотличимое от монокристалла. Для кристалломимикрии необходимо, как известно, чтобы при слипании кристаллов они ориентировались так, чтобы кристаллическая решетка одного из них являлась когерентным продолжением решетки других кристаллов.

УДК 666.9.015.42

### **Изучение возможности использования водных растворов серы для снижения водопоглощения изделий из бетона**

Студент гр. 104210 Шевцов А.Ю.  
Научный руководитель – Глушонок Г.К.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Известно, что обработка строительных изделий пропиточными уплотняющими составами позволяет повысить прочность и плотность материала и тем самым продлить срок службы конструкций.

С этой целью поровое пространство строительных материалов и изделий из них дополнительно, в соответствии с принятым технологическим режимом, пропитывают жидким составом, способным при определенных условиях отверждаться непосредственно в поровом пространстве, образуя дополнительные структурные связи. 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. Такие бетоны получили техническое название бетонополимеров. В зависимости от поставленной цели пропитку осуществляют путем полного погружения при нормальном атмосферном давлении или путем поверхностного нанесения, чем обеспечивают различную скорость пропитки и глубину проникновения пропиточного состава.

Новым направлением применения серы в качестве пропиточной композиции являются водные растворы серы. Следует отметить простоту и доступность технологии обработки изделий водным раствором серы. Известно, что элементная сера гидрофобна и не растворима в воде вплоть до 100 °С. При температуре кипения серы 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. Недостатком этого метода являются высокие температуры растворения, значительный расход серы на побочные реакции и корродирующее действие

получаемых растворов. При разбавлении водой растворы серы разрушаются, и большая часть серы выпадает в осадок. Сильное (в 10000 и более) разбавление щелочных растворов серы приводит к образованию коллоидных растворов серы с рН близкой к нейтральной, что уменьшает корродирующее действие данного раствора. В связи с этим мы провели исследование влияния полученных истинных щелочных растворов серы (9 и 20 % масс.), а также коллоидных растворов серы, полученных из них, на водопоглощение образцов кубов 2х2х2 см из цементно-песчаного раствора, изготовленных в соответствии ГОСТ 310.4.

Проведенная турбидиметрическим методом оценка размеров частиц элементной серы в водных растворах, показала уже на начальных стадиях образования коллоидного раствора изменение их размеров от 50 до 250 нм, что указывает на склонность микрочастиц серы к росту и агломерации.

Исследования водопоглощения образцов бетона, обработанных методом погружения изделий в растворы на 4 часа, приводит к показателю эффективности используемых растворов равным 1,25, 1,48 и 1,10 для 9 %-ного, 20 %-ного и коллоидного раствора серы соответственно, что указывает на возможность использования растворов серы для уменьшения водопоглощения бетонных изделий.

УДК 625.84.667

### **Влияние гидросиликата кальция (CHS) на прочностные характеристики строительных материалов**

Студентка гр. 104211 Искандарова Д.О.  
Научные руководители – Кирюшина Н.Г., Шагойко Ю.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Использование нанотехнологии и наноматериалов в строительной отрасли дает возможность получения новых, улучшенных характеристик строительных материалов и способов более эффективного влияния на эти свойства – улучшение показателей факторов материалов за счет структурообразования на атомарном уровне, возможность изменения минералогического состава, получение композитов со специальными свойствами и др.

Бетоны представляют собой сложную структуру, включающую частицы на макроуровне (заполнители, наполнители, добавки), а также частицы на наноуровне (гидратные фазы цемента с размерами частиц 1...100 нм, зерна исходного цемента 10...100 нм).

Перспективы улучшения свойств материалов ожидают при их дальнейшем уменьшении до наноразмерных порошков, что объясняется значительным изменением физических и химических свойств наноразмерного вещества по сравнению с его макросостоянием. Основные причины этих отличий можно объяснить следующими факторами. При уменьшении размера частицы происходит увеличение доли поверхностных несвязанных атомов, что приводит к искажению кристаллической структуры у поверхности частиц, уменьшению содержания внутренних дефектов, изменению твердости и прочности, взаимодействию электронов со свободной поверхностью. Эффективность применения минеральных добавок и возможность замены ими части клинкерных цементов определяется их пластифицирующим и уплотняющим действием, а также наличием в них активных компонентов, способных взаимодействовать с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , образующегося при гидратации цемента. Чем выше дисперсность и удельная поверхность микронаполнителя, тем он эффективнее и тем меньше его требуется для достижения наибольшего эффекта повышения прочности бетона или снижения расхода цемента. Так называемый "физический фактор"

микронаполнителя может благоприятно влиять на формирование структуры на поздней (кристаллизационной) стадии, учитывая то, что ультрадисперсный материал, заполнив поры в структуре твердеющего камня, способствует повышению его плотности. Таким образом, "эффект микронаполнения" сводится к тому, что добавки высокодисперсных минеральных материалов формируют, во-первых, дополнительные центры кристаллизации (химический фактор) и, во-вторых, реализуется влияние поверхностной энергии высокодисперсных частиц (физический фактор), что в целом содействует ускорению твердения и повышению прочности цементных связующих.

Наномодификаторы в весьма малых концентрациях способствуют улучшению физико-механических характеристик бетона: повышению прочности и величины модуля упругости, повышению водонепроницаемости и морозостойкости, снижению значений предельной деформации усадки. Использование нанотехнологии дает возможность получения заданных свойств цементных бетонов и других строительных материалов.

С целью изучения влияния добавок на свойства бетона в состав вводили гидросиликат кальция (CHS) 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4% и пластификатор С-3 3%. В ходе проделанных исследований выявлена определяющая роль соотношения компонентов и можно сделать вывод, что введение в качестве модифицирующей добавки гидросиликат кальция в количестве 0,3% значительно повышает предел прочности изделия на изгиб и на сжатие по сравнению с контрольным образцом. Введение большего количества модификатора приводит к снижению прочностных характеристик.

Таблица – влияние содержания CHS на прочностные характеристики

№	m <sub>цем</sub> , Г	m <sub>пес</sub> , Г	m <sub>H<sub>2</sub>O</sub> , Г	С-3, Г	CHS, %	σ <sub>изг</sub> , МПа	σ <sub>сж</sub> , МПа
I	400	1200	170	1.2	0	18.12	5.64
II	400	1200	170	1.2	0.1%	24.28	5.66
III	400	1200	170	1.2	0.2%	24.48	5.97
IV	400	1200	170	1.2	0.3%	24.2	6.11
V	400	1200	170	1.2	0.4%	24.76	5.85

УДК 540(075.8)

### Применение золя оксида кремния для получения бетонов

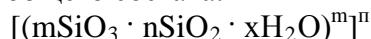
Студент гр.104421 Загорский С.В.  
 Научный руководитель – Бурак Г.А.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Создание вяжущих, обладающих повышенной долговечностью и прочностью, возможно благодаря применению в составе смесей суперпластификаторов в комбинации с нанодисперсным оксидом кремния. При твердении цементов образуется достаточное количество кристаллической фазы разного состава и в том числе - 6% оксида кальция. Для того, чтобы уменьшить содержание оксида кальция необходимо ввести SiO<sub>2</sub>, который при затворении водой, свяжет CaO в кристаллогидраты, тем самым повысит плотность бетона и уменьшит его пористость.

В качестве исходного сырья для получения золя SiO<sub>2</sub> использовалось жидкое стекло.

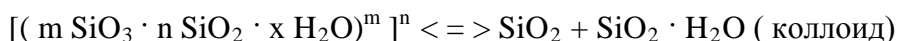
В водных растворах натриевого жидкого стекла присутствуют метасиликаты и дисиликаты натрия (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> и Na<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Все остальные соединения представляют собой смесь мета- и дисиликата с избытком NaOH или коллоидного гидратированного кремнезема.

Водные растворы три- и тетрасиликата натрия всегда имеют коллоидный характер и содержат сложные ионные мицеллы общего состава:



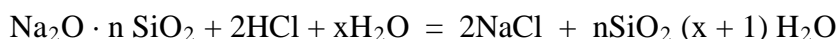
Кремнезем в водных растворах щелочных силикатов может находиться частично в коллоидной, частично в кристаллической форме..

При более высоких температурах образуются еще более сложные коллоидные агрегаты, находящиеся в равновесии:



Мета- и дисиликаты натрия обладают весьма близкими физико-химическими свойствами. Щелочных силикатов с отношением  $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O} > 2$  в растворах не существует. Следовательно, все такие растворы являются типичными примерами коллоидных растворов.

Золь оксида кремния получен действием на разбавленное натриевое жидкое стекло хлороводородной кислоты :



Коллоидный кремнезем представляет собой легко подвижную, опалесцирующую жидкость, состоящую из воды и наночастиц аморфного кремнезема в качестве дисперсной фазы. Размер частиц золя в пределах 1 – 100 и более нм, а их концентрация достигает 50 % и выше при обеспечении устойчивости систем.

Полученный золь использовался для модификации цементного теста. В вяжущее из ПЦ 500-ДО и песка (1:3) добавлялся водный раствор наноразмерного золя оксида кремния (0,1 – 3,5%) с пластифицирующей добавкой \*Полипласт СП-1\* (рН = 8 – 9). Добавка представляет собой нафталинформальдегидный суперпластификатор для бетонов, содержащий 90 % сухого вещества. Пластификатор отличается хорошей растворимостью в воде, увеличивает подвижность смеси и снижает водопотребность. Пластифицирующая добавка вводилась в количестве 0,7 % от массы цемента для обеспечения приемлимой удобоукладываемости смеси. Количество воды затворения использовалось из расчета получения теста подвижной консистенции, при испытании которой на приборе Вика пестик не доходил до пластины 4 мм. Изготовленные образцы размером 20x20x20 мм твердели в воде при  $t = 20 \pm 2$  °С. Испытания образцов на прочность при сжатии проводились в возрасте 1,3,7 и 28 суток твердения. Предел прочности при сжатии образцов с золем  $\text{SiO}_2$  после 28 суток твердения равен 67,2 – 68,9 мПа.

На ранней стадии твердения прочностные показатели образцов с  $\text{SiO}_2$  и пластификатором превышают показатели контрольного состава на 10 – 15%. Эффективность применения коллоидного оксида кремния определяется его дисперсностью.  $\text{SiO}_2$  распределяется в цементной смеси в виде частиц, размеры которых меньше зерен цемента и, вступая в химическое взаимодействие, позволяет получить более плотные и прочные материалы.

В результате проведенных исследований установлена возможность получения стабильного коллоидного оксида кремния из жидкого стекла и возможность его использования в производстве бетонов.

**Модификация битумов продуктами переработки полиуретана**

Студенты гр. 104510 Шкляник Д.В., Гаврилюк Е.С.  
Научный руководитель – Беляцкий В.Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Проблема использования вторичных полимеров, т.е. материалов, полученных путем переработки отходов производства, например, путем их деполимеризации и повторной полимеризации полученного сырья, является важной не только с экономической точки зрения, но и имеет большое экологическое значение, поскольку позволяет утилизировать отходы полимеров без ущерба для окружающей среды.

В этой связи представляло интерес изучить возможность использования продуктов деполимеризации полиуретана для модификации битумных материалов. Битум является побочным продуктом переработки нефти. В связи с тем, что степень переработки нефти в светлые нефтепродукты значительно меньше 100 %, битумы нашли широкое применение как материалы для дорожного строительства, различные мастики и т.д.

Полиуретаны представляют группу сополимеров производных уретанового компонента  $-N(R)-C(O)O-$  ( $R=H$ , алкил, арил или ацил) и изоцианатов в качестве отвердителя. Обычно их получают при взаимодействии изоцианатов с веществами, имеющими несколько гидроксильных групп, причем при количестве функциональных групп более двух образуются сетчатые структуры.

В работе использовали материала, полученный в результате деполимеризации промышленного полиуретана (полиуретановый аддукт), который представляет собой затвердевшую массу коричневого цвета, причем при нагревании приблизительно до 50 – 60 °С она приобретает вязко-текучие свойства, а при более высоких температурах становится еще более жидкой. Полиуретановый аддукт хорошо растворим в спирте, ацетоне, этилацетате и бутилацетате, метилхлориде, хлороформе и растворителях типа Нефрас. После растворения при количестве растворителя не превышающем 20 % состав приобретал вязкотекучие свойства уже при комнатной температуре. Следует отметить, что аддукт не является полимером, а, скорее всего, набором олигомеров. При использовании промышленного изоцианатного отвердителя возможно получения вторичного полимера.

Ранее, было обнаружено, что при модификации битума продуктами переработки полиуретана наблюдалась сильная зависимость от порядка смешения компонентов. Так, при введении аддукта в расплавленный битум и последующего введения отвердителя не наблюдалось отверждения состава, поскольку, по-видимому, не протекала реакция сополимеризации. В то же время, при смешении аддукта и изоцианата, с последующим введением предполимера в битум происходила модификация физико-химических свойств последнего.

Представляло интерес выяснить, влияние порядка смешения компонентов на битума. Введение в расплавленный битум полиуретанового аддукта приводило к ярко выраженному пластифицирующему эффекту. Так, материал становился вязкотекучим уже при комнатной температуре. Для опытов были использованы раствор аддукта в хлорорганическом растворителе с остаточным содержанием последнего (в результате отгонки) и полученный без использования растворителя. Отвердитель состава не вводился.

Были получены составы, обладающие повышенной текучестью уже при комнатной температуре, при этом текучесть, измеренная по методу кольца и шара, была выше для

образцов, в которые вводили аддукт, полученный в присутствии растворителя. По-видимому, условия деполимеризации сильно влияют на олигомерный состав аддукта. Наблюдалась зависимость текучести состава от количества введенного аддукта. Такие составы могут использоваться для получения битумных мастик, однако, требуются дальнейшие исследования.

УДК 621.787.4-47.07:621.357.7:621.7.785.539

### Повышение стойкости стальных дорнов термохимической обработкой и покрытием

Студент гр. 115211 Вишневецкий А.Э.

Научный руководитель – Горохов В.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Дорнование является высокопроизводительным процессом упрочняющее-отделочной обработки отверстия ППД дорнами (рисунок 1), которые работают в условиях сухого трения скольжения и подвержены быстрому изнашиванию. Наиболее стойкими являются дорны из твердых сплавов, но для обработки отверстий малого диаметра (3 – 6 мм), они могут быть только цельными, что связано с их частыми поломками.

Наиболее приемлемыми для обработки отверстий малого диаметра являются стальные дорны (обычно сталь ХВГ) с поверхностной закалкой ТВЧ (твердость 62 – 64 HRC). Но их недостаточная стойкость привела к необходимости нанесения хромового покрытия (толщина слоя  $\approx 10$  мкм). Однако этой меры оказалось недостаточно в достижении более высокой износостойкости инструмента для ППД.

Исследование литературных источников привело к мысли об использовании сульфидирования и образования в подповерхностном слое дорнов соединений серы – сульфидов, выполняющих роль смазочного материала, повышающего износостойкость материалов и их сопротивление трению. Так дисульфиды молибдена  $MoS_2$ , вольфрама  $WS_2$ , сульфиды железа  $FeS$ , цинка  $ZnS$  и других металлов признаны эффективными смазочными материалами и могут вводиться в состав самосмазывающихся добавок.

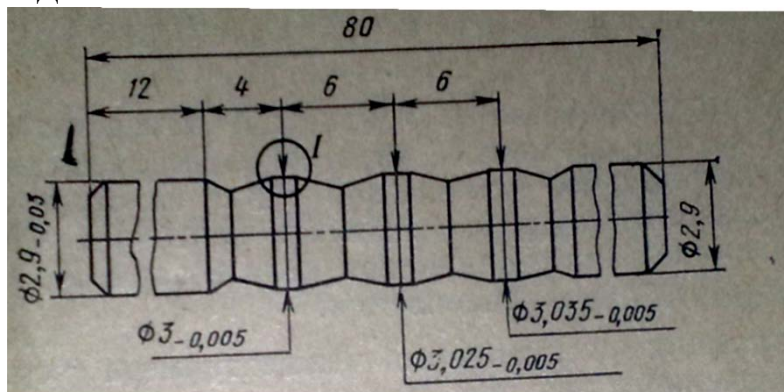


Рисунок 1

В результате сульфидирования закаленных стальных дорнов может образоваться слой (плёнка) сульфида железа, улучшающий их приробатываемость и износостойкость. Образовавшиеся ферросульфидные материалы сообщают этому покрытию свойство самосмазывания. Именно эти обстоятельства были использованы в экспериментальных исследованиях работоспособности дорнов после их электролитического сульфидирования, осуществленного на установке (рисунок 2) где: 1 – стойка; 2 – ванна с электролитом; 3 – держатель;

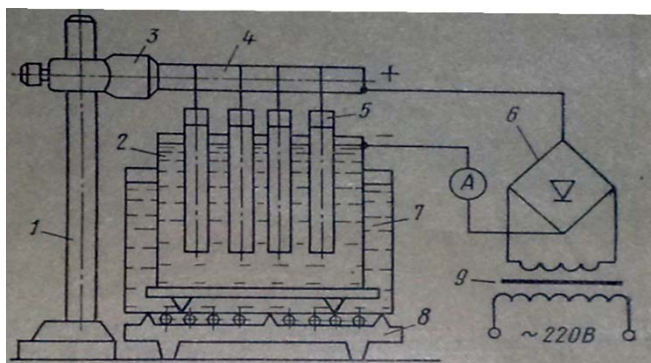


Рисунок 2



4 – шина; 5 – дорны; 6 – полупроводниковый выпрямитель; 7 – ёмкость (кострюля) с водой; 8 – электронагреватель (плитка); 9 – понижающий трансформатор.

Рабочая часть дорнов, подвешенных на шине, при сульфидировании опускается в электролит (триосульфат натрия  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ - фиксаж с концентрацией 200 г/л., температура 90 °С) ванны 2. Клеммы постоянного тока при этом подключается к шине (+) и к ванне(-). Время сульфидирования 12-15 минут при плотности тока 1 – 2,5 А/дм<sup>2</sup>.

После сульфидирования дорны промываются в воде (температура 78 – 85 °С) и выдерживаются в течение 12-15 минут в горячем (температура 110 – 120 °С) индустриальном масле.

Хромирование стальных дорнов может быть рекомендовано как процесс восстановления размеров рабочих поясков после их допустимого износа (11 мкм по диаметру). Для исключения неравномерности слоя покрытия хромированные дорны рекомендовано подтверждать доводке с достижением размеров по чертежу инструмента. Хромированные дорны в опытном порядке были подвергнуты сульфидированию, что также обеспечивает повышение их износостойкости. Исследованием была подтверждена возможность сульфидирования твердосплавных (сплав ВК8) цельных и комбинированных дорнов с образованием слоя дисульфида вольфрама.

Исследование стойкости сульфидированных дорнов ( $d = 3 - 6$  мм) осуществляется на отверстиях диаметрами 3Н7 и 6Н7 (длина отверстий соответственно 20 и 24 мм) в заготовках из чугуна марки СЧ20. Получены такие результаты: размерный износ (6 мкм) сульфидированных дорнов диаметром 6Н7 при обработке 210 отверстий оказался в 2 раза меньше износа дорнов без сульфидирования. Подобный результат получен и для дорнов диаметром 3Н7. Массовый износ (6 мг) сульфидированных дорнов оказался также более чем в 2 раза меньше износа дорнов без сульфидирования. При этом сила проталкивания сульфидированного дорна по сравнению с нессульфидированным снижена на 30 %, что свидетельствует о снижении коэффициента трения также на 30 %.

Дополнительные исследования предполагается продолжить в направлении совмещения нескольких процессов термохимической обработки. В этом плане есть интерес в химическом хромировании, сульфидировании и сульфационировании. Сульфидирование – насыщение подповерхностного слоя сульфидами, проводят обычно в солевых ваннах. Такая обработка существенно снижает коэффициент трения. Хромирование также используется для снижения трения и повышения коррозионной стойкости. Сульфационирование – процесс насыщения металла стальных деталей серой, углеродом и азотом. Также применяется для повышения износостойкости.

По данным предприятия “Октябрьский молот” затраты на инструмент в себестоимости деталей при сульфидировании дорнов и восстановлении их размеров хромированием сократились в 3,67 раза. А при годовой программе выпуска деталей 2,8 миллиона штук предприятию оказалось достаточно 1400 штук сульфидированных дорнов вместо 5600 нессульфидированных, то есть в 4 раза меньше, что обеспечивает значительную экономию средств.

**Очистка осветленной воды шламонакопителей станций обезжелезивания**

Студенты 13 гр. – Андреева Н.А., Ковалец П.Н.

Научный руководитель – Романовский В.И.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Целью работы является исследование процесса очистки осветленной воды шламонакопителей станций обезжелезивания коагулированием, и свойства образующихся осадков.

Согласно справочного пособия к СНиП «Проектирование сооружений для обезвоживания осадков станций очистки природных вод» вода над осадком в отстойниках, сгустителях, площадках обезвоживания и накопителях станций обезжелезивания имеет характерные загрязнения представленные мелкодисперсной взвесью с преимущественным содержанием продуктов гидролиза коагулянта (в случае его использования) и среднedisперсной взвесью от частичного выноса фильтрующей загрузки. В воде над осадком в сгустителях, накопителях, площадках обезвоживания среднее содержание взвешенных веществ 8–50 мг/л; БПК<sub>5</sub> = 3–10 мг/л; ХПК = 10–20 мг/л. Среднее количество кишечных палочек в 1 л (коли-индекс) воды над осадком после зимнего промораживания от 10–100 до 1000, а в летний и осенний периоды от 250–2500 до 200 000. Содержание железа общего в пробах осветленной воды над слоем осадка в исследуемых шламохранилищах по результатам анализа составило 240 мг/л.

В качестве реагента для очистки осветленной воды использовали отработанные ионообменные смолы АВ-17–8 и КУ-2–8, в значительном количестве образующиеся в процессах водоподготовки. Известно, что с повышением степени дисперсности изменяется распределение функциональных групп, расположенных на поверхности и в объеме зерна отработанного ионита, в сторону увеличения их концентрации на поверхности. Измельченный до определенной степени дисперсности ионит проявляет свойства, близкие к свойствам полимерных флокулянтов. Значение дзета-потенциала для предварительно измельченного катионита достигает минус 47,8 мВ, а для анионита – плюс 96,3 мВ.

В качестве коагулянта были использованы предварительно измельченные отходы отработанных ионообменных смол, с содержанием частиц медианным диаметром 10 мкм не менее 60 %:

- коагулянт №1 – катионит;
- коагулянт №2 – катионит и анионит (соотношение 4:1);
- коагулянт №3 – катионит и анионит (соотношение 2:1);
- коагулянт №4 – катионит и анионит (соотношение 1:1);
- коагулянт №5 – катионит и анионит (соотношение 1:2);
- коагулянт №6 – катионит и анионит (соотношение 1:4);
- коагулянт №7 – анионит.

Доза коагулянта составляла 2,5 и 5 г/л. Исследуемое время отстаивания – 60 минут.

Наименьшая концентрация железа общего при дозе коагулянта 2,5 г/л составила: после отстаивания – 70 мг/л; после фильтрования – 50 мг/л. При дозе коагулянта 5,0 г/л: после отстаивания – 50 мг/л; после фильтрования – 25 мг/л.

Дозирование реагентов является ответственным моментом при обработке воды: от его совершенства зависит качество очистки воды и экономичность технологического процесса. В случае применения нескольких видов реагентов очередность их введения в обрабатываемую воду может оказать влияние на эффективность очистки.

Для изучения влияния очередности дозирования реагентов были проведены исследования, результаты которых приведены ниже. Реагенты вводились в обрабатываемую

воду одновременно и с интервалом, а также в сухом виде и в виде суспензии. Проба отбиралась через 10 мин отстаивания.

Наилучший эффект очистки после стадии отстаивания наблюдается при введении реагентов совместно в виде суспензии (80 мг/л). Наилучший эффект очистки после стадии фильтрования наблюдается при последовательном введении реагентов, сначала анионита затем катионита (50 мг/л). При введении катионита и анионита в виде комплекса, наблюдается лучший эффект после отстаивания за счет того, что комплекс образованный отдельно получается более рыхлым, а хлопья очень крупными и исходные компоненты включены в комплекс полностью, что способствует быстрому их осаждению. А при образовании комплекса в растворе, образуются менее рыхлые и менее крупные хлопья, которые обладают значительно меньшей скоростью осаждения, однако изначальное введение анионита более полно позволяет сорбировать железо из раствора. Таким образом, включая стадию фильтрования приоритет следует отдать этому способу введения реагентов.

Согласно справочного пособия к СНиП обезвоженные осадки в сооружениях складирования следует рассматривать как возможные источники сырья в производстве керамзита, кирпича, бетона, облицовочной плитки и др.

Экспериментально показано (ОАО «Керамика» г. Витебск), что использование осадка станции обезжелезивания в качестве железосодержащего пигмента, осажденного отработанными ионообменными смолами, дает более интенсивную темную окраску черепка (при производстве керамических изделий), чем отдельно используемый осадок станции обезжелезивания. Наличие выгорающего компонента – ионообменных смол многофункционально. При обжиге продуктов выделяется дополнительное количество тепла, что приводит к более равномерному обжигу и снижению температуры обработки (экономия энергии).

Элементный состав воздушно-сухого осадка, образующегося при использовании коагулянта №6 (в мас.%): углерод – 26,8; кислород – 21,0; магний – 0,2; алюминий – 0,3; кремний – 1,4; фосфор – 1,1; кальций – 4,5; марганец – 1,0; железо – 22,9; влажность – 20,8.

Размер частиц осадка менее 500 мкм.

УДК 628.1, 628.3

### **Исследование растворимости озона в воде с использованием каскадного турбоозонатора**

Студент 13 гр. – Куницкая И.Д.

Научный руководитель – Романовский В.И.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Целью работы является исследование процесса растворимости озона в воде и выбор направления использования каскадного турбоозонатора.

Определение концентрации озона в водопроводной воде проводили по ГОСТ 18301–72 «Вода питьевая. Методы определения содержания остаточного озона».

Растворимость озона в воде зависит от многих факторов, но прежде всего от концентрации озона в озонкислородной смеси, а также температуры воды (в эксперименте использовалась водопроводная вода с температурой 15 °С). Время озонирования определяется скоростью подачи смеси, объемом озонируемой воды, конструкцией реактора.

Из результатов экспериментов следует, что на насыщении воды озоном оказывает влияние концентрации его в газовой смеси и поверхность массообмена, создаваемая «диспергатором» воздуха. Максимальное насыщение воды создается при большей

концентрации озона в газовой смеси (расход озона 14,048 г/час, расход газовой смеси 3,297 л/мин) и составляет 4,890 мг/л, что подтверждает известные закономерности.

По результатам исследований составлены материальные балансы по озону при насыщении им водопроводной воды. На рисунке по данным материальных балансов, приведена гистограмма доли озона поглощенного водопроводной водой в зависимости от времени обработки и расхода газовой смеси при расходе озона 14,048 г/ч.

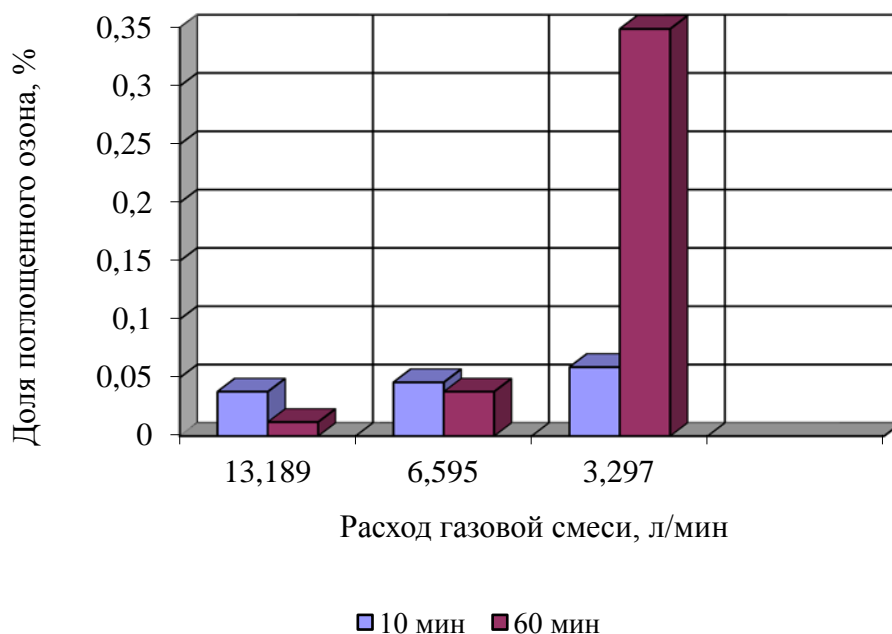


Рисунок – Доля озона поглощенного водопроводной водой в зависимости от времени обработки и расхода газовой смеси при расходе озона 14,048 г/ч

Озонаторы находят широкое применение в процессах водоподготовки. Для эффективного обеззараживания при этом необходимо создать концентрацию озона 0,4 – 1 мг/л и поддерживать её в течение 4 минут. Озон можно использовать для предварительной обработки воды с целью перевода растворённых веществ в коллоидную форму с последующим осаждением на фильтрах, так как он обладает флокулирующим эффектом. Преимущество озонирования состоит в том, что под действием озона одновременно с обеззараживанием происходит обесцвечивание воды, а также устраняются запахи и привкусы воды и улучшаются её вкусовые качества. Озон не изменяет натуральные свойства воды, так как его избыток (не прореагировавший озон) через несколько минут превращается в кислород.

При замене хлорирования на озонирование отпадает необходимость содержания хлорного хозяйства. Более того, избыток озона разлагается, что делает озон безопасным окислителем.

**Разработка составов масс для получения керамических огнеупорных материалов  
методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза СВС**

Студент гр. 9 Бабак А.А.

Научный руководитель – Дятлова Е.М.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

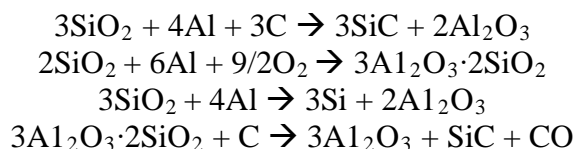
Потребность в материалах, способных демонстрировать высокие эксплуатационные характеристики в экстремальных условиях, с развитием техники и технологии неуклонно возрастает. Успех в создании новой керамики стал возможным лишь благодаря разработке новых технологических процессов от стадии синтеза исходных компонентов до формирования структуры материала и получения готового продукта. Одним из наиболее значимых процессов в технологии новой керамики является самораспространяющийся высокотемпературный синтез

Процесс самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) заключается в самопроизвольном распространении зоны химической реакции в средах, способных к выделению химической энергии с образованием ценных конденсированных продуктов. СВС сопровождается сильным саморазогревом продуктов (обычно на 1500 – 3500 °С и более) и ярким свечением. Процесс возникает при локальном воздействии на систему коротким тепловым импульсом и в дальнейшем протекает в виде волны горения без подвода энергии извне за счет собственного тепловыделения.

Материалы на основе карбида кремния представляют собой весьма перспективную группу огнеупоров. Карбидкремниевая керамика имеет сравнительно высокую электро- и теплопроводность, термостойкость и стойкость к абразивному воздействию. Она не смачивается цветными металлами, обладает высокой механической прочностью в холодном и нагретом состоянии, стойка в кислых шлаках. Керамика на основе оксида алюминия обладает высокой механической прочностью, химической стойкостью, высокой огнеупорностью. Сочетание карбида кремния и оксида алюминия позволит получить керамические композиционные материалы, обладающие уникальными свойствами, однако синтез композиционного материала на основе карбида кремния и оксида алюминия методами традиционной технологии связан с большими затратами.

Методом СВС возможно получение композиционных материалов на основе карбида кремния и оксида алюминия по реакциям, протекающим в смесях оксида кремния, углерода и металлического алюминия.

При проведении СВС - синтеза в шихте указанного состава при высоких температурах возможно протекание следующих основных химических реакций:



Количественная степень протекания каждой из них зависит от содержания в шихте исходных компонентов, размера частиц и может быть определен только экспериментально.

Целью работы является установление закономерностей влияния исходных материалов на параметры процесса синтеза и структурно-фазовые превращения при экзотермическом синтезе керамических тугоплавких композиций на основе фаз карбидов, а также сложных оксидных соединений кремния и алюминия в системе Al–SiO<sub>2</sub>–С.

Были исследованы смеси, содержащие в своем составе: кварцевый песок в роли  $\text{SiO}_2$ -содержащего соединения, металлический алюминий и в качестве углеродсодержащего соединения – сажу, а также реакционные добавки (кремнефтористый натрий и борная кислота).

Пресспорошок приготавливался путем смешения алюминиевой пудры, кремнеземсодержащих и углеродсодержащих сырьевых материалов в ступке до получения однородной массы. Опытные образцы изготавливались методом полусухого прессования из порошка влажностью 8 – 10 % с применением в качестве связки раствора поливинилового спирта. Давление прессования составляло 20 – 40 МПа. Отпрессованные образцы высушивались в сушильном шкафу при температуре 100 °С до полного удаления влаги.

Для инициирования процесса СВС-синтеза образцы подвергались нагреву в печи до температуры 800 – 900 °С. При этом установлено, что для инициирования процесса необходим быстрый подъем температуры, это достигалось помещением опытных образцов в уже разогретую до вышеуказанной температуры печь. После прогрева образцов наблюдалось прохождение фронта синтеза, при этом образец раскалялся до ярко белого цвета.

Водопоглощение полученных образцов составляет 24 %, кажущаяся плотность 1383 кг/м<sup>3</sup>, пористость истинная 57 %, ТКЛР в интервале температур 20 – 400 °С –  $6,50 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ .

По данным рентгенофазового анализа основными фазами, образующимися в системе Al-SiO<sub>2</sub>-C при прохождении СВС-синтеза являются: корунд ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) и карбид кремния (SiC), а также присутствуют сопутствующие фазы свободного кремния и кристобалита.

При проведении СВС-синтеза в системе Al-SiO<sub>2</sub>-C образующийся продукт имеет высокую пористость и малую механическую прочность, что в некоторых случаях приводит к растрескиванию образцов.

Для предотвращения растрескивания возможно пойти двумя путями, первый – увеличение прочности за счет образования жидкой фазы, которая благоприятствует спеканию частиц материала и заполняет поры и второй путь это замедление процесса СВС, благодаря чему снижается скорость газообразования при выгорании углерода (сажи) при этом давление внутри пор не превышает предел прочности и не происходит растрескивание образцов. Возможно также совмещение этих двух путей при выборе соответствующей добавки, которая будет выступать в роли замедлителя реакции и одновременно образовывать жидкую фазу при температуре синтеза. В наибольшей степени таким условиям удовлетворяют глинистые минеральные добавки или же добавки реакционно-способного вещества.

Для проведения исследований были выбраны добавки кремнефтористого натрия и борной кислоты к количеству 5 %. Скорость СВС-синтеза измерялась по времени прохождения волны процессов по образцу от момента начала реакций до их завершения. Установлено, что время прохождения волны процессов при введении борной кислоты возросло и составило 59 с.

Растрескивания образцов при прохождении СВС в системе с добавкой борной кислоты и кремнефтористого натрия не происходит. Для оценки конечного эффекта от добавок были произведены измерения плотности и пористости образцов в сравнении с соответствующими показателями для образцов, не содержащих добавки. Так установлено что, кажущаяся плотность возрастает с 1383 до 1560 кг/м<sup>3</sup>, что свидетельствует об уплотнении образцов из-за образования жидкой фазы и заполнения пор, о чем говорит и снижение истинной пористости с 57 до 41,9 %. Истинная плотность увеличивается от 2695 до 3150 кг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, проведенные исследования показали, что добавка кремнефтористого натрия и борной кислоты оказывает благоприятное воздействие на синтезируемый методом СВС материал и изделия на его основе.

Синтезированные композиционные материалы могут применяться для производства тугоплавкой и огнеупорной керамики, теплоизоляционных изделий, а также иных изделий функциональной и технической керамики.

**Получение алюмосиликатных огнеупоров с использованием каолина «Ситница»  
Республики Беларусь**

Студентка гр. 9 Гук Е.Л.

Научный руководитель – Дятлова Е.М.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Область применения каолинового сырья достаточно многогранна и охватывает ряд важнейших отраслей промышленности, а именно, строительную индустрию, черную металлургию, огнеупорную и керамическую промышленность, медицину, фармацевтическую и пищевую промышленность. Это связано с потреблением высококачественных каолинов, повысить кондиционность которых можно путем их обогащения.

Каолины, вводимые в керамические массы, улучшают их формовочные и реологические свойства, повышают механическую прочность изделий в воздушно-сухом и обожженном состоянии, термическую и химическую стойкость, белизну после обжига, что обусловлено ценными особенностями их главного минерала – каолинита. Эти функции каолинового сырья максимально проявляются при высокой однородности его химического, минералогического и гранулометрического состава, что достигается их обогащением.

В Республике Беларусь нет эксплуатируемых месторождений каолиновых глин, поэтому белорусские потребители этого сырья традиционно ориентированы на поставки из Украины. Использование дорогостоящего импортного каолинового сырья существенно влияет на технико-экономические показатели отечественных производителей и тормозит развитие импортозамещающих производств в республике в целом. Поэтому проблема создания собственной минерально-сырьевой базы каолинового и огнеупорного сырья и перспективных технологий по его переработке, глубокому обогащению и модификации природных каолинов белорусских месторождений весьма актуальна.

Целью исследований является разработка составов и технологии получения алюмосиликатных огнеупоров с использованием природного и обогащенного каолина месторождения «Ситница» Республики Беларусь; изучение строения и свойств каолина; изучение методов обогащения каолина; установление основных закономерностей изменения физико-химических свойств и структуры керамических огнеупорных образцов от состава; разработка технологических параметров получения алюмосиликатных огнеупоров оптимального состава. Обогащение каолина способствует повышению содержания ценных минералообразующих пород в природном сырье.

Проведено комплексное исследование каолина «Ситница»: гранулометрический состав, пластичность, коэффициент чувствительности к сушке, показатель упругости, фазовый состав. Гранулометрический состав каолиновых проб представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Гранулометрический состав каолина «Ситница»

Каолин	Содержание фракций, мас.% частиц размером, мм				
	>0,06	0,06-0,01	< 0,01	< 0,005	< 0,001
Природный	31,91	45,30	11,35	6,38	5,05
Обогащенный	–	10,84	43,55	14,36	30,25

Технологические свойства природного и обогащенного каолина представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технологические параметры каолина «Ситница»

Определяемый параметр	Природный тип каолина	Обогащенный тип каолина	Биообработанный тип каолина
Число пластичности	6,9	10,32	9,65
Чувствительность к сушке	0,28	0,33	0,29
Показатель упругости, кг/м <sup>3</sup>	49	132	–

Обогащение каолина мокрым способом (ситовое обогащение) позволяет отделить примеси – крупнозернистый кварц и материнскую породу. При этом увеличивается число пластичности и формовочная способность.

В качестве сырьевых материалов для получения алюмосиликатных огнеупоров были использованы, мас. %: каолин «Ситница» 70 – 100, глина огнеупорная «Гранитик–Веско» Веселовского месторождения (Украина) 10 – 20, глина тугоплавкая месторождения «Городное» 20 – 30, шамот алюмосиликатный 10 – 20.

Исходные сырьевые материалы предварительно высушивались, измельчались и взвешивались в заданном соотношении.

Приготовление опытных образцов производилось методом полусухого прессования. Перемешанные в сухом виде сырьевые материалы увлажнялись до влажности 8–10% с последующим вылеживанием полученного пресс-порошка в течение 5 дней.

Образцы прессовались в виде цилиндров, таблеток и палочек. Прессование осуществлялось в металлической форме, обеспечивающей получение образцов четкой формы и размеров. Давление прессования образцов составляло 25 – 30 МПа.

В течение суток образцы сушились при комнатной температуре, а затем в течение 3 часов в сушильном шкафу при температуре 100 – 105 °С.

Обжиг образцов производили в электрической печи при температурах 1200, 1250 и 1300 °С с выдержкой при максимальной температуре в течение 1 ч. Скорость подъема температуры в печи составлял 5 °С в мин.

В результате проведения комплексных исследований определены следующие свойства огнеупоров, которые представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты исследований

Свойства образцов огнеупора	Шихтовой состав, показатели свойств		
	Природный каолин Глина «Гранитик–Веско» Глина «Городное» Шамот	Природный каолин Глина «Гранитик–Веско» Шамот	Обогащенный каолин Глина «Гранитик–Веско» Шамот
Водопоглощение, %	6–12	6,8–9,8	6,6–7,9
Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup>	1750–2030	1750–2180	1980–2214
Открытая пористость, %	13–18	13,20–13,48	12,06–13,24
Механическая прочность при сжатии, МПа	25–42	35–49	45–56
ТКЛР, 10 <sup>-6</sup> К <sup>-1</sup>	4,5–5,2	4,8–5,1	3,7–4,6
Теплопроводность, Вт/м·К	0,5–1,5	0,4–1,3	0,2–1,2
Огнеупорность, °С	более 1500	более 1500	более 1500

Рентгенограммы синтезированных огнеупоров снимались на установке «Brucker» (ФРГ) с ионизационной регистрацией рассеянных лучей (излучение CuK $\alpha$ ); детектор –



счетчик Гейгера. Установлено, что фазовый состав огнеупорных изделий представлен муллитом ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ), кварцем ( $\text{SiO}_2$ ), крестоалитом. При использовании обогащенного каолина дифракционные максимумы муллита более интенсивны, что может косвенно свидетельствовать об увеличении его количества при спекании, что вполне закономерно, так как в обогащенном каолине содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  составляет 37,45 мас.%, что в 1,5 раза больше, чем в природном.

В производстве алюмосиликатных огнеупоров можно использовать как природный каолин, так и обогащенный – значения полученных данных соответствуют требованиям к огнеупорам. При использовании обогащенного каолина можно получить более качественные огнеупоры, т.е с лучшими эксплуатационными характеристиками.

УДК 66.02(075.8)

### **Расчёт оценки времени безотказной работы оборудования**

Студент 2 гр., IV курса Васильев И.Л.

Научный руководитель – Савчук М.А.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Современный уровень развития технологий формирует высокие требования к надежности функционирования промышленных производств. Каждая непредвиденная остановка выпуска продукции по причине выхода из строя единицы технологического оборудования приводит к значительным материальным потерям вследствие недовыпуска продукции, нарушения ритмичности производства, потери дорогостоящего сырья, необходимости проведения ремонтных работ. Специфика многоассортиментных химических технологий, использующих в производстве пожаро- и взрывоопасные, токсичные, высококоррозионные вещества, делает особенно актуальным предотвращение возникновения внештатных ситуаций, развитие которых может привести к серьезным авариям, экологическим катастрофам и человеческим жертвам.

Качество и объем выпуска продукции в производстве медпрепаратов зависит от многих факторов. Одним из них, влияющих в значительной степени на качество выпускаемой продукции, является процесс очистки суспензии методом фильтрования. В соответствии с технологическим регламентом процесс целесообразно производить под вакуумом. Таким образом, процесс фильтрования и, следовательно, производительность, качество продукции, энергозатраты зависят от безотказной работы технологического оборудования, в частности вакуум-насоса. В работе ставилась задача расчета оценки времени безотказной работы вакуум-насоса в процессе фильтрования суспензий в производстве медпрепаратов.

Так как для определения времени безотказной работы необходимо учитывать различные параметры (время наработки на отказ, количество предыдущих отказов, частота отказов, время простоя оборудования и др.), то для упрощения решения данной задачи был составлен алгоритм решения и реализован в программе Microsoft Excel.

В результате решения показано, что из возможных нормальное распределение является наиболее универсальным. Распределение характеризуется двумя независимыми параметрами: математическое ожидание  $m$  и среднее квадратичное отклонение  $S$ . Значения  $m$  и  $S$  оценивают по результатам испытаний по формулам:

$$m \approx \bar{t} = \sum t_i / N, \quad (1)$$

$$S \approx s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (t_i - \bar{t})^2} \quad (2)$$

Вероятность безотказной работы определяется по формуле

$$P(t) = 1 - F_0(u_t), \quad (3)$$

где  $F_0(u_t)$  – функция стандартного нормального распределения, определяется по таблицам [1], для использования которых необходимо определить квантиль нормального распределения  $u_t$

$$u_t = (t - m) / S. \quad (4)$$

За базу относительно реальных условий взят 95 %-ый ресурс насоса в установке фильтрации в зависимости от количества предшествующих ремонтов. Тогда требуется определить, какое время проработает насос без отказа с вероятностью 95 % после каждого последующего отказа.

Для расчета были взяты наработки на отказ  $t$  трех насосов идентичных установок фильтрации. Данные получены из ремонтных карт действующего предприятия.

Далее производилась оценка параметров нормального распределения. Для первого использования насоса получаем:

$$\bar{t}_1 = (t_1^1 + t_1^2 + t_1^3) / 3 = (4080 + 4080 + 4070) / 3 = 4076.667 \text{ ч}$$

$$s_1 = \sqrt{\frac{1}{3-1} \left( (4080 - 4076.667)^2 + (4080 - 4076.667)^2 + (4070 - 4076.667)^2 \right)} = 5.773$$

Квантиль нормального распределения при  $P(t) = 0.95$  равняется  $u_t = -1.645$

Затем определялось время безотказной работы насоса при вероятности безотказной работы 95 %

$$t' = \bar{t} + u_t s. \quad (5)$$

$$t'_1 = 4076.667 + (-1.645) \cdot 5.773 = 4067.169 \text{ ч}$$

По результатам расчётов строится график наработки насоса на отказ (рисунок 1) – зависимость времени работы насоса от числа проведенных ремонтов.

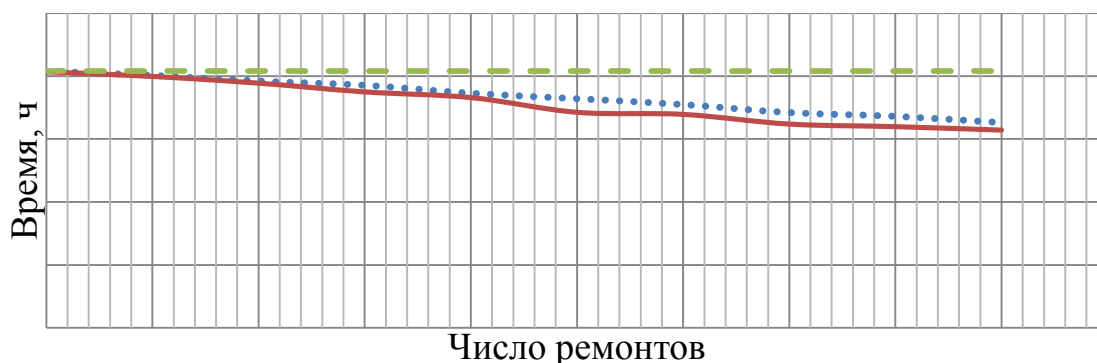


Рисунок 1 – График наработки на отказ насоса:

- — — — время проведение ремонтов согласно графика планово предупредительных ремонтов;
- · · — среднее время наработки на отказ;
- время безотказной работы насоса с вероятностью 95 %

Таким образом, мы определили какое время с вероятностью 95 % проработает насос без отказа после  $n$  ремонтов. Показано, что можно предложить проводить текущие ремонты не через 4080 часов, а уменьшить это время, и проводить текущий ремонт до времени определенного графиком ремонтов. Это приведет к снижению времени простоя оборудования, уменьшению энергозатрат, увеличению производительности работы оборудования.

### Литература

1. Климов, А. М. Надежность технологического оборудования / А. М. Климов. – Тамбов: Издательство Тамбовского государственного технического университета, 2008. – 104 с.

УДК 666.646

### Керамические массы для производства плиток для внутренней облицовки стен

Студентка гр.5–9 Гришкевич Н.Н.  
 Научный руководитель – Павлюкевич Ю.Г.  
 Белорусский государственный технологический университет  
 г. Минск

Технология однократного обжига – это относительно новое и перспективное направление в производстве керамической плитки для внутренней облицовки стен. Внедрение данной технологии позволяет перейти на качественно новый уровень, повысить конкурентоспособность продукции и существенно сократить продолжительность технологического процесса. Однако при ее реализации предприятия сталкиваются с рядом проблем, которые приводят к уменьшению сортности готовых изделий. Указанные трудности обусловлены, прежде всего, отсутствием исследований в данной области.

Целью данной работы является разработка составов керамических масс для производства плиток для внутренней облицовки стен однократным обжигом.

Задачей настоящего исследования являлось проведение синтеза и исследование физико-химических свойств материалов на основе системы глинистая составляющая – плавленый – отощитель. Синтез осуществлялся на основе поликомпонентной сырьевой композиции, включающей, мас. %: глина «Гайдуковка» (РБ) 47,5 – 57,5, глина «Курдюм-3» (Украина) 5 – 20, доломитовый отсев (РБ) 0 – 15. В качестве постоянных компонентов

использовались каолин жежелевский (Украина), песок кварцевый ВС-050-1 (РБ), гранитоидные отсеvy (РБ) при общем содержании, составляющем 37,5 %.

Подготовка масс осуществлялась шликерным способом, для этого сырьевые компоненты, отвешенные в соответствии с рецептурой, размалывали мокрым способом в шаровой мельнице при соотношении загружаемого материала к массе мелющих тел 1 : 1,5. Влажность шликера составляла 34 %, остаток на сите №0063К в количестве 5 – 6 %. Необходимая текучесть шликера достигалась благодаря введению сверх 100 % массы 0,06 % триполифосфат натрия.

Из шликера готовился пресс-порошок влажностью 5 %, после чего осуществлялось прессование плиток 110×55 мм. Обжиг производился в газопламенной конвейерной печи типа FMS 2500/105 при температуре 1110±7 °С в течении 38±1 мин в производственных условиях ОАО «Керамин» (г. Минск).

Выбор температурного интервала был обусловлен требованиями, предъявляемыми к облицовочной плитке. Верхний предел температуры определялся, прежде всего, водопоглощением изделий, которое не должно быть выше 16 %. А нижний предел – необходимостью создания условий, обеспечивающих более полное протекание процессов, сопровождающихся интенсивным газовыделением. Оптимальный состав керамической массы характеризуется водопоглощением 12,86 %, усадкой – 0 – 0,5 %. Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) синтезированных материалов измерялся на электронном dilatометре DIL 402 РС фирмы «Netzsch» (ФРГ) в интервале температур 20–400°С при постоянной скорости нагрева образцов в печи, составляющей 5°С/мин (ГОСТ 27180–86). ТКЛР синтезированным материалов находился в интервале 7,29–7,65·10<sup>-6</sup> К<sup>-1</sup>.

Механическая прочность при изгибе образцов составила 18,5 – 19,5 МПа.

В настоящее время на ОАО «Керамин» выпускается керамическая плитка для внутренней облицовки стен, получаемая двукратным обжигом. Физико-механические свойства данных изделий составляют: водопоглощение – не более 16 %, усадка – не более 0,5 %, механическая прочность при изгибе – не менее 15 МПа, ТКЛР – 7,0·10<sup>-7</sup> К<sup>-1</sup>. Приведенные данные свидетельствуют о том, что разработанные составы керамических масс однократного обжига удовлетворяют СТБ EN 14411-2009.

УДК 666.127:666.189.21

### **Стекольный бой и проблемы его использования в производстве стеклотары**

Студент к.5 гр.8 Гусак Ю.О.

Научный руководитель – Павлюкевич Ю.Г.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

В производстве стеклянных изделий одним из важных факторов экономии дорогостоящих сырьевых материалов и снижения потребления энергоресурсов при варке стекол является использование стекольного боя.

Использование стекольного боя позволяет:

- повысить экологичность производства (с уменьшением потребления сырьевых материалов снижается уровень загрязнения атмосферы);
- экономить дорогостоящие сырьевые материалы и энергоресурсы при варке (каждые дополнительные 10 %\* стекольного боя приводит к снижению потребления энергии печи на 2,5 – 3 %);
- увеличить срок службы печей.

В промышленности стекольный бой делят на “технологический”, образующийся в процессе производства, и “вторичный”, получаемый в результате различных схем утилизации стекла. При использовании стекольного боя в больших объемах основную долю занимает “вторичный” бой.

В Республике Беларусь основными производителями стеклянной тары являются ОАО “Гродненский стекольный завод” и ЗАО “Стеклозавод “Елизово”, при этом составы стекол данных предприятий существенно отличаются по содержанию основных компонентов (таблица 1).

Таблица 1 – Составы стекол

Предприятие	Содержание оксидов, %				
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O
ОАО “Гродненский стекольный завод”	73,55	1	9,85	1,8	13,8
ЗАО “Стеклозавод “Елизово”	72,3	2,16	11,7	-	13,76

Ввиду значительных объемов производства стеклянной тары ЗАО “Стеклозавод “Елизово”, доля стекла данного предприятия во “вторичном” сырье будет преобладать. Это приводит к тому, что в стекольном бое, применяемом на ОАО “Гродненский стекольный завод”, значительную часть будет занимать стекло производства ЗАО “Стеклозавод “Елизово”. В результате фактический состав стекла будет иметь отклонения от синтетического.

При увеличении содержания “вторичного” боя в шихте и многократном его использовании отклонение в составе будет увеличиваться, что неблагоприятно скажется как на выработочных свойствах стекла, так и на свойствах конечной продукции.

На рисунке показано изменение температуры расплава стекла при вязкости стекломассы 10<sup>2</sup> Па·с за счёт отклонения состава при многократном использовании “вторичного” стекольного боя.

\* здесь и далее по тексту массовое содержание

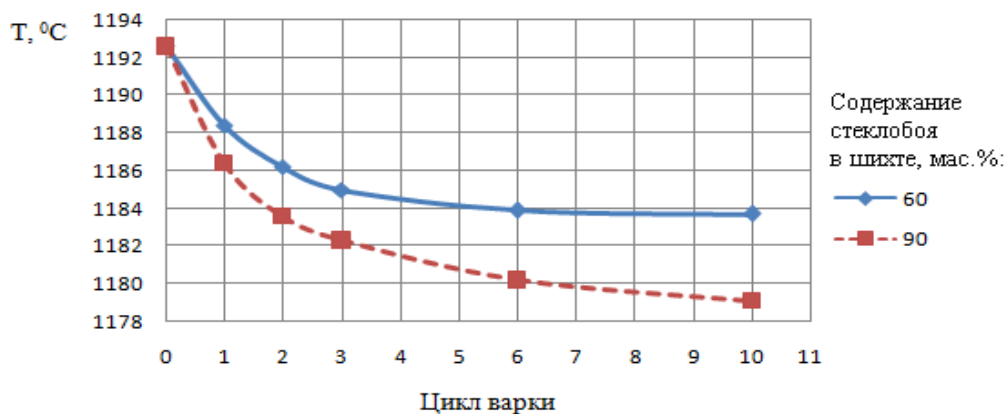


Рисунок 1 – Изменение температуры стекломассы (при вязкости 10<sup>2</sup> Па·с) при различном содержании стекольного боя в составе шихты

Изменение температурного режима варки и выработки стекла отрицательным образом скажется на процессах формования и получения в итоге качественной продукции.

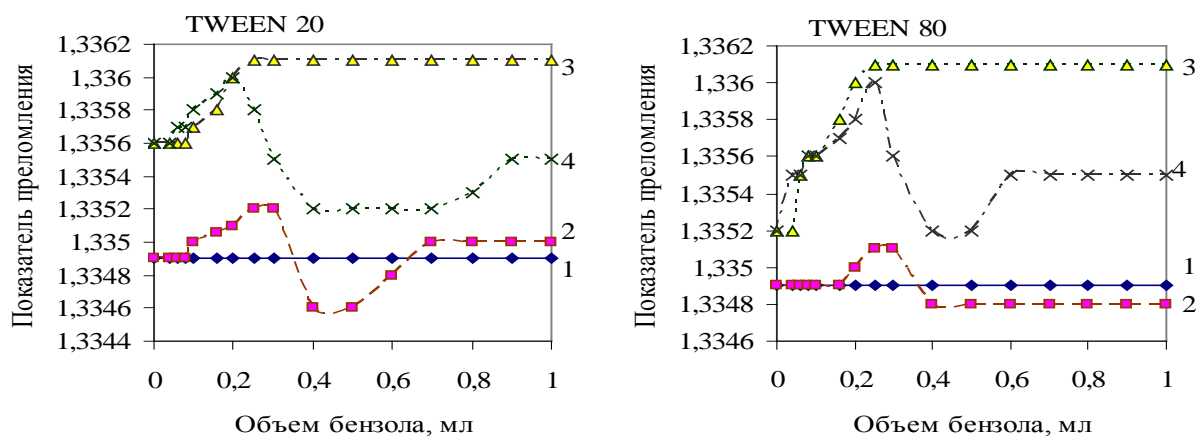
В связи с этим рекомендуется следить за уровнем изменения свойств стекла и своевременно проводить корректировку состава по основным компонентам.

### Изучение систем «вода – ПАВ – бензол» рефрактометрическим методом

Студенты 8 гр. ф-та ТОВ Фирсова Л.Д., Грукалова Е.В.  
 Научные руководители – Эмелло Г.Г., Бондаренко Ж.В.  
 Белорусский государственный технологический университет  
 г. Минск

Бензол является токсичным ароматическим углеводородом. Извлечение его следовых количеств из водной среды может быть осуществлено путем соллюбилизации молекул  $C_6H_6$  в прямых мицеллах, содержащихся в коллоидных растворах поверхностно-активных веществ (ПАВ). При этом в системах, содержащих водную фазу, масляную фазу и ПАВ, в зависимости от соотношения компонентов, кроме мицеллообразования и соллюбилизации может протекать также процесс образования микроэмульсий [1]. В данной работе использовались оксиэтилированные неионогенные ПАВ TWEEN 20 (полиоксиэтилен(20) сорбитанмонолаурат) и TWEEN 80 (полиоксиэтилен(20) сорбитанмоноолеат). Эти ПАВ являются токсикологически безопасными и биоразлагаемыми [2].

Рефрактометрическим методом [3] определены критические концентрации мицеллообразования (ККМ) исследованных ПАВ, которые составили 1,34 г/л для TWEEN 20 и 1,90 г/л для TWEEN 80. С учетом полученных данных для изучения систем «вода – ПАВ – бензол» готовили водные коллоидные растворы ПАВ с концентрациями 5, 10, 25 и 50 г/л. Расход бензола составлял 0,04–1,00 мл. Измерение показателей преломления систем производили на рефрактометре ИРФ-454 при температуре 22 °С. На рисунке 1 представлены зависимости показателей преломления систем «вода – ПАВ – бензол» от природы и концентрации раствора ПАВ (5 и 10 г/л), содержания бензола и времени.



Концентрация ПАВ, г/л: 1, 2 – 5 г/л; 3, 4 – 10 г/л;  
 время: 1, 3 – 1 ч; 2, 4 – 1 сут

Рисунок 1 – Зависимость показателя преломления систем от содержания бензола

Из рисунка 1 видно, что при введении бензола в растворы ПАВ с концентрациями 5 г/л значение показателя преломления, измеренные через 1 ч, практически постоянны (линии 1). Это может быть связано с тем, что мицеллы еще малы и соллюбилизация бензола не происходит: исследуемые системы были прозрачными, на поверхности присутствовал бензол в виде капель или тонкой пленки в зависимости от его содержания.

При концентрации растворов равной 10 г/л в процессе добавления бензола происходит соллюбилизация его молекул, о чем свидетельствует повышение рефракции

систем (линии 3). После насыщения мицелл молекулами углеводорода показатель преломления не изменяется; избыток бензола находится в поверхностном слое.

Рефрактометрическое исследование этих же систем через одни сутки (линии 2, 4) показало, что на всех графиках есть область солюбилизации, в которой системы представляли собой прозрачные жидкости, и область образования прямых эмульсий, представляющих собой непрозрачные однородные системы («белые» золи).

На рисунке 2 представлены зависимости показателей преломления систем «вода – ПАВ – бензол» в зависимости от природы и концентрации раствора ПАВ (25 и 50 г/л), содержания бензола и времени.

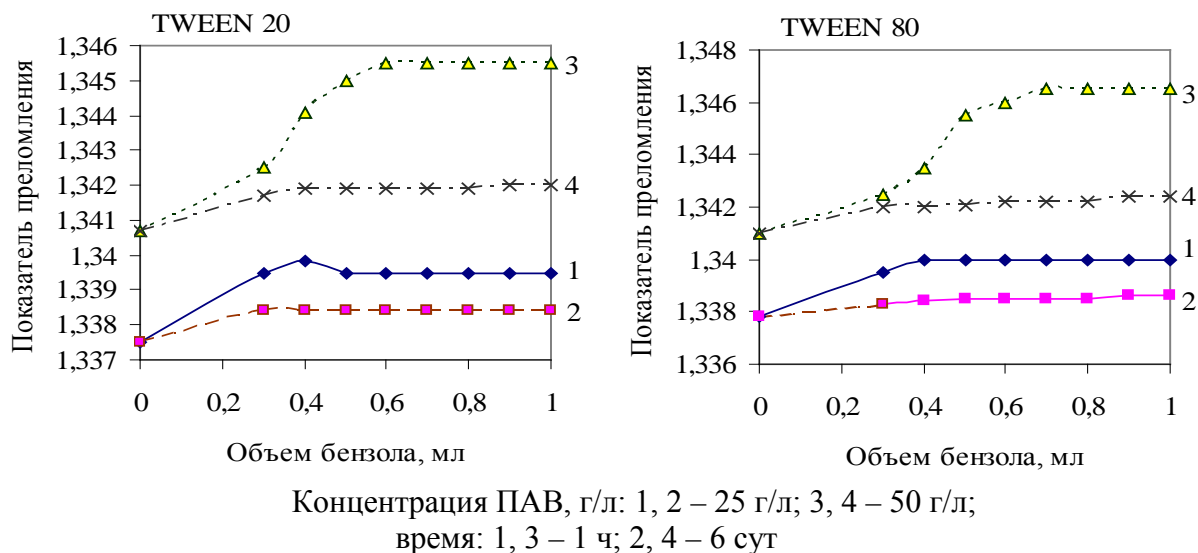


Рисунок 2– Зависимость показателя преломления систем от содержания бензола

Из рисунка 2 следует, что характер зависимости показателя преломления систем от расхода бензола одинаков для ПАВ различной природы при одинаковой концентрации их водного раствора: рефракция систем вначале возрастает (более значительное возрастание наблюдается через 1 ч по сравнению с 1 сут), затем показатель преломления остается практически постоянным. Через одни сутки все системы с расходом бензола от 0,3 до 1,0 мл представляли собой эмульсии различной консистенции; в системах с содержанием бензола 0,8 – 1,0 мл наблюдалась потеря устойчивости. При этом склонность к данному явлению в большей мере проявляется у систем, содержащих TWEEN 20 по сравнению с системами, содержащими TWEEN 80.

Таким образом, исследование систем «вода – ПАВ – бензол» с различным соотношением компонентов показало, что в зависимости от концентрации раствора ПАВ, содержания бензола и времени выдерживания систем в них протекают процессы солюбилизации и микроэмульгирования. Эти процессы являются конкурирующими друг с другом. Визуально было замечено, что с течением времени процесс эмульгирования постепенно превалирует над процессом солюбилизации.

### Литература

1. Мицеллообразование, солюбилизация и микроэмульсии / Под ред. Миттел К.М. – М.: Мир, 1980. – 274 с.
2. Досон, Р. Справочник биохимика / Р. Доссон [и др.]. – М.: Химия, 1991. – 238 с.
3. Практикум по коллоидной химии (коллоидная химия латексов и поверхностно-активных веществ) / Под ред. Р. Э. Неймана. – М.: Высшая школа, 1971. – 176 с.

**Об использовании антиоксидантов в косметических эмульсиях,  
содержащих растительные масла**

Студент 8 гр. ф-та ТОВ Круглик В.В.

Научные руководители – Бондаренко Ж.В., Эмелло Г.Г.  
Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

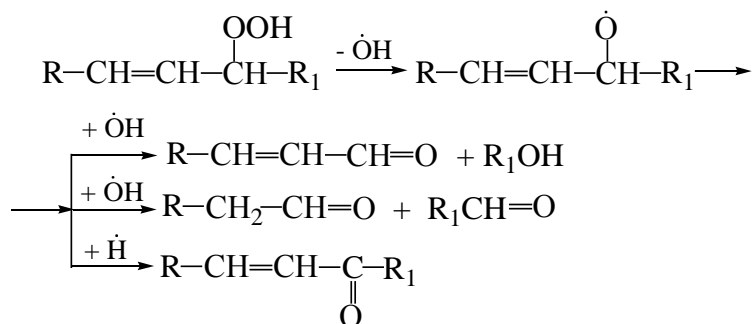
Косметические эмульсии являются универсальными системами для создания косметических средств различных форм и направленности. Эти средства на рынке косметике представляют наиболее распространенную группу продукции, что связано с их высокой активностью, которая может быть обусловлена [1]:

– рациональным сочетанием жиров и воды (система близка по природе и составу к естественным компонентам кожи, поэтому может воздействовать на процессы, протекающие в ней);

– введением в эмульсии веществ с различными физико-химическими свойствами, способными воздействовать на биохимические процессы в коже (предупреждать и корректировать негативные изменения кожного покрова);

– варьированием консистенцией и составом для обеспечения направленного воздействия на кожу (увлажнение, питание, регенерация и др.).

Создание косметических эмульсий требует использования в их составе разнообразного комплекса веществ, обеспечивающих необходимые физико-химические свойства продукта, определенную биологическую активность, химическую и микробиологическую стабильность и др. Особую важность имеют натуральные жиры (триглицериды), которые по составу и физико-химическим характеристикам близки к кожному жиру и способны функционально его замещать. В состав триглицеридов растительных масел входят жирные кислоты, которые можно разделить на две группы: насыщенные и ненасыщенные. Ненасыщенные жирные кислоты в большей мере влияют на барьерные функции кожи, обладают выраженным противовоспалительным эффектом, быстро впитываются и способствуют проникновению в кожу других веществ и др. Однако использование ненасыщенных жирных кислот и триглицеридов в косметических эмульсиях затрудняется тем, что данные компоненты подвергаются окислению под действием кислорода воздуха. Процесс окисления протекает по радикальному механизму и в нем можно выделить две стадии: на первой стадии окисления образуются гидропероксиды, дальнейшее превращение которых на второй стадии приводит к образованию различных продуктов окисления (спирты, кетоны, эпоксисоединения и др.):



Процесс окисления приводит к порче (прогорканию) триглицеридов и полученных с их использованием продуктов.



При производстве косметических эмульсий применяются различные растительные масла: оливковое, миндальное, персиковое, кокосовое, авокадо, зародышей пшеницы, подсолнечное и др. Практически все масла предотвращают обезвоживание кожи, обладают питательным и смягчающим действием, а некоторые могут оказывать специфическое воздействие: противовоспалительное, регенерирующее, стимулирующее и др. [2]. Использование в косметических эмульсиях растительных масел (триглицеридов) требует обязательного введения в их состав антиоксидантов. Действие антиоксидантов основано на способности обрывать цепь окисления, то есть инактивировать активные радикалы (инициаторы окисления) и образовать новые, высокостабильные радикалы, не принимающие участия в процессе окисления [3].

При введении антиоксидантов в косметические эмульсии необходимо учитывать следующие нюансы, связанные с особенностями их биологического действия:

- антиоксидант должен быстро вступать во взаимодействие со свободным радикалом, чтобы инактивировать его; промежуточные радикалы также следует инактивировать, чтобы предотвратить развитие цепной реакции, которая может усугубить процесс;

- в рецептуру необходимо включать несколько антиоксидантов, образующих самовосстанавливающуюся систему; подобные антиоксидантные системы существуют в природе, например, растительные биофлавоноиды, для которых характерно существование многих форм, отличающихся по своему восстановительному потенциалу [4];

- одновременно использовать водо- и жирорастворимые антиоксиданты, поскольку косметические эмульсии содержат как водную, так и масляную фазы;

- определять активность антиоксидантов и долгосрочность их действия в готовых продуктах.

При производстве косметических средств чаще всего используются следующие антиоксиданты:

- жирорастворимые –  $\alpha$ -токоферол (витамин E) и его эфиры; убихинон (витамин Q<sub>10</sub>); каротиноиды ( $\beta$ -каротин, лютеин, зеаксантин, ликопин); аскорбилпальмитат (эфир витамина C и пальмитиновой жирной кислоты) и др.;

- водорастворимые – аскорбиновая кислота (витамин C) и ее производные; растительные полифенолы; карнозин (дипептид); серосодержащие соединения (глутатион, цистеин, метионин); цинамовые кислоты (кумаровая, кофейная, феруловая) и др. [5].

Однако, несмотря на довольно широкое использование в составе косметических эмульсий растительных масел и антиоксидантов, в литературе недостаточно сведений о долгосрочности влияния отдельных антиоксидантов и их смесей на устойчивость к окислению триглицеридов в эмульсионных продуктах. Данный вопрос представляет и теоретический и практический интерес. Этот интерес проявляется особенно в отношении к рапсовому маслу, которое производится в нашей республике и по триглицеридному составу близко к оливковому. Тем не менее, в косметических системах рапсовое масло используется в значительно меньшей мере, чем оливковое. Изучение влияния антиоксидантов на устойчивость к окислению триглицеридов рапсового масла в составе косметических эмульсий, по нашему мнению, расширит возможности его применения в данных продуктах.

### 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. Самуйлова, Л.В. Косметическая химия: учеб. издание. В 2 ч. Ч. 1. Ингредиенты / Л. В. Самуйлова, Т. В. Пучкова. – М.: Школа косметических химиков, 2005. – 336 с.

3. Химия жиров: тексты лекций для студ. специальности «Биотехнология» специализации «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов» / Р. М. Маркевич, Ж. В. Бондаренко. – Минск: БГТУ, 2011 – 220 с.

4. Георгиевский, В.П. Биологически активные вещества лекарственных растений / В.П. Георгиевский, Н.Ф. Комиссаренко, С.Е. Дмитрук. – Новосибирск: Наука, 1990. – 333 с.
5. Эрнандес, Е. Как выбрать антиоксидантную косметику / Е. Эрнандес // Косметика и медицина, 2010. – №1. – С.17–20.

УДК 544.71:661.185

**Пенообразующая способность препарата Genapol LRO в присутствии полиэтиленгликоля и сорбитола**

Студент 8 гр. ф-та ТОВ Шилай А.Г.  
Научные руководители – Бондаренко Ж.В., Эмелло Г.Г.  
Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Среди разнообразия косметических продуктов существенную долю занимают гигиенические моющие средства. К ним относятся шампуни, гели для душа, пены для ванны, жидкие мыла и др. Для получения гигиенических моющих средств используют препараты поверхностно-активных веществ (ПАВ), представляющие собой, как правило, не индивидуальные вещества, а их смеси [1, 2]. Они обеспечивают моющее действие средств, их пенообразующую способность и другие потребительские свойства. Помимо ПАВ в состав гигиенических моющих средств входят высокомолекулярные соединения (поливинилпирролидон, полиэтиленгликоли, полиакриловая кислота и ее производные), спирты (глицерин, сорбитол, ксилит), биологически активные вещества (витамины, экстракты) и др. [3]. Поэтому пеномоющие средства представляют собой многокомпонентные системы, в которых ингредиенты оказывают взаимное влияние на свойства друг друга.

Целью работы явилось изучение влияния расхода полиэтиленгликоля и сорбитола на пенообразующую способность (пенное число) водных растворов препарата Genapol LRO и устойчивость пен, полученных с их использованием.

Технический препарат Genapol LRO представляет собой смесь диэтоксилаурилсульфата и диэтоксимиристилсульфата натрия. Концентрация водного раствора препарата в ходе исследований составляла 2,0 г/л. В работе использовали полиэтиленгликоль со средней молекулярной массой 6000 (ПЭГ-6000); его расход варьировали в диапазоне 0,005 – 1,00 %; расход сорбитола изменяли от 0,5 до 5,5 %.

Исследуемые системы готовили с использованием дистиллированной воды, их изучение проводили на приборе Росс-Майлса при температуре  $20 \pm 1$  °С по методике, описанной в [4]. Пенообразующую способность (пенное число) определяли как высоту столба пены (мм) через 30 с после истечения исследуемого раствора из пипетки прибора Росс-Майлса. Устойчивость пены рассчитывали, как отношение высоты столба пены через 5 мин к высоте столба пены через 30 с, и выражали в процентах. На рисунке 1 представлено влияние расхода ПЭГ-6000 на пенное число (1) и устойчивость пен (2), образованных из водных растворов препарата ПАВ.

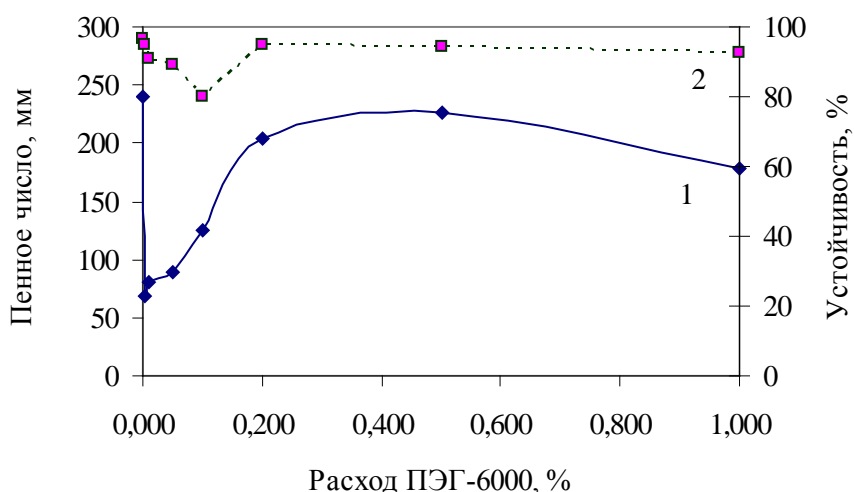


Рисунок 1 – Зависимость пенного числа и устойчивости пен от расхода ПАЭГ-6000

Как видно из представленных на рисунке данных, зависимость пенного числа от расхода ПАЭГ-6000 имеет сложный характер: при введении в систему ПАЭГ-6000 в количестве до 0,01 % показатель снижается и достигает своего минимального значения – 70 мм; при дальнейшем увеличении содержания полимера до 0,5 % возрастает до 225 мм, а далее имеет тенденцию к снижению (до 180 мм). Зависимость устойчивости пен от расхода полимера имеет аналогичный характер, с той разницей, что положение минимума на кривой соответствует расходу ПАЭГ-6000 равному 0,1 %. Однако наибольшее значение устойчивости пен достигается при расходе ПАЭГ-6000 0,2 – 1,0 %, что соответствует максимальным значениям пенного числа.

На рисунке 2 представлены результаты исследования кинетики разрушения пен, полученных из водных растворов препарата Genapol LRO с различным содержанием ПАЭГ-6000.

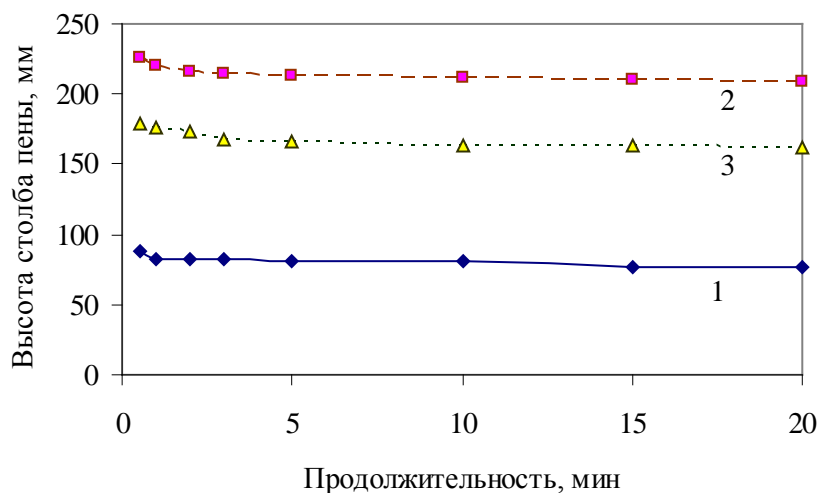


Рисунок 2 – Кинетика разрушения пен при расходе ПАЭГ-6000, %: 1 – 0,05; 2 – 0,50; 3 – 1,00

Из рисунка видно, что при введении в систему ПАЭГ-6000 незначительное разрушение пен происходит в течение первых трех минут их существования, а затем системы достигают устойчивости и высота столба пены практически не изменяется.

Изучение влияния расхода сорбитола на свойства препарата ПАВ показало, что в интервале концентраций спирта 0,5 – 5,5 % данный компонент не оказывает существенного влияния на пенообразующую способность Genapol LRO – пенное число находится в интервале 215 – 240 мм, а устойчивость полученных пен составляет 94,0 – 96,5 %.

Анализ экспериментальных данных позволил сделать вывод, что при использовании в системе с препаратом Genapol LRO (2,0 г/л) полимера ПЭГ-6000 для обеспечения пенного числа не ниже 100 мм и устойчивости пен не менее 80 % его расход должен составлять более 0,1 %. Сорбитол на пенообразование препарата ПАВ практически не влияет и выбор его расхода определяется другими факторами.

### Литература

1. Ланге, К. Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение / К. Р. Ланге; под ред. Л. П. Зайченко. – СПб.: Профессия, 2005. – 240 с.
2. Плетнев, М.Ю. Поверхностно-активные вещества и их композиции. Справочник / Под ред. М.Ю. Плетнева. – М.: ООО «Фирма Клавель», 2002. – 768 с.
3. ГОСТ 22567.1–77. Средства моющие синтетические. Метод определения пенообразующей способности / Введ. 2.06.1977 г.; продл. 29.06.1984 г. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 7 с.
4. Плетнев, М.Ю. Косметико-гигиенические моющие средства / М.Ю.Плетнев. – М.: Химия, 1990. – 272 с.

УДК 54-31+537.32+666.654

### Термоэлектрические свойства слоистых кобальтитов $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_2$ ( $x = 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20$ )

Студентка 5 к.10 гр. факультета ХТиТ Дудко Н.С.  
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 стабильности) кобальтита  $\text{Na}_x\text{CoO}_2$  является частичное замещение ионов кобальта катионами металлов, приводящее к управляемому дефектообразованию в структуре проводящих слоев.

Установлено, например, что замещение кобальта медью приводит к улучшению спекаемости (уменьшению пористости) керамики  $\text{Na}(\text{Co}_{1-x}\text{Cu}_x)_2\text{O}_4$  ( $0 \leq x \leq 0,2$ ), увеличению ее электропроводности и термо-ЭДС, при этом наибольшие значения фактора мощности ( $P$ ) –  $3,08 \text{ мВт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-2}$  при  $1073 \text{ К}$  – демонстрирует состав  $\text{Na}(\text{Co}_{0,9}\text{Cu}_{0,1})_2\text{O}_4$  [3]. Пористость и термо-ЭДС керамики  $\text{Na}(\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x)_2\text{O}_4$  ( $0 \leq x \leq 0,2$ ) возрастают, а электропроводность уменьшается с ростом  $x$ ; максимальное значение фактора мощности при температуре  $1073 \text{ К}$  зафиксировано для образца  $\text{Na}(\text{Co}_{0,95}\text{Ni}_{0,05})_2\text{O}_4$  ( $P_{1073} = 2,36 \text{ мВт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-2}$ ) [4]. Замещение кобальта цинком в  $\text{Na}(\text{Co}_{1-x}\text{Zn}_x)_2\text{O}_4$  ( $0 \leq x \leq 0,2$ ) приводит к увеличению пористости, электропроводности и термо-ЭДС керамики, результатом чего является значительное увеличение фактора мощности керамики –  $P_{1073} = 1,7 \text{ мВт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-2}$  и  $P_{1073} = 0,4 \text{ мВт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-2}$  для  $\text{Na}(\text{Co}_{0,95}\text{Zn}_{0,05})_2\text{O}_4$  и  $\text{NaCo}_2\text{O}_4$  соответственно [5].

Целью настоящей работы является изучение влияния замещения кобальта никелем на структуру и свойства твердых растворов  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_2$  ( $x = 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20$ ).

Образцы получали керамическим методом в интервале температур  $1133 - 1203 \text{ К}$  на воздухе в течение 24 ч по методике [6]. Исходную шихту готовили из карбоната натрия и оксидов кобальта и никеля (квалификация реагентов не ниже «ч.д.а.»), взятых в молярных

соотношениях  $0,9 : (1-x) : 3x$ . В процессе термообработки образцы теряли часть оксида натрия. Зависимость содержания натрия в керамике  $\text{Na}_x\text{CoO}_2$  от температуры и времени термообработки была изучена в работе [6], в соответствии с результатами которой состав полученной керамики был описан общей формулой  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_2$  ( $x = 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20$ ). Спеченные образцы шлифовали и обтачивали до придания им формы прямоугольных параллелепипедов.

Идентификацию образцов проводили при помощи рентгенофазового анализа (РФА) (рентгеновский дифрактометр D8 Advance Bruker AXS (Германия),  $\text{CuK}\alpha$  – излучение). Тепловое расширение, электропроводность ( $\sigma$ ) и термо-ЭДС ( $S$ ) керамики изучали на воздухе в интервале температур 300 – 1100 К по методикам [6, 7]. Фактор мощности ( $P$ ) образцов находили по формуле  $P = S^2\sigma$ .

После завершения синтеза получалась плотноспеченная керамика, структура которой соответствовала структуре гексагонального кобальтита натрия ( $\gamma\text{-Na}_x\text{CoO}_2$ ). Значения кажущейся плотности керамических образцов твердых растворов  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_2$  были несколько ниже значения плотности для незамещенной фазы  $\text{Na}_{0,55}\text{CoO}_2$  ( $\rho_{\text{эксп}} = 3,65 \text{ г/см}^3$ ) и изменялись в пределах 3,19 – 3,45  $\text{г/см}^3$ . Это согласуется с литературными данными [4], и вероятно обусловлено повышением пористости керамики при увеличении степени замещения в слоях –  $\text{CoO}_2$ .

Исследования термоэлектрических свойств показали (рисунок), что полученные материалы представляют собой полупроводники  $p$ -типа, значения электропроводности и термо-ЭДС которых линейно возрастали с ростом степени замещения кобальта никелем. Первое ( $\partial\sigma/\partial x > 0$ ) легко объяснить с учетом типа проводимости кобальтитов: гетеровалентное акцепторное замещение ионов  $\text{Co}^{4+}$  на  $\text{Ni}^{2+}$  приводит к росту концентрации «дырок» – основных носителей заряда в этих фазах (проводниках  $p$ -типа), – что и должно привести к увеличению их проводимости. Второе же ( $\partial S/\partial x > 0$ ) является необычным явлением для типичных полупроводников, хотя подобные результаты уже описаны в литературе. Так, симбатное изменение электропроводности и термо-ЭДС ( $\partial\sigma/\partial x > 0$ ,  $\partial S/\partial x > 0$ ) наблюдали авторы [2] для твердых растворов  $\text{Na}(\text{Co}_{1-y}\text{Cu}_y)_2\text{O}_2$ .

Величина фактора мощности ( $P$ ) керамики  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_2$  возрастала при увеличении температуры (рисунок,  $\text{в,е}$ ) и степени замещения кобальта никелем, при этом максимальные значения  $P$  наблюдали для твердого раствора  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,8}\text{Ni}_{0,2}\text{O}_2$  ( $P_{1100} = 1,27 \text{ мВт}/(\text{м}\cdot\text{К}^2)$ ), что приблизительно в шесть раз выше, чем для незамещенного кобальтита натрия  $\text{Na}_{0,55}\text{CoO}_2$  ( $P_{1100} = 0,20 \text{ мВт}/(\text{м}\cdot\text{К}^2)$ ).

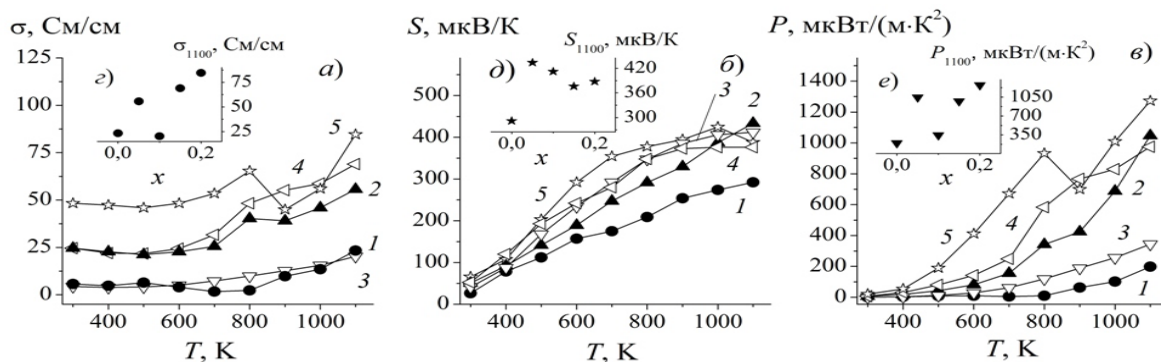


Рисунок – Температурные (а–в) и концентрационные (г–е) зависимости электропроводности  $\sigma$  (а, г), термо-ЭДС  $S$  (б, д) и фактора мощности  $P$  (в,е) твердых растворов  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_2$   $x = 0,00$  (1);  $0,10$  (2);  $0,15$  (3);  $0,2$  (4)

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Функциональные и машиностроительные материалы, наноматериалы» (подпрограмма «Кристаллические и молекулярные структуры», задание 1.02) и при поддержке Министерства образования Республики Беларусь.

## 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. Influence of partial substitution of Cu for Co on the thermoelectric properties of  $\text{NaCo}_2\text{O}_4$  / K. Park [et al.] // *J. of Alloys and Comp.* – 2006. – Vol. 407 – P. 213–219.
4. K. Park, Improvement in high-thermoelectric properties of  $\text{NaCo}_2\text{O}_4$  through partial substitution of Ni for Co / K. Park, K. U. Jang // *Materials Letters*. – 2006. – Vol. 60. – P. 1106–1110.
5. K. Park, Enhanced thermoelectric properties of  $\text{NaCo}_2\text{O}_4$  by adding ZnO / K. Park, J. H. Lee // *Materials Letters* – 2008. – Vol. 62 – P. 2366–2368.
6. 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 неорганич. в-в*. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 9–102.
7. Клындюк, А. И. Термоэлектрические свойства некоторых перовскитных оксидов / А. И. Клындюк, Е. А. Чижова, Н. В. Сазанович, Н. С. Красуцкая // *Термоэлектричество*. – 2009. – № 3. – С. 76 – 84.

УДК 666.1.032.823

### Синтез накладных стекол для изделий из свинцового хрустала

Студент к.5 гр.8 Ефремов К.А.

Научный руководитель – Терещенко И.М.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Анализ литературных данных показал, что требования, предъявляемые к накладным стеклам, идентичны, предъявляемым к стеклам, имитирующим драгоценные камни. Как правило рассматриваемые стекла относятся к высокосвинцовым (содержание  $\text{PbO}$  более 30 мас. %). Учитывая повышенную опасность соединений свинца, выделяющихся при варке стекол и негативно воздействующих на условия труда и экологическую обстановку, нами проведены исследования с целью получения наклада для хрустальных изделий на основе бессвинцовых стекол.

Экспериментальные составы накладных стекол проектировались на основе системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{RO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ , где в роли RO использовались оксиды  $\text{CaO}$  и  $\text{BaO}$ . Область данной системы, включающая 20–25 % RO, изучалась нами ранее для получения бессвинцового хрустала, что позволило существенно сократить объем исследований.[1]

Основные требования к накладным стеклам заключаются в следующем:

- повышенная плавкость относительно основного стекла;
- температуры трансформации обоих стекол, и их температурные коэффициенты линейного расширения должны быть близки.

Именно плавкость стекол была положена в основу выбора и оптимизации составов опытных стекол. Оценка плавкости стекол производится по методу, предложенному А.Н.Даувальтером, согласно которому коэффициент плавкости определяется по аддитивному принципу:

$$C = \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot p_i$$

где  $\mu_i$  – аддитивный коэффициент плавкости оксидов;  $p_i$  – массовая доля соответствующего оксида.

На начальном этапе были рассчитаны коэффициенты плавкости промышленного состава хрусталя ( $C_X = 103,8$ ) и стекла, содержащего 31 мас. %  $PbO$ , используемого в качестве имитатора драгоценных камней ( $C = 121$ ). На этом основании приемлемыми для экспериментальных стекол считались значения коэффициента плавкости  $C = 121 - 125$ .

Область составов экспериментальных стекол в изучаемой системе  $R_2O-RO-SiO_2$  (где  $R_2O - Na_2O$  и  $K_2O$ , а  $RO - CaO$  и  $BaO$ ) проектировались по следующим принципам:

- в качестве варьируемых компонентов выбраны оксиды  $CaO$ ,  $BaO$ ,  $SiO_2$ , содержание которых изменялось в следующих пределах, мас. %:  $SiO_2 - 49,0 - 56,5$ ;  $CaO - 5,0 - 12,5$ ;  $BaO - 20,5 - 28$ ;
- в качестве плавней вводились оксиды  $Na_2O$  и  $K_2O$  в количестве 4,5 и 11,0 мас. %, соответственно, а также  $B_2O_3$  в количестве 2,5 мас. %;
- шаг варьирования составлял 1,5 мас. %.

Составы стекол первого сечения системы и значения соответствующих им коэффициентов плавкости приведены на рисунке 1. Значения плавкости  $C$  показаны в кружках, обозначающих соответствующий состав стекла.

Таким образом, в рассматриваемом сечении требованиям по плавкости отвечает относительно узкая область составов с высоким содержанием  $CaO$  (>9,0 мас.%), что отрицательно сказывается на их кристаллизационной устойчивости.

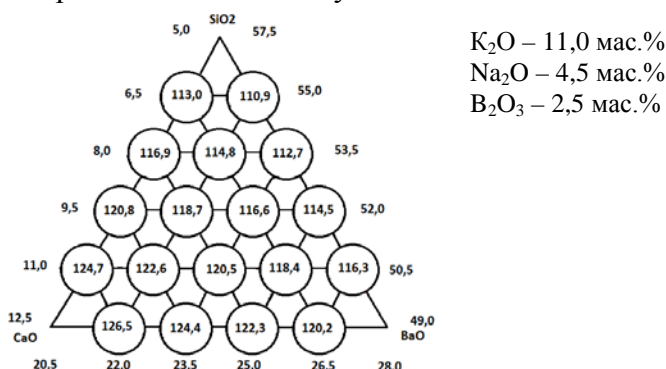


Рисунок 1 – Составы стекол (в мас.%) первичного сечения системы  $Na_2O-K_2O-CaO-BaO-B_2O_3-SiO_2$ , и их коэффициенты плавкости  $C$

В связи с этим осуществлен переход ко второму сечению системы, в котором основные оксиды варьировали в следующих пределах, мас. %:  $SiO_2 - 47,0 - 53,5$ ;  $CaO - 5,0 - 12,5$ ;  $BaO - 20,5 - 28$ . Повышение плавкости стекол достигалось за счет увеличения массового содержания  $R_2O$  ( $K_2O=12$ ,  $Na_2O=5,5$  мас.%), а содержание  $B_2O_3$  не изменялось.

В рассматриваемой области требованиям плавкости и кристаллизационной устойчивости отвечают составы стекол с содержанием  $SiO_2$  более 50 и  $CaO$  6 – 8 мас.%. Один из этих составов (№3), имеющий следующие основные свойства: показатель преломления  $n=1,5629$ , плотность  $\rho=2806 \text{ кг/м}^3$ , микротвердость  $H=3399 \text{ МПа}$ ,  $TKIP= 121,7 \cdot 10^{-7} K^{-1}$ , был выбран для проведения теста по определению согласованности с составом промышленного, хрусталя содержащим 24 мас.%  $PbO$ .

Была применена следующая методика эксперимента: из свинцового хрусталя отливали диски, которые охлаждались до температуры 620 – 680 °С, что соответствует вязкости стекла  $\eta=10^6 - 10^7$  (область адгезии), затем на диски тонким слоем наносился наклад (путем отливки из тигля расплавленного стекла). Полученные диски отжигались в

муфельной печи для устранения термических напряжений. Визуальная оценка качества наклада показала отсутствие видимых дефектов, отмечается высокая адгезия верхнего слоя к основе, в граничных зонах контакта стекол наблюдается легкое погружение накладного стекла в основу. В дальнейшем для состава №3 в промышленных условиях было проведено испытание по методу кольцевой пробы, подтвердившая его согласованность со свинцовым хрусталем.

Проведенные исследования привели к неожиданному выводу: согласование значений ТКЛР основного ( $103 \cdot 10^7 \text{K}^{-1}$ ) и накладного ( $121,7 \cdot 10^7 \text{K}^{-1}$ ) стекол в данном случае не играет определяющей роли, возможно, вследствие близкой химической природы сочетаемых материалов, а также небольшой толщины накладного слоя и его высокой эластичности. Другими словами, разность значений ТКЛР накладного и основного слоев не вызывает в изделии значительных напряжений после отжига, что подтверждено при испытании наклада по методу «кольца».

Напротив, особое значение, по нашему мнению, следует придавать разнице температур стеклования сочетаемых стекол. Проведенные расчеты показывают, что в области  $800 - 700 \text{ }^\circ\text{C}$  вязкость стекла № 3 на  $1,0 - 1,5$  порядка ниже, вязкости свинцового хрусталя (основной слой). Однако температуры стеклования их различаются всего на  $20 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$ , что обусловлено, вероятно, присутствием в составе накладного стекла  $\text{CaO}$ , который способствует повышению низкотемпературной вязкости стекла.

#### Литература

1. Терещенко, И.М., Гончаров, С.В., Кравчук, А.П., Гайкова, С.В., Омелянович, Д.А. Разработка составов бессвинцовых хрустальных стекол / И.М. Терещенко, С.В. Гончаров, А.П.
2. Кравчук, С.В. Гайкова, Д.А. Омелянович // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., БГТУ, 24–26 ноября 2010 г. – Минск, 2010.

УДК 621.926

#### **Тонкое измельчение материалов в вертикальной центробежно-шаровой мельнице с динамическим воздушным классификатором**

Студент гр. 3А, курса 5 Козлов П.С.  
Научный руководитель – Боровский Д.Н.  
Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Шаровое измельчение широко используется в химической и других отраслях промышленности. Однако, несмотря на абсолютное лидерство среди агрегатов тонкого помола, используемых в много тоннажном производстве порошкообразных материалов, шаровым мельницам присущи и серьезные недостатки. Только от 2 до 20% всей потребляемой энергии расходуется непосредственно на измельчение [1], остальная ее часть идет на преодоление сил трения, образование тепла, звуковых колебаний, вибрации и т.д. И если грубый помол с получением частиц, размерами в сотые доли миллиметра, не вызывает серьезных затруднений, при более тонком помоле коэффициент полезного действия шаровой мельницы снижается настолько, что ее дальнейшее использование становится экономически не целесообразно. Перспективы устранения указанных недостатков просматриваются в направлении усложнения траектории и увеличения скорости движения мелющих тел, что может быть реализовано в быстроходных центробежно-шаровых мельницах.



Вертикальная центробежно-шаровая мельница представляет собой цилиндрический корпус, в нижней части которого на вертикальном валу установлен чашеобразный ротор, приводимый в движение от электродвигателя посредством ременной передачи. Исходный материал через загрузочный патрубок поступает в центральную часть вращающегося ротора (привод от электродвигателя) и, двигаясь от центра к периферии, разгоняется до скорости, обеспечивающей разрушение материала (8,5 – 12 м/с).

Измельченный материал подхватывается воздушным потоком, создаваемым вентилятором, и направляется в классификационную камеру. За счет силы аэродинамического сопротивления и центробежной силы инерции, возникающей между вращающимися лопатками корзины происходит отделение частиц требуемого размера от крупной фракции. Далее материал дополнительно отделяется в циклоне и фильтре от воздуха. Готовый продукт собирается в бункере циклона.

Для изучения эффективности помола на вертикальной центробежно-шаровой мельнице с классификационной камерой был проведен ряд опытов на различных материалах (цементом клинкере с размером частиц 2 мм, пигментах – менее 1 мм) [2].

Исследования (рисунок 1) проводились на экспериментальной установке, включающей вертикальную центробежно-шаровую мельницу с диаметром ротора  $D = 185$  мм и высотой  $H = 55$  мм совместно с динамическим воздушным классификатором. В качестве мелющих тел применялись стальные шары диаметром  $6 \div 18$  мм. Степень заполнения ротора  $\phi$  составляла 50 %. Опыты проводились при линейной скорости ротора  $v_p = 11,6$  м/с, соответствующих частоте его вращения  $n = 600$  об/мин. Скорость газа в кольцевом зазоре составляла  $v = 20$  м/с. Линейная скорость корзины классификатора варьировалась от 0 до 3,3 м/с. Эффективность измельчения оценивалась по удельной поверхности частиц, определяемой на приборе ПСХ-8А.



Рисунок 1 – Эффективность измельчения клинкера

Как видно из графика, что с увеличением частоты вращения корзины классификатора возрастает удельная поверхность конечного продукта. Это говорит о возможности регулирования дисперсного состава измельчаемого продукта путем изменения частоты вращения корзины классификатора. Однако, при достижении линейной скорости корзины 2,75 м/с (200 об/мин), значение удельной поверхности клинкера практически неизменно, что обуславливает использование классификатора только в определенном диапазоне частот вращения корзины.

Аналогичные опыты по измельчению (рисунок 2) проводились для материалов представляющих собой пигменты с размером частиц менее 1 мм, следующих типов: 1А –  $TiO_2 \cdot 0,1NiO_2$  (кисло-желтый); 2А –  $CaO \cdot P_2O_5 \cdot Al_2O_3$  (синий); 4А –  $P_2O_5 \cdot Al_2(НРО_4)_3 \cdot 2,5H_2O$  (бирюза); 6А –  $P_2O_5 \cdot NiO \cdot Al_2O_3$  (зеленый); 8А –  $Co_3(PO_4)_2$  (фиолетовый). Для анализа качества помола материала применялся ситовой анализ.

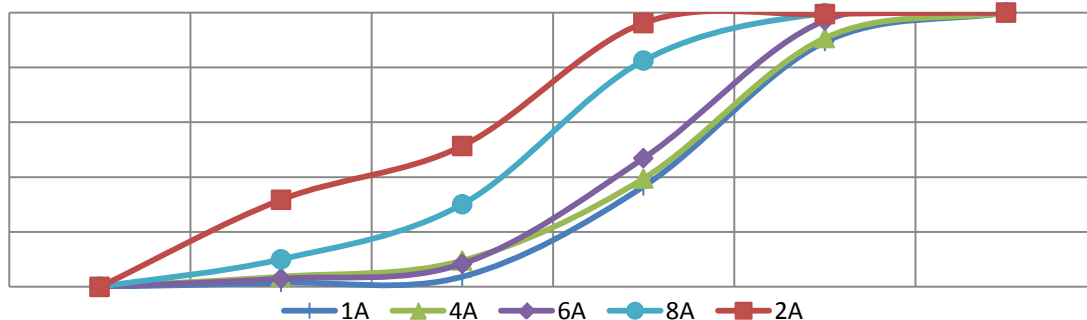


Рисунок 2 – Эффективность измельчения пигментов

Из графика видно, что химическое строение и состав исходной смеси оказывает существенное влияние на качество классификации после ее помола. Так, частицы  $P_2O_5$  в сочетании с  $Al_2O_3$  находящиеся в большом количестве в составе красителя  $CaO \cdot P_2O_5 \cdot Al_2O_3$  имеют довольно твердую кристаллическую структуру и плохо подвергаются помолу

Это существенно влияет на дисперсный состав готового продукта, что заметно при рассеиве его на ситах. Большое количество частиц измельченного материала имеет диаметр более 100 мкм, что не соответствует требуемым параметрам. Однако, при сочетании  $Al_2O_3$  в небольших количествах с более аморфными и менее твердыми веществами типа  $NiO_2$  или  $Al_2(НРО_4)_3$ , находящихся в составе в смеси, делает ее более восприимчивой к измельчению, и это, как следствие, повышает качество измельченного продукта, что доказывается ситовым анализом красителей  $TiO_2 \cdot 0,1NiO_2$  и  $P_2O_5 \cdot NiO \cdot Al_2O_3$ . Содержание частиц менее 100 мкм составляет более 80 % от всего количества порошка.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что установка классификационной камеры на вертикальную центробежно-шаровую мельницу способствует повышению качества продукта, т.е. увеличивается удельная поверхность материала.

### Литература

1. Андреев, С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / С.Е. Андреев, В.А. Перов, В.В. Зверевич. – М.: Недра, 1980. – 415 с.
2. Боровский, Д.Н. Исследование процесса помола в центробежно-шаровой мельнице / Д.Н. Боровский, П.Е. Вайтехович, Д.В. Семененко // Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов: материалы МНТК, Минск, 25-27 ноября 2009 г.: в 2 ч. / УО «БГТУ»; редкол.: Жарский И.М. [и др.] – Минск: БГТУ, 2009. – С. 309–313.

УДК 532.51

### Разработка и исследование контактного устройства массообменного аппарата

Студент гр.2 Колбик А.Н.

Научный руководитель – Мисюля Д.И.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

В промышленности часто используются колонные аппараты, оборудованные разнообразными контактными массообменными устройствами. Такое разнообразие конструкций закономерно, так как невозможно существование универсальных аппаратов, удовлетворяющих всем требованиям практического использования массообменных аппаратов в широком спектре технологических процессов.

Нами разработана новая конструкция клапанной тарелки, представленная на рисунке 1.

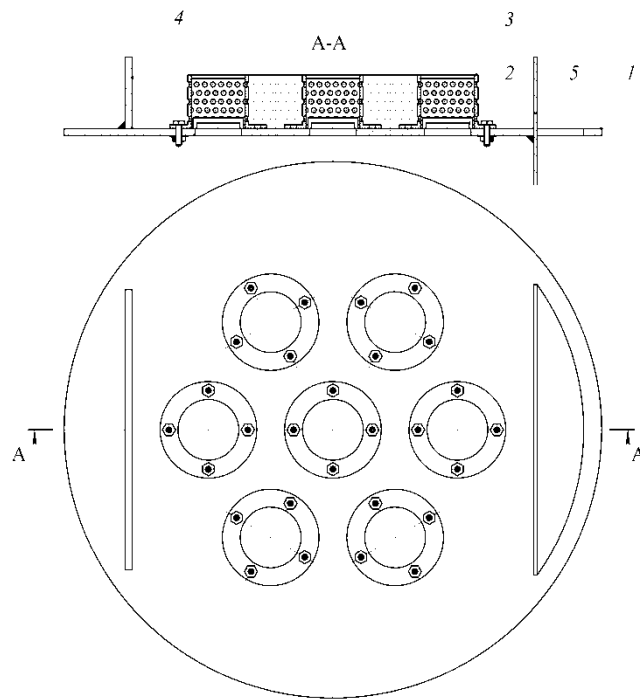


Рисунок 1 – Конструкция клапанной тарелки:  
 1 – тарелка; 2 – клапан; 3 – колпачок; 4 – приемный порог; 5 – перегородка

Гидравлическое сопротивление определялось по разности статических давлений. Эффективность массопередачи определялась на системе воздух–вода с учетом влажности воздуха на входе в колонну и выходе из неё по формуле:

$$A = \frac{x_{\text{ВЫХ}} - x_{\text{ВХ}}}{x_{100} - x_{\text{ВХ}}},$$

Где  $x_{\text{ВХ}}$ ,  $x_{\text{ВЫХ}}$  – влажность воздуха на входе в колонну и на выходе из нее соответственно, кг/м<sup>3</sup>;

$x_{100}$  – влажность воздуха насыщенного водяным паром, кг/м<sup>3</sup>;

Результаты исследований гидравлического сопротивления сухой и орошаемой тарелки и эффективности массопередачи представлены на рисунке 2.

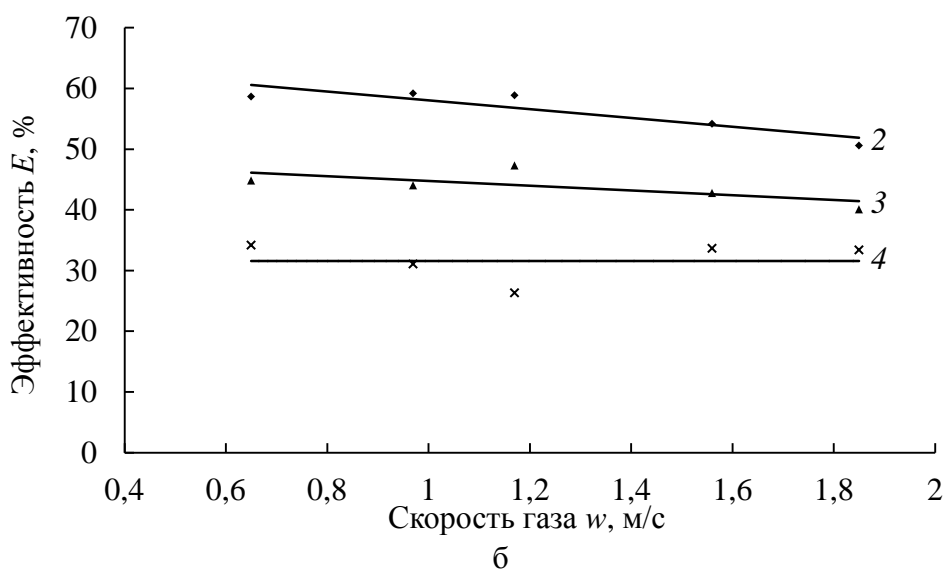
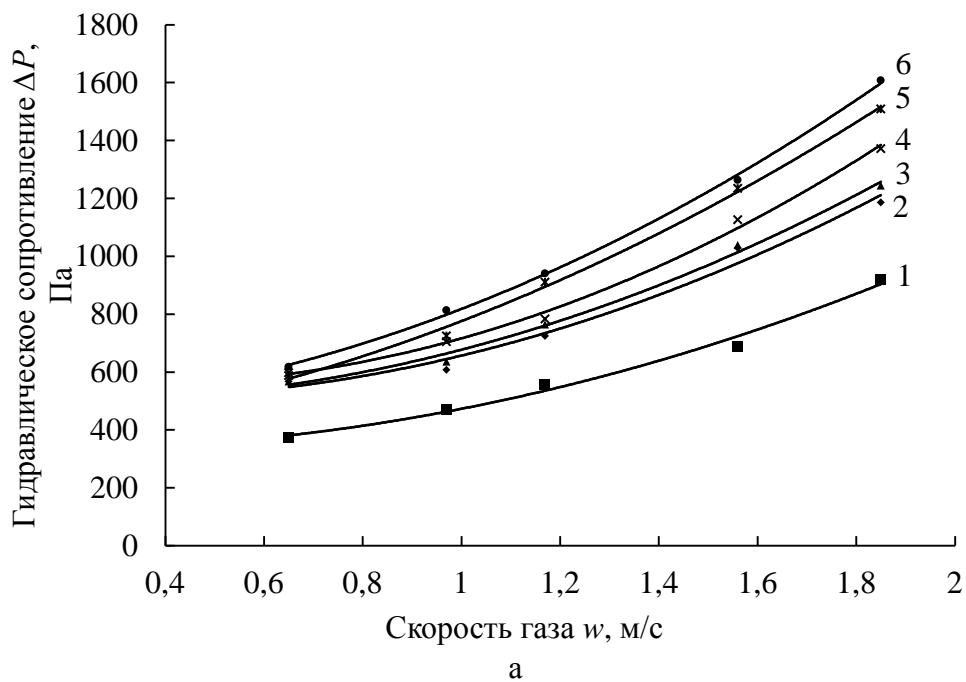


Рисунок 2 – Гидравлическое сопротивление (а) и эффективности по Мерффри (б) тарелки при различных плотностях орошения  $q$ :  
 1 –  $q=0$ ; 2 –  $q=0,00318 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ ; 3 –  $q=0,00455 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ ; 4 –  $q=0,00589 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ ;  
 5 –  $q=0,00722 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ ; 6 –  $q=0,00859 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{с})$

Из приведенных зависимостей можно отметить, что с увеличением скорости газа и плотности орошения гидравлическое сопротивление тарелки возрастает, а эффективность – уменьшается. Разработанная клапанная тарелка при средней скорости газа в колонне порядка 1 м/с имеет достаточно высокую эффективность (порядка 50 – 55 %) при относительно невысоком гидравлическом сопротивлении.

Студент 6 гр. 3 к. ф-та ХТиТ Креч А.В.

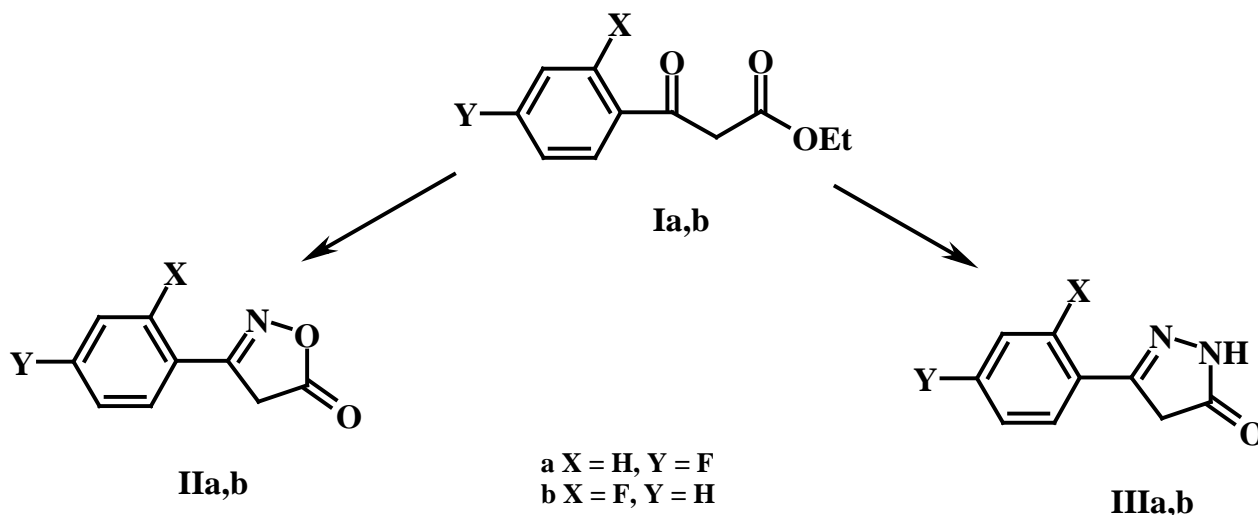
Научный руководитель – Ковганко В.Н.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Вещества ряда 3-(фторарил)-3-кетозэфиров являются ценными полупродуктами при получении противомикробных препаратов группы фторхинолонов [1]. Наличие кетозэфирной группировки, по нашему мнению, позволяет использовать 3-(фторарил)-3-кетозэфиры для получения других важных классов гетероциклических соединений. Такой синтетический потенциал может быть реализован для получения замещенных азолов, которые в свою очередь могут быть использованы для синтеза аналитических реагентов для селективной экстракции ряда 4-ацелизоксазолонов и 4-ацилпиразолонов [2], мезоморфных материалов [3].

Одна из известных схем синтеза 3-арил-3-кетозэфиров включает ацилирование ацетоуксусного эфира хлорангидами замещенных бензойных кислот с последующим расщеплением по Хунсдиккеру 2-бензоилацетоуксусных эфиров [1,3]. Указанная последовательность химических превращений применена нами при проведении исследования по синтезу новых структурных аналогов фторхинолонов. В результате стал доступен ряд 3-(фторарил)-3-кетозэфиров Ia,b.

Цель данного исследования заключается в получении новых веществ ряда 3-арил-изоксазол-5-онов IIa,b и 3-арил-пиразол-5-онов IIIa,b, в которых арильный заместитель содержит атомы фтора. Эти соединения, на наш взгляд, могут быть полезны при создании новых биологически активных соединений, а также для получения новых аналитических реагентов.



Целевые изоксазолы IIa,b синтезированы с высокими выходами реакцией  $\beta$ -кетозэфиров Ia,b с гидросиламин гидрохлоридом в присутствии ацетата натрия. Синтезы проводили при кипячении в этаноле или 2-пропанол. Соответствующие пиразолы IIIa,b получены при взаимодействии  $\beta$ -кетозэфиров Ia,b с избытком гидразин гидрата.

Дальнейшее получение новых биологически активных соединений и аналитических реагентов предполагает превращение азолов II и III. О результатах данной работы будет сообщено дополнительно.

## Литература

1. R.J. Clay, T.A. Collom, G.L. Karrick, J.A. Wemple // Synthesis. – 1993. – №3. – P. 290-292.
2. J.Arichi, G.Goetz-Grandmont, J.P.Brunette // Hydrometallurgy. – 2006. – Vol. 82. – P. 100-109.
3. В.Н. Ковганко, Н.Н. Ковганко, М.А. Половков // Жур. орг. хим. – 2010. – Т. 46, №. 12. – С. 1803-1807.

УДК 661.833

### Технология получения магнийсодержащих НРК удобрений

Студент гр. 6 Лось Е.Ф.

Научный руководитель – Гаврилюк А.Н.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Современная агротехника интенсивно эксплуатирует почвы, в результате чего обнаружен дефицит второстепенных элементов и микроэлементов во многих почвах, бедных их доступными формами. Внедрение новых высокоурожайных сортов и гибридов, которым необходим более высокий уровень плодородия почвы, усугубляет дефицит второстепенных элементов и микроэлементов.

Если уменьшение питательных веществ в почве не будет компенсироваться внесением удобрений, истощение почвы приведет к снижению урожайности. Мировой практикой рационального ведения сельского хозяйства доказано, что внесение в почву минеральных удобрений – одно из важнейших агротехнических мероприятий, обеспечивающих получение высоких и стабильных урожаев.

Возрастающее применение безбалластных удобрений, применение все больших количеств калийных удобрений, более высокие урожаи и связанный с этим большой вынос магния культурами делают удобрение магнием все более необходимым.

Магний поглощается корнями растений и регулирует оводненность клеточных коллоидов. Магний – обязательный компонент хлорофилла. Магний активизирует многие ферменты, в особенности фосфорилазы. Поэтому он имеет большое значение в энергетическом обмене и тем самым во всех других важных процессах обмена веществ, таких, как фотосинтез, углеводный, жировой и белковый обмены. При недостатке магния хотя и происходит синтез аминокислот, но их связывание до высокомолекулярных белковых веществ ограничивается.

Производство магнийсодержащих удобрений в нашей стране отсутствует, что требует его закупки у иностранных производителей и как следствие увеличение финансовых затрат на ведение сельского хозяйства. Поэтому основным направлением научно-исследовательской работы является разработка технологии получения НРКMg-удобрений из недорогого и недефицитного сырья. В работе осуществляется анализ потенциальных источников сырья для производства данного удобрения с целью выбора наиболее оптимального, отработка рациональных условий синтеза, а также разработка технологической схемы производства, которую можно было бы реализовать на базе ОАО «Гомельский химический завод».

В качестве источников сырья были рассмотрены магнезит, доломит, брусит и карналлит. В связи с тем, что магнезит и брусит являются привозным сырьем, а месторождения карналлита хоть и значительны, но еще не разрабатываются, то в условиях ориентации нашей страны на импортозамещение исходным сырьем для производства магнийсодержащего удобрения был выбран доломит месторождения Руба Витебской

области, который будет являться основным источником магния в удобрении, а также ковдорский апатитовый концентрат, который является фосфатным сырьем с высоким содержанием магния в исходной руде. Состав исходных руд приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав исходных руд

Состав	Ковдорский апатитовый концентрат, %	Доломит, %
CaO	49,1468	31,9893
MgO	3,413	18,6818
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30,9914	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,0858	1,0441
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,4245	0,4326

В основе технологии лежит схема получения комплексного NPK удобрения, получаемого сернокислотным разложением фосфатного сырья, которая реализована в цеху аммонизированного суперфосфата на ОАО «Гомельский химический завод». В основу процесса положено обеспечение максимальной степени извлечения действующих веществ (MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) из сырья в раствор за минимальный период времени.

Процесс проводят таким образом, чтобы обеспечить в готовом продукте содержание следующего количества питательных элементов: 15% N, 15% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 15% K<sub>2</sub>O и 2% MgO. Однако марку готового удобрения можно варьировать в широких пределах, изменяя при этом массу вносимых апатита и доломита. В качестве калийсодержащей добавки в удобрении будет служить хлористый калий производства ОАО «Беларуськалий», а в качестве азотной составляющей будет применяться газообразный аммиак, который вводится для связывания фосфорной и серной кислот, а так же для создания необходимой марки будет вводиться карбамид, полученный на базе ОАО «Гродно Азот».

По разрабатываемой технологической схеме разложение сырья проводят отдельно серной кислотой, которую вводят в количестве 5% избытка от стехиометрической нормы на реакцию с неучтенными примесями. Концентрация кислоты принимается из условия создание подвижной суспензии с хорошими реологическими свойствами пульпы на дальнейших стадиях процесса производства.

В ходе экспериментов был установлен порядок ввода реагентов и основные технологические показатели процесса такие, как температура, время и концентрация серной кислоты, которые будут обеспечивать максимальную степень разложения сырья за минимальный промежуток времени.

Разложение лучше проводить последовательным вводом сырья в раствор серной кислоты, при этом вначале необходимо разлагать апатит, а затем доломит. Это обеспечивает большую степень разложения фосфатного сырья.

Процесс получения магнийсодержащего NPK удобрения проходит следующие основные стадии:

- 1) Сернокислотное разложение ковдорского апатита и доломита;
- 2) Аммонизация полученной пульпы;
- 3) Ввод карбамида;
- 4) Ввод хлористого калия;
- 5) Грануляция и сушка;
- 6) Упаковывание готового продукта.

Разложение сырья требует повышения температуры до 70°C и проведения процесса в экстракторах, получаемую при этом пульпу аммонизируют газообразным аммиаком для связывания фосфорной кислоты, полученной в ходе разложения фосфатного сырья, а также серной кислоты, которая вводится в процесс с небольшим избытком. В состав полученной суспензии вводят карбамид и хлористый калий, которые создают необходимую марку

удобрения. Полученную пульпу подвергают грануляции и сушке гранул, которые затем упаковывают в полиэтиленовые мешки.

Данная технология позволяет получать НРКМg удобрения, не уступающие по своим физическим и химическим свойствам зарубежным аналогам, из недорогого и не дефицитного сырья, причем марку готового удобрения можно варьировать в широких пределах.

УДК 661.311.12

### **Разработка технологии получения сульфата магния с использованием республиканских магниесодержащих месторождений**

Студент гр. 6 ф-та ХТиТ Мачула В.А.  
Научный руководитель – Гаврилюк А.Н.  
Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

В настоящее время наблюдается активное внедрение современных агрохимических технологий выращивания сельскохозяйственных культур, предъявляющих новые требования к ассортименту и качеству используемых минеральных удобрений. К числу таких технологий относится производство сельскохозяйственных культур в закрытом грунте по интенсивным технологиям, основанным на применении систем капельного полива. Развитие данного сегмента сельскохозяйственного производства позволяет исключить негативное влияние неблагоприятных природных факторов, и особенно в регионах, относящихся к зонам рискованного земледелия, тем самым обеспечить устойчивое и круглогодичное снабжение населения сельскохозяйственной продукцией, прежде всего овощной.

Одной из причин, сдерживающих развитие тепличного овощеводства и вызывающих удорожание продукции, является невозможность использовать традиционные виды минеральных удобрений, производимые промышленностью, так как они содержат в своем составе водонерастворимые соединения и хлор, ухудшающий качество сельскохозяйственной продукции.

Из всего достаточно обширного ассортимента минеральных удобрений, производимых в республике, ни одно не используется в тепличных хозяйствах, работающих по современным интенсивным технологиям. Поэтому весь объем удобрений, применяемых в теплицах, импортируется, что существенно удорожает конечную продукцию. К числу таких удобрений относятся нитрат кальция, нитрат калия, сульфат магния.

Сульфат магния – эффективное магниевое серосодержащее удобрение. Состав: магний – 17 %, сера – 13,5 %. Это водорастворимое быстродействующее удобрение. В этом случае при высоком уровне урожайности наблюдается постоянная потребность в легкорастворимых источниках магния, применяются также на лугах, в тепличных хозяйствах, в овощеводстве открытого и закрытого грунта. Внешне нехватка магния выражается в изменении окраски листьев растений, их края желтеют, краснеют, становятся фиолетовыми, между жилками появляются пятна, отмирает ткань. Рост растений замедляется, листья скручиваются, стебли ломаются. Этот элемент входит в состав хлорофилла, фитина (магниевая соль гексафосфорнокислого эфира инозита), участвует в образовании жиров, превращении фосфорных соединений. Магниевые удобрения повышают урожайность, улучшают вкусовые качества картофеля, овощей за счет увеличения содержания в плодах крахмала и витаминов. Кроме водорастворимости и хорошей усвояемости, большим преимуществом сульфата магния является отсутствие балластных примесей, что играет важную роль при транспортировке удобрения.

При получении сульфата магния в РБ наиболее дешевым сырьем для получения сульфата магния является доломит, так как в Витебской области расположено его крупное



месторождение. Методом получения сульфата магния является способ кислотного разложения доломита серной кислотой с последующей фильтрацией, промывкой, выпаркой, кристаллизацией и сушкой. Недостатком способа является большое количество побочного продукта, сульфата кальция, более 50 %. Сульфат кальция необходимо промывать, а промывные воды возвращать в цикл. Более целесообразно было бы использовать в качестве исходного сырья концентрированное сырье (магнезит, брусит), но наша страна не обеспечена таким сырьем, а закупка его за рубежом увеличит себестоимость получаемого продукта. В настоящее время основными производителями семиводного сульфата магния являются: Россия, Китай, Турция. Эти страны имеют большие запасы магнезита и, следовательно, используют его в качестве исходного сырья, что позволяет использовать безупрочную и практически безотходную технологию производства. Наша страна не обеспечена таким видом сырья, поэтому для налаживания такого производства необходимо либо закупать магнезит за рубежом, что на порядок увеличит себестоимость продукта, либо необходима разработка новой технологии производства сульфата магния из местных сырьевых источников. В качестве исходного сырья для производства удобрения целесообразно использовать доломит, основным достоинством которого является то, что он выпускается в Республике Беларусь на ОАО «Доломит» и цена на него намного ниже, чем на магнезит.

При получении сульфата магния из доломита по циклической безупрочной схеме технологический процесс состоит из следующих основных стадий:

- разложение доломита серной кислотой;
- фильтрация и промывка сульфата кальция;
- возврат промывного раствора в цикл;
- кристаллизация сульфата магния;
- центрифугирование и возврат маточного раствора в цикл;
- сушка сульфата магния;
- фасовка и упаковка готовой продукции.

Производство  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  по данной схеме позволит сократить расходы на упаривание растворов перед кристаллизацией и, следовательно, уменьшить себестоимость продукта. Соотношение жидкой и твердой фаз равно 6-7:1, что является весьма удовлетворительным и упрощает процесс осветления маточного раствора.

Применение такой схемы решает еще один не мало важный вопрос – утилизация сточных вод, все промывные воды, образующиеся в процессе получения удобрения возвращаются обратно в цикл.

Реализация данной технологической схемы, основанной на получении сульфата магния из доломита по циклической схеме в действующем цеху сульфита натрия на ОАО «Гомельский химический завод», является экономически обоснованной, так как это позволит обеспечить сельское хозяйство доступным удобрением, что приведет к снижению себестоимости овощной продукции.

УДК 691.3:666.97

### **Получение цинкового флюата для улучшения эксплуатационных свойств бетона**

Студент 7 гр., 5 к., ф-та ХТиТ Миринский А.Ю.

Научный руководитель – Хотянович О.Е.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

В ряду важнейших проблем строительной отрасли особое место занимает задача повышения эксплуатационной надежности и долговечности бетонных и железобетонных конструкций. Одним из эффективных способов поверхностной обработки бетона является

флюатирование – пропитка изделий растворами гексафторсиликатов магния, кальция, цинка и других металлов. Из литературных источников [1-4] известно, что водный раствор флюата, нанесенный на поверхность бетона, проникает по порам внутрь камня и взаимодействует с гидроксидом и карбонатом кальция. В результате протекающих реакций, образуются не растворимые соединения  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$  и  $\text{SiO}_2$  в порах, которые заполняют их и предотвращают проникновение агрессивных сред внутрь бетона.

В Белорусском государственном технологическом университете на кафедре химической технологии вяжущих материалов ранее разработан способ получения гексафторсиликата магния, пропиточный состав «Сифтом» на его основе и режим поверхностной обработки бетона. Полученные результаты исследований были переданы на ОАО «Гомельский химический завод», где имеется материальная и сырьевая база, для организации промышленного производства гексафторсиликата магния и пропиточного состава «Сифтом». Следует отметить, что одним из сырьевых материалов для получения гексафторсиликата магния является каустический магнезит марки ПМК–75, полученный в результате улавливания пыли, образующейся при производстве спеченного периклазового порошка на ОАО «Комбинат Магнезит» (г. Сатка, Челябинская обл., РФ).

Пропиточный состав «Сифтом» является аналогом «Burke-0-Lith» (фирмы «Burke», США), который в настоящее время используется для защиты наиболее ответственных бетонных и железобетонных конструкций и является монопольным продуктом этого класса на строительном рынке СНГ. Действующим веществом в нем является гексафторсиликат магния и/или цинка.

В этой связи целью настоящего исследования является разработка технологического процесса получения гексафторсиликата цинка из отечественного сырья и пропиточного состава на его основе и изучение механизма их защитного действия при поверхностной обработке бетона.

В данной работе использовали гексафторкремниевую кислоту с концентрацией 12–14 мас.%, которая является побочным продуктом производства экстракционной фосфорной кислоты на ОАО «Гомельский химический завод». В качестве нейтрализующего агента применяли оксид цинка реактивной квалификации марки «ч» и цинксодержащий отход, образующийся на одном из предприятий Республики Беларусь, который в настоящее время не нашел применения.

Синтез гексафторсиликата цинка проводили в трехгорлой колбе, помещенной в термостат, что обеспечивало постоянство заданных температурных параметров. Последовательность операций синтеза была следующей: в реакционный сосуд заливали расчетное количество гексафторкремниевой кислоты, взятой с избытком против стехиометрии. При постоянном перемешивании в кислоту в один прием вводили цинксодержащий компонент. Синтез гексафторсиликата цинка осуществлялся в постоянном гидродинамическом режиме в широком диапазоне температур и при различных соотношениях компонентов в системе. Полученную суспензию разделяли фильтрованием, после чего фильтрат упаривали на водяной бане. Кристаллический продукт подвергали сушке в сушильном шкафу при температуре 70 °С до постоянной массы.

Идентификация целевого продукта производилась химическим и рентгенофазовым анализами (дифрактометр ДРОН-3 с излучением  $\text{CuK}\alpha$ ).

На первом этапе ставили задачу выяснить влияние следующих технологических параметров на выход гексафторсиликата цинка: температуры синтеза и выпаривания, соотношения реагентов, времени синтеза.

В результате проведенных исследований оптимизирован режим синтеза гексафторсиликата цинка. Установлено, что оптимальными параметрами синтеза являются: концентрация гексафторкремниевой кислоты – 10 – 14 %; избыток гексафторкремниевой кислоты против стехиометрического количества – 5 – 7 %; температура синтеза – 40 – 60 °С; время синтеза – 45 – 50 минут.

Рентгенографический анализ образца, полученного по оптимальному режиму, показал, что основной фазой является  $ZnSiF_6 \cdot 6H_2O$  ( $d = 4,67; 4,15; 3,11; 2,82; 2,66; 2,58; 1,89; 1,77; 1,65 \text{ \AA}$ ).

На следующем этапе работы была проведена серия экспериментов по оптимизации режима поверхностной обработки цементного камня водным раствором гексафторсиликата цинка, т.е. определена кратность пропитки и концентрация раствора  $ZnSiF_6$  для каждого слоя.

Для проведения испытаний были изготовлены образцы-кубики с размером ребра 20 мм из цементно-песчаного раствора. Цементно-песчаный раствор состоял из цемента М500 и песка (Ц:П=1:3) с водоцементным отношением 0,4. После 28 суточного твердения образцов во влажных условиях их подвергали сушке в сушильном шкафу при температуре 70 °С до постоянной массы. Затем сухие цементно-песчаные образцы пропитывались водными растворами гексафторсиликата цинка путем погружения их в раствор.

В качестве контрольных использовались образцы без пропитки и обработанные составом «Сифтом».

Установлено, что оптимальным режимом обработки является пропитка в два приема 5%-ным и 15 %-ным раствором гексафторсиликата цинка. При пропитке образцов из цементно-песчаного раствора достигается снижение водопоглощения на 8 – 10 % по сравнению с контрольными и, как следствие, повышение прочности при сжатии на 25 – 30 % и морозостойкости на 30 %. Таким образом, эффективность работы полученного продукта, на основе гексафторсиликата цинка не уступает по своим эксплуатационным свойствам пропиточному составу «Сифтом».

### Литература

1. Шейнин, А.М. Об эффективности вторичной защиты дорожного бетона / А.М. Шейнин, С.В. Эккель // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2004. – № 1. – С. 19-23.
2. Степанова, В.Ф. Новые эффективные материалы для вторичной защиты железобетонных конструкций / В.Ф. Степанова, С.Е. Соколова, А.Л. Полушкин // Бетон и железобетон – пути развития: Научные труды 2-ой Всероссийской (Международной) конф. по бетону и железобетону, Москва 05-09 сентября 2005 г. – М.: Дипак, 2005. – Т. 4. – С. 509-511.
3. Защитные составы для борьбы с коррозией бетона в агрессивных средах / А.В. Минин [и др.] // Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической промышленности и производстве строительных материалов: Материалы докладов МНТК, Минск, 09-10 ноября 2000 г. – Минск, 2003. – С. 233-235.
4. Хотянович, О.Е. Флюатирование – эффективный способ повышения эксплуатационных свойств бетона / О.Е. Хотянович, М.И. Кузьменков // Строительная наука и техника. – 2011. – № 4 (37). – С. 21-24.

УДК 666.117.9.058.1

### Влияние $V_2O_5$ на поглощение стекла в УФ части спектра

Студентка 5 курса 8 гр. Мисюля В.С.  
Научный руководитель — Бобкова Н.М.  
Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Оксиды ванадия нашли широкое применение в различных областях науки и техники. Оксид ванадия (V) является наиболее стабильным оксидом в системе V–O. Ванадий —

сильнейший абсорбент в оптическом диапазоне (800 — 1000 нм), поэтому много внимания уделяется изучению возможных валентностей ванадия в различных стеклах. Оксид ванадия применяется как краситель, пламень, компонент полупроводниковых стекол и катализатор кристаллизации.

В данном исследовании стекло, модифицированное ванадием, изучается в качестве светофильтра, поглощающего ультрафиолетовые лучи; например, для изготовления защитных очков. Световые фильтры – это оптические элементы, которые уменьшают интенсивность падающего светового потока или изменяют его каким-либо другим образом в зависимости от длины волны, угла падения светового луча или поляризации.

Целью настоящего исследования является разработка новых составов стекол для светофильтров, отсекающих УФ область спектра, обеспечивающих поглощение в УФ области спектра и прозрачных в видимой и ближней ИК области спектра. Светофильтры, отсекающие УФ область, снижают интенсивность фотохимически активного коротковолнового (ультрафиолетового) излучения и характеризуются высоким (более 95 %) пропусканием в полезной (видимой и ИК) области спектра. Светофильтры, отсекающие УФ область спектра, находят применение в разных спектральных приборах для регулирования спектрального состава излучения, а также для защиты от ультрафиолетового излучения для работающих с УФ лампами, сваркой и другими УФ-источниками.

Для синтеза стекол для светофильтров была выбрана система  $\text{SiO}_2\text{—K}_2\text{O—CaO—BaO—V}_2\text{O}_5\text{—CeO}_2$  в пределах содержания оксидов  $\text{SiO}_2$  67,25-68 %\*;  $\text{V}_2\text{O}_5$  0 – 1,0 %;  $\text{CeO}_2$  0 – 1,0 %; постоянное содержание  $\text{K}_2\text{O}$  15 %;  $\text{CaO}$  6,5 %;  $\text{BaO}$  10 %.

В качестве сырьевых материалов использованы кварцевый песок, барий углекислый чистый, селитра калиевая, кальций углекислый, оксид церия ( $\text{CeO}_2$ ) и оксид ванадия ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ).

Синтез стекол для светофильтров, поглощающих УФ часть, был проведен при температуре 1480 °С в газовой пламенной печи периодического действия. Образцы стекла отожжены в муфельной печи при температуре 500 °С. При варке соблюдались окислительные условия с целью сохранения в стекле  $\text{V}_2\text{O}_5$  (желтое окрашивание), поэтому в качестве окислителя в шихту добавлен оксид сурьмы (III). При восстановительных условиях ванадий может перейти в состояние ванадий (III), что обеспечит нежелательную окраску стекла (зеленое окрашивание). В стекле также окислителем и обесцвечивателем является оксид церия  $\text{CeO}_2$ .

Проведены исследования свойств стекол, в результате которых получены следующие значения: ТКЛР в пределах от  $82,7 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$  до  $87,7 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ ; температура начала размягчения 655 — 690 °С; микротвердость по методу Виккерса составила 3800 МПа; по химической стойкости стекла относятся к III гидролитическому классу; достаточно устойчивое к действию высоких температур. Стекла не проявляют склонности к кристаллизации.

Для данных стекол изучены оптические свойства: пропускание в диапазоне длин волн 200 — 1100 нм. Се-содержащие стекла, обладая высоким поглощением в области 320 нм, не пропускают значительную долю коротковолнового излучения. Интерес представляет использование оксида ванадия  $\text{V}_2\text{O}_5$ , обеспечивающего поглощение в УФ области в комбинации с  $\text{CeO}_2$ . Влияние содержания ванадия на спектр пропускания стекла и край полосы поглощения показано на рисунке 1.

---

\* Здесь и далее по тексту, если не оговорено особо, мас. %

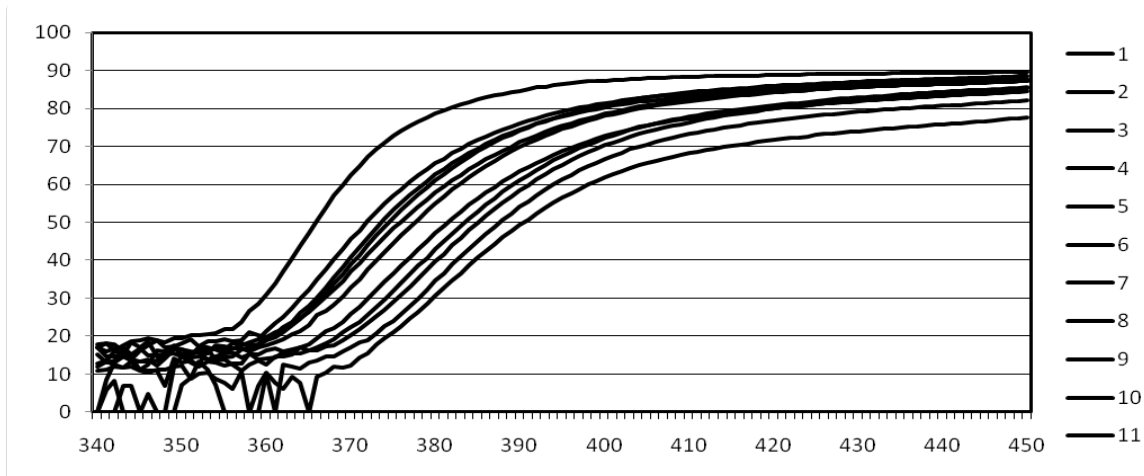


Рисунок 1 — Влияние содержания ванадия на спектр пропускания стекла и край полосы поглощения

Наличие в составе стекла  $V_2O_5$  и  $CeO_2$  совместно обеспечивает смещение поглощения УФ излучения в сторону видимой части спектра (на рисунке 1 увеличение содержания оксида ванадия осуществляется слева направо). Содержание оксида ванадия в стекле должно быть ограниченным, вследствие уменьшения пропускающей способности в видимой части спектра стекла от 88 до 77 %.

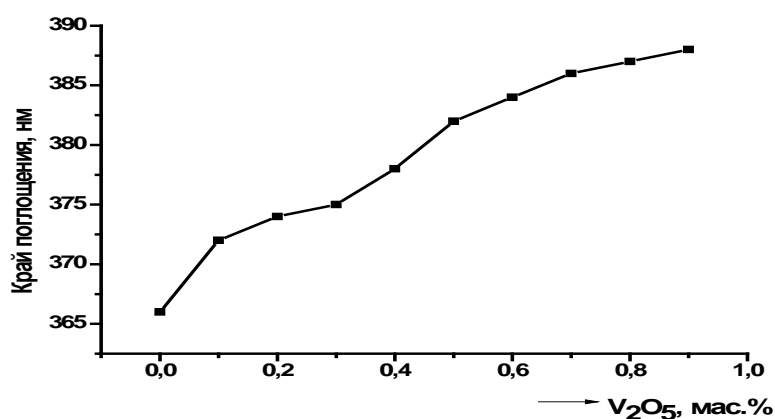


Рисунок 2 — Край полосы поглощения при замене  $CeO_2$  на  $V_2O_5$

Замена оксида  $CeO_2$  на  $V_2O_5$  приводит к смещению края полосы поглощения с 365 до 390 нм.

Рекомендуется следующее оптимальное содержание оксидов  $CeO_2$  и  $V_2O_5$  в стекле для ультрафиолетовых светофильтров:  $CeO_2$  0,3 %;  $V_2O_5$  0,2 %, при котором происходит поглощение ультрафиолетового излучения до 390 нм.

Студентка 5 курса 8 гр. Ярошевич И.Н.

Научный руководитель – Бобкова Н.М.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Одним из направлений, разрабатываемых с целью снижения стоимости светодиодных осветительных приборов, является использование так называемых удаленных люминесцентных преобразователей (remote converter), т.е. люминесцентных материалов, вынесенных на определенное расстояние от светодиодного кристалла (чипа) или матрицы кристаллов. Люминесцентные покрытия представляются наиболее экономичной и рациональной формой создания люминесцентного удаленного преобразователя, вариантом, пригодным для массового применения.

Новая идея удаленного люминофорного преобразователя, в настоящее время развиваемая рядом производителей светодиодных светильников, исследовательских центров по освещению и оптическому материаловедению, позволяет также повысить однородность излучения по диаметру светильника, а сам фотопреобразователь может быть изготовлен из керамики, стеклокерамики, люминофорного полимерно-керамического композита, либо люминофорного покрытия на прозрачной полимерной или стеклянной подложке. Одна из предлагаемых конструкций светодиодной лампы представляет собой стеклянную колбу, пластину или плафон, на поверхность которой нанесено покрытие, характеризующееся светопреобразующими свойствами, в состав которого входит легкоплавкое стекло с ТКЛР, близким к ТКЛР стеклянной колбы и наноразмерный наполнитель – люминофор – итрий-алюминиевый гранат ( $YAG:Ce^{3+}$ ), равномерно распределенный в объеме покрытия.

В качестве основы люминесцентного покрытия в настоящей работе исследованы легкоплавкие стекла системы  $BaO - Bi_2O_3 - V_2O_5$  с дополнительным введением в качестве постоянных компонентов  $K_2O$ ,  $SiO_2$ . Повышенный интерес к системе  $BaO-Bi_2O_3-V_2O_5$  базируется на достаточно высокой стеклообразующей способности составов на ее основе и широком диапазоне изменения физических и оптических характеристик стекол. При этом реализуется возможность получения высоколегкоплавких стекол без ввода оксида свинца.

Предпосылкой для синтеза легкоплавких стекол в такой системе со столь низкой температурой растекаемости является наличие легкоплавких соединений и эвтектик в системе  $Bi_2O_3 - V_2O_5$ . В этой системе образуется 5 химических соединений состава:  $12Bi_2O_3 \cdot V_2O_5$ ;  $2Bi_2O_3 \cdot V_2O_5$ ;  $3Bi_2O_3 \cdot 5V_2O_5$ ;  $Bi_2O_3 \cdot 3V_2O_5$  и  $Bi_2O_3 \cdot 4V_2O_5$  с температурами плавления соответственно: 632 (инк), 675, 722, 708 и 715 °С. Кроме того, установлено наличие четырех эвтектик с температурами плавления 622, 646, 698 и 696 °С. Таким образом, можно ожидать, что стекла на основе этой системы будут достаточно текучими при температурах нанесения покрытий 600 – 650 °С.

Подробно изучены процессы и фазообразования и стеклообразования в системе  $BaO - Bi_2O_3 - V_2O_5$ . Согласно данным [1–5], в системе  $BaO-Bi_2O_3-V_2O_5$  установлено образование следующих тройных соединений (таблица 1).

Таблица 1 – Тройные соединения в стекле  $BaO - Bi_2O_3 - V_2O_5$ 

Состав	Температура плавления, °С	Источники
$2BaO \cdot Bi_2O_3 \cdot V_2O_5$	нет данных	[4,3,1]
$6BaO \cdot Bi_2O_3 \cdot 3V_2O_5$	нет данных	[4,3,1]
$BaO \cdot Bi_2O_3 \cdot 2V_2O_5$	730	[4,3,1]
$2BaO \cdot Bi_2O_3 \cdot 11V_2O_5$	807	[4,3,1]
$BaO \cdot 5Bi_2O_3 \cdot 3V_2O_5$	$725 \pm 5$	[5]
$BaO \cdot Bi_2O_3 \cdot V_2O_5$	$690 \pm 5$	[5]

Установлен и состав одной из тройных эвтектик:  $31,6 \text{ BaO} \cdot 27,3 \text{ Vi}_2\text{O}_3 \cdot 41,5 \text{ B}_2\text{O}_3$  с температурой плавления  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  [6]. Эти данные обосновывают возможность получения легкоплавких бессвинцовых стекол с температурами размягчения ниже  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Синтез стекол осуществляли в газовой печи при  $1000 - 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ , с выдержкой при максимальной температуре 2 часа. В результате синтеза получены хорошо осветленные стекла, окрашенные в светло-оранжевые тона по всему объему. Разработанные стекла характеризуются высокой устойчивостью стеклообразного состояния в интервале температур  $500 - 900 \text{ }^\circ\text{C}$ ; температурой полной растекаемости стекол в интервале  $500 - 560 \text{ }^\circ\text{C}$ ; температурным коэффициентом линейного расширения  $-(90 - 110) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ ; температурой начала размягчения в пределах от  $400$  до  $460 \text{ }^\circ\text{C}$ , показатель преломления  $- 1,6 - 1,7$ .

Для получения стеклокристаллических покрытий на подложках из листового стекла выбраны стекла с содержанием  $\text{Vi}_2\text{O}_3$  15, 20 и 25 мас. %, на основе которых приготовлены порошкообразные смеси с введением 10 и 15 % тонкокристаллического  $\text{YAG:Ce}^{3+}$ , полученного методом «горения» нитратов иттрия, алюминия и церия в лимонной кислоте и дополнительно обработанных в атмосфере аргона при температуре  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Методика изготовления светопреобразующего покрытия включает подготовку шликера, путем совместного смешивания тонкомолотого порошка стекла, люминофора и органического растворителя, нанесение шликера на стеклянную подложку и термическую обработку последних при  $600 - 650 \text{ }^\circ\text{C}$  в воздушной среде. Получены покрытия с удовлетворительными характеристиками. Визуально, при суммировании излучения синего светодиода и желто-зеленой люминесценции люминофора  $\text{YAG:Ce}^{3+}$  в составах полученных композитов наблюдается излучение белого цвета.

На рисунке 1 представлены результаты испытания синтезированных покрытий, которые проводились в Гомельском государственном техническом университете имени Сухова.

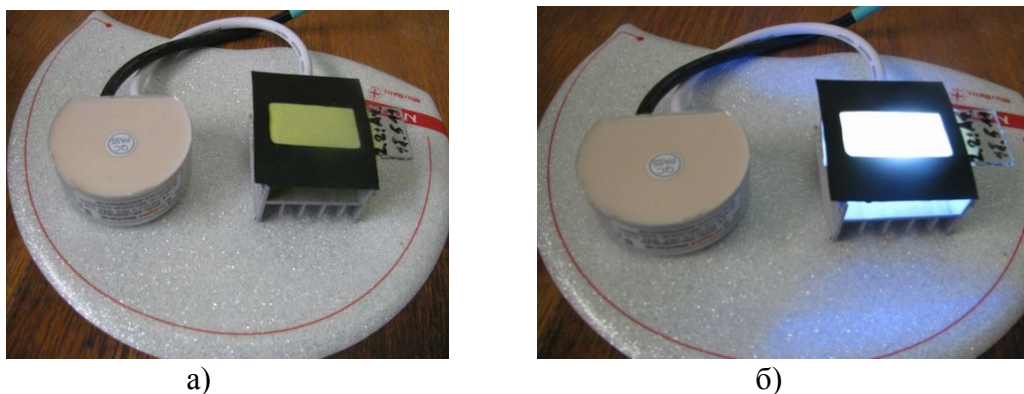


Рисунок 1 – Испытание покрытий на подложке из листового стекла при светодиодном свечении:  
а – исходное состояние; б – при включенном диоде

### Литература

1. Егорышева, А.В. Стеклообразование в системе  $\text{BaO} - \text{Vi}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3$ . Неорганические материалы / А.В. Егорышева, В.Д. Володин, В.М. Скоринов // Физика и химия стекла. – 2008. – Т. 44, № 11. С. 1397–1401.
2. Милюков Е.М. Оптические постоянные и некоторые другие характеристики стекол системы  $\text{BaO} - \text{Vi}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3$  и  $\text{La}_2\text{O}_3 - \text{Vi}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3$  / Е.М. Милюков, Н.Н. Вильчинская, Т.М. Макарова // Физика и химия стекла. – 1982. – Т.8, №3. – С.347–350.
3. Егорышева, А.В. Поиск функциональных материалов на основе многокомпонентных систем  $\text{MO} - \text{Vi}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3$  ( $\text{M} = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$ ) / А.В. Егорышева, В.Д.Володин, В.М. Скоринов // Физика и химия стекла. – 1982. – Т.8, №3. – С.347–350.

4. Егорышева А.В. Фазовые равновесия в системе BaO – Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / А.В. Егорышева, В.М. Скоринов, В.Д. Володин // Журнал неорганической химии. – 2006. – Т. 51, № 12. – С. 2078–2082.

5. Hovhannisyann M., Hovhannisyann R., Alexanyan H., Knyazyan N. A study of the phase and formation diagrams of the BaO – Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> system // Glass Technol. Part A. – 2009. – V 50, № 6. – P.323–328.

6. Диаграммы состояния силикатных систем. Справочник. Выпуск 4. Наука. 1974. С. 420.

УДК 543.25

### **Компьютеризация лабораторного практикума по аналитической химии**

Студент 9 гр. 3 к. ф-та ХТиТ Лубяко В.М.

Научный руководитель – Болвако А.К.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

В рамках лабораторного практикума по физико-химическим методам анализа студенты химико-технологических специальностей Белорусского государственного технологического университета изучают следующие методы: кондуктометрия, потенциометрия, вольтамперометрия, фотоколориметрия, спектрофотометрия, турбидиметрия, нефелометрия, эмиссионная фотометрия пламени, рефрактометрия, газожидкостная хроматография, ионный обмен и экстракция. Для обработки результатов лабораторных работ по этим разделам нами было разработано программное обеспечение (ПО), позволяющее осуществлять обработку экспериментальных данных и формировать отчеты о выполненных работах. Разработанное ПО включает в себя следующие основные возможности:

- построение одного или нескольких градуировочных графиков методом наименьших квадратов с оценкой достоверности аппроксимации и расчет результатов анализа с использованием градуировочного графика, включая проверку значимости коэффициентов уравнения с помощью *t*-критерия Стьюдента при различном уровне доверительной вероятности;
- расчет погрешностей градуировочного графика;
- расчет статистических параметров для набора экспериментальных данных: среднее, среднее и стандартное отклонение, дисперсия, доверительный интервал для разного уровня доверительной вероятности и др.;
- отсеивание грубых промахов с помощью *Q*-теста;
- построение интегральных и дифференциальных кривых титрования (рисунок);
- оптимизация условий спектрофотометрического анализа бинарных смесей по методу Фирордта;
- оценка неопределенности аналитических определений на основе встроенного каталога химико-аналитического оборудования;
- матрицу для планирования эксперимента и выявления главных эффектов с помощью дробного факторного плана Плаккетта-Бермана;
- оптимизация условий проведения анализа методом Бокса (крутого восхождения);
- формирование протоколов отчетов о выполненной работе с указанием даты, времени и фамилии исполнителя;
- сохранение результатов в базе данных.

Выбор задач, решаемых с помощью разработанного приложения, обусловлен конкретным наполнением лабораторного практикума по физико-химическим методам анализа, и, как правило, не включает возможности, которые не используются при изучении курса. Это позволило получить простой, понятный и удобный интерфейс приложения и в то



же время охватить практически все типы численных вычислений и графических построений, которые осуществляются при проведении анализа в рамках практикума.

В разработанном ПО предусмотрена возможность сохранять полученные экспериментальные данные и результаты их обработки (градуировочные графики, статистические параметры для набора экспериментальных данных, кривые титрования, спектры и др.) в базе данных с возможностью их последующей загрузки для работы.

Разработанное ПО внедрено в учебный процесс кафедры аналитической химии и в настоящее время студенты химико-технологических специальностей используют его при прохождении лабораторного практикума.

УДК 543.25

### **Определения ионов тяжелых металлов в технологических средах методом инверсионной вольтамперометрии**

Студентки 9 гр. 3 к. ф-та ХТиТ Олехнович А.И., Фалалеева А.В.  
Научный руководитель – Болвако А.К.  
Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Для определения микроколичеств ионов тяжелых металлов (ИТМ) и ряда других соединений в природных и сточных водах, в технологических средах, при контроле качества пищевой продукции широкое распространение получил метод инверсионной вольтамперометрии (ИВА). Метод ИВА характеризуется низкими (до  $10^{-10}$  моль/дм<sup>3</sup>) пределами обнаружения, достаточно высокой селективностью и хорошими метрологическими характеристиками. Легкость компьютеризации и невысокая стоимость оборудования делает ИВА весьма перспективным методом для аналитических определений ИТМ по сравнению с другими методами.

Цель работы – оптимизация режимов определения ИТМ (цинка, свинца, кадмия и меди) при совместном присутствии методом переменноточковой квадратно-волновой ИВА. Определение ИТМ осуществлялось методом добавок с использованием полярографа ПУ-1 с электрохимическим датчиком ЕМ-04, аналого-цифрового преобразователя и комплекта программного обеспечения Unichrom. Использовался рабочий электрод из стеклоуглерода, вспомогательный электрод – стеклоуглеродный стаканчик, электрод сравнения – хлорсеребряный. Для приготовления рабочих растворов использовались реактивы квалификации «х.ч.» и «ч.д.а.» и дистиллированная вода. Температура – комнатная. Для формирования ртутно-графитового электрода *in situ*, создания кислой среды и подавления миграционного тока использовался фоновый раствор на основе KCl, HCl и Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

Каждое измерение состояло из четырех стадий: накопления, успокоения, регистрации аналитического сигнала и регенерации электрода с использованием анодной линейной развертки потенциала. Каждое измерение включало 3 последовательных цикла. Для расчетов использовались значения высоты пика и площади под вольтамперной кривой, полученные как средний результат из трех параллельных измерений.

На вольтамперных кривых, получаемых на стадии регистрации, в области потенциалов минус (0,5±1) В (х.с.э.) происходит активное растворение металлов из их амальгам, и регистрируется пики, площадь (или высота) которых прямо пропорциональна концентрации металла в амальгаме, и соответственно, в анализируемом растворе. При более положительных потенциалах протекает окисление ртути и очистка индикаторного электрода.

С целью определения рабочего диапазона концентраций, при которых выполняется линейная зависимость величины пика тока (площади под пиком) от концентрации и допустимости использования метода добавок для анализа, были получены градуировочные

зависимости при различной концентрации определяемых элементов в пробе. Установлено, что в условиях опыта с достаточно высокой точностью указанные зависимости линеаризуются в широком диапазоне концентраций –  $(0,1 \div 7) \cdot 10^{-6}$  М, что позволяет осуществлять непосредственное определение микроконцентраций ИТМ. Оценена статистическая значимость

коэффициентов регрессионных уравнений и погрешности определения концентраций с использованием полученных градуировочных графиков.

На основании анализа регрессионной модели, описывающей влияние параметров проведения измерения на величину относительной погрешности определения, установлены оптимальные условия проведения анализа, позволяющие свести к минимуму погрешность определения. Оценен бюджет неопределенности исследованного метода анализа, указаны составляющие бюджета неопределенности. Разработанные режимы определения могут быть использованы для анализа технологических растворов, водопроводных и сточных вод на содержание ИТМ.

УДК 666.295.4:666.75

### **Антикоррозионные пигменты на основе фосфатов**

Студентка гр. 9 Павлова А.О.

Научный руководитель – Пищ И.В.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Основное назначение антикоррозионных пигментов – замедлить коррозионный процесс на границе металл–покрытие за счет торможением анодного, катодного или одновременно обоих процессов электрохимической коррозии. Ингибирование анодного процесса происходит за счет предотвращения ионизации металла и выделение оксидов на поверхности металла с образованием пассивирующие пленки. Такими свойствами обладают фосфаты цинка, хрома, алюминия, кальция и др.

Механизм антикоррозионного действия фосфатных пигментов заключается в диссоциации фосфата с образованием комплексного пигмента, образуя стабильные ингибиторы коррозии. Кроме того, пигменты могут быть использованы для окрашивания глазурей, флюсов, керамических масс.

Помимо антикоррозионных свойств фосфаты в составе пигментов повышают чистоту тона, увеличивают коэффициент отражения, окрашивающую способность и светостойкость.

Целью работы является получение фосфорсодержащих пигментов, отличающихся хорошими цветовыми характеристиками и высокой химической стойкостью.

В качестве сырьевых компонентов использовали фосфаты кальция природного и техногенного происхождения, глинозема, кварцевого песка и солей 3d-элементов. Апатит, как фосфат природного происхождения, имеет сложную структуру с изоморфными замещениями катиона и аниона. Состав апатита Ковдорского месторождения следующий, мас. %:  $P_2O_5$  – 39,4; CaO – 51,5 – 53,0;  $Fe_2O_3$  – 3,0;  $Al_2O_3$  – 3,0; MgO – 5,0;  $CO_2$  – 2,5 – 2,7; F – 0,9 – 1,0; п.п.п – 0,5 – 1,0.

Фосфорсодержащий отход производства желатина – преципитат кормовой. Он отличается высоким содержанием монофосфата кальция и отсутствием красящих примесей. Преципитат кормовой содержит, мас. %:  $P_2O_5$  – 13,4 – 14,5; CaO – 28,6 – 30,0; минеральных примесей – 1,2 – 5.

Синтез пигментов проводили методом пропитки исходных порошков растворами солей  $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  и  $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ , с последующими сушкой и обжигом при 1000, 1050

и 1100 °С с выдержкой при максимальной температуре в течение 1 часа. Скорость подъема температуры в печи составлял 5 °С в минуту.

Оптимальные шихтовые составы пигментов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание компонентов шихты

Обозначение пигмента	Содержания компонентов шихты, мас. %					
	апатит	преципитат кормовой	глинозем	кварцевый песок	Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O
1.1	24,13	–	22,82	12,07	40,98	–
1.2	24,14	–	22,83	12,07	–	40,95
2.1	–	39,09	20,83	6,93	33,15	–
2.2	–	39,10	20,84	6,93	–	33,13

В качестве минерализатора применяли борную кислоту H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, которая при нагревании образует стеклообразный В<sub>2</sub>О<sub>3</sub>. Все оксиды, за исключением BeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO и TiO<sub>2</sub>, хорошо растворяются в расплавленном В<sub>2</sub>О<sub>3</sub>. В<sub>2</sub>О<sub>3</sub> положительно влияет на хромофорные свойства пигментов. Ионы переходных металлов имеют не полностью завершенную электронную оболочку и обладают высокой поляризационной способностью. Окрашенность их будет изменяться в зависимости от поляризуемости иона. В присутствии В<sup>3+</sup> растет поляризуемость аниона в указанных комплексах, благодаря чему усиливается полоса поглощения в видимой области спектра.

Полученные пигменты отличаются высокой насыщенностью цвета. Количество вводимых солей 3d-элементов и температура обжига существенно влияют на цвет самого пигмента. К примеру, пигмент 1.1 при увеличении температуры обжига от 1000 до 1100 °С изменяет окраску от темно-зелено-синего до ярко-синего. Пигмент 2.1 при тех же условиях теряет фиолетовый оттенок, который наиболее ярко проявляется при меньших содержаниях Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O и температуре 1000 °С. Никельсодержащий пигмент в данном интервале температур имеет широкий спектр цветов – от желтого до зелено-бирюзового цветов. Наибольшую насыщенность цвета имеет пигмент 1.1, которая составляет 57 %. Для пигмента 2.1 – 31%. Пигменты, приготовленные введением оксидов CoO и NiO в исходные порошки по указанным шихтовым составам, имеют насыщенность цвета до 19 %. Таким образом, пигменты, полученные пропиткой растворами солей имеют более высокую чистоту цвета и окрашивание таких пигментов более насыщенное.

Результаты определения химической устойчивости пигментов, полученных при температуре 1100 °С, занесены в таблицу 2.

Таблица 2 – Химическая устойчивость оптимальных составов пигментов

Обозначение пигмента	Кислотостойкость к 4% раствору СН <sub>3</sub> СООН	Щелочестойкость к 20% раствору NaOH
1.1	99,3	99,2
1.2	99,7	99,6
2.1	98,6	94,4
2.2	96,4	97,3

Из таблицы 2 видно, что пигменты 1.1 и 1.2 имеют высокие показатели химической устойчивости при температуре синтеза 1100 °С. Данная температура термообработки является оптимальной для получения керамических пигментов указанных шихтовых составов.

Пигменты тех же химических составов, но с введением в качестве хромофоров оксидов CoO и NiO в состав базового порошка, имеют кислотостойкость 97,89 % для пигмента 1.1 и 93,86 % для пигмента 1.2. Щелочестойкость составила соответственно

91,88 % и 92,88 %. В сочетании с хорошими цветовыми характеристиками фосфорсодержащие пигменты, полученные пропиткой растворами солей 3d-элементов, перспективны для применения. Апатитосодержащие пигменты 1.1 и 1.2 могут применяться для объемного окрашивания плиточных керамических масс, поскольку апатит является природным сырьем и содержит примеси, которые влияют на чистоту цвета пигмента. Пигмент на основе преципитата кормового может служить для приготовления цветных мастик и глазурей, а учитывая высокую химическую стойкость, синтезированные пигменты могут быть использованы для получения коррозионностойких грунтовок.

УДК 666.714-724

### **Керамический кирпич объёмного окрашивания**

Студент гр.9 Шугаев О.И.

Научный руководитель – Пищ И.В.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

В настоящее время одним из наиболее востребованных строительных материалов является лицевой кирпич. Он должен обладать высокой механической прочностью и морозостойкостью, архитектурной выразительностью, а также экологической безопасностью. При использовании лицевого кирпича для кладки стен отпадает необходимость проводить офактуривание стен, причем содержание фасадов из лицевого кирпича менее затратное.

Для получения лицевого кирпича используются методы объемного окрашивания, торкретирования, ангобирования, глазурования.

Наиболее доступным методом является объемное окрашивание. Для этой цели используются оксиды железа, хрома, марганца, которые могут вводиться в виде отходов производства и природных сырьевых материалов.

Рядом исследователей установлена возможность получения лицевого объемно-окрашенного кирпича за счет отбеливания керамического черепка и формирования кристаллических фаз, придающих окраску светлых тонов.

В работе приведены результаты исследований по получению лицевого объемно-окрашенного кирпича на основе заводского состава масс ОАО «Брестский КСМ», включающего легкоплавкую глину месторождения «Щебрин», имеющую следующую характеристику. Глина является среднепластичной (число пластичности – 16). По минеральному типу глина относится к каолинито-монтмориллонитовым, а по суммарному содержанию оксидов алюминия и титана – к кислым ( $\Sigma \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 = 16,6 \%$ ). Глина неспекающаяся, низкотемпературного спекания.

Для придания черепку светлых тонов вводилась добавка трепела месторождения «Стальное». Трепел представляет собой очень легкую землистого вида породу, содержащую аморфный кремнезём в виде мельчайших частиц опала и халцедона (размерами от 0,0025 до 0,005 мм). В состав входит также небольшое количество скелетов диатомей, спикул, губок, раковин радиолярий.

В виде примесей трепелы содержат глинистые минералы и оксиды железа. Окраска трепела варьируется от светло-серого до бурого в зависимости от присутствия оксидов железа и органического вещества.

В качестве флюсующего компонента вводился бой светлого тарного стекла. Данный компонент позволяет снизить температуру обжига (температура начала размягчения составляет 550 – 600 °С, а температура плавления – 740 – 780 °С). Присутствие стеклобоя

обеспечит наличие жидкой фазы, которая интенсивно растворяет зерна других компонентов, значительно интенсифицируя процесс спекания. Обожженный кирпич будет обладать высокой механической прочностью и морозостойкостью.

Химический состав сырьевых компонентов приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав сырьевых компонентов

Наименование компонента	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>	aO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	п.п.п.
Гл. «Щебрин»	55,70	12,00	0,60	5,60	8,20	4,00	0,56	2,10	11,24
Стеклобой тарный	71,97	2,86	0,09	0,27	6,65	3,22	14,89	–	0,05
Трепел «Стальное»	54,97	5,90	0,16	1,73	14,03	0,82	0,12	1,36	20,91

Шихтовые составы масс приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Шихтовые составы масс

№ п/п	Содержание, мас. %				
	глина «Щебрин»	трепел «Стальное»	стеклобой	TiO <sub>2</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>
1	70	27	3	–	–
2	70	25	5	–	–
3	89,85	–	–	10	0,15

Все сырьевые компоненты измельчались до полного прохождения через сито № 1. Образцы готовились методом пластического формования с влажностью 21 – 23 % и имели вид параллелепипеда с размерами 60×30×15 мм.

Высушенные образцы обжигались в электрической печи при температурах 1000, 1050 и 1100 °С с выдержкой 1 ч.

После обжига в соответствии с криминалистическим атласом цветов Менделеева выяснили, что цвет образцов был светло-оранжевым.

Для придания черепку темных тонов использовался отход производства, содержащий оксиды титана и железа при соотношении 1:2. Для исключения из шихты трепела вводился CaCO<sub>3</sub> в эквиваленте с CaO, содержащемся в трепеле.

Исследования по влиянию отбеливающих компонентов основываются на том, что сообщить черепку темные тона легче в том случае, когда он отбелен.

В состав массы пигмент вводился в количестве 10 %. После обжига цвет черепка стал темно-коричневый. Результаты исследований свойств образцов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты исследований свойств образцов

№ п/п	Общая усадка, %	Водопоглощение, %	Прочность при изгибе, МПа	Температура обжига, °С
1	6,8	18,6	11,7	1050
	7,1	17,4	12,7	1100
2	7,1	19,2	14,5	1050
	7,6	18,6	16,0	1100
3	8,9	13,9	13,1	1000

Из таблицы 3 видно, что при увеличении температуры общая усадка увеличивается и составляет 6,8 – 7,6 % для составов № 1 и 2, и 8,9 % для состава № 3. Это связано с тем, что

при обжиге происходит спекание, при котором зерна спекаются, а поры заполняются расплавом, что вызывает уменьшение образцов в размерах.

Водопоглощение образцов составов № 1 и 2 уменьшаются с повышением температуры обжига, и составляет 17,4 – 19,2 %. Увеличение содержания трепела в массе способствует образованию открытых пор, поэтому не рекомендуется вводить его в количестве более 20 %.

Образцы состава № 3 имеют водопоглощение 13,9 %, что является пригодным при использовании кирпича в качестве лицевого.

Прочность при изгибе составляет 11,7 – 16 МПа для составов № 1 и 2, а для состава №3 – 13,1 МПа. Кирпич по прочности соответствует марке М250.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что для получения качественного объемно-окрашенного лицевого кирпича можно использовать следующие компоненты:

– глина «Щебрин» – 70 %; трепел «Стальное» – 25 – 27 %; стеклобой – 3 – 5 %, причем цвет данных образцов был светло-оранжевый;

– глина «Щебрин» – 89,85 %;  $\text{CaCO}_3$  – 0,15 %;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$  – 10 %, причем цвет образцов был темно-коричневый.

УДК 66.097.3

### **Использование материалов природного происхождения для очистки сточных вод от ионов некоторых металлов**

Студентка гр.3 курса 2 факультета ТОВ Пархимович А.Л.  
Научный руководитель – Ашуйко В.А.  
Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Цель данной работы заключалась в разработке методов получения эффективных сорбентов для очистки природных и сточных вод на базе сырья, имеющегося в Республике Беларусь.

Из природных минералов в качестве сорбентов для водоочистки промышленных стоков от ионов тяжелых металлов широко используют глины различного состава. Повышения сорбционной емкости обычных природных глин, являющихся доступным и широко распространенным материалом, можно достичь путем их модифицирования разнообразными способами. При этом в основном для повышения сорбционной емкости используют метод кислотно-щелочной активации.

Актуальность исследований не вызывает сомнений, поскольку в настоящее время всё большее распространение получают комбинированные методы очистки сточных вод, в которых важная роль отводится сорбционной очистке с помощью различных материалов (активированный уголь, ионообменные смолы). Однако высокая стоимость таких сорбентов, затраты на их регенерацию приводят к необходимости поиска более дешёвых природных сорбентов. К таким сорбентам можно отнести и глину.

Процессы сорбции широко используются в различных отраслях промышленности, в том числе в очистке сточных вод. Особый интерес представляют недорогие и эффективные способы очистки сточных вод, основанные на использовании отходов промышленности, местного сырья и минералов в качестве сорбентов.

В данной работе в качестве сорбентов использовались глины месторождений: «Веселовская» и «Городок».

Глины представляют собой тонкодисперсные землистые мягкие гетерогенные горные породы, состоящие преимущественно из водных алюмосиликатов глинозема (гидрослюдистые, каолиновые).

Цвет глин зависит от примесей оксидов железа и может изменяться от красно-бурого до буровато серого.

Образцы измельченных глин взвешивали на аналитических весах и помещали в исходные модельные растворы сульфатов железа (II), хлорида железа (III), ацетата свинца (II). Раствор сульфата железа (II) и хлорида железа (III) готовили из железного купороса  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , ацетат свинца (II) из  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .

Многие глинистые минералы могут работать только в солевых формах (натриевой, калиевой и т.д.). Поэтому вначале образцы глин заливали раствором гидроксида калия с массовой долей 10 %, и кипятили в течение 10 мин., после чего проводили отмывку глин от раствора гидроксида натрия декантацией.

Навески образцов активированных таким образом глинистых материалов помещали в растворы солей железа (II) и (III), свинца (II) периодически перемешивая. После отстаивания в осветлённой водной фазе определяли остаточную концентрацию ионов металлов. Содержание адсорбированных ионов  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  в образцах глин определяли по разности их концентраций в исходном и конечном растворе. Определения концентраций ионов в водных растворах над глинами проводили периодически.

Для определения содержания в растворе ионов  $\text{Pb}^{2+}$  в коническую колбу помещали аликвоту анализируемого раствора, 0,25 мл 2н.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 0,1г. винной кислоты, ~1,3 мл концентрированного аммиачного раствора до нейтрализации кислоты и индикатор – эриохром чёрный. Титровали 0,1 н. раствором трилона Б до изменения окраски из розовой в синюю.

Определение содержания в растворе ионов  $\text{Fe}^{2+}$ : в коническую колбу помещали аликвоту анализируемого раствора, 50 мл воды, 5 мл 6н.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 2,5 мл концентрированной  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и 3 мл дифениламина синего. Титрование проводили 0,1 н.  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ . При добавлении дихромата калия появилось зелёное окрашивание. Точку эквивалентности фиксировали появлением фиолетовой окраски.

Определение содержания ионов  $\text{Fe}^{3+}$  проводили по следующей методике: в коническую колбу с аликвотой помещали 1,5 г иодида калия, несколько капель раствора крахмала и титровали 0,1 н.  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  до исчезновения фиолетовой окраски раствора, не восстанавливающейся в течение 3 – 5 минут.

Очистка водных растворов от ионов тяжелых металлов глинами обусловлена, как сорбцией ионов поверхностью глин, так и за счет взаимодействий с функциональными группами.

Проведенные исследования показали перспективность использования глины в процессах очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. Так при использовании активированных образцов достигнута степень очистки растворов от ионов  $\text{Pb}^{2+}$  в пределах 96 % – 98,9 % , от ионов  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  в пределах 52 – 63 %. Как видно из представленных данных, глины характеризуются заметной сорбционной емкостью.

Также исследовано воздействие модифицирующих растворов на сорбционную способность глин. При этом установлено, что щелочная обработка увеличивает сорбционную способность глинистых материалов.

Полученный экспериментальный материал может быть использован при разработке технологических основ целого ряда методов очистки жидких сред от ионов тяжелых металлов и микрогетерогенных примесей, экстракции и выделения ценных компонентов из промышленных отходов.

## Литература

- 1 Способ очистки воды от металлов: а. с. 1289823, А1 МКИ С 02 F 1/28/ О.Н. Бородина, И.М. Большанина, Ю.Г. Смежав.
- 2 Полезные ископаемые Беларуси: к 75-летию БелНИГРИ: сб. науч. ст. / Хомич (отв.ред.) [и др.]. – Минск, 2002.
- 3 Рубина, А. Химия промышленных сточных вод / под редакцией А. Рубина перевод с английского. – М.: Химия, 1983.
- 4 Будиловский Ю. Эффективная и доступная технология очистки промышленных стоков // Экология и промышленность. 1996.
- 5 Душкин, С. С. Современные методы очистки воды и путь их интенсификации/ С. С. Душкин // Коммунальное хозяйство городов.- Харьков, 2002.

УДК 666.11.01

### Электродные стекла для рН метрических приборов

Студентка 5 курса 8 гр. Проидина О.И.

Научный руководитель – Трусова Е.Е.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Электродные стекла предназначаются для изготовления рабочей (активной) части стеклянного электрода. Активная часть электрода в зависимости от назначения может иметь форму сферы, конуса, иглы и т. д. Наиболее употребительная форма, нашедшая широкое применение в промышленности, – сферическая. Чаще всего изготавливают шарики диаметром 9 – 10 мм [1–2]. В настоящее время основным изготовителем и поставщиком стеклянных электродов для рН-метрических приборов в Республике Беларусь является РУП «Гомельский завод измерительных приборов» (ГЗИП), который выпускает широкий ассортимент стеклянных электродов. Однако в настоящее время далеко не все потребности предприятий Республики в них удовлетворяются. Так, последние испытывают потребность в стеклянных электродах, устойчивых во фторсодержащих средах. Эта потребность удовлетворяется только за счет импорта, в первую очередь из Германии (фирма «Jumo»). Выпускаемые ГЗИП стеклянные электроды во фторсодержащих средах неустойчивы и быстро выходят из строя, теряя электродные свойства.

Электродные стекла для рН метрических приборов, работающих во фторсодержащих средах должны отвечать следующим требованиям:

химическая устойчивость к растворам с фтористыми соединениями, содержащими до 1000 мг фтора в одном литре;

электродное стекло должно припаиваться на газовой горелке и обеспечивать вакуумнопрочный спай с электровакуумным стеклом, имеющим температурный коэффициент линейного расширения  $97 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ ;

электродное стекло должно выдуваться в шарик диаметром 9 – 10 мм;

электрическое сопротивление шарика электродного стекла при температуре 25 °С должно быть не более 1000 Мом.

В этих изделиях важной характеристикой является сохранение электродных характеристик при эксплуатации готового изделия.

В настоящей работе разработаны и исследованы стекла на основе стеклообразующей системы  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-La}_2\text{O}_3\text{-Li}_2\text{O-K}_2\text{O-LiF}$  при содержании, мол. %:  $\text{SiO}_2$  58;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  1–5;  $\text{LiF}$  1–6;  $\text{ZrO}_2$  0–4;  $\text{La}_2\text{O}_3$  4;  $\text{Li}_2\text{O}$  27;  $\text{K}_2\text{O}$  3. Согласно данным литературы [3–4] добавка фторида в щелочно-силикатные стекла с невысоким содержанием алюминия улучшает металлическую функцию, в частности увеличивает селективность к  $\text{K}^+$ , а в калиевых



системах кроме того отмечено увеличение химической устойчивости. Заключение основаны на предположении о внедрении фторида в алюмокремнеземный каркас с образованием группировок типа  $[AlO_{2/3}F]$ . Введение ограничено 4 мол. %, поскольку введение  $ZrO_2$  более 2 мол. % в электродные стекла приводит к ухудшению их электродных характеристик [5].

Электродные стекла синтезированы в фарфоровых тиглях в газопламенной печи при температуре 1300 °С с выдержкой при максимальной температуре 2 часа. Все стекла при этих условиях хорошо проварились и осветлились. Исследование кристаллизационной способности стекол в градиенте температур 500 – 1000 °С показало, что все исследуемые стекла имеют узкий интервал кристаллизации в области температур 850 – 930 °С, выше которых стекла полностью растекаются без признаков кристаллизации. Полученные данные обеспечивают возможность обработки стекол на газовой горелке при выдувании шарика из расплавленного стекла и спаивании его с корпусным стеклом. Температурный коэффициент линейного расширения разработанных стекол ( $\alpha_{300}$ ) изменяется в пределах  $(88,9 - 99,8) \cdot 10^{-7} K^{-1}$ , что допускает возможность спаивания экспериментальных стекол с корпусным стеклом.

Знание температуры начала размягчения разработанных стекол для электродных стекол позволяет судить о том, как будет вести себя данное стекло при термообработке, позволяет установить степень их плавкости, также определяет области практического применения стекол.

Температура начала размягчения исследуемых стекол изменяется в пределах 555 – 590 °С. Фторсодержащие стекла имеют более низкие температуры размягчения, т.к. введение  $LiF$  в стекло приводит к уменьшению степени связанности кремнекислородного каркаса, что в свою очередь проявляется в уменьшении вязкости и температуры размягчения.

Для изучения поведения экспериментальных стекол во фторсодержащих средах были подготовлены образцы в виде штабиков с измеряемой площадью поверхности образцов. Последние предварительно взвешивались и помещались в раствор  $HF$  с концентрацией 1000 мг/л. Измерения потерь массы (в % и мг/дм<sup>2</sup>) стекол производилось после выдержки в растворе  $HF$  заданной концентрации в течение 1, 3, 5, 10, 15, 21 и 28 суток при использовании свежеприготовленного раствора  $HF$  после каждого измерения. В таблице приведены данные по потерям массы в % после выдержки в течение 28 суток.

Таблица – Устойчивость стекол к фторсодержащим средам, 1000мг/л  $HF$

Номер стекла	потери массы % после выдержки в течение						
	1 сут	3 сут	5 сут	10 сут	15 сут	21 сут	28 сут
1	0,82	1,6	2,53	2,78	3,14	3,35	3,53
2	0,41	0,69	1,95	2,3	2,37	2,74	2,88
3	0,81	1,37	2,78	3,34	3,65	4,15	4,41
4	0,73	1,41	3,25	3,45	3,88	4,32	4,56
5	0,61	1,34	2,3	2,75	2,98	3,37	3,56
6	0,70	1,67	2,59	3,42	4,08	4,65	4,78
7	0,45	1,76	2,93	3,60	3,83	3,92	4,01
8	1	1,63	2,41	2,66	2,84	2,99	3,35
9	0,58	1,75	3,40	4,23	4,42	4,62	4,62
10	1,54	4,61	5,51	5,77	5,81	6,04	6,26

Все стекла проявили высокую устойчивость к воздействию  $HF$ , даже при очень длительном воздействии реагента. Наилучшие показатели показывает стекло, с содержанием  $F^-$  4 мол.% и 2 мол.%  $Al_2O_3$ , что может быть обусловлено образованием группировок типа  $[AlO_{2/3}F]$  и встраивание последних в кремнекислородный каркас.

Установлена область оптимальных составов стекол отличающихся технологичностью, высокой устойчивостью к фторсодержащим средам, которые могут быть рекомендованы для изготовления рабочей части стеклянного электрода рН метрических приборов.

### Литература

1 Справочник по производству стекла / под ред. И.И. Китайгородского, С. И. Сильвестровича. – М.: Стройиздат, 1963. – 423 с.

2 Никольский, Б.П. Стеклянные электроды – новые аспекты теории, разработки и применения / Б.П. Никольский, А. А. Белюстин – Журнал аналитической химии. – 1980. – Т.35.– С. 2206–2222.

3 Киприанов, А.А. Влияние фторидных добавок на электрические характеристики щелочно-силикатных электродных стекол/ А. А. Киприанов, Н. Г. Карпухина // Физика и химия стекла.–2001.–Т.27, №1.–С.108–115.

4 Карпухина, Н.Г. Электродные свойства некоторых фторсодержащих щелочно-силикатных стекол / Н. Г. Карпухина, А.А. Киприанов // Физика и химия стекла.–2001.–Т.27, №1.–С. 101–107.

5 Шульц, М.М. О возможности улучшения характеристик стеклянных электродов для измерения величины рН / М. М. Шульц, Сергеев А.С. – Журнал прикладной химии.– 1986. – Т.59 №11.– С. 2487–2493.

УДК 666.738

### **Составы масс для получения майоликовых изделий с повышенными эксплуатационными характеристиками**

Студентка гр. 9 Святохо О.М.

Научный руководитель – Левицкий И.А.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Для получения гончарных и майоликовых изделий с пористым черепком (водопоглощение 15 – 18 %) наиболее приемлемыми являются каолинито-гидрослюдистые глины с небольшой примесью монтмориллонита. Это сырье после тщательной шликерной обработки позволяет изготавливать продукцию пластическим и шликерным методами практически без введения каких-либо добавок. В Республике Беларусь наиболее применяемым является глинистое сырье месторождения «Гайдуковка».

Разработано значительное количество составов керамических масс, основными составляющими компонентами которых являются глинистые, плавни, отошающие добавки.

При производстве плотноспекшихся керамических изделий преимущественно используют смесь из нескольких легкоплавких и огнеупорных глин различного минералогического состава, что позволяет расширить интервал спекания масс и улучшить эксплуатационные свойства изделий.

Для снижения усадки изделий в массы вводят следующие отошители: кварцевый песок, шамот, гранитоидные отсеивы и др.

В качестве флюсующих добавок используют нефелин-сиенит, тальк, перлит, стеклобой и др.

Для улучшения тех или иных свойств выпускаемой продукции используют различные добавки, такие как сподуменовый концентрат, стеклофритту, ильменит и т.д.

Несмотря на значительное количество разработанных и применяемых в настоящее время керамических материалов для бытовых изделий, большинство из них характеризуется такими недостатками, как высокий термический коэффициент линейного расширения,

недостаточная термостойкость, высокое водопоглощение, низкая механическая прочность. Все вышеперечисленные недостатки затрудняют широкое использование данных масс для производства плотнеспекшихся керамических изделий. Необходимо проводить работы по усовершенствованию составов масс для плотнеспекшихся керамических изделий с целью снижения водопоглощения, повышения механической прочности и термостойкости.

Приготовление опытных масс проводилось в шаровой мельнице SPEEDY (Италия) методом совместного мокрого помола компонентов. Влажность шликера составляла 45 %, остаток на сите №0063 – 1,0 – 2,0 %. Для обеспечения требуемых реологических характеристик шликера в качестве электролита применяли соду кальцинированную (0,2 % сверх массы), благодаря чему достигалась необходимая текучесть шликеров при минимальной влажности. Литье образцов осуществляли в гипсовые формы сливным способом. Высушенные образцы подвергали обжигу в электрической печи при температурах 950 °С, 1000 °С и 1050 °С с выдержкой при конечной температуре в течении 1,5 ч.

Для одновременного определения водопоглощения, открытой пористости и плотности использовался метод насыщения и гидростатического взвешивания.

Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) синтезированных керамических масс измерялся на электронном dilatометре DEL 402 PC фирмы «Netzsch» (ФРГ) в интервале температур 20 – 400 °С.

Механическая прочность при изгибе синтезированных материалов определялась на прессе, оборудованном съёмными опорами, которые обеспечивают трехточечный изгиб. Этот метод основан на определении изгибающего момента.

Методом динамического калориметра был определен коэффициент теплопроводности полученных майоликовых изделий.

Рентгенограммы синтезированных майоликовых масс снимались на дифрактометре D 8 ADVANCE фирмы «Bruker» (Германия).

Электронно-микроскопические исследования керамических образцов из синтезированных масс выполнялись с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-5610 LV (Япония). Изображения получены с реальной поверхности скола образца при увеличении в 100 – 1000 раз.

В качестве исходного сырья выбраны легкоплавкая глина «Гайдуковка» (Минская область, Молодеченский район, Беларусь), глина ДНПК (Новорайского месторождения, Украина), нефелин-сиенит (Кольский полуостров, Россия), колеманит (Турция), алюминий фосфорнокислый однозамещенный (Россия), что обеспечивает получение майоликовых изделий с повышенными по сравнению с выпускаемой в настоящее время продукцией показателями механической прочности и сниженными показателями водопоглощения изделий.

Содержание глины «Гайдуковка» в испытуемых массах варьируется от 69 до 84 %. Содержание глины ДНПК в массах было постоянным и составило 10 %.

Для интенсификации спекания и исследования возможности регулирования структуры и свойств керамических материалов на основе полиминеральных глин в массы вводим комплексный плавень. В качестве плавня использовались колеманит и нефелин-сиенит. Количество колеманита в исследуемых массах составило 5 %, а нефелин-сиенита изменялось от 10 до 15 %.

Значения водопоглощения при температуре обжига 950 – 1050 °С находятся в интервале 16,4 – 29,2 %, кажущейся плотности – 1430 – 1810 кг/м<sup>3</sup>, открытой пористости – 29,6 – 44,5 %. Значения ТКЛР образцов, обожженных в интервале указанных температур, находятся в интервале  $(6,61 - 7,99) \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$ , что хорошо согласуется с ТКЛР глазурей, используемых для декорирования майоликовой керамики хозяйственного назначения. Механическая прочность при изгибе образцов составила 5,7 – 26,4 МПа.

Результаты рентгенофазового анализа позволяют установить присутствие трех кристаллических фаз – анортита, гематита и  $\alpha$ -кварца. Наибольшая интенсивность

дифракционных максимумов принадлежит а-кварцу, что вполне закономерно, так как местные глины, как правило, содержат значительное количество свободного кварца.

При проведении электронной микроскопии установлена однородная, сравнительно плотная структура материала, представленная аморфизированным глинистым веществом. Имеются закрытые сферические поры диаметром до 3 мкм. Четко различимы единичные кристаллы, имеющими призматический габитус, с размерами зерен 8–12 мкм, принадлежащие, очевидно, анортиту. Присутствуют также изометричные зерна гематита.

Результаты исследований показывают практическую возможность использования выше указанных компонентов в качестве сырья при изготовлении майоликовых керамических изделий хозяйственно-бытового назначения. Установлено, что содержащиеся в глинах карбонатные примеси, включения свободного кварца, железистые составляющие оказывают существенное влияние на фазовый состав и свойства обожженного материала. Введение в шихтовой состав керамических масс щелочесодержащих и борсодержащих компонентов способствуют образованию при обжиге стеклофазы, что обуславливает увеличение степени спекаемости керамического черепка.

Наиболее оптимальными из исследованных масс являются составы, обожженные при температуре 1050 °С, которым соответствует следующее содержание компонентов, %: глина «Гадуковка» – 69,5 – 69,3; нефелин-сиенит – 15; колеманит – 5; глина ДНПК – 10,  $Al(H_2PO_4)_3$  – 0,5 – 0,7. Для этих образцов получены следующие значения физико-химических свойств: водопоглощение – 16,4–17,6%; пористость – 29,6 – 31,6 %; плотность – 1800 – 1810 кг/м<sup>3</sup>; механическая прочность – 25,94 – 26,42 МПа; ТКЛР –  $(7,74 – 7,59) \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ; теплопроводность – 0,364 – 0,469 Вт/(м·К).

Разработанные составы могут быть рекомендованы для апробации в промышленных условиях ОАО «Белхудожкерамика».

УДК 666.295.4:666.75

### **Ресурсосберегающая технология получения глазурных покрытий для декорирования плиток для полов**

Студентка гр. 9 Шиманская А.Н.

Научный руководитель – Левицкий И.А.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Целью исследований является разработка составов и технологии получения ресурсосберегающих износостойких полуфриттованных цветных покрытий с использованием в качестве окрашивающих компонентов отходов обогащения руд и недефицитных материалов; установление основных закономерностей изменения физико-химических свойств и структуры глазури изучаемой системы от состава; разработка технологических параметров получения глазури оптимального состава. Замена дорогостоящих и дефицитных пигментов на красящие оксиды, содержащиеся в горных породах, делает полуфриттованные глазури более выгодными для применения их в производстве различных видов продукции.

Задача исследования состоит в проведении структурно-управляемого синтеза износостойких покрытий, обеспечивающего в процессе обжига формирование максимального количества кристаллических фаз, высокую износоустойчивость и требуемую бархатисто-матовую фактуру. Одновременно решалась задача снижения количества фритты при рациональном сочетании ее с другими компонентами, что обеспечивает снижение топливно-энергетических затрат на процесс варки.

Синтез полуфриттованных глазурей осуществлялся на основе отходов магнитного обогащения железистых кварцитов Новоселковского месторождения (Республика Беларусь), которые по минералогическому составу представлены гнейсами, амфиболами, кварцитами и другими породами и минералами. В работе использовались отходы обогащения железистых кварцитов следующего усредненного химического состава, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 54,01;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 6,22;  $\text{CaO}$  – 6,09;  $\text{MgO}$  – 3,90;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 2,04;  $\text{FeO}$  – 27,74. Сырьевая композиция для получения цветных полуфриттованных глазурей включала, мас. %: отходы обогащения железистых кварцитов – 40–47,5; доломит марки А группы 1 класса 4 (Республики Беларусь) – 7,5 – 15; специально синтезированную при выполнении данных исследований алюмоборосиликатную фритту ОРШ – 17,5 – 25. В качестве постоянных составляющих содержались технический глинозем ГК–2 (Россия), полевой шпат вишневогорский (Россия) и глина Гранитик–Веско (Украина), суммарное количество которых составило 25 %.

В качестве основы при синтезе полуфриттованных цветных глазурных покрытий приняты хвосты обогащения железистых кварцитов, с которыми вводятся основные стеклообразующие и красящие оксиды. Фритта и полевой шпат вводились с целью снижения температуры формирования стекловидного расплава, улучшения его разлива. Глинозем добавлялся с целью повышения микротвердости покрытия. Введение доломита предусматривало повышение кристаллизационной способности формируемого покрытия. Для суспензирования частиц и повышения реологических характеристик глазурного шликера добавлялась глина Гранитик–Веско.

Синтез фритты осуществлялся в системе  $\text{R}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{RO}-\text{TiO}_2$  (где  $\text{R}_2\text{O}$  –  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ;  $\text{RO}$  –  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ). В качестве сырьевых компонентов, применяемых для варки фритты, использовались кварцевый песок ОВС–020–В, борная кислота марки Б, доломит марки А группы 1 класса 4, сода кальцинированная марки В, поташ марки А, циркобит марки МО и технический глинозем марки ГК–2. Компоненты фритты высушивались до влажности не более 0,5 % и измельчались до величины зерен до 1 мм. Варка фритты осуществлялась при температуре  $1480 \pm 20$  °С в фарфоровых тиглях в лабораторной газовой пламенной печи со скоростью подъема температуры 250 °С/ч до полного провара с последующей выработкой в воду с целью ее грануляции.

Глазурный шликер готовился совместным мокрым помолом компонентов глазурной композиции в шаровой мельнице до остатка на сите № 0056 – 0,1 – 0,3 % при соотношении материал: мелющие тела: вода, составляющим 1:1,5:0,5. Полученная суспензия влажностью 30 – 40 % наносилась на предварительно высушенные до влажности не более 0,5 % образцы керамических плиток с помощью фильер. Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) керамической основы составлял  $(65 - 70) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . Покрытые опытными глазурями плитки подвергались обжигу в газопламенной печи поточно-конвейерной линии FMS-2500 при температуре  $1153 \pm 10$  °С в течение  $58 \pm 5$  мин в производственных условиях ОАО «Керамин» (г. Минск).

Синтезированные полуфриттованные цветные покрытия обладали преимущественно красно-коричневой цветовой гаммой различных оттенков матовой фактуры.

Определение цветовых характеристик (координаты цвета, доминирующая длина волны, чистота тона, светлота) осуществлялось на спектрофотометре фирмы «PROSCAN» модели МС–122 с последующим расчетом, а цвет покрытий оценивался по 1000–цветному атласу ВНИИ им. Д.И. Менделеева. Из полученных данных следует, что доминирующая длина волны исследуемых глазурей составляет 580 нм, что соответствует желтому цвету видимой части спектра. Чистота тона составляет 10 %.

Блеск покрытий определялся на фотоэлектронном блескомере ФБ–2 с использованием в качестве эталона увиолевого стекла и составил 13 – 39 %.

ТКЛР синтезированных глазурей измерялся на электронном дилатометре DEL 402 РС фирмы «Netzsch» (ФРГ) в интервале температур 20–400 °С и составил  $(53,93 - 62,41) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , что предопределяет высокую термостойкость глазурного покрытия.

Микротвердость глазурных покрытий измерялась на приборе Wolpert Wilson Instruments (ФРГ) с автоматической обработкой данных. Значения микротвердости глазурных покрытий составляли – 5213 – 8089 МПа, твердость по шкале Мооса – 7. Покрытия являются химически устойчивыми по отношению к раствору № 3 по ГОСТ 27180–2001. Термостойкость глазури составляет 150 °С. Степень истираемости – 3.

Рентгенограммы синтезированных глазурных покрытий снимались на установке «Brucker» (ФРГ) с ионизационной регистрацией рассеянных лучей (излучение  $\text{CuK}_\alpha$ ); детектор – счетчик Гейгера. Установлено, что фазовый состав полуфриттованных глазурных покрытий представлен анортитом, гематитом, магнетитом и маггемитом. Количество окрашивающих фаз – гематита, магнетита и маггемита закономерно увеличивается с ростом содержания в глазурном покрытии отходов обогащения железистых кварцитов. Рациональное сочетание вышеуказанных кристаллических фаз обеспечивает высокие значения физико-механических свойств глазурных покрытий и, прежде всего износостойкости и микротвердости.

Микроструктура глазурных покрытий исследована с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM–5610 LV с системой химического анализа EDX JED–2201 JEOL (Япония). Микроструктура глазурных покрытий 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. Участки, характерные стеклофазе, практически отсутствуют. На покрытиях оптимальных составов не установлено образование кратеров, наколов и других дефектов поверхности.

Проведенные испытания свидетельствуют о возможности внедрения разработанных рецептур глазурных сырьевых смесей при обеспечении требуемых эксплуатационных свойств и декоративно-эстетических характеристик покрытий. Исследования показали реальную возможность использования отходов обогащения железистых кварцитов для получения цветных глазурных покрытий. Это позволяет исключить из состава дорогостоящие жаростойкие пигменты, что обеспечит снижение себестоимости продукции на 30 – 35 %. Преимуществом синтезированных составов является также отсутствие в сырьевых композициях компонентов первого и второго классов опасности.

УДК 621.357

### **Использование глицератных электролитов для электролитического нанесения сплавов медь-цинк**

Студентка III курса 6 гр. ф-та ИЭФ Сугако А.П.

Научный руководитель – Курило И.И.

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

Получение сплавов медь-цинк является одним из старейших гальванических процессов. Электрохимическое латунирование применяется для предохранения изделий от коррозии, декоративной отделки сталей, создания промежуточного подслоя при никелировании или лужении, а также для лучшего сцепления стали с резиной перед гуммированием.

Из-за большой разности стандартных окислительно-восстановительных потенциалов меди и цинка их совместное осаждение из кислых растворов простых солей практически невозможно. Для получения латуней применяют комплексные соли этих металлов. Наиболее качественные покрытия получают из цианистых электролитов, недостатками которых является токсичность и низкая скорость осаждения сплава. Альтернативой этим

электролитам являются пирофосфатные, роданидные, тиосульфатные, оксалатные, трилонатные, глицератные и полилигандные электролиты латунирования.

Достоинствами глицератных электролитов латунирования является их относительно низкая стоимость, простота в эксплуатации, доступность и нетоксичность компонентов, широкий интервал рабочих температур. К недостаткам следует отнести нестабильность электролита и низкие рабочие плотности тока.

Целью работы было изучение влияния различных химических добавок к глицератному электролиту латунирования на его ресурс работы и качество получаемых сплавов медь-цинк.

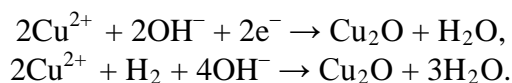
Получение латунных покрытий проводили из глицератного щелочного (pH = 14) электролита следующего состава, г/дм<sup>3</sup>: CuSO<sub>4</sub> 5H<sub>2</sub>O – 30, ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O – 15, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub> – 60, NaOH – 150, – в который вводили стабилизирующие добавки. Для повышения стабильности электролита при проведении электролиза в электролит вводили химические добавки (таблица 1).

Таблица 1 – Составы глицератных электролитов латунирования

Номер электролита	Состав добавок к фоновому глицератному электролиту латунирования	Концентрация, г/дм <sup>3</sup>
1	Клей столярный	10,0–15,0
2	Аммиак (25% масс.)	7,0–10,0
3	Комплексная добавка: Диэтилдитиокарбамат натрия (1,7 г/дм <sup>3</sup> ), Этилендиаминдигидрохлорид (33,3 г/дм <sup>3</sup> ), Гексацианоферрат (II) калия (11,7 г/дм <sup>3</sup> )	1,0
4	Уротропин	0,05–0,10
5	Дифениламин	0,05–0,10

Выбор исследуемых добавок был основан на анализе литературных данных и результатах проведенных предварительных исследований.

По результатам анализа данных, полученных при тестировании не содержащего стабилизирующих добавок глицератного электролита латунирования в ячейке Хулла, установлено, что в стационарных условиях мелкокристаллические гладкие полублестящие осадки получаются при плотностях тока, равных 0,5 – 1,5 А/дм<sup>2</sup>. Однако через несколько часов работы для исследуемого электролита наблюдается расслоение, обусловленное протеканием побочных процессов:



Образующийся оксид меди(I), становясь новым центром кристаллизации, приводит к расслоению фаз. Проведенные исследования показали, что при получении латунных покрытий из глицератных электролитов, содержащих стабилизирующие добавки, в интервале плотностей тока от 1,0 до 2,5 А/дм<sup>2</sup> наблюдается снижение катодного выхода по току сплава (рисунок 1). Это связано с тем, что с ростом плотности тока заметно повышается поляризация катода. Осаждение сплава происходит при высоких отрицательных потенциалах, и наряду с основным процессом наблюдается процесс выделения водорода. Экстремальная зависимость катодного выхода по току в электролите, содержащем аммиак, может быть обусловлена образованием аммиачных комплексов меди и цинка, которое приводит к увеличению поляризации разряда ионов этих металлов.

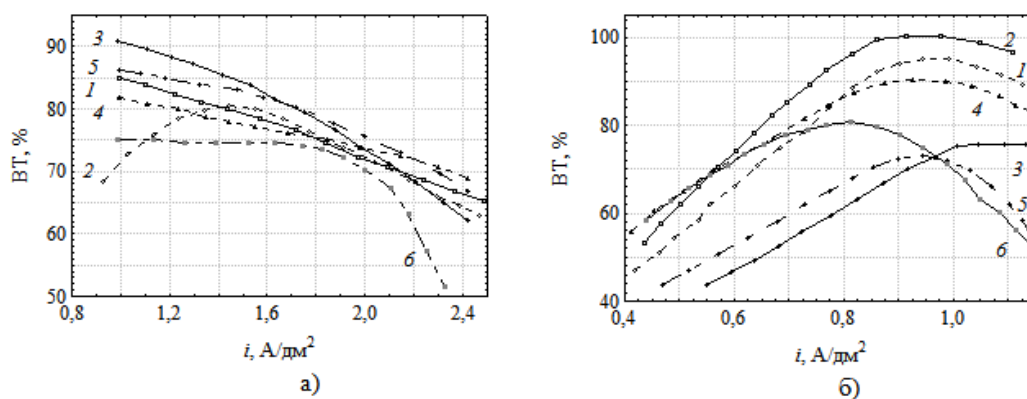


Рисунок 1 – Влияние плотности тока на катодный (а) и анодный (б) выходы по току латуни при проведении процесса латунирования в стационарных условиях:

1 – 5 – составы электролитов соответствуют данным таблицы 1, 6 – фоновый электролит

Установлено, что проведение электролиза при плотностях тока выше 2,5 А/дм<sup>2</sup> нецелесообразно, так как при этом наблюдается резкое обеднение приэлектродного слоя разряжающимися ионами. Выделение электроположительного металла (меди) в сплав происходит на предельном диффузионном токе, что приводит к образованию порошкообразного осадка.

При увеличении анодной плотности тока от 0,45 до 1,2 А/дм<sup>2</sup> для всех исследуемых электролитов наблюдается экстремальное изменение анодного выхода по току и анодного потенциала (рисунок). Уменьшение анодной плотности при плотностях тока выше 0,8 – 0,9 А/дм<sup>2</sup> объясняется обогащением приэлектродного слоя ионами меди и цинка, а также частичной пассивацией анода, что, в свою очередь, приводит к увеличению анодного потенциала.

Установлено, что введение в фоновый глицератный электролит латунирования стабилизирующих добавок позволило существенно увеличить его ресурс работы в стационарных условиях. Так, в электролитах 2, 4, 5 (с добавкой аммиака, дифениламина и уротропина) расслоения фаз не наблюдалось. В электролите 1 и 3 (с добавкой столярного клея и комплексной добавкой) ресурс работы электролита увеличился в два раза. При этом качественные покрытия розового и желто-розового цвета с хорошими адгезионными свойствами к резине были получены в более широком диапазоне рабочих плотностей тока (0,5 – 2,5 А/дм<sup>2</sup>). Желтая латунь (содержание меди составляло 65 – 73 %), обеспечивающая наибольшую прочность сцепления с резиновыми покрытиями, была получена в электролите с добавкой дифениламина в интервале катодных плотностей тока 1,5 – 2,0 А/дм<sup>2</sup>. Кроме того, наличие в электролите аминоксодержащих поверхностно-активных веществ способствует более равномерному растворению анодов во всем интервале рабочих плотностей тока.

УДК 676.153

### Использование древесной массы в композиции бумаги для печати

Студентки 5 курса 7 гр. Тимофеева Е.К., Русецкая А.Н.  
 Научные руководители – Дубовик А.А., Соловьева Т.В.  
 Белорусский государственный технологический университет  
 г. Минск

Основным видом сырья для производства высокосортной бумаги для печати в Республике Беларусь остается импортируемая дорогостоящая беленая целлюлоза. Для



снижения себестоимости бумажной продукции в качестве источника волокна перспективным является использование дешевых волокнистых полуфабрикатов, таких как древесная масса.

Работа посвящена определению композиционного состава бумаги для печати с использованием древесной массы двух видов: термомеханической (ТММ) производства РУП «Завод газетной бумаги» (Беларусь, г. Шклов) и химико-термомеханической (ХТММ) производства ОУ METSA-BOTNIA АВ (Финляндия). Традиционно применяемые для производства бумаги для печати полуфабрикаты – беленая сульфатная целлюлоза из древесины лиственных пород (СФАл) компании ILM PULP (Россия) и беленая сульфатная целлюлоза из древесины хвойных пород (СФАхв) компании BOTNIA (Финляндия) использовались для сравнения с древесной массой при составлении композиции бумаги.

Роспуск волокнистых полуфабрикатов проводили с использованием лабораторного размалывающего комплекта ЛКР-1, оснащенного гидроразбивателем ЛГ-3 и мельницей НДМ-3. В таблице 1 представлены свойства исходных волокнистых полуфабрикатов после роспуска.

Таблица 1 – Свойства полуфабрикатов после роспуска

Наименование показателя	Значение показателя для бумажной массы, изготовленной из			
	ТММ	ХТММ	СФАл	СФАхв
Степень помола, °ШР	66	18	16	14
Показатель средневзвешенной длины волокна, дг	36	15	37	114
Скорость обезвоживания, мл/с	3,4	32,0	70,0	100,0

Из таблицы 1 видно, что степень помола ТММ существенно выше, чем степень помола остальных полуфабрикатов. Связано это с тем, что ТММ была размолота в процессе ее производства на дисковых мельницах в две стадии. Низкая скорость обезвоживания ТММ обусловлена ее высокой степенью помола. Показатель средневзвешенной длины волокна варьируется в пределах от 15 до 114 дг и уменьшается от СФАхв к ХТММ. При производстве бумаги для печати, как правило, используют бумажную массу со степенью помола 35 – 45 °ШР. Как видно из представленных данных, размолу необходимо подвергать сульфатную беленую целлюлозу из древесины хвойных и лиственных пород и ХТММ.

Для определения оптимальных параметров процесса размола волокнистых полуфабрикатов использовали математическое планирование эксперимента с реализацией плана Бокса. Бумажную массу из каждого вида волокнистого полуфабриката после роспуска перегружали в мельницу НДМ-3 и осуществляли ее размол. При проведении эксперимента варьировали продолжительность размола – 10, 20, 30 мин, величину межножевого зазора – 0,2, 0,3, 0,4 мм и число оборотов дисков мельницы – 1000, 1500, 2000 мин<sup>-1</sup>. Для полученной бумажной массы, изготовленной из каждого вида волокнистого полуфабриката, определяли показатели степени помола, скорости обезвоживания, средневзвешенной длины волокна, а также оценивали величину израсходованной электроэнергии на размол. Оптимальные параметры для ведения процесса размола каждого вида исследуемого полуфабриката и соответствующие этим параметрам показатели качества (таблица 2) были найдены расчетом обобщенного критерия оптимизации.

Таблица 2 – Оптимальные параметры процесса размола волокнистых полуфабрикатов, значения показателей качества бумажной массы и расхода энергии

Вид волокнистого полуфабриката	Параметры размола			Характеристика массы			
	продолжительность размола, мин	величина межножевого зазора, мм	число оборотов дисков мельницы, мин <sup>-1</sup>	степень помола, °ШР	показатель средневзвешенной длины волокна, дг	расход энергии, кВт·ч/100 г а.с.в.	скорость обезвоживания, мл/с
СФА <sub>хв</sub>	15	0,36	1500	37	49	0,132	15,76
СФА <sub>л</sub>	25	0,30	1325	35	29	0,170	18,32
ХТММ	21	0,22	1500	35	15	0,140	3,02
ТММ	-	-	-	66	36	-	21,86

Представленные в таблице 2 данные свидетельствуют о том, что бумагообразующие свойства волокон ХТММ можно приблизить к свойствам целлюлозы размолом при оптимальных параметрах.

Для установления оптимальных композиций бумаги для печати, содержащих исследуемые виды волокнистых полуфабрикатов применили симплекс-решетчатое планирование третьего порядка, при этом содержание каждого компонента выбрали в следующем интервале значений: СФА<sub>л</sub> 20 – 40 %, СФА<sub>хв</sub> 30 – 50 %, древесной массы – остальное количество в расчете на 100 %. Из полученной массы на листоотливном аппарате Ernst-Haage изготавливали образцы бумаги, которые подвергали испытаниям по показателям: разрывная длина (использовали горизонтальную разрывную машину фирмы «Lorentzen and Wettre»), воздухопроницаемость, белизна и непрозрачность.

Для каждого из видов исследуемых полуфабрикатов было рассчитано оптимальное содержание компонентов в композиции бумажной массы:

- композиция 1: СФА<sub>л</sub> – 33 %, СФА<sub>хв</sub> – 32% и ТММ – 35 %;
- композиция 2: СФА<sub>л</sub> – 37 %, СФА<sub>хв</sub> – 32% и ХТММ – 31 %.

В таблице 3 представлена сравнительная характеристика показателей качества бумаги, полученной из композиций с оптимальным содержанием ТММ, ХТММ и из композиции, содержащей 60 % СФА<sub>л</sub> и 40 % СФА<sub>хв</sub> (композиция 3).

Таблица 3 – Сравнительная характеристика показателей качества бумаги

Наименование показателя	Значения показателей бумаги, полученной из		
	композиции 1	композиции 2	композиции 3
Белизна, %	64	79	82
Непрозрачность, %	84	95	81
Воздухопроницаемость, см <sup>3</sup> /мин	230	660	380
Разрывная длина, км	7,13	6,03	7,54

Как видно из таблицы 3, использование композиций 1 и 2 по сравнению с композицией 3 при изготовлении бумаги для печати вызывает увеличение ее непрозрачности при одновременном снижении белизны и разрывной длины. Показатель воздухопроницаемости, характеризующий структуру бумаги, у образцов, содержащих в композиции 31 % ХТММ выше, чем у образцов, полученных только из беленой сульфатной целлюлозы, на 40 %. Пористая бумага обеспечит хорошие печатные свойства за счет лучшего впитывания типографских красок при офсетной печати. Несмотря на это, использование оптимальных композиций позволяет не только заменить 35 % беленой целлюлозы на ТММ и 31 % – на ХТММ, но и получить бумагу по прочностным показателям

в полной мере отвечающей требованиям, предъявляемым к бумаге для печати, предназначенной для изготовления конвертов (ТУ ВУ 600017868.077).

УДК 666.223.9

### Разработка стекол для волоконной оптики

Студент 5 к., 8 гр. ХТиТ Янукевич Е.Н.  
Научный руководитель – Папко Л.Ф.  
Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск

При изготовлении волоконно-оптических изделий используется жесткое оптическое волокно, состоящее из световедущей жилы, светоотражающей и защитной оболочек.

Цель настоящего исследования – разработка составов стекол для получения оболочек жесткого оптического волокна.

К данным стеклам предъявляются следующие требования:

– для обеспечения требуемого прохождения световых лучей, падающих под большим углом к оптической оси, и создания необходимой частотно-контрастной характеристики волоконной детали апертурное число жесткого оптического волокна должно быть больше 1,0;

– для получения жесткого оптического волокна с требуемой термомеханической прочностью необходимо, чтобы ТКЛР стекла для светоотражающей оболочки был ниже ТКЛР стекла световедущей жилы: оптимальная разность ТКЛР жилы и оболочки находится в интервале  $(5 - 12) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , что обусловлено необходимостью создания напряжений сжатия в оболочке жесткого волокна;

– для предотвращения возникновения диффузии на границе жила–оболочка показатели вязкости стекол должны иметь минимальное различие, однако вязкость оболочки должна быть несколько выше ввиду того, что она определяет условия технологического процесса вытягивания волокна;

При подборе пары стекол для оптического волокна необходимо учитывать их “химическое родство” для минимизации диффузионных процессов на границе раздела сердцевина–оболочка, что позволит максимально сохранить исходные значения показателя преломления каждого стекла.

При получении светоотражающей и защитной оболочек оптического волокна используют составы стекол из группы кронов. В качестве базовой системы для исследования выбрана система  $\text{R}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  с добавками  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Данные стекла характеризуются низкими показателями преломления (1,47 – 1,50). Использование оксидов типа  $\text{RO}$  и  $\text{R}_2\text{O}_3$  связано с плотностью упаковки элементов структуры стекла, которая играет важную роль при вытягивании жестких оптических волокон. В структуре стекол имеются замкнутые полости, которые могут стать причиной диффузии красящих примесей из защитной оболочки в световедущую жилу. Для повышения плотности упаковки и предупреждения диффузии ионов с малым радиусом в качестве оксидов двух- и трехвалентных элементов использованы  $\text{CaO}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Синтезированы составы стекол, включающие, мас. %: 57,5 – 70,0  $\text{SiO}_2$ ; 10,0 – 25,0  $\text{B}_2\text{O}_3$ ; 0 – 20,0  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 0 – 15,0  $\text{K}_2\text{O}$ ; 3,0 – 5,0  $\text{CaO}$ ; 2,5  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Варка стекол производилась при температуре  $1500 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$  газопламенной печи.

По результатам оценки качества стекла установлено, что образцы, имеющие в своем составе значительное количество легкоплавких компонентов ( $\text{R}_2\text{O}$  и  $\text{B}_2\text{O}_3$ ) однородны, не имеют кристаллических включений. Образцы стекол с высоким содержанием  $\text{SiO}_2$  имеют газообразные включения.

Кристаллизационная способность опытных стекол имеет огромное значение, так как для получения качественного волокна и сохранения стабильности процесса его производства необходимо, чтобы стекла как для световедущей жилы, так и для оболочек имели высокую устойчивость к кристаллизации при длительных изотермических выдержках.

Стекла, содержащие, мас. %: 60,0 – 70,0 SiO<sub>2</sub>; 15,0 – 25,0 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 10,0 – 20,0 Na<sub>2</sub>O; 5,0 CaO, по данным градиентной термообработки, которая проводилась в температурном интервале 600 – 1100 °С в течение трех часов, проявляют склонность к поверхностной кристаллизации. При замене в этих составах 2,5 мас. % SiO<sub>2</sub> на эквивалентное количество Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> склонность к кристаллизации снижается: уменьшается температурный интервал появления поверхностной корки. Кроме того, снижению кристаллизационной способности способствует одновременное введение в состав стекол Na<sub>2</sub>O и K<sub>2</sub>O. При этом получены образцы стекол, не проявляющие признаков кристаллизации при длительной градиентной термообработке.

При изготовлении оптического волокна важное значение имеет величина термического коэффициента линейного расширения. ТКЛР синтезированных стекол составляет  $(55,2 - 77,0) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$  и повышается с ростом содержания Na<sub>2</sub>O. Это обусловлено уменьшением степени связности структурной сетки. При повышении содержания в стекле B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> термический коэффициент линейного расширения уменьшается.

Также на термический коэффициент линейного расширения оказывает влияние природа щелочного компонента. При сравнении ТКЛР опытных стекол видно, что при замене Na<sub>2</sub>O на K<sub>2</sub>O ТКЛР увеличивается.

Показатель преломления синтезированных стекол составляет 1,487 – 1,532 и растет с ростом содержания Na<sub>2</sub>O. Замена Na<sub>2</sub>O на K<sub>2</sub>O приводит к снижению показателя преломления. Стекла с показателем преломления более 1,5 для оболочки оптического волокна не пригодны, т.к. часть светового потока, падающего на поверхность входного торца, будет проходить через боковую поверхность. Это обусловлено близкими значениями показателя преломления жилы и оболочки.

Коэффициент дисперсии опытных стекол равен 60,9 – 69,9 и возрастает с увеличением количества SiO<sub>2</sub>. Повышение содержания щелочных компонентов в стекле приводит к снижению коэффициента дисперсии, однако замена Na<sub>2</sub>O на K<sub>2</sub>O приводит к возрастанию коэффициента дисперсии.

Для получения защитной оболочки проведен синтез стекол системы Na<sub>2</sub>O–K<sub>2</sub>O–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> с добавками красителей. Данные стекла должны быть согласованы по величине ТКЛР со стеклом световедущей жилы, составляющим  $77 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . Такие показатели ТКЛР обеспечиваются при введении до 17 мас. % оксидов щелочных металлов.

Составы синтезированных стекол содержат в качестве красителей оксиды кобальта, никеля и хрома в количестве 0,4 – 0,8 мас. % (сверх 100 %). По результатам градиентной термообработки данных стекол можно сделать вывод о снижении кристаллизационной способности стекол при введении в их состав красителей.

При оценке поглощающей способности опытных образцов установлено, что введение оксида никеля обеспечивает поглощение в узкой области оптического диапазона, составляющей от 420 до 560 нм. При совместном введении в состав стекла оксидов кобальта и никеля полоса поглощения расширяется и составляет 420 – 700 нм. Требуемая степень поглощения в видимой части спектра обеспечивается также при совместном введении оксидов хрома и кобальта. Данная комбинация красителей обеспечивает интенсивное поглощение в УФ- и видимой частях спектра в диапазоне 200 – 700 нм.

По показателям технологических и физико-химических свойств определены оптимальные составы стекол для светоотражающей и защитной (светопоглощающей) оболочек жесткого оптического волокна.

Стекло для светоотражающей оболочки оптического волокна характеризуется отсутствием признаков кристаллизации при термообработке в интервале температур

600 – 1100 °С, имеет показатель преломления 1,487 и термический коэффициент линейного расширения, равный  $66,0 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ .

Стекло для защитной оболочки обладает устойчивостью к фазовому разделению в интервале температур 600 – 1100 °С, имеет значение ТКЛР, равное  $76,8 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$  и обеспечивает интенсивное поглощение в видимой части спектра.

Испытание разработанных стекол проведены на ОАО “Завод “Оптик”, на котором производятся изделия волоконной оптики. Испытания подтвердили хороший уровень согласования разработанных стекол для оболочек оптического волокна со стеклом для световедущей жилы по оптическим характеристикам.

УДК 634.0.861

### **Исследование влияния концентрации гидроксида натрия на выход веществ фенольной природы из коры сосны**

Студенты гр. 08-ХТ Писарева С.С., Попкова Л.А.  
Научные руководители – Якубовский С.Ф., Булавка Ю.А.  
Полоцкий государственный университет  
г. Новополоцк

Республика Беларусь имеет значительные запасы древесины, общая площадь лесного фонда составляет 9,248 млн. га, а лесистость территории нашей страны является одной из самых высоких в Восточной Европе, около 38 %. Лесные насаждения представлены в основном сосной (57 %), березой (18 %), елью (11 %), ольхой (9 %), дубом (3 %), осинкой (2 %) [1].

При заготовках древесины, несмотря на использование современной технологии и техники, в настоящее время применяется в основном только стволовая часть, составляющая 60...65 % биомассы дерева. Ежегодные объемы накопления отходов древесной коры на предприятиях лесопромышленного комплекса составляют от 10 до 15 % всех ресурсов перерабатываемой древесины.

Существующие способы утилизации древесной коры немногочисленны и в повседневной практике кора вывозится в отвалы или сжигается. При длительном хранении древесной коры в отвалах происходит ее деструкция, из нее выделяются соединения фенольного ряда и другие экстрактивные вещества, которые смываются осадками, что приводит к загрязнению окружающей среды, высок риск самовозгорания данного вида отходов. В тоже время древесная кора содержит различные классы экстрактивных веществ и ряд ценных индивидуальных соединений, которые могут найти применение в медицинской, фармацевтической, парфюмерно-косметической, пищевой, химической отрасли, сельском хозяйстве и бытовой химии, что определяет широкие возможности ее дальнейшего рационального использования.

Общеизвестно, что при экстракции древесного материала слабым раствором гидроксида натрия извлекаются в основном фенольные соединения, при этом их количество колеблется в довольно широком диапазоне от 5 до 75 %. Цель исследования – поиск оптимальных условия процесса щелочной экстракции коры сосны, для обеспечения максимального выхода фенольных соединений.

В качестве исходного сырья использовали внешнюю часть коры сосны обыкновенной *Pinus silvestris* со свежесрубленных деревьев (не менее 1 м от комля), собранная в осенний период года с деревьев 60 – 80-летнего возраста на территории лесничества Государственного лесохозяйственного учреждения «Полоцкий лесхоз», подвергнутая подсушиванию на воздухе до 8 – 10 %-ной влажности, дроблению путем сухого механического размолла на мельнице, сухому фракционированию на лабораторных ситах.

В соответствии с общепринятыми в химии древесины методиками кору с размером частиц 0,25 – 1 мм, влажностью 8,8 % масс., подвергли экстрагированию холодной и горячей водой; в качестве экстрагента, наиболее полно извлекающего вещества фенольной природы, использовали гидроксид натрия различных концентраций (от 0,25 до 2 % масс.) в водном растворе. Экстракцию щелочью проводили при жидкостном модуле (соотношение кора: экстрагент), равном 50, на кипящей водяной бане, при периодическом перемешивании. Продолжительность процесса экстракции варьировалась от 15 до 120 мин.

Результаты экстрагирования коры сосны с размером частиц 0,25 – 1 мм холодной водой показали, что содержание в ней танинов, красителей, камеди, моносахаридов, гликозидов составляет 4,5 % к абсолютно сухой коре. Экстрагирование горячей водой показало, что содержание не растворенных в холодной воде танинов, красителей, камеди, моносахаридов, гликозидов, а также пектиновых веществ и полисахаридов (таких как крахмал и арабиногалактан) составляет 6,6 % к абсолютно сухой коре.

Изучена зависимость изменения степени извлечения щелочерастворимых веществ высушенной коры сосны фракции 0,25 – 1 при часовой обработке от концентрации гидроксида натрия, результаты представлены в виде графика на рисунке 1. Можно заключить, следующее:

- зависимость выхода фенольных соединений от концентрации щелочи имеет логарифмический характер ( $R^2=0,9$ );
- увеличение концентрации NaOH от 0,25 до 2 % увеличивает выход фенольных соединений с 7,6 до 57,6 % масс. от абсолютно сухой коры;
- оптимальной концентрацией гидроксида натрия для наиболее полного извлечения полифенолов и полифенольные кислот за 60 минут из коры сосны, является 1,5% масс., поскольку дальнейшее ее увеличение не приводит к существенному повышению степени извлечения щелочерастворимых веществ, т.е. экономически не целесообразно.

Результаты определения оптимального времени обработки 1,5 %-ным раствором NaOH для наиболее полного извлечения фенольных соединений, представлены в виде графической зависимости изменения степени извлечения щелочерастворимых веществ от времени экстрагирования коры, в виде графика на рисунке 2.

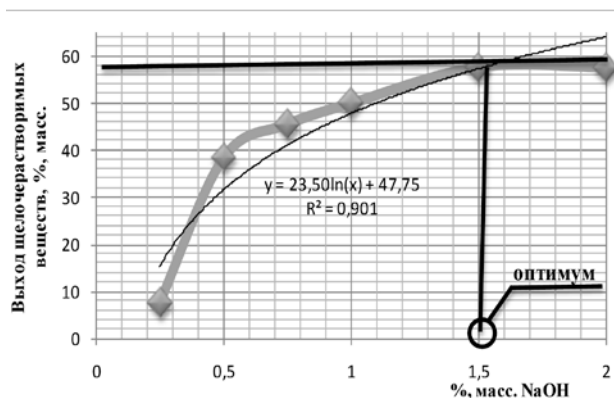


Рисунок 1 – Зависимость степени извлечения щелочерастворимых веществ от концентрации NaOH

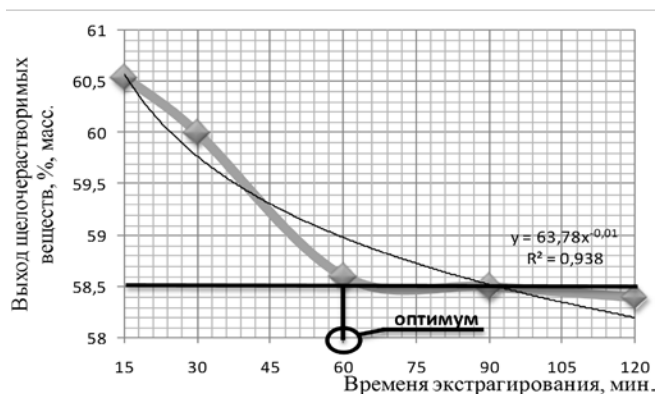


Рисунок 2 – Зависимость степени извлечения щелочерастворимых веществ от времени экстрагирования коры

На основании графической зависимости, приведенной на рисунке 2 можно сделать следующие заключения:

- зависимость выхода фенольных соединений от продолжительности экстрагирования коры имеет степенной характер ( $R^2=0,94$ );
- увеличение времени экстрагирования коры от 15 до 120 мин снижает выход экстрактивных веществ с 60,5 до 58,4 % масс. от абсолютно сухой коры.

– оптимальное время экстрагирования коры сосны 1,5 %-ным раствором гидроксида натрия с целью наиболее полного извлечения полифенолов и полифенольных кислот составляет 60 минут, т.к. дальнейшее увеличение времени не приводит к существенному повышению степени извлечения щелочерастворимых веществ, т.е. экономически не оправданно.

В результате анализа технологических режимов процесса экстрагирования раствором гидроксида натрия полифенолов и полифенольных кислот из коры сосны установлено, что максимальный выход щелочерастворимых веществ достигается при концентрации NaOH 1,5 % и продолжительности обработки 1 ч. Полученные результаты имеет потенциальную практическую значимость, поскольку экстрактивные вещества и ценные индивидуальные соединения коры сосны, находят широкое применение в медицинской, фармацевтической, парфюмерно-косметической, пищевой, химической отрасли, сельском хозяйстве и бытовой химии.

### **Литература**

1. Болтовский, В. С. Новые технологические процессы гидролитической и биохимической переработки растительной биомассы: монография / В. С. Болтовский. - Минск: БГТУ, 2009. - 194 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Литейное производство чёрных и цветных металлов

- Рафинирование деформируемых алюминиевых сплавов ..... - 4 -**  
Студент гр. 104117 Василюк Е.А.  
Научный руководитель – Неменёнок Б.М.
- Литьё по газифицируемым моделям..... - 5 -**  
Студентка гр.104117 Гавриленко Н.Н.  
Научный руководитель – Неменёнок Б.М.
- Модифицирование деформируемых алюминиевых сплавов системы Al-Mg-Si..... - 7 -**  
Студент гр. 104117 Нестеренко В.А.  
Научный руководитель – Неменёнок Б.М.
- Снижение выплат экологического налога за выбросы в атмосферный воздух от ДСП..... - 8 -**  
Студентки гр. 104117 Базар С.В., гр. 104128 Раковец О.А.  
Научный руководитель – Неменёнок Б.М.
- Варианты переработки отходов металлургии вторичного алюминия ..... - 10 -**  
Студентки гр.104128 Савко А.В., Бердник Е.Н.  
Научный руководитель – Неменёнок Б.М.
- Разделительные покрытия для пресс-форм литья под давлением..... - 11 -**  
Студенты гр. 104128 Минич В.В., гр. 104128 Гринкевич П.Н.  
Научный руководитель – Михальцов А.М.
- Термодинамический анализ процессов восстановления легирующих элементов из соединений..... - 12 -**  
Студенты гр.104128 Шульга А.В., гр. 104110 Свиридов С.А., Дик А.Б.  
Научный руководитель – Слуцкий А.Г.
- Исследование процесса получения модификатора-раскислителя содержащего дисперсные частицы активных элементов..... - 14 -**  
Студенты гр.104119 Кривопуст А.А., Билиба Н.Э.  
Научный руководитель – Слуцкий А.Г.
- Неразрушающий акустический контроль качества алюминиевых отливок..... - 17 -**  
Магистрант Шахлович И.Г., студентка гр. 104129 Лавринчик Е.Г.  
Научный руководитель – Рафальский И.В.
- Способы получения литейных композиционных материалов на основе алюминия..... - 18 -**  
Магистрант Волкович А.И., студент гр. 104128 Акулич Н.Н.  
Научные руководители – Рафальский И.В., Арабей А.В.



**Использование метода термического анализа для определения содержания кремния в сплаве системы Al-Si в широком диапазоне концентрации кремния ..... - 20 -**  
Студенты гр. 104118 Розенберг Е.В., 104128 Самусевич Д.В.  
Научный руководитель – Арабей А.В.

**Некоторые технологические моменты рафинирования расплавов на основе алюминия карбонатом кальция..... - 22 -**  
Студент гр. 104118 Скуратович А.З.  
Научный руководитель – Задрецкий С.П.

**Экологические аспекты рафинирования расплавов на основе алюминия карбонатом кальция..... - 22 -**  
Студент гр. 104128 Иванов А.Д.  
Научный руководитель – Задрецкий С.П.

**Полный термодинамический анализ реакции рафинирования алюминиевых сплавов карбонатом кальция ..... - 24 -**  
Студент гр. 104127 Яковский Д.Д.  
Научный руководитель – Задрецкий С.П.

**Эрозионная стойкость разделительных покрытий для литья алюминиевых сплавов под давлением..... - 25 -**  
Студент гр. 104127 Чайковский Я.С.  
Научный руководитель – Пивоварчик А.А.

**Оптимизация процесса получения отливки «Колено» из высоколегированной жаропрочной стали с использованием САПР ProCAST ..... - 26 -**  
Студент гр.104118 Шилюк Д.Л.  
Научные руководители – Розум В.А., Бежок А.П.

### **Материаловедение в машиностроении**

**Аналіз чиньнікаў разбурэння валу з сталі 40X13 ..... - 30 -**  
Студэнты: гр. 104219 Кавальчук Я.В., гр 104518 Крыжнёў А.В., гр 104518 Дробаў А.Н.  
Навуковыя кіраўнікі – Стэфановіч В.А., Барысаў В.Г.

**Повышение производительности печи за счёт рециркуляции газов ..... - 31 -**  
Студенты: гр. 104217 Сакунов М.В., гр. 104517 Зданович О.В., гр.104518 Дробов А.Н.,  
Крыжнев А.В.  
Научные руководители – Стефанович В.А., Борисов С.В.

**Исследование процесса многокомпонентного насыщения углеродом и металлами стали 45..... - 32 -**  
Магистрант Белько О.С., студенты гр. 104218 Галах М.С., Жагунец Д.А.  
Научные руководители – Борисов С.В., Стефанович В.А.

<b>Анализ коррозионной стойкости цинковых диффузионных слоев .....</b>	<b>- 33 -</b>
Аспирант Булойчик И.А., студентка гр. 104517 Зданович О.В. Научный руководитель – Константинов В.М.	
<b>Механические свойства конструкционных сталей при низких температурах .....</b>	<b>- 35 -</b>
Магистрант Галимский А.И. Научный руководитель – Константинов В.М.	
<b>К проблеме коробления при термической обработке длинномерных изделий .....</b>	<b>- 36 -</b>
Магистрант Рысенков А.И. Научный руководитель – Константинов В.М.	
<b>Строение, фазовый и химический состав оксидных слоёв на прошивных оправках отечественного и зарубежного производства .....</b>	<b>- 37 -</b>
Магистрант Удот А.Ю. Научный руководитель – Константинов В.М.	
<b>Некоторые пути повышения качества PVD и CVD покрытий .....</b>	<b>- 39 -</b>
Студент гр. 104217 Ковальчук А.В. Научный руководитель – Константинов В.М.	
<b>Основные требования к металлической подложке для нанесения наноструктурированных защитных покрытий .....</b>	<b>- 41 -</b>
Студент гр. 104217 Ковальчук А.В. Научный руководитель – Константинов В.М.	
<b>Материалы с эффектом памяти формы .....</b>	<b>- 42 -</b>
Студент гр.104218 Дубатовка С.В. Научный руководитель – Пучков Э.П.	
<b>Применение аморфных металлов и сплавов.....</b>	<b>- 44 -</b>
Студент гр. 104218 Таран С.А. Научный руководитель – Пучков Э.П.	
<b>Проявление структурной наследственности в стали при термической обработке .....</b>	<b>- 45 -</b>
Студент гр. 104218 Сафонов М.Г. Научный руководитель – Пучков Э.П.	
<b>Основные виды радиационной повреждаемости конструкционных материалов.....</b>	<b>- 47 -</b>
Студент гр. 104218 Медведев А.Э. Научный руководитель – Пучков Э.П.	
<b>Исследование кинетики, фазового состава и свойств оксидных слоев на сталях, используемых для изготовления прошивных оправок.....</b>	<b>- 49 -</b>
Студент гр.104217 Копытко А.В., магистрант Удот А.Ю. Научный руководитель – Пучков Э.П.	

- Влияние химического состава расплава цинка на цинковые диффузионные слои..... - 51 -**  
 Студенты гр. 104217 Конон А.А., гр. 104219 Орда Д.В., Синькевич О.Л.  
 Научный руководитель – Вейник В.А.
- Использование концентрированных источников энергии для поверхностного  
 упрочнения деталей машин ..... - 52 -**  
 Студенты гр. 104518 Бакиновский А.А., гр. 104219 Марышева А.А.  
 Научный руководитель – Вейник В.А.
- Применение индукционного нагрева для термической обработки ..... - 54 -**  
 Студент гр. 104518 Бакиновский А.А.  
 Научный руководитель – Вейник В.А.
- Термическая обработка напыленных покрытий ..... - 55 -**  
 Студент гр.104217 Мороз М.С.  
 Научный руководитель – Соколов Ю.В.
- Роль разделительных покрытий моделей при формировании деталей напылением..... - 57 -**  
 Студент гр. 104217 Буланов А.В.  
 Научный руководитель – Соколов Ю.В.
- Восстановление деталей машин методом активированной дуговой металлизации  
 (АДМ) и последующей обработкой ионно-лучевым азотированием ..... - 57 -**  
 Студент гр.104217 Григорчик А.Н.  
 Научный руководитель – Кукареко В.А.

#### **Машины и технология литейного производства**

- Пористость отливок из алюминиевых сплавов при литье под давлением ..... - 62 -**  
 Студенты гр. 104317 Кузьмич В.Н., Сержан А.С.  
 Научный руководитель – Крутилин А.Н.
- Способ получения серого чугуна ..... - 63 -**  
 Студент гр. 104317 Завадский Д.Н.  
 Научный руководитель – Невар Н.Ф.
- Влияние борсодержащего сплава на коррозионную среду ..... - 64 -**  
 Студентка гр. 104317 Лабановская Н.В.  
 Научный руководитель – Невар Н.Ф.
- Область применения отливок из серого чугуна ..... - 66 -**  
 Студент гр. 104317 Сасункевич В.С.  
 Научный руководитель – Невар Н.Ф.
- Разработка технологии изготовления бронзовых вкладышей подшипников  
 торфобрикетных прессов методом центробежного литья ..... - 68 -**  
 Студенты гр. 104316 Лавышко П.С., Пашик Е.В.  
 Научный руководитель – Рудницкий Ф.И.

<b>Влияние наномодифицирования на структуру и свойства литой быстрорежущей стали .....</b>	<b>- 69 -</b>
Студенты гр. 104317 Егоренко А.В., гр.104318 Ермак А.Н. Научные руководители – Рудницкий Ф.И., Николайчик Ю.А.	
<b>Моделирование технологии изготовления отливки «Корпус».....</b>	<b>- 70 -</b>
Студент гр. 104317 Сержан А.С. Научный руководитель – Николайчик Ю.А.	
<b>Развитие системного подхода к управлению качеством.....</b>	<b>- 72 -</b>
Студенты гр.104318 Новик Д.А., Бобровник А.А. Научный руководитель – Соболев В.Ф.	
<b>Развитие системного подхода к управлению качеством.....</b>	<b>- 74 -</b>
Студенты гр.104318 Снигирь М.А., Соловей Г.А., гр. 104328 Пархимович Д.В. Научный руководитель – Соболев В.Ф.	
<b>Международные стандарты ИСО 9000 .....</b>	<b>- 75 -</b>
Студенты гр. 104318 Брагинец Д.А., гр. 104328 Ермакович А.С. Научный руководитель – Соболев В.Ф.	
<b>Изготовление выплавляемых (выжигаемых) моделей при помощи трехмерных принтеров .....</b>	<b>- 76 -</b>
Студентки гр. 104328 Гецман И.Ю., гр. 104310 Шапелевич И.А. Научный руководитель – Одиночко В.Ф.	
<b>Технология последовательного изготовления песчаных литейных форм и стержней.....</b>	<b>- 78 -</b>
Студенты гр 104328 Забавнюк А.А., гр. 104310 Заяц И.М. Научный руководитель – Одиночко В.Ф.	
<b>Создание мультимедийных проектов в среде AutoPlay .....</b>	<b>- 79 -</b>
Студентка гр. 104311 Кисько В.М. Научный руководитель – Одиночко В.Ф.	
<b>Методы конечных разностей конечных элементов в системах моделирования литейных процессов .....</b>	<b>- 81 -</b>
Студенты гр. 104319 Дингилевский С.П., Кобяков К.В. Научный руководитель – Чичко А.Н.	
<b>Проблемы кристаллизации широкоинтервальных сплавов .....</b>	<b>- 83 -</b>
Студент гр. 104319 Кобяков К.В. Научный руководитель – Чичко А.Н.	

## Машины и технология обработки металлов давлением

- Исследование процесса прокатки биметаллов для подшипников скольжения..... - 88 -**  
Студенты гр. 104418 Капаченя Е.В., гр. 104418 Ким Сан  
Научный руководитель – Белявин К.Е.
- Нагрев заготовок под штамповку в терморadiационных печах ..... - 88 -**  
Студенты гр. 104418 Хотянович Е.Н., гр. 104418 Польшко А.Г.  
Научный руководитель – Логачев М.В.
- Технология получения трубок малого диаметра из ленты ..... - 90 -**  
Студенты гр.104418 Польшко А.Г., гр.104418 Хотянович Е.Н.  
Научный руководитель – Логачёв М.В.
- Изготовление полых двухслойных изделий послойной комбинированной  
вытяжкой..... - 91 -**  
Студенты гр. 104418 Новик И.В., Соболев А.П., Степурко С.Б.  
Научный руководитель – Любимов В.И.
- Исследование процесса получения изделия холодной объемной штамповкой..... - 93 -**  
Студенты гр. 104418 Терещенко Н.М., Жерносеченко А.А., Сацкевич В.С.  
Научный руководитель – Шиманович О.А.
- Разработка технологии изготовления ножей кормоуборочной техники..... - 93 -**  
Студенты гр.104428 Хвин А.С., гр.104428 Петровский А.С.  
Научный руководитель – Давидович Л.М.
- Управление уширением полосы при прокатке..... - 95 -**  
Студенты гр.104428 Сидоренко С.М., Сачко Д.А.  
Научный руководитель – Исаевич Л.А.
- Применение сборных молотовых штампов в процессах горячей штамповки  
поковок..... - 96 -**  
Студенты гр.104428 Беть Е.О., Лесун А.Н, Манцивода А.Л.  
Научный руководитель – Карпицкий В.С.
- Технология изготовления рельефных полостей штампового инструмента ..... - 97 -**  
Студенты гр.104428 Шпилевский Д.А., Жучёк С.А.  
Научный руководитель – Кудин М.В.
- Исследование остаточных напряжений I рода при прокатке..... - 99 -**  
Студенты гр. 104428 Кардаш М.М., Павловский И.В., Табальчук А.С.  
Научный руководитель – Овчинников П.С.
- Анализ различных устройств и способов упрочнения полосовых заготовок  
поверхностным пластическим деформированием..... - 100 -**  
Студенты гр. 104428 Ванагель М.А., Раковец Е.А., Чернецкая А.В.  
Научный руководитель – Иваницкий Д.М.

## Металлургические процессы

- Метод конечных разностей для решения уравнения теплопроводности ..... - 106 -**  
Студент гр.104210 Чепаченко Ю.И.  
Научный руководитель – Трусова И.А.
- Энергосбережение. Энергетический баланс экономики Республики Беларусь ..... - 107 -**  
Студент гр. 104138 Кулинка С.С.  
Научный руководитель – Трусова И.А.
- Мировые цены на металлизированные окатыши и горячебрикетированное железо ..... - 108 -**  
Студент гр. 104138 Амельченя М.И.  
Научный руководитель – Трусова И.А.
- Конкурентоспособность продукции предприятия (на примере ОАО "МАЗ")..... - 109 -**  
Студент гр. 104138 Слижов Д.Ю.  
Научный руководитель – Трусова И.А.
- Использование рекуперативных и регенеративных горелок ..... - 109 -**  
Студент гр.104138 Соболевский В.В.  
Научный руководитель – Трусова И.А.
- Строительство и эксплуатация литейно прокатных модулей..... - 110 -**  
Студент гр.104138 Яковлев Б.Л.  
Научный руководитель – Трусова И.А.
- Производство титана..... - 111 -**  
Студент гр. 104138 Меркулов В.Г.  
Научный руководитель – Трусова И.А.
- Анализ цен на футеровочные материалы в металлургическом производстве ..... - 112 -**  
Студентка гр. 104138 Архипова Е.Е.  
Научный руководитель – Трусова И.А.
- Вторичные материальные ресурсы Республики Беларусь ..... - 113 -**  
Студент гр. 104138 Кравченко В.М.  
Научный руководитель – Трусова И.А.
- Динамика мировых цен на ферросплавы ..... - 114 -**  
Студентка гр. 104138 Ревенько Д.Л.  
Научный руководитель – Трусова И.А.
- Нормирование расхода топлива в промышленных печах..... - 115 -**  
Студент гр. 104138 Понетовский Е.С.  
Научный руководитель – Менделев Д.В.
- Мировой опыт строительства металлургических мини-заводов..... - 116 -**  
Студент гр. 104138 Садовский А.В.  
Научный руководитель – Румянцева Г.А.

- Мировые тенденции по использованию вторичных энергоресурсов в металлургии.... - 116 -**  
 Студент гр. 104138 Савченко А.И.  
 Научный руководитель – Румянцева Г.А.
- Производство металлокорда..... - 117 -**  
 Студент гр. 104138 Сорокин К.Б.  
 Научный руководитель – Ратников П.Э.
- Сравнительный анализ свойств металлов и композиционных материалов..... - 118 -**  
 Студент гр. 104138 Сенюк А.В.  
 Научный руководитель – Ратников П.Э.
- Возможности вакуумных технологий и их применение в современной металлургии... - 119 -**  
 Студент гр. 104139 Волошко П.В.  
 Научный руководитель – Ратников П.Э.
- Порошковые и композиционные материалы, покрытия и сварка**
- Методики и оборудование для исследования структуры и свойств порошковых  
 алюминиевых материалов ..... - 122 -**  
 Студентки гр.104617 Рахманько Е.Б., гр.104619 Колодинская Н.С.  
 Научные руководители – Тарусов И.Н., Керженцева Л.Ф.
- Разработать технологию изготовления синхронизирующих колец коробки  
 передач из низколегированной порошковой стали..... - 124 -**  
 Студент гр. 104617 Жариков Е.В.  
 Научный руководитель – Керженцева Л.Ф.
- Исследование влияния добавок высокомолекулярных соединений на  
 структуру и свойства порошкового железа ..... - 125 -**  
 Студент гр.104618 Сманцер Р.В.  
 Научные руководители – Дьячкова Л.Н., Керженцева Л.Ф.
- Получение порошков с нанесённым конденсатом для фильтрующих элементов..... - 127 -**  
 Студент гр. 104617 Антончик Д.И.  
 Научные руководители – Ковалевский В.Н., Жук А.Е.
- Конструирование и распыление комбинированных катодов..... - 128 -**  
 Студентка гр. 104618 Жарикова К.В.  
 Научный руководитель – Ковалевский В.Н.
- Особенности распыления комбинированных катодов и нанесения конденсата  
 на микропорошки ..... - 129 -**  
 Студент гр. 104617 Илюкевич А.И.  
 Научные руководители – Ковалевский В.Н., Григорьев С.В.

- Демпфирующие свойства высокопористых материалов на основе титана..... - 131 -**  
 Студент гр. 104619 Шарецкий А.В.  
 Научные руководители – Марукович А.И., Смoryго О.Л.
- Изучение некоторых технологических особенностей сварки плавлением стали 45 для получения равнопрочных сварных соединений..... - 133 -**  
 Студент гр. 104829 Снарский А.А.  
 Научный руководитель – Голубцова Е.С.
- Изучение структур, образующихся при сварке плавлением стали 45 в зоне термического влияния ..... - 134 -**  
 Студентка гр. 104829 Щавелева О.А.  
 Научный руководитель – Голубцова Е.С.
- Компьютерное моделирование структуры и свойств сварного соединения с помощью программы “SYSWELD”..... - 136 -**  
 Магистрант Галаев К.О.  
 Научный руководитель – Голубцова Е.С.
- Исследование влияния температуры на толщину цинкового покрытия при термодиффузионном насыщении в порошковой среде гартцинк –  $Al_2O_3$  ..... - 137 -**  
 Студенты гр. 104128 Бандарович Д.Н., гр. 104119 Комарова Т.Д.  
 Научные руководители – Урбанович Н.И., Басалай И.А.
- Установка для оптимизации технологических параметров получения ультрадисперсного порошка  $Al_2O_3$  золь-гель методом ..... - 139 -**  
 Студенты гр. 104119 Комарова Т.Д., гр. 104128 Бандарович Д.Н.  
 Научный руководитель – Комаров О.С.
- Методы получения порошков алмаза с помощью аппаратов высокого давления ..... - 141 -**  
 Аспирант Хвасько В.М.  
 Научный руководитель – Дудяк А.И.
- Применение комплекса LS-Дупа для моделирования процессов модифицирования поверхности с использованием высокоэнергетических источников ..... - 142 -**  
 Магистрант Поболь А.И.  
 Научный руководитель – Горанский Г.Г.
- Исследование физико-механических свойств конструкционных сталей после лазерного и электронно-лучевого воздействия..... - 144 -**  
 Магистрант Юревич С.В.  
 Научные руководители – Поболь И.Л., Олешук И.Г.
- Обработка древесностружечных плит хвостовыми фрезами с дополнительным движением вдоль режущей кромки лезвия с вакуумно-плазменным покрытием TiN ..... - 146 -**  
 Студенты 2- го курса, гр. 3<sup>А</sup> Канашевич В.В., Ильяшенко Е.О.  
 Научный руководитель – Рудак П.В.



**Стеклоармированные термопластичные полимеры в конструкциях колес транспортных средств..... - 149 -**  
Студент гр. 1 Купраш Е.А.  
Научный руководитель – Ставров В.П.

### **Охрана труда и промышленная безопасность**

**Обеспечение взрыво-, пожаробезопасности при эксплуатации печей с контролируруемыми атмосферами ..... - 152 -**  
Студент гр. 104217 Матеюк А.В.  
Научный руководитель – Киселева Т.Н.

**Оценка воздушной среды рабочих зон литейных цехов ..... - 153 -**  
Студенты гр. 104317 Астапенко Н.И., Печенко М.М.  
Научный руководитель – Лазаренков А.М.

**Освещение рабочих мест литейных цехов ..... - 154 -**  
Студенты гр. 104117 Буртыль Ю.Ф., Мокуха О.И.  
Научный руководитель – Лазаренков А.М.

**Аттестация рабочих мест электрогазосварщиков по условиям труда..... - 155 -**  
Студент гр. 104818 Подлипский С.Н.  
Научный руководитель – Данилко Б.М.

**Техника безопасности при обслуживании электрооборудования подстанций..... - 156 -**  
Студент гр. 106228 Чернецов Р.А.  
Научный руководитель – Мордик Е.В.

**Применение глушителей для снижения шума на энергетическом оборудовании..... - 158 -**  
Студент гр. 106328 Метелица Д.В.  
Научный руководитель – Филянович Л.П.

**О снижении вибрации энергетических установок ..... - 160 -**  
Студент гр. 106328 Алексевиц С.Т.  
Научный руководитель – Филянович Л.П.

**Условия труда в котлотурбинном цехе ..... - 162 -**  
Студентка гр. 106428 Махина С.А.  
Научный руководитель – Винерский С.Н.

**Функции и обязанности оперативно-выездной бригады по оперативному управлению объектами распределительной сети и подстанциями ..... - 164 -**  
Студенты гр. 106618 Баран А.А., Демешкевич Е.В.  
Научный руководитель – Винерский С.Н.

**Противопожарные обои ..... - 166 -**  
Студент гр. 111167 Моисеенко С.С.  
Научный руководитель – Ушакова И.Н.

- Современные технологии противопожарной защиты ..... - 167 -**  
 Студент гр. 110427 Ковшер М.А.  
 Научный руководитель – Вершеня Е.Г.
- Новые средства индивидуальной защиты в строительной сфере..... - 168 -**  
 Студент гр. 112119 Бегменов Б.О.  
 Научный руководитель – Вершеня Е.Г.
- Современные устройства эвакуации с высоты ..... - 170 -**  
 Студенты гр. 112159 Гусь О.В., Иванов А.Л.  
 Научный руководитель – Вершеня Е.Г.
- Система «Человек – машина – среда» ..... - 171 -**  
 Студент гр. 112127 Малашко А.М.  
 Научный руководитель – Журавков Н.М.
- Методы очистки вентиляционных выбросов ..... - 173 -**  
 Студенты гр.113418 Чакуков Р.Ф., Шаплыко Д.А.  
 Научный руководитель – Автушко Г.Л.
- Охрана труда при производстве технической керамики ..... - 173 -**  
 Студенты гр.113418 Беляева О.Д., Дрозд Л.А.  
 Научный руководитель – Автушко Г.Л.
- Охрана окружающей среды при производстве полимеров ..... - 174 -**  
 Студенты гр.113418 Беляева О.Д., Дрозд Л.А.  
 Научный руководитель – Автушко Г.Л.
- Проектирование цветовой отделки интерьера производственных помещений ..... - 175 -**  
 Студентка гр. 113538 Чайкова Л.Д.  
 Научный руководитель – Науменко А.М.
- Сравнение основных показателей в области освещения региональных  
и национальных стандартов..... - 177 -**  
 Студентка гр. 113538 Гиль Н.Н.  
 Научный руководитель – Науменко А.М.
- Вредное воздействие шума на организм человека и защита от него..... - 179 -**  
 Студенты гр. 113638 Сыроежкин А.А., Беланович В.В.  
 Научный руководитель – Яганова А.А.
- Об экологических проблемах при утилизации автомобильных аккумуляторов ..... - 180 -**  
 Студент 3 курса Литвинов Д.А.  
 Научный руководитель – Малашонок И.Е.

**Оценка качества косметических минеральных солей природного происхождения по анионному составу..... - 183 -**

Студентка ТОВ-III-9 Скробот Н.В.  
Научный руководитель – Савосько И.В.

**Применение методов статистического анализа для оценки профессионального риска..... - 185 -**

Студенты гр. 07-ИТ Сташевич Е.В., гр. 10-ХТ-2 Сергеева Е.В.  
Научный руководитель – Булавка Ю.А.

### **Химические технологии**

**Получение и исследование свойств наночастиц гидроксида магния..... - 190 -**

Студенты гр. 104110 Фурсевич Т.М., гр. 113611 Глинская Т.М.  
Научный руководитель – Меженцев А.А.

**Синтез высокодисперсных продуктов методом Печини..... - 191 -**

Студент гр. 104110 Джураев Т.Х.  
Научный руководитель – Яглов В.Н.

**Синтез  $\text{CeVO}_4$  под действием микроволнового излучения и по целлюлозной технологии..... - 192 -**

Студент гр. 104610 Щербо А.С.  
Научный руководитель – Яглов В.Н.

**Исследование процесса азотнокислотного разделения промышленных шламов на основе оксидов редкоземельных металлов цериевой группы ..... - 193 -**

Студент гр. 104110 Лопатин М.А.  
Научный руководитель – Горбунова В.А.

**Нетрадиционные методы получения наночастиц серебра ..... - 194 -**

Студент гр. 104110 Алампиев Р.О.  
Научные руководители – Шнып И.А., Лукьянова Р.С.

**Влияние добавки мелкодисперсного диоксида титана на кинетику водопоглощения бетона ..... - 195 -**

Студент гр. 104110 Свиридов С.А.  
Научный руководитель – Слепнева Л.М.

**Получение и применение нитридов и карбонитридов титана для наномодифицирования чугуна и литейных сплавов..... - 196 -**

Студенты гр. 104110 Лысаковский Г.А., гр. 101150 Шевченко А.А.  
Научный руководитель – Медведев Д.И.

**Влияние гидросульфоалюмината кальция на процесс твердения бетона ..... - 197 -**

Студент гр. 104111 Горбель И.А.  
Научный руководитель – Кречко Н.А.

- Кинетика легирования ваграночного чугуна за счет использования отработанных медно-магниевого катализаторов..... - 198 -**  
 Студент гр. 104119 Комарова Т.Д.  
 Научный руководитель – Проворова И.Б.
- Физико-химическое исследование нанодисперсных карбидов бора и кремния ..... - 200 -**  
 Студент гр. 104140 Заноско О.А.  
 Научный руководитель – Зык Н.В.
- Изучение возможности использования водных растворов серы для снижения водопоглощения изделий из бетона..... - 202 -**  
 Студент гр. 104210 Шевцов А.Ю.  
 Научный руководитель – Глушонок Г.К.
- Влияние гидросиликата кальция (CHS) на прочностные характеристики строительных материалов ..... - 203 -**  
 Студентка гр. 104211 Искандарова Д.О.  
 Научные руководители – Кирюшина Н.Г., Шагойко Ю.В.
- Применение золя оксида кремния для получения бетонов..... - 204 -**  
 Студент гр.104421 Загорский С.В.  
 Научный руководитель – Бурак Г.А.
- Модификация битумов продуктами переработки полиуретана ..... - 206 -**  
 Студенты гр. 104510 Шкляник Д.В., Гаврилюк Е.С.  
 Научный руководитель – Беляцкий В.Н.
- Повышение стойкости стальных дорнов термохимической обработкой и покрытием..... - 207 -**  
 Студент гр. 115211 Вишневский А.Э.  
 Научный руководитель – Горохов В.А.
- Очистка осветленной воды шламонакопителей станций обезжелезивания..... - 209 -**  
 Студенты 13 гр. – Андреева Н.А., Ковалец П.Н.  
 Научный руководитель – Романовский В.И.
- Исследование растворимости озона в воде с использованием каскадного турбоозонатора ..... - 210 -**  
 Студент 13 гр. – Куницкая И.Д.  
 Научный руководитель – Романовский В.И.
- Разработка составов масс для получения керамических огнеупорных материалов методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза СВС ..... - 212 -**  
 Студент гр. 9 Бабак А.А.  
 Научный руководитель – Дятлова Е.М.
- Получение алюмосиликатных огнеупоров с использованием каолина «Ситница» Республики Беларусь ..... - 214 -**  
 Студентка гр. 9 Гук Е.Л.  
 Научный руководитель – Дятлова Е.М.

- Расчёт оценки времени безотказной работы оборудования..... - 216 -**  
 Студент 2 гр., IV курса Васильев И.Л.  
 Научный руководитель – Савчук М.А.
- Керамические массы для производства плиток для внутренней облицовки стен ..... - 218 -**  
 Студентка гр.5–9 Гришкевич Н.Н.  
 Научный руководитель – Павлюкевич Ю.Г.
- Стекольный бой и проблемы его использования в производстве стеклотары..... - 219 -**  
 Студент к.5 гр.8 Гусак Ю.О.  
 Научный руководитель – Павлюкевич Ю.Г.
- Изучение систем «вода – ПАВ – бензол» рефрактометрическим методом..... - 221 -**  
 Студенты 8 гр. ф-та ТОВ Фирсова Л.Д., Грукалова Е.В.  
 Научные руководители – Эмелло Г.Г., Бондаренко Ж.В.
- Об использовании антиоксидантов в косметических эмульсиях, содержащих растительные масла ..... - 223 -**  
 Студент 8 гр. ф-та ТОВ Круглик В.В.  
 Научные руководители – Бондаренко Ж.В., Эмелло Г.Г.
- Пенообразующая способность препарата Genapol LRO в присутствии полиэтиленгликоля и сорбитола..... - 225 -**  
 Студент 8 гр. ф-та ТОВ Шилай А.Г.  
 Научные руководители – Бондаренко Ж.В., Эмелло Г.Г.
- Термоэлектрические свойства слоистых кобальтитов  $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_2$  ( $x = 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20$ ) ..... - 227 -**  
 Студентка 5 к.10 гр. факультета ХТиТ Дудко Н.С.  
 Научные руководители – Богомазова Н.В., Клындюк А.И.
- Синтез накладных стекол для изделий из свинцового хрусталя ..... - 229 -**  
 Студент к.5 гр.8 Ефремов К.А.  
 Научный руководитель – Терещенко И.М.
- Тонкое измельчение материалов в вертикальной центробежно-шаровой мельнице с динамическим воздушным классификатором..... - 231 -**  
 Студент гр. 3А, курса 5 Козлов П.С.  
 Научный руководитель – Боровский Д.Н.
- Разработка и исследование контактного устройства массообменного аппарата ..... - 233 -**  
 Студент гр.2 Колбик А.Н.  
 Научный руководитель – Мисюля Д.И.
- Применение соединений ряда 3-(фторарил)-3-кетозэфиров в синтезе замещенных азолов..... - 236 -**  
 Студент 6 гр. 3 к. ф-та ХТиТ Креч А.В.  
 Научный руководитель – Ковганко В.Н.

- Технология получения магнийсодержащих NPK удобрений..... - 237 -**  
 Студент гр. 6 Лось Е.Ф.  
 Научный руководитель – Гаврилюк А.Н.
- Разработка технологии получения сульфата магния с использованием республиканских магнийсодержащих месторождений ..... - 239 -**  
 Студент гр. 6 ф-та ХТиТ Мачула В.А.  
 Научный руководитель – Гаврилюк А.Н.
- Получение цинкового флюата для улучшения эксплуатационных свойств бетона..... - 240 -**  
 Студент 7 гр., 5 к., ф-та ХТиТ Миринский А.Ю.  
 Научный руководитель – Хотянович О.Е.
- Влияние  $V_2O_5$  на поглощение стекла в УФ части спектра..... - 242 -**  
 Студентка 5 курса 8 гр. Мисюля В.С.  
 Научный руководитель – Бобкова Н.М.
- Разработка материалов для создания светильников на основе светодиодов ..... - 245 -**  
 Студентка 5 курса 8 гр. Ярошевич И.Н.  
 Научный руководитель – Бобкова Н.М.
- Компьютеризация лабораторного практикума по аналитической химии ..... - 247 -**  
 Студент 9 гр. 3 к. ф-та ХТиТ Лубяко В.М.  
 Научный руководитель – Болвако А.К.
- Определения ионов тяжелых металлов в технологических средах методом инверсионной вольтамперометрии ..... - 248 -**  
 Студентки 9 гр. 3 к. ф-та ХТиТ Олехнович А.И., Фалалеева А.В.  
 Научный руководитель – Болвако А.К.
- Антикоррозионные пигменты на основе фосфатов..... - 249 -**  
 Студентка гр. 9 Павлова А.О.  
 Научный руководитель – Пищ И.В.
- Керамический кирпич объёмного окрашивания ..... - 251 -**  
 Студент гр.9 Шугаев О.И.  
 Научный руководитель – Пищ И.В.
- Использование материалов природного происхождения для очистки сточных вод от ионов некоторых металлов ..... - 253 -**  
 Студентка гр.3 курса 2 факультета ТОВ Пархимович А.Л.  
 Научный руководитель – Ашуйко В.А.
- Электродные стекла для рН метрических приборов..... - 255 -**  
 Студентка 5 курса 8 гр. Пройдина О.И.  
 Научный руководитель – Трусова Е.Е.

**Составы масс для получения майоликовых изделий с повышенными эксплуатационными характеристиками..... - 257 -**

Студентка гр. 9 Святохо О.М.  
Научный руководитель – Левицкий И.А.

**Ресурсосберегающая технология получения глазурных покрытий для декорирования плиток для полов..... - 259 -**

Студентка гр. 9 Шиманская А.Н.  
Научный руководитель – Левицкий И.А.

**Использование глицератных электролитов для электролитического нанесения сплавов медь-цинк..... - 261 -**

Студентка III курса 6 гр. ф-та ИЭФ Сугако А.П.  
Научный руководитель – Курило И.И.

**Использование древесной массы в композиции бумаги для печати ..... - 263 -**

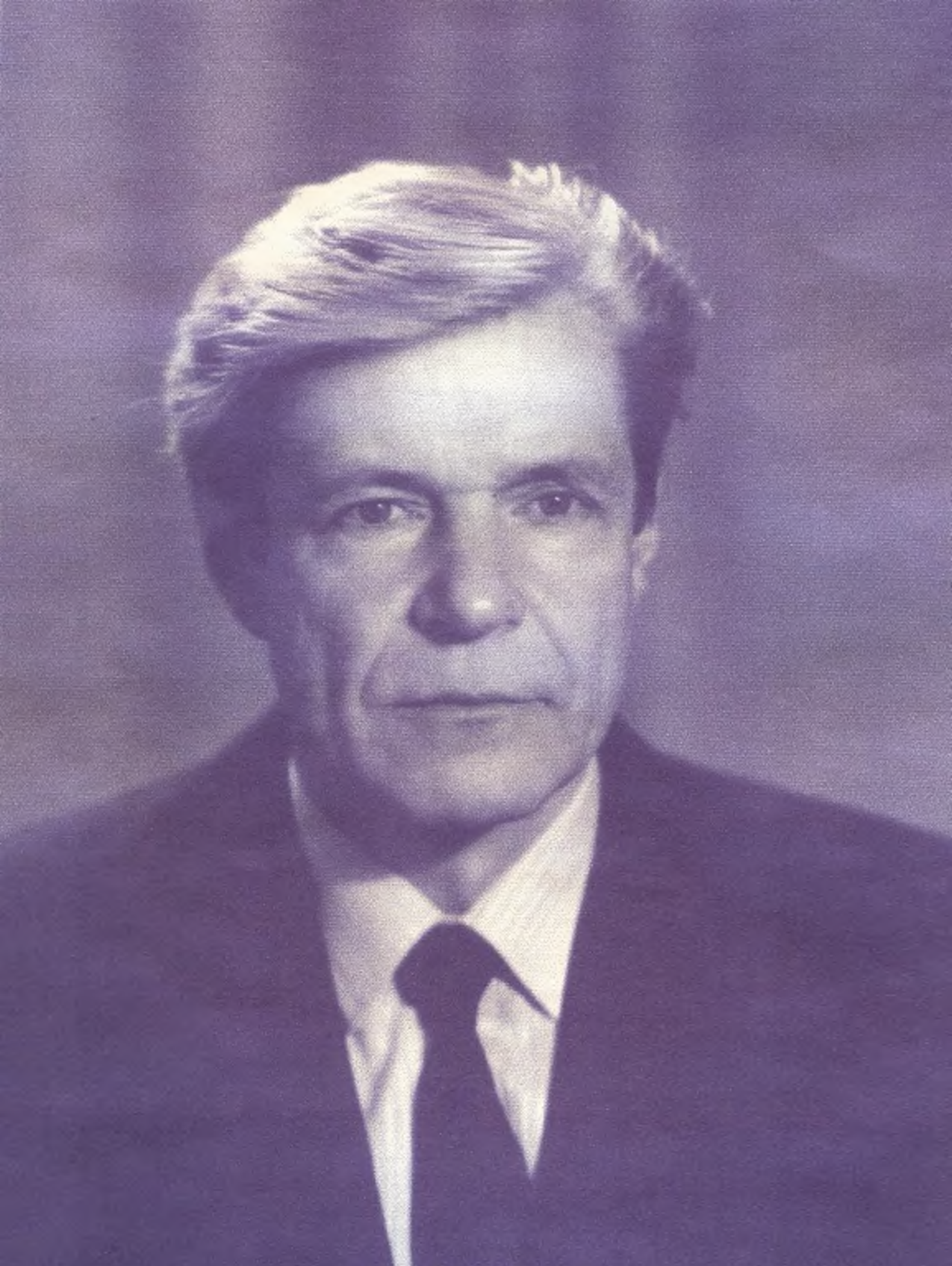
Студентки 5 курса 7 гр. Тимофеева Е.К., Русецкая А.Н.  
Научные руководители – Дубовик А.А., Соловьева Т.В.

**Разработка стекол для волоконной оптики..... - 266 -**

Студент 5 к., 8 гр. ХТиТ Янукевич Е.Н.  
Научный руководитель – Папко Л.Ф.

**Исследование влияния концентрации гидроксида натрия на выход веществ фенольной природы из коры сосны ..... - 268 -**

Студенты гр. 08-ХТ Писарева С.С., Попкова Л.А.  
Научные руководители – Якубовский С.Ф., Булавка Ю.А.



ПОСВЯЩАЕТСЯ

*памяти доктора технических наук, профессора*

**ТУТОВА Вадима Ивановича**