

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Механико-технологический факультет

## НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ

Сборник научных работ  
XVIII Республиканской студенческой научно-технической конференции

19–20 апреля 2017 года

Минск  
БНТУ  
2017

УДК 669 (082)  
ББК 34.3  
Н76

**ПРЕДСЕДАТЕЛЬ:**

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

**ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:**

**Немененок Б. М.**, д-р техн. наук, профессор;

**Белявин К. Е.**, д-р техн. наук, профессор;

**Константинов В. М.**, д-р техн. наук, профессор;

**Николайчик Ю. А.**, канд. техн. наук, доцент;

**Трусова И. А.**, д-р техн. наук, профессор;

**Лазаренков А. М.**, д-р техн. наук, профессор;

**Алексеев Ю. Г.**, канд. техн. наук, доцент;

**Бежок А. П.**, канд. техн. наук, доцент;

**Пантелеенко Ф. И.**, д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси;

**Яглов В. Н.**, д-р хим. наук, доцент.

**РАБОЧАЯ ГРУППА:**

**Слуцкий А. Г.**, канд. техн. наук, доцент;

**Любимов В. И.**, канд. техн. наук, доцент;

**Гольцова М. В.**, канд. техн. наук, доцент;

**Вейник В. А.**, ст. преподаватель;

**Одиночко В. Ф.**, канд. техн. наук, доцент;

**Науменко А. М.**, канд. техн. наук, доцент;

**Проворова И. Б.**, канд. техн. наук, доцент;

**Ратников П. Э.**, канд. техн. наук, доцент.

**ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ**

**Самусева А. И.**

**СЕКРЕТАРЬ РАБОЧЕЙ ГРУППЫ**

**Позняк О. А.**

В настоящий сборник включены материалы докладов XVIII Республиканской студенческой научно-технической конференции «Новые материалы и технологии их обработки», участники которой выступали по следующим направлениям: «Литейное производство черных и цветных металлов», «Материаловедение в машиностроении», «Машины и технология литейного производства», «Машины и технология обработки металлов давлением», «Металлургические технологии», «Порошковые и композиционные материалы, покрытия и сварка», «Химические технологии».

## 2017 – Год Белорусской науки

Дню белорусской науки было посвящено собрание в БНТУ, открывавшее XV Международную научно-техническую конференцию «Наука – образованию, производству, экономике».

В торжественной обстановке были подведены итоги профессиональной деятельности работников и структурных подразделений университета и вручены награды коллективам, работникам и обучающимся, достигших высоких показателей и внесших значительный вклад в научную деятельность по итогам 2016 года.

На механико-технологическом факультете победителями конкурсов стали:

«Лучший молодой ученый БНТУ» – Булойчик Илья Александрович, младший научный сотрудник НИЛ УСИ.

«Лучший аспирант» – Ковальчук Алексей Владимирович кафедра «Материаловедение в машиностроении».

«Лучший студент-исследователь 2016 года» – Кулинич Игорь Леонидович, кафедра «Металлургия литейных сплавов».

На факультете успешно функционируют 2 студенческих бюро «Сплав» и «Материаловедение» в которых работает 41 человек, в том числе 5 магистрантов.

С участием студентов и магистрантов было опубликовано 11 статей и 163 тезисов и докладов. По итогам Республиканского смотра-конкурса за 2016 год три студенческие работы удостоены первой категорией, две работы получили вторую категорию и восемь работ – третью категорию.

**Литейное  
производство  
черных и цветных  
металлов**



**Покровные утеплительные экзотермические смеси**

Студенты гр. 10405114: Кулик М. А., Позняк О. А., Жук К. А.

Магистрант: Самута С. В.

Научный руководитель: Барановский К. Э.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Современная промышленность требует использования в производстве деталей с повышенными эксплуатационными характеристиками, обеспечивающими надежность оборудования. Одним из направлений этого пути развития является повышение качества отливок. Применение современных литейных материалов, позволяет не только повысить качество самих отливок, но и уменьшить технологические затраты за счет увеличения выхода годных отливок, повысить конкурентно способности продукции на внутренних и зарубежных рынках. Такими литейными материалами являются экзотермические утеплительные смеси.

Экзотермические смеси могут использоваться в качестве присыпок на поверхность крупных открытых прибылей и в виде фасонных изделий (экзотермических вставок), которые могут быть изготовлены в виде оболочек, оформляющих полость прибыли, или вставок (цилиндров, конусов), закрепленных в форме

Покровные экзотермические утеплительные смеси для открытых прибылей позволяют резко снизить брак выпускаемых отливок по дефектам усадочного происхождения, таких как: усадочные раковины, усадочная пористость и т.д. Экзотермические смеси локально разогревают прибыльную часть отливки, увеличивая время её эффективной работы, что позволяет снизить объем самой прибыли.

Покровная экзотермическая смесь должна состоять из следующих материалов: 1) окисляемый компонент; 2) окислитель; 3) термостойкий наполнитель; 4) катализатор; 5) утеплитель.

В качестве базового состава для исследований, был выбран следующий состав покровной экзотермической смеси для открытых прибылей: алюминий (окисляемый компонент) – 20 %; термостойкий наполнитель + окислитель – 65 % (отход производства); селитра – 10 %; катализатор – 3 %; утеплитель – 2 %.

Для изучения теплофизических свойств (температуры горения, температуры воспламенения, скорости горения), как разработанной экзотермической смеси, так и импортных аналогов, была использована единая методика.

На стандартных образцах виде навески экзотермической смеси (массой 30 грамм) определялась максимальная температура горения, время работы и скорость разогрева экзотермической смеси. Образец (навеска) исследуемой смеси помещалась в шамото-графитный тигель, предварительно разогретый в печи до температуры в 950 °С.

Для снятия температурного режима в центр образца вводилась хромель-алюмелевая термопара в кварцевом наконечнике. Изменение температуры в образце по ходу его разогрева фиксировалось с помощью аппаратно-программного комплекса для термического анализа, включающий в себя анализатор и программную поддержку, обеспечивающую обработку полученных данных. По полученным зависимостям температура – время можно определить максимальную температуру горения, время работы (время нагрева + время охлаждения) и скорость разогрева смеси.

На рисунке 1 представлены термограммы экзотермической смеси импортного производства Ferro G (Германия) и разработанной экспериментальной экзотермической смеси.

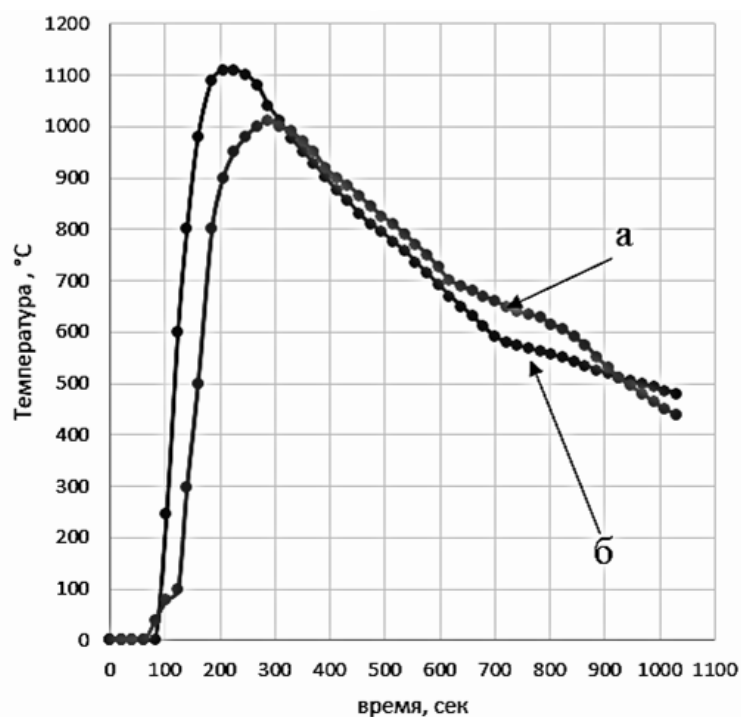


Рисунок 1 – Термограмма работы экзотермических смесей: немецкой термосмеси «Ferro G» (а) и смеси, разработанной БНТУ (б)

Из рисунка видно, что экзотермическая смесь разработки БНТУ не уступает немецкому аналогу, а по показателю максимальной температуры превосходит ее.

Проведенные исследования показали возможность создания экзотермических смесей не уступающим по своим характеристикам зарубежным аналогам. Разработанная экзотермическая смесь успешно прошла испытания на ОАО «Белоозерский энергомеханический завод».

Полученные экзотермические смеси могут корректироваться для изменения температурных и временных показателей работы, требуемых для различных условий использования экзотермических смесей.

УДК 669.187.25

### **Исследование состава рафинировочных шлаков при обработке стали 80К на установке «печь-ковш»**

Студенты гр. 10405114: Кулик М. А., Позняк О. А., Самусева А. И., Скируха А. С.  
Магистрант Горбель И. А.

Научные руководители – Неменёнок Б. М., Трибушевский А. В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В настоящее время одна из основных задач обработки стали на установке «печь-ковш» заключается в проведении глубокой десульфурации расплава в условиях, определяемых составом шлака, его количеством, интенсивностью перемешивания металла и шлака продолжительностью обработки и порядком осуществления операций [1]. Для глубокой десульфурации металла необходимо обеспечить высокую основность ковшового шлака и низкое содержание оксидов железа при интенсивной продувке металла аргоном.

По данным Д. А. Дюкина с соавторами [2], оптимальный состав шлака в конце рафинирующей обработки на установке «печь-ковш» должен быть следующим, %:

58 – 58 CaO; 8 – 10 SiO<sub>2</sub>; 6 – 8 MgO; 20 – 25 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; <0,5 FeO; 0,13 – 0,15MnO. На практике шлак такого состава называют «белым» из-за светлого цвета, который бывает при низком содержании FeO. При обеспечении «белого» шлака степень десульфурации металла достигает 70 – 85 % [1].

Исследование составов рафинировочных шлаков при обработке стали 80К на установке «печь-ковш» на Белорусском металлургическом заводе свидетельствует о их значительном разбросе. Так, содержание SiO<sub>2</sub> изменяется от 15,1 до 56,6 %, CaO от 25,7 до 66,0 %, MgO от 1,94 до 11,89 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 1,18 до 4,24 %, FeO от 0,01 до 3,9 %, MnO от 0,01 до 5,21 %.

Результаты статистической обработки составов рафинировочного шлака для стали 80К приведены на рисунках 1 – 8.

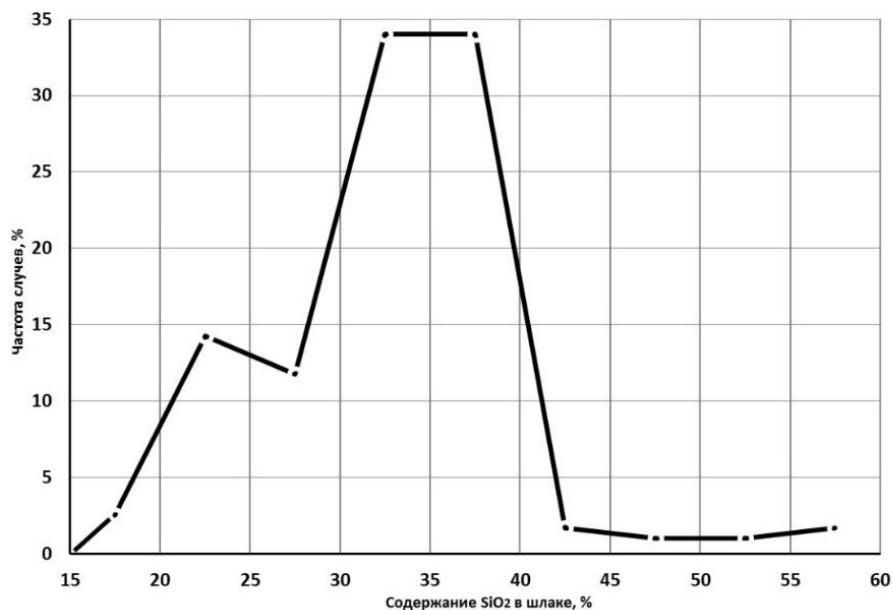


Рисунок 1 – Частотная кривая изменения содержания SiO<sub>2</sub> в рафинировочных шлаках для стали 80К

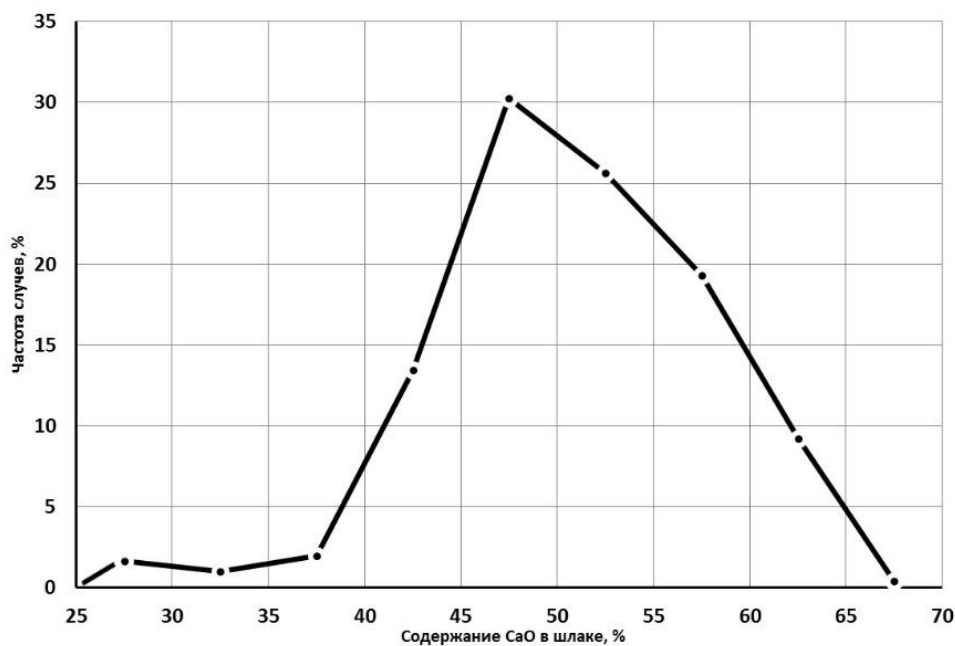


Рисунок 2 – Частотная кривая изменения содержания CaO в рафинировочных шлаках для стали 80К

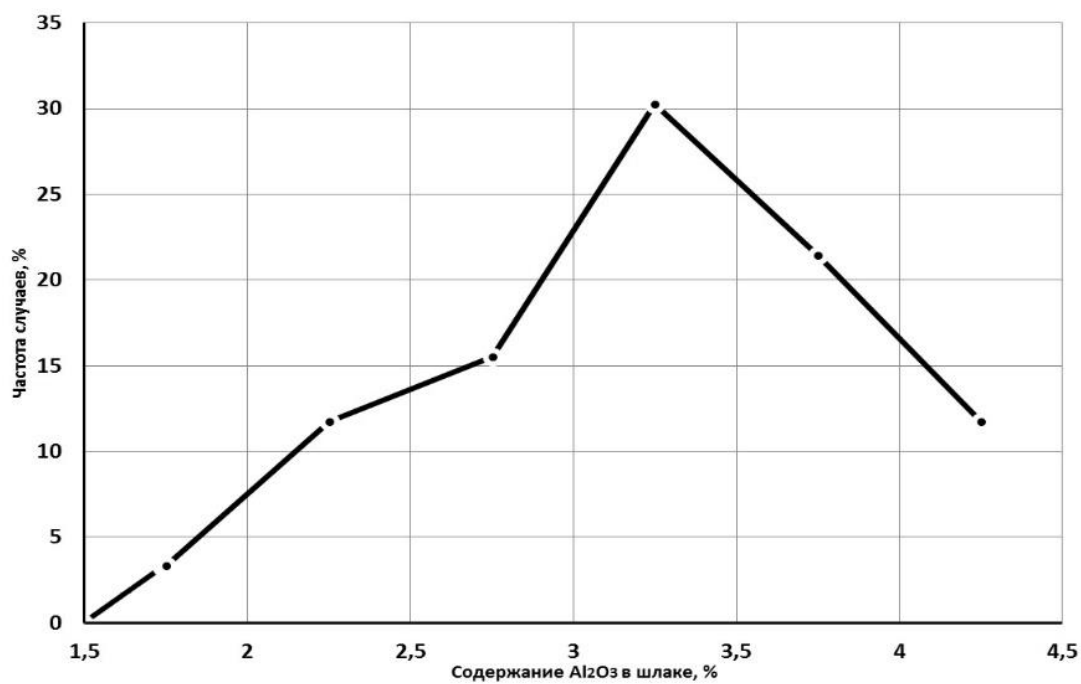


Рисунок 3 – Частотная кривая изменения содержания  $Al_2O_3$  в рафинировочных шлаках для стали 80К

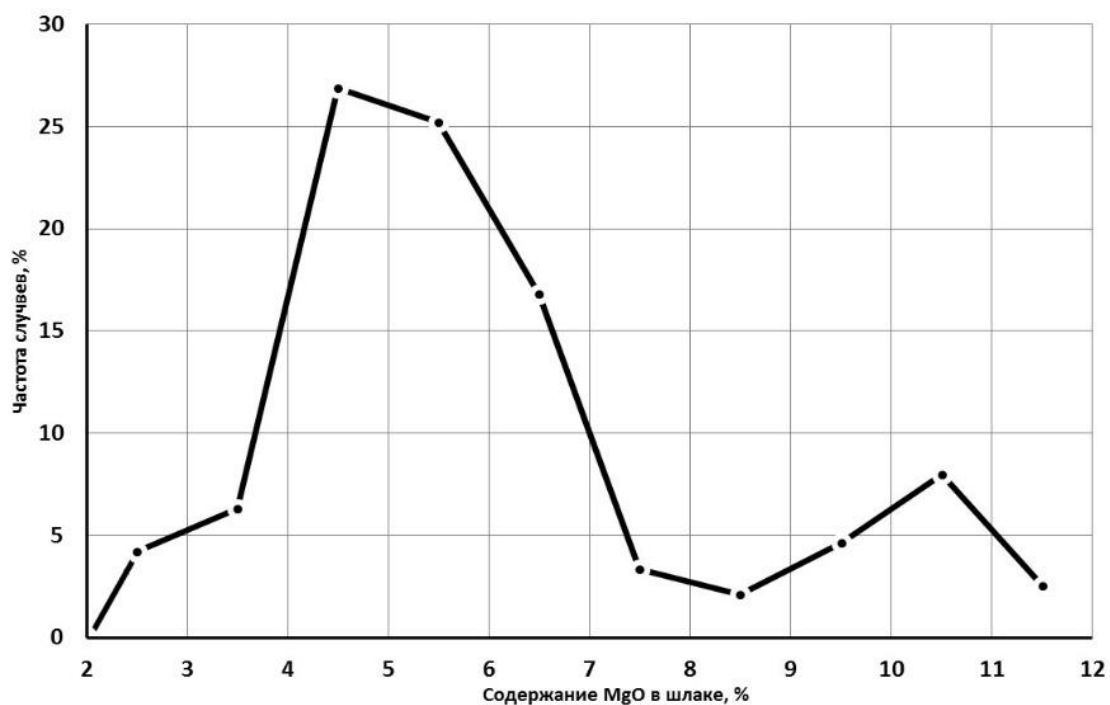


Рисунок 4 – Частотная кривая изменения содержания  $MgO$  в рафинировочных шлаках для стали 80К

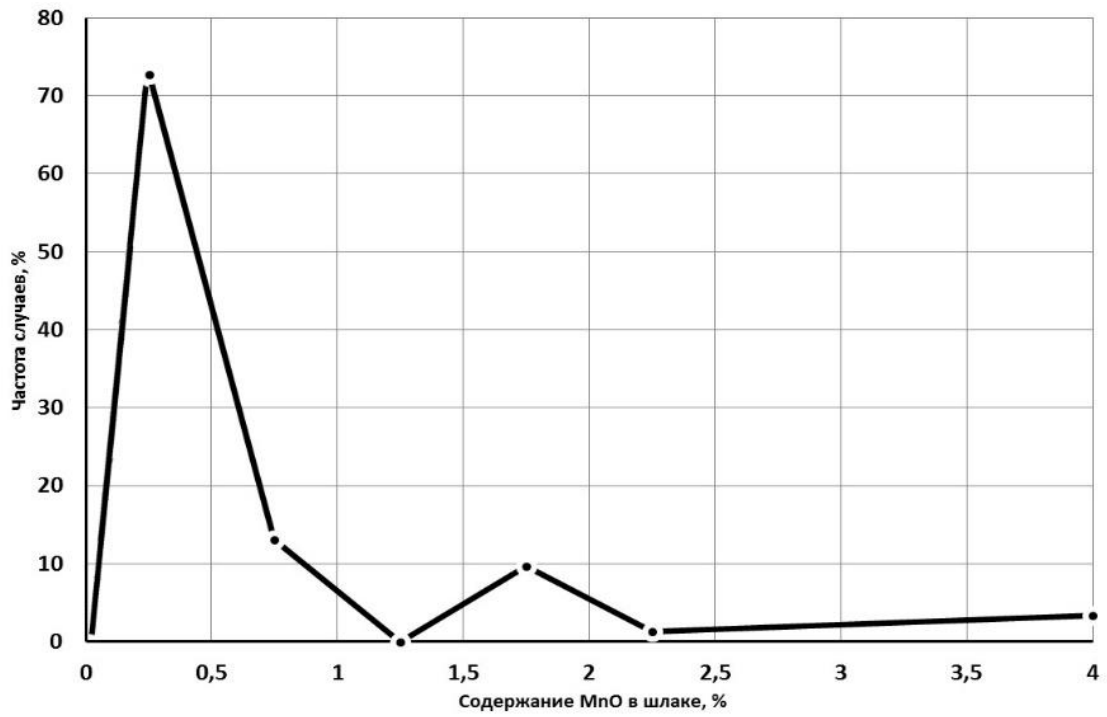


Рисунок 5 – Частотная кривая изменения содержания MnO в рафинировочных шлаках для стали 80К

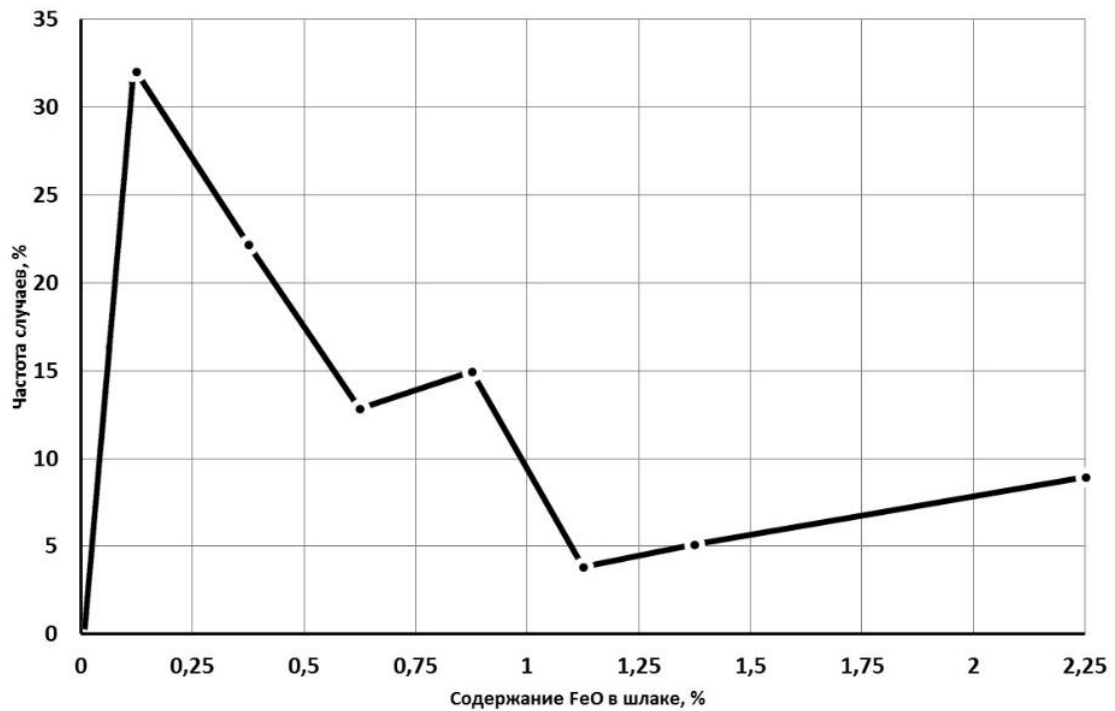


Рисунок 6 – Частотная кривая изменения содержания FeO в рафинировочных шлаках для стали 80К

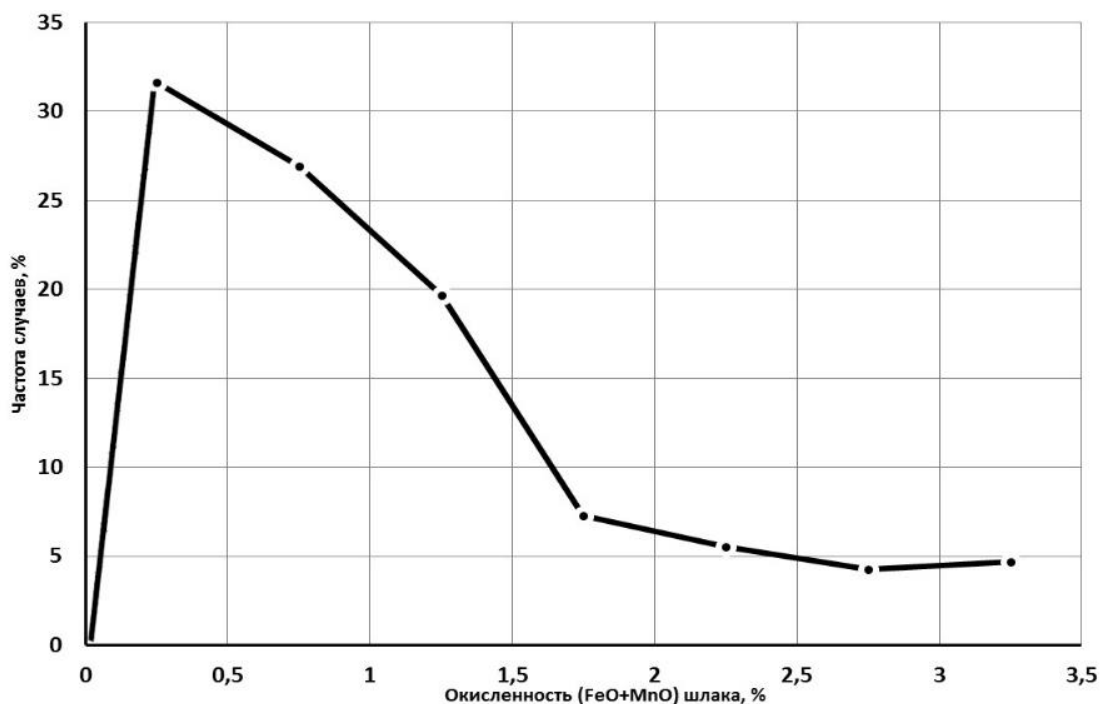


Рисунок 7. Частотная кривая изменения окисленности (FeO+MnO) рафинировочного шлака для стали 80К

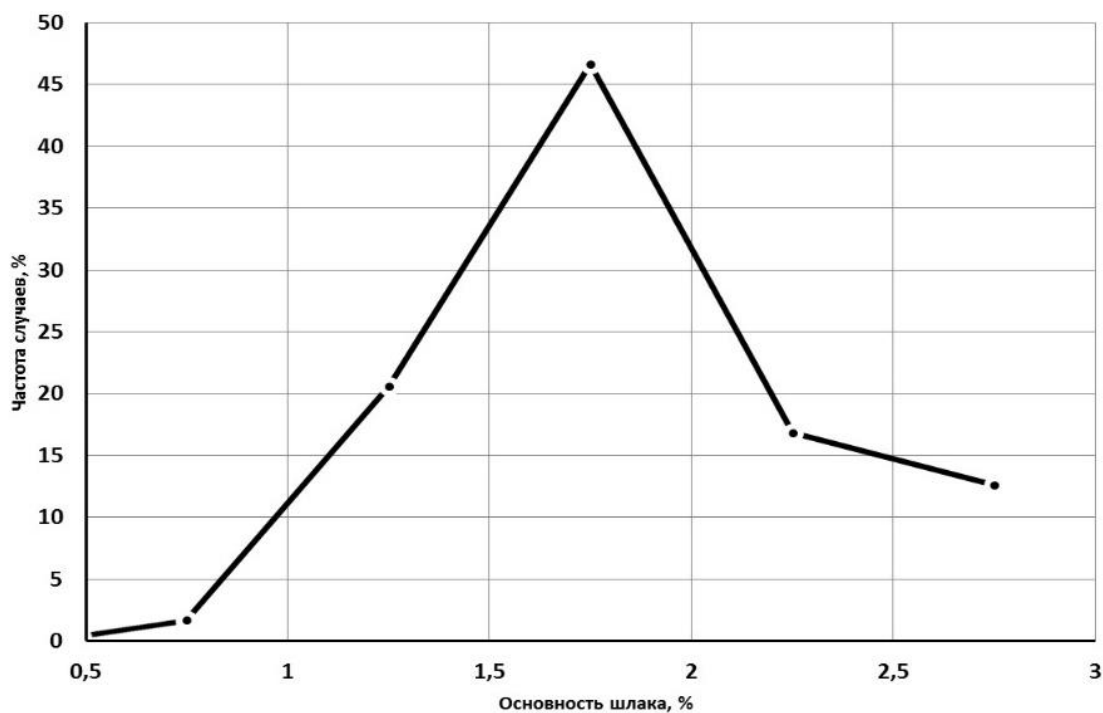


Рисунок 8 – Частотная кривая изменения основности рафинировочного шлака для стали 80К

Из анализа рисунка 1 следует, что содержание  $\text{SiO}_2$  в шлаках подчиняется закону нормального распределения за исключением интервала 25,0–30,0 %. При этом максимальное количество случаев приходится на содержание  $\text{SiO}_2$  – 30,0–40,0 %, что намного превышает оптимальную концентрацию  $\text{SiO}_2$  для рафинировочных шлаков [2]. Учитывая, что футеровка сталеплавильного ковша основная, то превышение в рафинировочных шлаках оптимальных концентраций  $\text{SiO}_2$  может приводить к взаимодействию с MgO футеровки и вызывать ее коррозию в зоне шлакового пояса.

Распределение содержания СаО в рафинировочных шлаках (рисунок 2) полностью подчиняется закону нормального распределения и наибольшее количество случаев приходится на диапазон концентраций 45,0–55,0 %, что ниже рекомендуемых в работе [2].

Как следует из рисунка 3 распределение концентраций  $Al_2O_3$  в рафинировочных шлаках также подчиняется закону нормального распределения с преобладающим количеством случаев в интервале 2,5–4,0 %. Такая низкая концентрация  $Al_2O_3$  в рафинировочных шлаках объясняется спецификой производства кордовой стали из-за опасности ее загрязнения трудно деформируемыми включениями корунда. Этим, очевидно, можно объяснить отличие в 5–6 раз от оптимального содержания данного оксида в рафинировочных шлаках.

В отношении распределения MgO (рисунок 4), следует отметить, что в интервале концентрации 2,0–9,0 % оно подчиняется закону нормального распределения, но при этом максимальное количество случаев приходится на концентрацию 4,0–6,0 %, что ниже оптимальных значений. Следует отметить, что оксид магния повышает вязкость шлаков, что ухудшает десульфурацию, но замедляет процесс растворения футеровки ковша в зоне шлакового пояса [3].

Относительно распределения MnO в рафинировочных шлаках (рисунок 5), можно отметить, что в подавляющем большинстве случаев (более 72 %) содержание MnO не превышает 0,5 %. Вместе с тем, ряд составов шлаков (около 15 %) имеют содержание оксида марганца от 1,0 до 4,0 %. Почти такая же зависимость наблюдается и в отношении содержания в шлаке FeO (рисунок 6). Примерно 55% составов шлаков содержит FeO в пределах от 0,01 до 0,5 %. При этом встречаются составы шлаков с концентрацией FeO от 0,5 до 1,5 % (около 37 % случаев) и около 10 % шлаков содержат более 2,0 % FeO, что свидетельствует о плохой раскисленности рафинировочного шлака и значительно превышает оптимальное содержание FeO [2].

Подобная зависимость, только без резких колебаний, сохраняется и в отношении окисленности рафинировочного шлака (рисунок 7). Максимально допустимая концентрация (FeO + MnO) в оптимальном составе рафинировочного шлака не должна превышать 0,65 % [2]. Таким требованиям соответствует только около 60 % составов шлаков, а все остальные характеризуются окисленностью от 1,0 до 3,25 %.

Частотная кривая по распределению основности шлака практически соответствует закону нормального распределения с максимальным количеством случаев (около 45 %), приходящихся на основность 1,75. Для оптимального состава рафинировочного шлака основность составляет более 2,0 [2]. Такие колебания по содержанию основных компонентов шлака сказываются на стабильности процессов раскисления и десульфурации стали, ее загрязненности неметаллическими включениями и стойкости футеровки сталеразливочного ковша в зоне шлакового пояса.

Проведенный анализ составов рафинировочных шлаков выявил существенные отклонения в его составе от оптимальных значений. Поэтому необходимо обратить внимание на операцию по диффузионному раскисления шлака с целью минимизации содержания в нём оксидов железа и марганца.

#### Список использованных источников

1. Процессы десульфурации в агрегате печь-ковш с полыми электродами / Е. Б. Агапитов [и др.] // Сталь. – 2008. – №8. – С.37 – 40.
2. Производство стали на агрегате ковш-печь / Д. А. Дюкин [и др.] – Донецк: ООО «Юго-Восток, ЛТД», 2003. – 300с.
3. Магнезиальные флюсы и особенности их использования при плавке стали / Г. А. Румянцева [и др.]. // Металлургия. Республиканский межвед. сборник научных тр. – Минск: БНТУ, 2016. – №37. – С.31–37.

**Форма экзотермических вставок и способы их установки в литейную форму**

Студент гр. 10405113 Мурашко И. А.

Научные руководители – Довнар Г. В., Долгий Л. П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Экзотермические смеси – порошки, производящие экзотермическую реакцию (химический процесс восстановления металлов из оксидов алюминием с выделением большого количества тепла) при контакте с жидким металлом в прибыли. Действие экзотермически смесей, включающее подогрев металла в прибыли и увеличение времени воздействия атмосферного давления на жидкий металл способствует повышению эффективности работы прибыли и предотвращает образованию вторичных усадочных раковин.

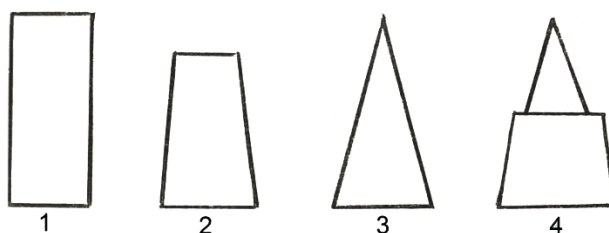


Рисунок 1 – Форма экзотермических вставок:

1 – цилиндр; 2 – усеченный конус; 3 – конус; 4 – конус + усеченный конус

Экзотермические смеси могут использоваться как в виде присыпок на поверхность крупных открытых прибылей, так и в виде фасонных изделий (экзотермических вставок), которые могут быть изготовлены в виде оболочек, оформляющих полость прибыли, а также отдельных вставок в виде цилиндров и конусов.

Экзотермические вставки предназначены для использования в литниково-питающих системах при производстве стального и чугунного литья с температурой заливки от 1400 до 1700 °С. Цель применения – устранение брака литья по дефектам усадочного характера, снижение металлоёмкости прибылей на 20–40 % и, соответственно, увеличение выхода годного литья. Цель достигается путем местного разогрева жидкого металла (до 2000 °С), что замедляет процесс затвердевания расплава в прибыльной части литниковой системы, и создания дополнительного газового давления на металл в зоне экзотермической реакции.

Наряду с составами экзотермических смесей не менее важное влияние на эффективность работы прибыли оказывает конфигурация экзотермических вставок и варианты их установок в форме.

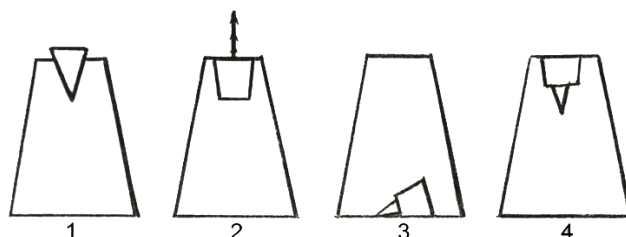


Рисунок 2 – Варианты установки экзотермических вставок в прибыли:

1 – частично заформованная; 2 – закрепленная; 3 – всплывающая;  
4 – всплывающая в залитой прибыли

В данной работе опробовано четыре варианта конфигурации экзотермической вставки: цилиндр; усеченный конус; конус; усеченный конус, совмещенный с конусом



(рисунок 1), а также три варианта установки их в литейной форме: частично заформованная; прикрепленная к верху прибыли; всплывающая (рисунки 2 и 3).

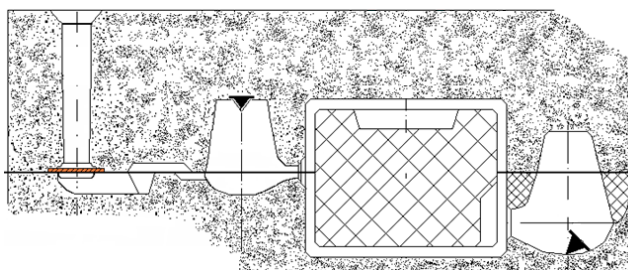


Рисунок 3 – Форма в сборе с установленными прибылями

Оценивая результаты проведенных испытаний наиболее эффективно работающими вариантами можно считать конус, прикрепленный к верхней полости прибыли и всплывающий вариант совмещенной формы (усеченный конус + конус). Совмещенный вариант позволяет максимально упростить процесс установки вставок в форму.

Исходя из требований технологического процесса формовки и сборки форм, наиболее простым и эффективным способом установки экзотермических вставок в форму является простановка всплывающих вставок в нижнюю полуформу перед их сборкой для заливки.

Использование дополнительного обогрева прибыли экзотермической смесью позволяет уменьшить расход металла на прибыли на 20–50 %.

#### Список использованных источников

1. Справник, В. И., Выгоднер, Л. Ф. Обогрев прибылей отливок экзотермическими смесями. – М.: Машиностроение, 1981. – 104 с.
2. Новохацкий, В. А., Жуков, А. А., Макарычев, Ю. И. Малоотходная технология производства отливок с экзотермическими прибылями. – М.: Машиностроение, 1986. – 64 с.
3. Рыжиков, А. А., Фокин, В. И., Орлов, Л. А. Организация питания отливок легкоотделяемыми прибылями. – Литейное производство, 1989, №1, с.12–13.

УДК 621.7

#### Оптимизации технологии изготовления отливки «Корпус насоса» с использованием имитационного моделирования литейных процессов

Студент гр.10405112 Матюшенко С. А.  
Научный руководитель – Лущик П. Е.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

По условиям эксплуатации комплектующие детали центробежных насосов делятся на подвижные (вращающиеся), например, вал с расположенными на нем рабочими колесами (ротор), и неподвижные – корпусные элементы, внутри которых располагается ротор.

Корпуса центробежных насосов работают под высоким внутренним давлением, которое достигает сотен атмосфер. Кроме того, они воспринимают и часть нагрузок, возникающих при вращении ротора. В настоящей работе описан комплекс проведенных мероприятий, направленных на повышение качества корпусных деталей, которые представляют собой отливку, наружная поверхность которой оформляется стенками литейной формы, а внутренняя – песчаным стержнем.

В качестве материала для изготовления корпусов был выбран доэвтектический силумин, который характеризуется высокими технологическими и физико-механическими характеристиками, гарантирующими надежность их работы в сложно-нагруженных условиях эксплуатации. Одной из проблем, связанных с литьем деталей из алюминиевых сплавов, в

том числе и из алюминиево-кремниевых сплавов, является газовая пористость, образующаяся вследствие насыщения расплава водородом из атмосферы и водородосодержащих соединений (формовочная смесь, шихтовые материалы, рафинирующие средства, футеровка печных агрегатов и др.).

Поры, образующиеся в процессе кристаллизации, ослабляют сечение отливок, снижая эксплуатационные характеристики изделия, например, герметичность – важнейшую характеристику корпусов центробежных насосов. Даже минимальные отличия плотности сплава оказывают достаточно ощутимое влияние на уровень механических свойств отливок.

На практике существует множество способов борьбы с газовой пористостью в алюминиевых сплавах, такие, например, как продувка хлором или азотом, вакуумирование, обработка током, ультразвуком и др. В данной работе дегазацию расплава производили гексахлорэтаном. Для снижения газовой пористости в отливках, анализируемых в настоящей работе, использовали обработку расплава экспериментальным экологически безвредным многофункциональным таблетированным препаратом для объемного рафинирования расплавов на основе алюминия, обеспечивающим удаление неметаллических включений и газов за счет протекания адсорбционно-флотационных процессов, создание покровно-защитного слоя на зеркале расплава и защитной печной атмосферы, снижение потерь металла со шлаком. Рафинирующий газ – азот. Расход: 0,05 % от массы расплава. Способ ввода: при помощи погружного «колокольчика».

Кроме газовой пористости в отливках из алюминиевых сплавов могут возникнуть дефекты в виде усадочных раковин и усадочной пористости, присутствующие в виде рассеянных или сосредоточенных пустот, что связано с недостатком питания жидким металлом затвердевающей отливки. При этом в усадочные пустоты может выделяться и присутствующий в жидком металле водород, образуя так называемые газовой-усадочные пустоты.

Для изготовления надлежащего качества отливок «Корпус насоса» путем обеспечения направленной кристаллизации металла в форме, в настоящей работе было проведено компьютерное моделирование процесса образования усадочной пористости в отливке «Корпус насоса». Для этого на основании имеющейся электронной модели отливки был проведен численный анализ затвердевания отливки в форме. Результаты численного анализа представлены на рисунке 1.

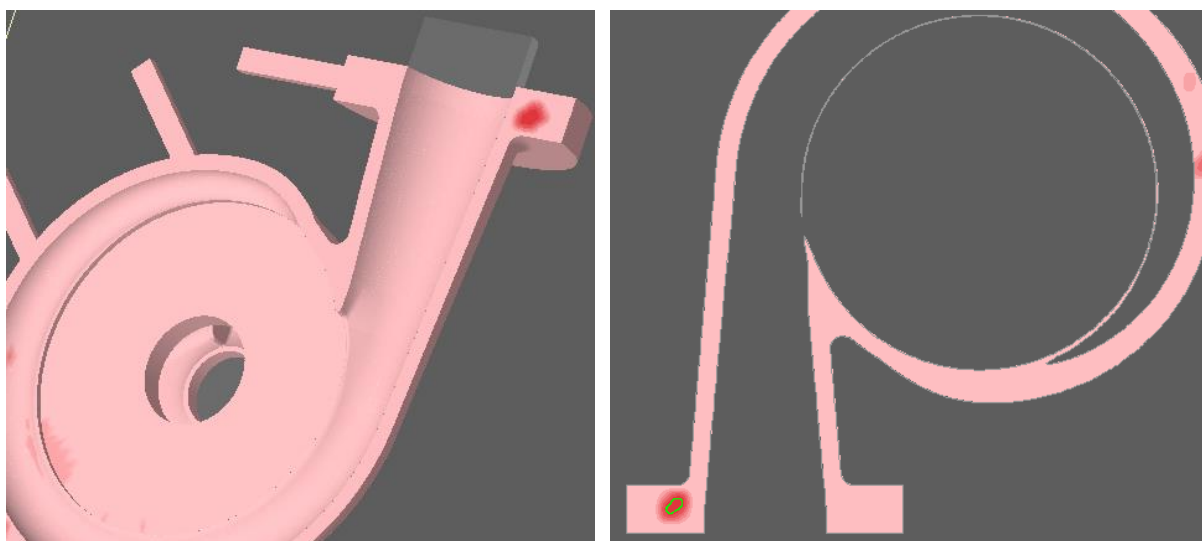


Рисунок 1 – Усадочные дефекты в отливке «Корпус насоса» (сечение)

Как видно из рисунка 1 в отливке после затвердевания, в области выходного канала, а также в зоне подвода питания имеются зоны образования усадочной пористости, что согласуется с реальной картиной брака (рисунок 2). Исходя из полученных результатов

была проведена оптимизация литниково-питающей системы, в ходе которой был изменен характер подвода металла и увеличено количество питателей на основании чего была скорректирована модельная оснастка.



Рисунок 2 – Усадочная пористость в зоне подвода питания.

По доработанной оснастке были изготовлены литейные формы с использованием в качестве связующего жидкое стекло и стержни из холодно-твердеющей смеси.

Полученные формы покрывались специально подобранным составом противопригарного покрытия на основе оксида железа и заливались предварительно обработанным расплавом алюминий-кремниевое сплава марки АК5М2. Расплав, кроме дегазирующей обработки, дополнительно подвергался модифицированию натрийсодержащим флюсом.

Отливки, после выбивки из формы и удаления литниково-питающей системы (рисунок 3) подвергали визуальному осмотру на предмет выявления дефектов.



Рисунок 3 – Отливка «Корпус насоса»

В результате выполнения ряда мероприятий, которые заключаются в обработке расплава, корректировке литниково-питающей системы, подбору противопригарного покрытия формы и др., было создано направленное затвердевание металла в форме при литье корпусов центробежных насосов из доэвтектического силумина, что привело к повышению качества и уменьшению количества забракованных деталей.

Компьютерное моделирование нескольких вариантов технологии литья отливки «Корпус насоса» с использованием выбранных материалов позволило существенно сократить брак по усадочным дефектам и получить отливки требуемого качества.

УДК 621.74.043.2

### **Разделительные покрытия пресс-форм литья под давлением алюминиевых сплавов**

Студент гр.10405113 Бичан А. Н.  
Научный руководитель – Михальцов А. М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Современные разделительные покрытия для пресс-форм ЛПД должны отвечать целому ряду требований, основными из которых являются высокая термическая стойкость и смазывающая способность, низкая газотворность. Поэтому до недавнего времени в качестве основного компонента разделительных покрытий для пресс-форм ЛПД использовали тяжелые минеральные масла.

В настоящее время появились смазывающие материалы, которые представляют повышенный интерес с точки зрения их использования при разработке новых составов разделительных покрытий. К таким материалам следует отнести в первую очередь кремнийорганические соединения. Наибольший интерес среди них представляют силиконовые жидкости типа ПМС (полиметилсилоксановые жидкости). Их свойства обусловлены сочетанием высокой теплостойкости кремния и эластичности органических полимеров.

В настоящей работе выполнена сравнительная оценка разделительных свойств масляных компонентов (ГФК, фус, жирные кислоты, растительное масло соапсток) и ПМС300.

Результаты проведенных исследований показали, что в качестве основы разделительных покрытий при разработке состава вододисперсионного разделительного покрытия целесообразно использовать кремнийорганическую жидкость ПМС300 и соапсток.

Полученные результаты послужили основой при разработке состава современного разделительного покрытия пресс-форм литья под давлением алюминиевых сплавов.

УДК 669.054.82

### **К проблеме комплексной переработки сталеплавильных шлаков**

Магистрант Семенец И. Б.  
Студенты: гр. 10405113 Горленко Е. С., Вавилов Н. А.;  
гр. 104112 Прокопчук Д. А.  
Научный руководитель – Немененок Б. М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Наиболее крупнотоннажными отходами, образующимися при производстве стали, являются сталеплавильные шлаки, состоящие из печных и рафинировочных. При выплавке 1 тонны стали в электродуговых печах образуется 150–200 кг сталеплавильных шлаков, из которых около 95 % приходится на долю печных шлаков, содержащих до 10 % чистого металла в виде корольков, настылей и 15–40 % оксидов железа. Общее количество железа в шлаках, которое можно извлечь, составляет 20–30 % от массы шлака.

Следует учитывать, что значительная доля металла, присутствующего в шлаках в виде оксидов FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, при переработке шлаков в строительный щебень не извлекается и в ряде случаев служит ограничением для такой переработки. Например, суммарное содержание оксидов железа и марганца в щебне и песке из сталеплавильных шлаков для производства бетона не должно превышать 3 масс. %. Кроме того, переработка сталеплавильных шлаков из отвалов по существующей технологии представляет собой трудоемкий и энергозатратный

процесс, требующий использования огромных площадей, занимаемых отвалами и дробильно-сортировочными комплексами; высоких энергетических, трудовых и временных затрат при низкой степени извлечения металла и полной потере оксидного железа.

Вместе с тем, существует потенциальная возможность значительного снижения энергозатрат на переработку шлаков с возвращением в передел до 90 % металла из шлака. Сотрудниками ЦНИИЧермет им. И. П. Бардина предложена схема комплексной переработки сталеплавильных шлаков, предусматривающая установку за дуговой сталеплавильной печью агрегата комплексной обработки шлака, в котором используется тепло шлакового расплава и реализуется доизвлечение металла путем жидкофазного восстановления оксидов и осаждения королек металла. В качестве агрегатов жидкофазного восстановления пригодны установки ZEWA, РОМЕЛТ, МАГМА с использованием дешевых углеродосодержащих материалов (бурых углей и отходов углеобогащения). Жидкий шлак, после восстановления оксидов железа, сливается в барабанный кристаллизатор, где происходит его намораживание на поверхность металлических шаров, с получением кондиционного инертного наполнителя для дорожных покрытий.

Важнейшим преимуществом предлагаемой схемы комплексной переработки шлаков является совмещение оборудования и технологии с разливкой и затвердеванием, получаемых в агрегате комплексной обработки шлака, расплавов шлака и металла, и последующей выработкой кондиционной продукции для нужд строительства и металлургии. Реализация такой технологии позволит исключить выделение новых площадей под шлаковые отвалы, на 90 % извлечь металлическое железо и вернуть в производство от 5 до 21 кг скрапа на тонну стали, организовать замещение до 10 кг извести на тонну стали, благодаря использованию стабилизированных рафинированных шлаков и осушить производство качественного строительного щебня.

УДК 669.715

### **Особенности использования программ моделирования тепло-технологических процессов при непрерывной разливке стали**

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

Моделирование является методом опосредованного познания. Изучение свойств объекта моделирования путем анализа аналогичных свойств его модели представляет собой процесс моделирования. Если результаты моделирования могут служить основой для прогнозирования процессов, протекающих в исследуемых объектах, то модель адекватна объекту. Адекватность модели зависит от цели моделирования и принятых критериев.

Проектирование и отработка современных средств автоматизации технологических процессов, отдельных узлов и блоков, связаны с теоретическими расчетами и исследованиями. Расчеты проводятся с использованием вычислительных средств (компьютеров).

При этом обычно выполняются следующие этапы:

1. Физическая постановка задачи.
2. Поиск, выбор или модификация некоторой математической
3. Разработка, выбор или модификация математического (аналитического, приближено-аналитического или численного) метода.
4. Составление алгоритма.
5. Разработка программного обеспечения.
6. Решение задачи.

Бурное развитие компьютерной техники и применение математического моделирования в литейной промышленности привело к появлению большого числа программ,



посредством которых более или менее успешно решаются задачи, с которыми литейщики сталкиваются в повседневной практике.

На сегодня в мире насчитывается более десяти систем автоматизированного моделирования литейных процессов (САМ ЛП). Специалистам хорошо известны немецкая программа Magma и американская Procast, в этом же ряду нужно упомянуть американскую SolidCast, финскую CastCAE и немецкую WinCast. Две разработки – «Полигон» и LVMFlow – имеют российское происхождение.

Создаваемые в российских университетах прототипы подобных систем находят применение на местных предприятиях, но ограничены несколькими частными случаями или имеют существенные упрощения. Что же касается разработки по-настоящему мощной системы моделирования литейных процессов, то она требует привлечения множества специалистов, а также соответствующего финансирования.

Опыт практического применения САМ ЛП показал, что программные продукты зарубежных производителей не получили серьезного распространения на российском рынке. Причиной тому высокая цена программ, отсутствие в большинстве случаев русского интерфейса и отечественной базы данных по материалам и сплавам, а также сложности обучения.

Программы для моделирования литейных процессов, используемые сегодня в России, в основном различаются степенью полноты факторов, учитываемых при моделировании, и, соответственно, стоимостью. Второе существенное различие связано с методами получения и решения разностных уравнений: уравнения тепломассопереноса могут быть записаны в дифференциальном или интегральном виде.

Метод конечных разностей (МКР) базируется на уравнениях в дифференциальной форме, при этом дифференциальные операторы заменяются конечно-разностными соотношениями различной степени точности. Как правило, они строятся на ортогональных сетках (прямоугольной, цилиндрической и т. д.). Это позволяет факторизовать операторы и свести решение многомерной задачи к последовательности одномерных задач, а значит существенно упростить и ускорить решение общей системы уравнений. К недостаткам метода следует отнести плохую аппроксимацию границ сложных областей, что не слишком принципиально для уравнений теплопроводности, но довольно существенно для уравнений гидродинамики. Кроме того, метод плохо работает в случае тонкостенных отливок, когда толщина стенок становится сравнимой с шагом сетки.

Методы конечных элементов (МКЭ) и конечных объемов (МКО) базируются на уравнениях тепломассопереноса в интегральном виде. Область, в которой решаются уравнения, разбивается на элементы, внутри которых строятся аппроксиманты функций на основе системы базисных функций, определенных на элементе. «Проецируя» интегральные уравнения на эти базисы, получают систему разностных уравнений. Система значительно сложнее принятой в МКР, ее решение требует больших ресурсов памяти и немалого времени. Одно из главных достоинств метода конечных элементов – хорошая аппроксимация границы, а основные недостатки – необходимость в добротном генераторе конечных элементов, сложность уравнений и невозможность факторизации.

Модификации МКО пытаются соединить в себе простоту и факторизацию МКР и хорошую аппроксимацию границ между различными материалами и различными фазами.

Сравнительная оценка двух математических методов, МКР и МКЭ, не раз приводилась в научных изданиях: авторы этих обзоров показали, что при решении некоторых литейных вопросов предпочтителен метод конечных элементов. Действительно, при решении задач, связанных, например, с получением тонкостенных отливок больших геометрических размеров, МКЭ обеспечивает ряд преимуществ, поскольку позволяет использовать конечные элементы разной дискретности. Использование метода конечных разностей в подобных случаях приводит к увеличению количества узлов сетки и, следовательно, к большей продолжительности компьютерного расчета.

Современное развитие компьютерной техники полностью снимает ограничения по объему оперативной памяти персональных компьютеров, необходимой для решения самых сложных задач, с которыми сталкиваются технологи-литейщики. Как показывает практика, для решения большинства производственных задач методом конечных разностей достаточно 512 Мб оперативной памяти.

Моделирование сложных систем являлось и является одним из наиболее мощных инструментов системных исследований. Обратим внимание на необходимость не просто получить результаты исследований, проводимых посредством тех или иных моделей. Как и любым инструментарием, моделированием следует пользоваться с достаточной степенью осторожности. Крайне важно тщательно изучить исследуемую систему, с особой тщательностью составить ее описание, подобрать методы воспроизведения входных воздействий, построить адекватную модель, спланировать и провести эксперименты, обработать и верно интерпретировать результаты.

УДК 628.511

### **Технологии извлечения цинка из техногенных отходов**

Студенты гр. 10405113 Горленко Е. С., Григорьев П. Е., Дорохович Д. А.  
Научный руководитель – Немененок Б. М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В последние годы в мире растет спрос на цинк, который по объемам производства занимает третье место и широко применяется в различных отраслях промышленности [1], в связи с чем возникает дефицит цинка на мировом рынке. При этом следует отметить, что природное сырье для извлечения цинка содержит его в количестве менее 4 %.

Переход черной металлургии к более широкому использованию электросталеплавильных печей и увеличение в шихте доли оцинкованного лома приводит к обогащению пылей рукавных фильтров цинком. Складирование цинксодержащих пылей связано с экологической опасностью, поэтому вопрос их утилизации становится актуальным для металлургических комбинатов.

Причиной того, что цинксодержащие шламы металлургического производства не подвергаются утилизации, а продолжают накапливаться на полигонах, является низкое или нестабильное содержание цинка в пыли электродуговых печей и часто не достигающее минимально требуемого Техническими условиями «Цинксодержащие шламы» (15 %), разработанными ИМЕТ РАН и согласованными с ОАО «ОМК-Сталь» [2]. На большинстве предприятий содержание цинка в пыли электроплавки составляет 10–14 %, а на Белорусском металлургическом заводе этот показатель колеблется от 10,3 до 33,9 %, что зависит от доли автомобильного лома в шихте.

Мировые тенденции развития металлургии таковы, что объемы выплавки электроласти постоянно возрастают. Соответственно растут объемы образования цинксодержащей пыли. При этом содержание цинка в ней также постоянно возрастает. Все это требует решения проблемы вовлечения в рециклинг цинксодержащих металлургических отходов.

Большинство методов переработки пыли электропечной выплавки стали, сырьем для которой служит цинксодержащий металлолом, не нашли промышленного применения. К основным предлагаемым технологиям переработки пылей относятся пирометаллургические методы, а единственным действующим в промышленном масштабе гидрометаллургическим процессом является EZINEX (Engitec Technologies S. p. A., Италия) [3]. Технология предусматривает выщелачивание пыли раствором  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и последующий электролиз раствора, содержащего оксиды цинка и других цветных металлов. Несмотря на качество получаемых продуктов, гидрометаллургические методы не получили широкого распространения из-за высоких эксплуатационных затрат, сложности технологии, дефицита реагентов (кислот, щелочей), загрязнения окружающей среды и тяжелых условий труда [4].

Одной из распространенных пирометаллургических технологий переработки пылевидных отходов является утилизация их в аглошихте. Однако данный метод применим для переработки богатой цинком пыли и имеет недостатки: 1) необходимость создания в спекаемом слое определенных термодинамических условий, которые достигаются при повышенном расходе твердого топлива, повышении основности, перераспределении цинксодержащих материалов в нижние слои аглошихты, добавлении  $\text{CaCl}_2$  и молотого магнезитового порошка; 2) полное удаление цинка при обычном спекании невозможно из-за наличия кислорода в газовой фазе и оксидов железа и кремния в готовом агломерате; 3) использование цинксодержащих железорудных материалов в шихте без предварительного удаления цинка приводит к повышению содержания цинка в чугунах, образованию настывей в печи, разрушению футеровки печи из-за воздействия цинка [3].

Разработанный в Германии процесс CONTOP предполагает плавление пыли, твердого топлива, кислорода и природного газа в вертикальном водоохлаждаемом реакторе при 1800–2000 °С, требует значительных затрат электроэнергии, однако все железо, имеющееся в перерабатываемых отходах, безвозвратно переходит в шлак [4]. Схемы переработки пыли SKF, Steel, Scan Dust с использованием плазмы, предложенные рядом фирм, имеют достаточно высокую производительность, однако требуют значительных капиталовложений [4].

На восстановлении элементов при расплавлении отходов в жидкой ванне основаны процессы Ромелт (Россия, 1979), Hismelt (Германия, 1984), DIOS (Япония, 1988), AusIron (Австрия, 1994), отличающиеся хорошими показателями металлизации железа, однако оставшиеся в шлаке оксиды железа препятствуют полному извлечению цинка. Разработанная технология ОАО «Аконт» (г. Челябинск) основана на использовании физического тепла огненно-жидких шлаков сталеплавильных производств. Данные методы рациональны для восстановления железа из шлаков и других железосодержащих отходов металлургического комплекса, однако с точки зрения извлечения цинка имеют те же недостатки [3].

С практической точки зрения наибольший интерес представляют те методы переработки цинксодержащих отходов металлургического производства, где для их рециклинга используется сама электродуговая печь. В этом случае, в ходе плавки для увеличения содержания цинка в конечной пыли электродуговой печи, в печь вводится, дополнительно в виде смеси с другими компонентами, пыль рукавных фильтров с более низким содержанием цинка. Основанный на инъекционном вводе в расплав стали порошкообразной смеси, состоящей из цинксодержащей пыли, извести и восстановителя, процесс «Карбофер» был внедрен на одном из заводов Англии.

В результате вдувания материалов по данной технологии в количестве 2,5 % от массы плавки достигнуто увеличение содержания цинка во вторичной пыли от 18 до 50 % в результате 4–5 циклов ее повторного использования [2]. Это позволяет получать качественный сырьевой продукт для производства цинка без ущерба качеству основной металлопродукции.

#### **Список использованных источников**

1. Романтеев, Ю. П. Металлургия тяжелых цветных металлов. Свинец. Цинк. Кадмий / Ю. П. Романтеев, В. П. Быстров. – М.: МИСиС, 2010. – 576 с.
2. Разработка технологии переработки цинксодержащей пыли электродуговых печей с получением сырьевого продукта для производства металлического цинка / А. М. Ламухин [и др.] // Экология и промышленность России, январь. – 2013. – С.4–7.
3. Переработка пылей электросталеплавильного производства с целью извлечения цинка и железа / Н. В. Немчинова [и др.] // Сталь. – 2016. – № 5. – С.68–72.
4. Журавлев, В. В. Анализ существующих технологий переработки сталеплавильной цинксодержащей пыли и направления дальнейших исследований / В. В. Журавлев, В. А. Кобелев // Черная металлургия. – 2012. – № 10. – С.80–83.



**Технологические процессы получения литейных композиционных сплавов на основе алюминия**

Студент гр. 10405114 Жук К. А.  
Научный руководитель – Рафальский И. В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Разнообразие видов армирующих наполнителей, применяемых при производстве композиционных сплавов на основе алюминия (АКС), определяет и многообразие типов таких материалов (дисперсно-упрочненных, волокнистых, гибридных, слоистых), а также существующих способов (твердофазных, жидкофазных и газофазных) их получения [1]. Наиболее широко в научной литературе представлены дисперсно-упрочненные АКС с карбидными и оксидными керамическими наполнителями в виде частиц микронных и наноразмерных фракций [2–4]. В этих работах отмечается, что большой интерес к дисперсно-упрочненным сплавам на основе алюминия и его сплавов объясняется их более низкой стоимостью относительно других типов металлооматричных композитов, изотропностью свойств композита, технологической простотой получения по сравнению с непрерывно-армированными волокнистыми АКС.

К наиболее перспективным способам получения АКС принято относить жидкофазные и жидко-твердофазные (ЖТ) технологии получения литых композитов: литье замешиванием (*stir casting*-процесс) и литье в жидко-твердофазном состоянии сплава (*semi-solid metal casting* или *SSM*-процессы). Технологии получения литых АКС с использованием жидко-твердофазного состояния сплава в зарубежных источниках информации обозначают терминами «комполитье» (*compcasting*) или «реолитье» (*rheocasting*). Подчеркивается преимущество литейных способов получения композитов по сравнению с другими методами, в том числе порошковой металлургии, из-за относительной простоты, технологичности, большей оперативности и меньших общих затрат на производство композитов [1].

Жидкофазные и жидко-твердофазные способы получения литых изделий из дисперсно-упрочненных АКС, для которых характерны минимальные производственные издержки (литье замешиванием и комполитье), включают несколько основных технологических и металлургических циклов:

- 1) технологический цикл обработки армирующих наполнителей (классификация, очистка от загрязнений, предварительный нагрев, нанесение покрытий);
- 2) металлургический цикл подготовки матричного расплава (рафинирование расплава от растворенных газов и примесей; введение добавок, повышающих смачиваемость частиц армирующих наполнителей расплавом; легирование сплава);
- 3) металлургический цикл получения жидкой композиционной суспензии (введение в расплав дисперсных наполнителей и распределение армирующих фаз в алюминиевом сплаве до однородного состояния);
- 4) технологический цикл получения литых изделий традиционными методами литейного производства.

Разработка процессов металлургического цикла является ключевым этапом создания эффективной жидкофазной технологии получения дисперсно-упрочненных АКС и заключается, прежде всего, в определении химического состава матричного сплава, выборе химического, фракционного состава и объемного (массового) содержания армирующих наполнителей, определении способа введения армирующих наполнителей в расплав, режимов термической и/или физико-химической обработки расплава.

Обзор работ, посвященных вопросам получения дисперсно-упрочненных АКС, показывает, что метод литья с перемешиванием (stir-процесс), также известный как вортекс-процесс, является одним из наиболее широко используемых при синтезе алюмоматричных композитов [1]. Процесс литья с перемешиванием включает в себя введение армирующих дисперсных частиц в воронку расплавленного сплава, создаваемого вращающимся механическим устройством (импеллером), и полученный сплав затем используется для получения изделий методами литья под давлением, литьем в постоянные металлические или разовые песчаные формы. Недостатками технологии литья с перемешиванием являются:

1. Неполное усвоение керамических наполнителей из-за их несмачиваемости расплавом алюминия, в особенности, если используются тонкодисперсные фракции упрочнителей.
2. Неоднородное (неравномерное) распределение армирующих фаз в объеме матричного сплава, в особенности, при использовании тонкодисперсных наполнителей, а также, если содержание упрочняющей фазы превышает 30 % от веса композита.
3. Агрегация (кластеризация) армирующих фаз, в особенности, при использовании тонкодисперсных наполнителей.

Чтобы получить дисперсно-упрочненный сплав с оптимальными механическими и эксплуатационными свойствами, на этапе получения и металлургической обработки жидкой композиционной смеси в плавильной печи требуется обеспечить полное усвоение и однородное распределение армирующих частиц в объеме матричного расплава. Выполнить это путем замешивания дисперсных частиц алюмооксидной или карбидной керамики в жидкий алюминий представляет сложную задачу, так как из-за несмачиваемости расплавом алюминия дисперсные частицы порошка керамических наполнителей после окончания процесса перемешивания вновь всплывают на поверхность металлической ванны.

Технологической альтернативой жидкофазным процессам получения литейных композиционных алюминиевых сплавов являются ЖТ-технологии, имеющие важные преимущества: обеспечиваются лучшие условия введения дисперсных керамических частиц в расплав алюминия, поскольку предотвращается всплывание, осаждение и агрегация армирующих частиц и их конгломератов в процессе приготовления композиционной суспензии; использование ЖТ-процесса смешивания компонентов способствует повышению смачиваемости, так как из-за абразивного воздействия со стороны высоковязкого расплава происходит эффективное разрушение адсорбированного на поверхности частиц армирующих наполнителей тонкого слоя газа, препятствующего смачиванию между частицами и матричным сплавом. В целом, эти факторы способствуют повышению однородности распределения армирующих частиц в матрице и, соответственно, улучшению качества АКС.

#### **Список использованных источников**

1. Рафальский, И. В. Ресурсосберегающий синтез сплавов на основе алюминия с использованием дисперсных неметаллических материалов и интеллектуальные методы контроля металлургических процессов их получения / И. В. Рафальский. – Минск: БНТУ, 2016. – 308 с.
2. Rohatgi, P. K. Metal-matrix Composites / P. K. Rohatgi // Defence Science Journal. – 1993. – Vol. 43, No 4. – PP. 323–349.
3. Satyanarayana, K. G. Recent developments and prospects in cast aluminium matrix composites / K. G. Satyanarayana, R. M. Pillai, Chandrasekhar Ballembettu Pai // Transactions-Indian Institute of Metals. – 2002. – Vol. 55, No 3. – PP. 115–130.
4. Surappa, M. K. Aluminium matrix composites: Challenges and opportunities / M. K. Surappa // Sadhana. – 2003. – Vol. 28, Parts 1 & 2. – PP. 319–334

**Анализ колебаний состава печных шлаков при выплавке стали 80К  
в электродуговых печах большой мощности**

Магистрант Семенец И. Б.

Студенты: гр.10405113 Мурашко И. А., Красовский А. Л,

гр. 10405114 Самусева А. И., Кулик М. А.

Научный руководитель – Немененок Б. М.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Плавка стали в электродуговых печах большой мощности производится по одношлаковому режиму с окислительным периодом, в задачу которого входит удаление фосфора. Для оценки стабильности шлакового режима анализировались составы печных шлаков 287 плавок стали 80К. Установлено, что печные шлаки имеют значительные колебания по содержанию основных компонентов. Так, содержание  $\text{SiO}_2$  изменяется от 7,5 до 37,5 %,  $\text{CaO}$  от 22,8 до 52,1 %,  $\text{MgO}$  от 0,29 до 17,0 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  от 0,07 до 4,74 %,  $\text{FeO}$  от 0,39 до 46,1 %,  $\text{MnO}$  от 0,1 до 6,8 %.

В результате статистической обработки составов шлаков (рисунок 1–8) установлено, что распределение содержания  $\text{SiO}_2$  в шлаках (рисунок 1) практически подчиняется закону нормального распределения в диапазоне концентраций 5,0–25,0 % и только менее 4 % анализируемых составов имеют отклонения при содержании  $\text{SiO}_2$  25,0–30,0 %. Основное количество составов (около 49 %) содержат  $\text{SiO}_2$  в пределах 10,0–15,0 %.

Распределение  $\text{CaO}$  в печных шлаках (рисунок 2) также описывается законом нормального распределения и основное количество случаев (около 63 %) приходится на диапазон концентраций 25,0–40,0 %.

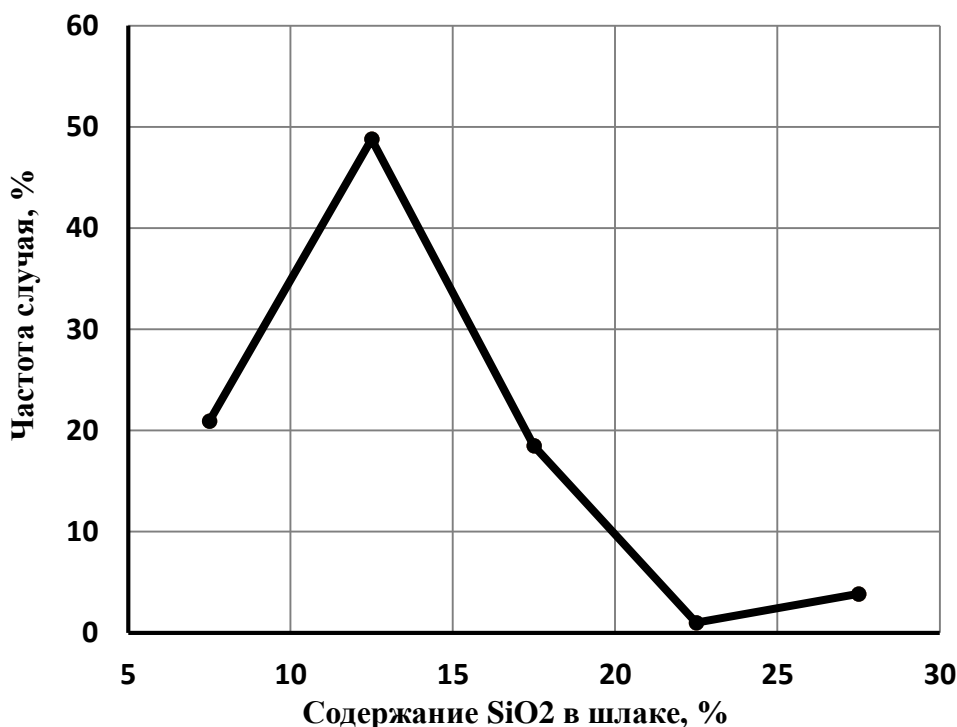


Рисунок 1 – Частотная кривая изменения содержания  $\text{SiO}_2$  в печных шлаках для стали 80К

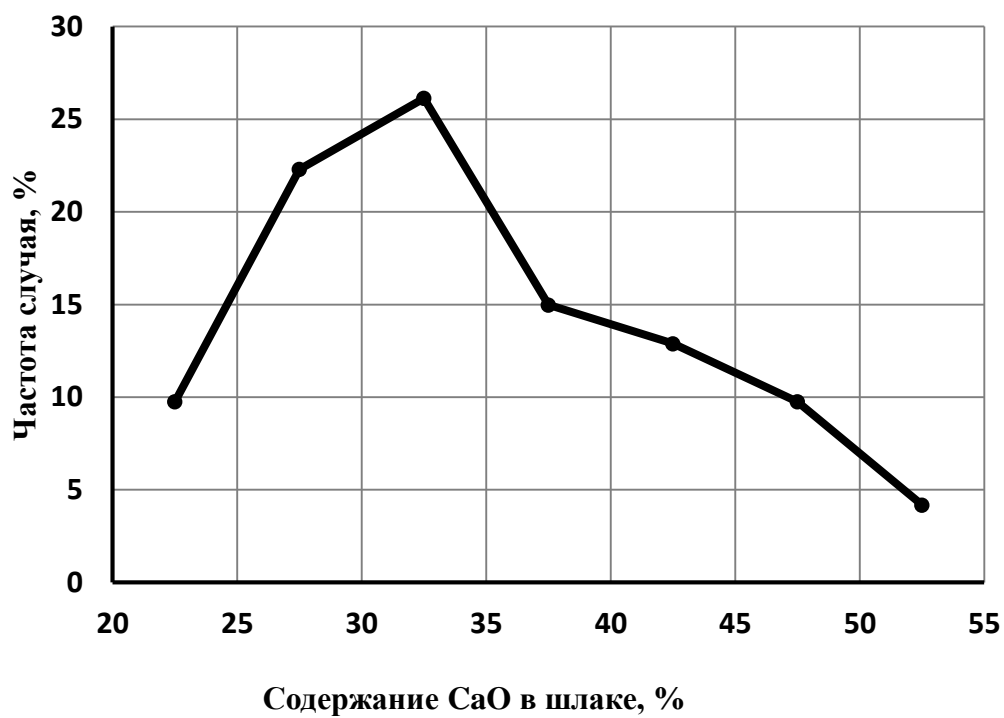


Рисунок 2 – Частотная кривая изменения содержания СаО в печных шлаках для стали 80К

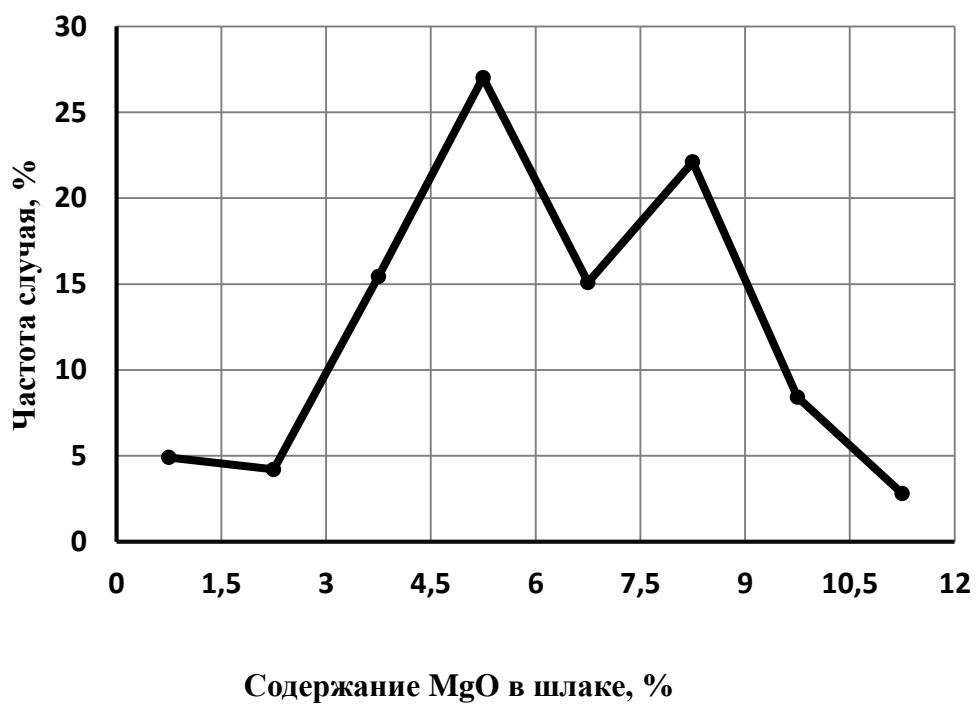


Рисунок 3 – Частотная кривая изменения содержания MgO в печных шлаках для стали 80К

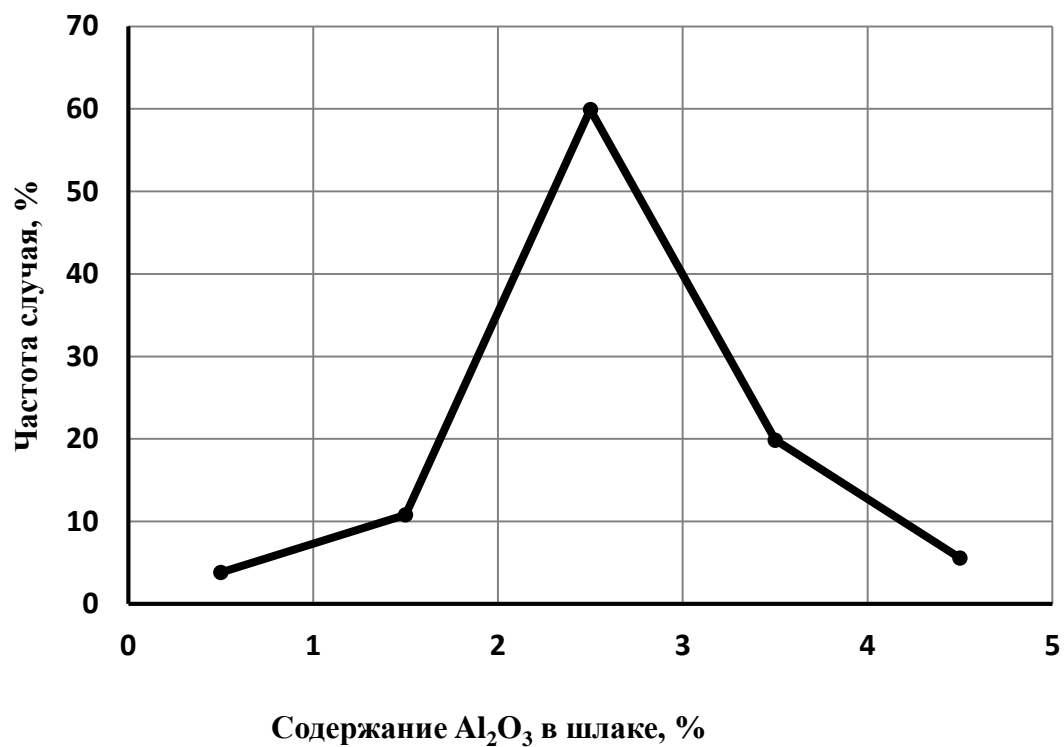


Рисунок 4 – Частотная кривая изменения содержания  $Al_2O_3$  в печных шлаках для стали 80К

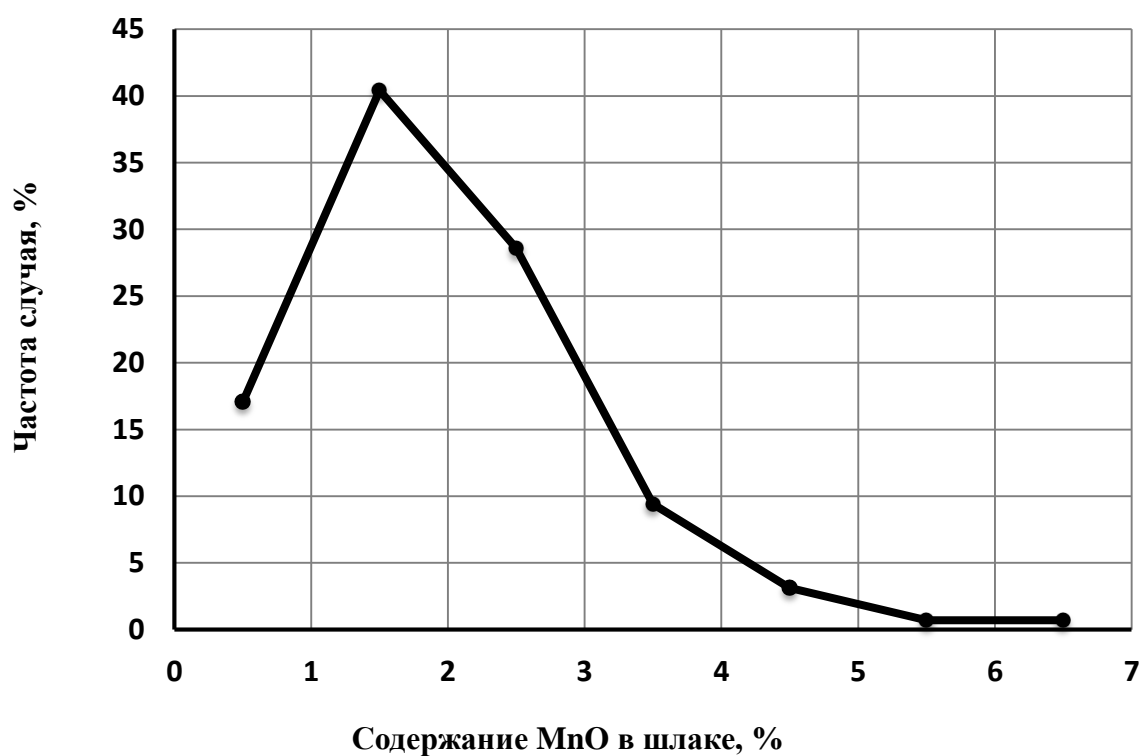


Рисунок 5 – Частотная кривая изменения содержания  $MnO$  в печных шлаках для стали 80К

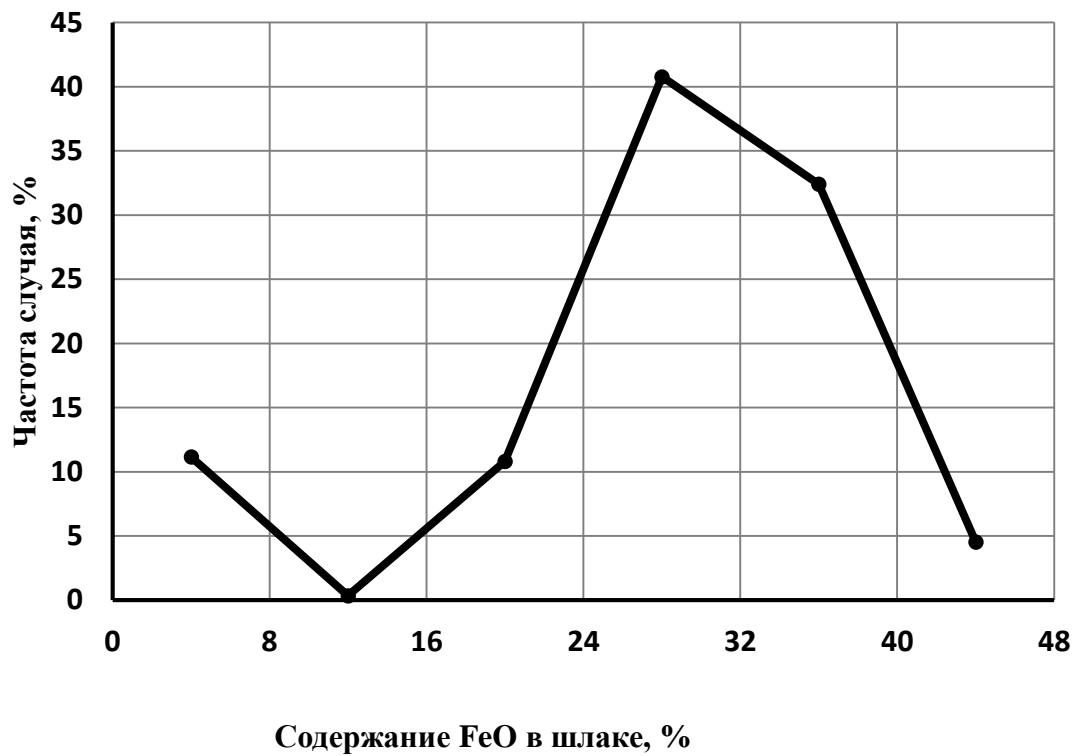


Рисунок 6 – Частотная кривая изменения содержания FeO в печных шлаках для стали 80К

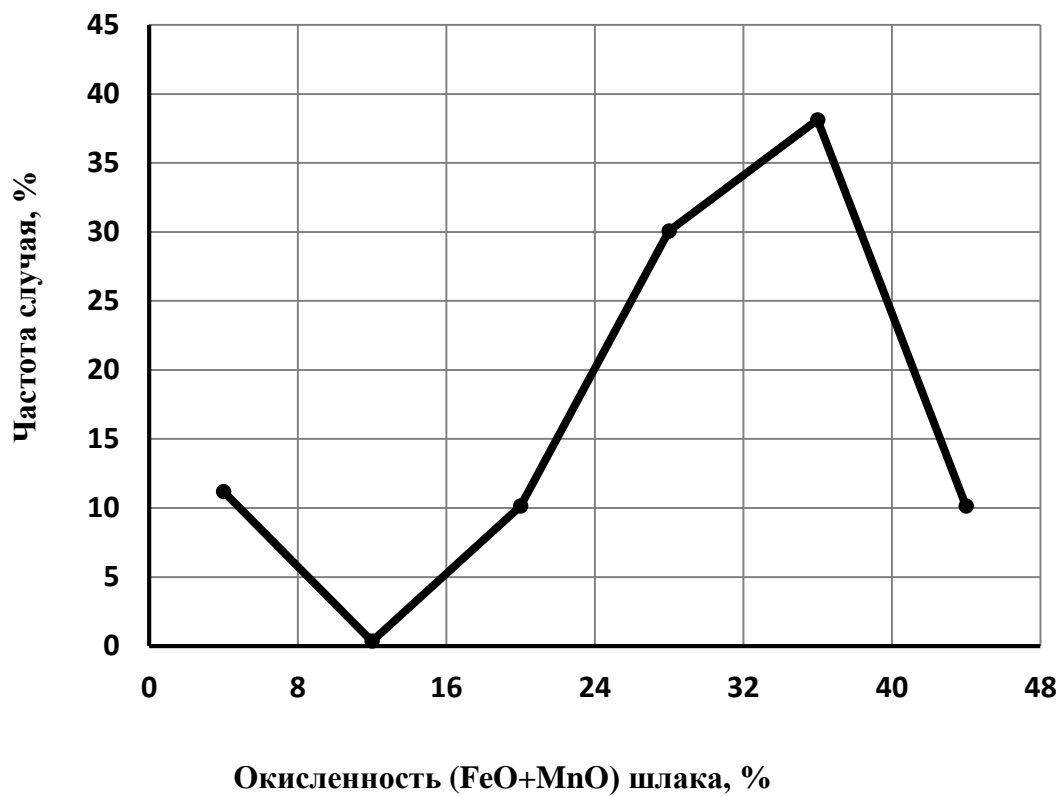


Рисунок 7 – Частотная кривая изменения окисленности (FeO+MnO) печного шлака для стали 80К

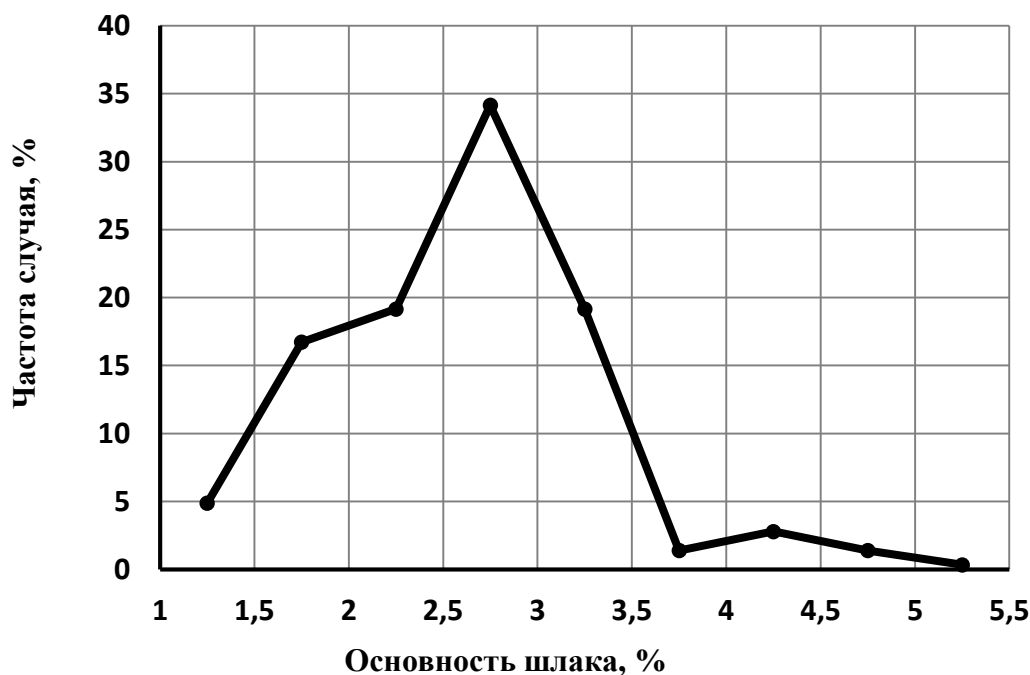


Рисунок 8 – Частотная кривая изменения основности печного шлака для стали 80К

Распределение MgO (рисунок 3) имеет отклонение от закона нормального распределения в интервале концентраций 0–1,5 % и 6,0–7,5 %. Содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (рисунок 4) подчиняется закону нормального распределения и около 90 % случаев приходится на концентрацию 1,0–4,0 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Колебания концентраций MnO в печных шлаках (рисунок 5) хорошо описываются законом нормального распределения и около 94 % случаев попадает в диапазон 0–4,0 % MnO. На диапазон концентраций 16,0–48,0 % FeO (рисунок 6) приходится около 90 % составов, что хорошо согласуется с законом нормального распределения и только примерно 10 % шлаков отличаются низким содержанием FeO (< 8,0 %).

Распределение суммарного содержания в шлаках (FeO + MnO) (рисунок 7) практически повторяет аналогичную зависимость для FeO.

Основность печного шлака для 90 % случаев описывается законом нормального распределения (рисунок 8) и данный показатель изменяется в диапазоне 1,0–4,0.

Проведенный анализ составов печных шлаков при выплавке стали 80К показывает, что в подавляющем большинстве случаев их составы обладают высокой основностью и окисленностью, что обеспечивает удаление фосфора из расплава стали в шлак.

УДК 621.745.669.13

### Совершенствование технологии получения чугуна с шаровидным графитом повышенной прочности

Магистрант Кулинич И. Л.

Студенты: гр. 10405115 Шевчук В.

гр. 10402114 Фролов А. И.

Научный руководитель – Слуцкий А. Г., Белый А. Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В практике литейного производства широко используются различные способы получения ЧШГ. Основными технологическими операциями, обеспечивающими стабильное получение высокопрочного чугуна, являются:

1. Процесс десульфурации исходного расплава чугуна специальными реагентами, позволяющими снизить концентрацию серы.

2. Сфероидизирующая обработка – за счет введения в жидкий чугун магнийсодержащих лигатур для формирования в структуре шаровидного графита.

3. Вторичное графитизирующее модифицирование для получения отливок без отбела.

Применение прогрессивных процессов плавки, а также рафинированных шихтовых материалов позволяет обеспечить в исходном чугуне достаточно низкую концентрацию серы, что исключает дорогостоящий процесс десульфурации. Ранее выполненные исследования показали перспективность использования в составе металлошихты конверсионного лома в виде стальных корпусов артиллерийских снарядов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Стальной корпус артиллерийского снаряда

Данный материал содержит в своем составе 0,50–0,65 % углерода, 0,15–0,19 % кремния, 0,50–0,7 % марганца, а также невысокую концентрацию хрома (0,06 %), фосфора (0,01 %) и особенно серы, которая находится в пределах 0,014–0,018 %.

Основной технологической операцией при получении ЧШГ является сфероидизация и обработка жидкого расплава магнийсодержащими лигатурами.

В зависимости от марки ЧШГ, требуемой структуры и механических свойств, широко используются как «легкие» на основе ферросилиция, так и «тяжелые» на основе меди магнийсодержащие лигатуры.

Известно, что в чугунах с шаровидной и пластинчатой формой графита механизмы роста графито-аустенитной эвтектики существенно различаются. Если при кристаллизации серого чугуна пластинчатый графит является ведущей фазой и находится в постоянном контакте с расплавом, то при сферолитной кристаллизации включения графита окружены аустенитной оболочкой, что существенно тормозит их рост. Поэтому чугун с шаровидным графитом гораздо сильнее склонен к переохлаждению, приводящему к образованию цементита.

Ранее выполненные исследования показали, что при использовании графитизирующих модификаторов в виде чипсов (толщиной менее 3 мм) за счет более быстрого его растворения в объеме жидкого чугуна и создания большого количества центров кристаллизации формируется мелкокристаллическая структура.

С целью повышения эффективности процесса сфероидизирующей обработки ЧШГ был предложен способ получения «чипс»-лигатуры с использованием метода механотроники. Для этого был использован вариант высокоскоростной ударной деформации брикетов, содержащих порошки меди и магния.

Скоростная деформация осуществлялась путем осадки брикетов на вертикальном копре, конструктивная схема которого показана на рисунке 2.

Представленная на рисунке схема вертикального копра, состоит из ударного бойка 1, которым осуществляется ударное воздействие на наковальню 2, закрепленную на нижней плите 3. Подъем бойка 1 на высоту Н осуществляется подъемным механизмом 4 по направляющим 5 посредством привода 6.



Рабочее положение вертикального копра заключается в поднятии ударного бойка 1 на высоту  $H$ . При срабатывании спускового механизма ударный боек 1 разгоняется с ускорением свободного падения. При свободном падении ударного бойка 1 с высоты  $H$  полученная кинетическая энергия передается брикету, расположенному на наковальне 2, который деформируется методом осадки.

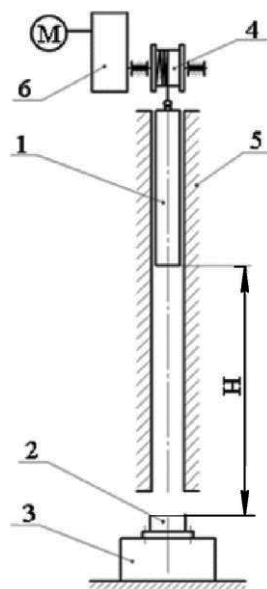


Рисунок 2 – Схема вертикального копра

Экспериментальные исследования проводились бойком массой  $m = 35$  кг с поднятием его на высоту  $H = 5$  м. Учитывая, что падение бойка происходит с ускорением свободного падения  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>, скорость бойка составляла:

$$v_6 = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 5} = 9,9 \text{ м/с.}$$

Кинетическая энергия, переданная деформируемому брикету, равнялась:

$$E_k = \frac{mv_6^2}{2} = \frac{35 \cdot 9,9^2}{2} = 1715 \text{ Дж.}$$

При скоростном ударном воздействии на брикет достигается повышение пластичности металла и создание благоприятных термомеханических параметров деформирования, а именно:

1) значительное повышение температуры брикета за счет теплоты, выделяемой вследствие внутреннего трения металлов при деформировании за ничтожно малый промежуток времени;

2) уменьшение контактного трения, что исключает дефекты от неравномерной скорости течения металлов в процессе деформации;

3) глубина проникновения пластической деформации значительно больше, чем при обычной осадке, что гарантирует хорошую проработку структуры металла.

Лабораторные испытания пластин «чипс» лигатуры показали положительные результаты по эффективности сфероидизирующей обработке чугуна с шаровидным графитом. Вместе с тем было установлено, что в процессе деформации исходных брикетов имели место технологические безвозвратные потери, составляющие порядка 8–12 %.

В этой связи, был предложен способ получения «чипс»-лигатуры методом прокатки на горизонтальных валках.

В качестве исходного материала использовали порошки меди и магния, в соотношении 1:1. После тщательного перемешивания на лабораторной установке смесь засыпалась в медную трубку диаметром 19 мм и прокатывалась в пластины толщиной от 2 до 1 мм в зависимости от количества проходов через валки.

Установлено, что потери лигатуры при таком способе получения минимальные по сравнению с высокоскоростной ударной деформацией.

На рисунке 3 представлены фотографии опытных образцов «чипс»-лигатуры, полученных различными способами.



Рисунок 3 – Общий вид опытных образцов «чипс»-лигатуры: а – метод высокоскоростной деформации; б – метод прокатки

На следующем этапе работы были проведены лабораторные испытания технологии получения ЧШГ повышенной прочности.

Плавка чугуна осуществлялась в индукционной тигельной печи ИСТ-006. В качестве основных шихтовых материалов использовали конверсионный стальной лом в виде корпусов снарядов, что обеспечило получение в исходном расплаве минимальной концентрации серы. Для сфероидизирующей обработки чугуна применяли два варианта «чипс» лигатуры на основе меди и магния в виде пластин толщиной 0,8 мм и 2 мм, которая вводилась в ковш в количестве 1 % в весу жидкого чугуна. После завершения обработки высокопрочный чугун разливали по литейным формам. Из полученных заготовок изготавливались образцы для изучения химического состава, механических свойств и микроструктуры. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты химического анализа и механических свойств ВЧ

Вариант модифицирования	Химический состав, %						Твердость, НВ	Предел прочности, $\sigma_B$ , МПа
	C	Si	P	S	Cu	Mg		
«Чипс-лигатура» (Cu-Mg) 0,8мм	3,57	2,23	0,028	0,011	0,79	0,011	241	635
«Чипс-лигатура» (Cu-Mg) 2 мм	3,63	2,14	0,038	0,012	0,76	0,019	266	615

Добавки лигатуры на основе меди и магния в виде пластин оказали заметное влияние на структуру и свойства высокопрочного чугуна. За счет более эффективного растворения присадки в чугуне повысилась концентрация меди и остаточного магния. При этом практически весь графит приобрел исключительно шаровидную форму, что подтвердили результаты металлографического анализа (рисунок 4).

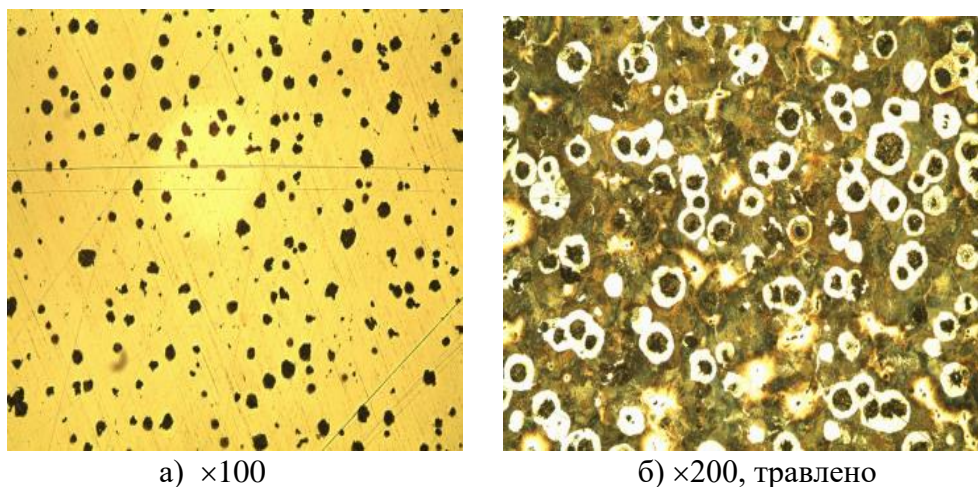


Рисунок 4 – Структура графита (а) и металлической основы (б), полученного ЧШГ

Таким образом сфероидизирующее модифицирование высокопрочного чугуна «чипс»-лигатурой на основе меди и магния в виде пластин позволяет получать высокие марки сплава.

УДК 669.131.7

#### **Экзотермические смеси для обогрева питающих прибылей чугунных и стальных отливок**

Студент гр. 10405113 Пиго А. С.  
Научные руководители – Довнар Г. В., Храмченков И. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью исследования являлась разработка составов композиционных материалов для экзотермических систем питания стальных и чугунных отливок. Экзотермические композиционные смеси, используемые для обогрева питающих прибылей должны отвечать следующим основным требованиям:

- иметь низкую (500 – 900 °С) температуру воспламенения;
- стабильное с небольшой скоростью горение;
- не вступать в химическое взаимодействие с формовочной смесью и жидким металлом;
- отсутствие обильного газовыделения при горении смеси;
- достаточная прочность и формуемость в сыром состоянии;
- применение недефицитных и относительно недорогих материалов.

Для оценки оптимальности составов, применяемых и предлагаемых экзотермических смесей для обогрева прибылей стальных и чугунных отливок и определения их тепловых характеристик проведен термохимический анализ выбранного ряда экзотермических смесей (таблица 1).

Таблица 1 – Составы опробованных экзотермических смесей

№ п/п	Состав экзотермической смеси	Содержание, %	№ п/п	Состав экзотермической смеси	Содержание, %
1.	железоалюминиевый термит оксид марганца кварцевый песок	47.5 2.5 50	11.	хромоалюминиевый термит кварцевый песок сода	85 10 5
2.	железоалюминиевый термит фторид кальция кварцевый песок	49 1 50	12.	хромоалюминиевый термит кварцевый песок сода	65 30 5
3.	железоалюминиевый термит селитра натриевая кварцевый песок	46 4 50	13.	хромоалюминиевый термит кварцевый песок сода	45 50 5
4.	железоалюминиевый термит нитрат бария кварцевый песок	48.5 1.5 50	14.	марганецалюминиевый термит кварцевый песок сода	85 10 5
5.	железоалюминиевый термит селитра натриевая оксид марганца кварцевый песок	44 3.5 2.5 50	15.	марганецалюминиевый термит кварцевый песок сода	65 30 5
6.	железоалюминиевый термит селитра натриевая фторид кальция кварцевый песок	45.5 3.5 1 50	16.	марганецалюминиевый термит кварцевый песок сода	45 50 5
7.	железоалюминиевый термит кварцевый песок сода	85 10 5	17.	силикокальций СК15 ферросилиций ФС75 железная окалина селитра натриевая	30.5 6.5 58.3 4.7
8.	железоалюминиевый термит кварцевый песок сода	75 20 5	18.	силикокальций СК30 железная окалина селитра натриевая плавиковый шпат	30 60 5 5
9.	железоалюминиевый термит кварцевый песок сода	65 30 5	19.	железная окалина стружка алюминиевая порошок алюминия молотый шамот	53 8.5 8.5 30
10.	железоалюминиевый термит кварцевый песок сода	45 50 5	20.	железкремниймагнелигат. ФСМг7 железная окалина селитра натриевая плавиковый шпат	30 60 5 5 5

*Примечание.* Во всех случаях в качестве связующего использовалось жидкое стекло в количестве 8 %.

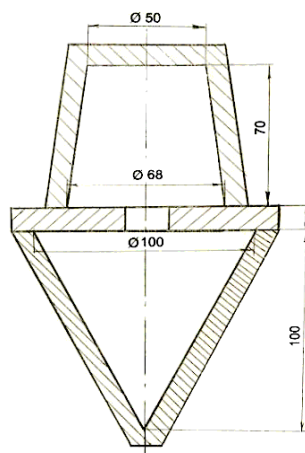


Рисунок 1 – Коническая проба с прибылью

Для сравнения теплофизических, механических и эксплуатационных свойств экзотермических вставок для подогрева прибылей использовалась коническая проба с цилиндрической прибылью, формируемая в нижней полуформе с прибылью в верхней полуформе (рисунок 1). Экзотермическая вставка помещалась перед заливкой на дно прибыльной части формы.

Оценка эффективности работы экзотермических вставок определялась по весу пробы и прибыли, а также по плотности пробы и объему усадочной раковины в пробе методом гидростатического взвешивания и титрования керосином. Результаты экспериментов приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Результаты опробования экзотермических смесей

№ п/п	Время разогрева до начала реакции, сек.	Время горения, сек.	Характеристика реакции	№ п/п	Время разогрева до начала реакции, сек.	Время горения, сек.	Характеристика реакции
1.	19	31	спокойная	11.	15	25	интенсивная
2.	12	56	спокойная	12.	45	30	спокойная
3.	12	84	спокойная	13.	50	40	спокойная
4.	10	60	спокойная	14.	1	5	бурная
5.	40	36	спокойная	15.	5	25	спокойная
6.	40	40	спокойная	16.	40	15	спокойная
7.	1	5	бурная	17.	2	13	интенсивная
8.	7	15	бурная	18.	1	10	интенсивная
9.	12	30	спокойная	19.	1	1	бурная
10.	40	40	спокойная	20.	5	15	спокойная

Таблица 3 – Эффективность экзотермических вставок на конической пробе

№ состава	Вес конуса, г	Вес прибыли, г	Объем усад. раковины, см <sup>3</sup>	Плотность конуса, г/см <sup>3</sup>
1	1761	1228	1.7	7.045
2	1768	1221	1.0	7.073
3	1791	1198	0.6	7.117
4	1794	1195	0.5	7.147
9	1776	1213	0.6	7.105
11	1759	1230	1.7	7.036
15	1763	1226	1.5	7.051
17	1748	1241	2.7	6.993
20	1734	1255	3.9	6.936
Без вставки	1667	1322	8.3	6.668

*Примечание.* Температура расплава 1360 °С.

Теплотворно-изолирующая способность определялась термическим зондированием прибылей со вставками и без вставок. Результаты замеров приведены на рис. 2.

Из опробованных составов наиболее эффективными являются составы №№ 3, 4, 9 на основе железоалюминиевого термита с добавками, снижающими температуру воспламенения, стабилизирующими процесс горения и позволяющими получить оптимальную длительность разогрева до начала реакции и продолжительность горения вставки.

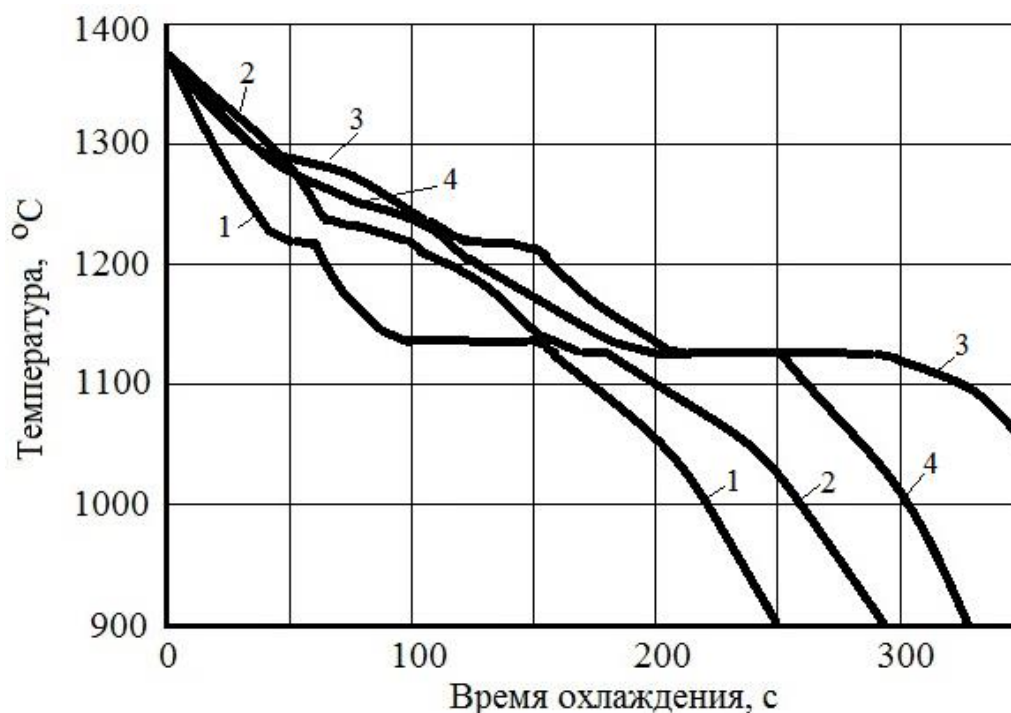


Рисунок 2 – Результаты термического зондирования прибылей:  
 1 – без вставки; 2 – состав 9; 3 – состав 3; 4 – состав 4

#### Список использованных источников

1. Новохацкий, В. А., Жуков, А. А. Тепловой расчет термитных прибылей. – Литейное производство, 1974, № 1, с. 15–16.
2. Жуков, А. А., Новохацкий, В. А., Комаров, А. Н. Экзотермические прибыли газового давления. – Литейное производство, 1978, № 11, с. 40.
3. Справник, В. И., Выгоднер, Л. Ф. Обогрев прибылей отливок экзотермическими смесями. – М.: Машиностроение, 1981. – 104 с.
4. Рыжиков, А. А., Фокин, В. И., Орлов, Л. А. Организация питания отливок легкоотделяемыми прибылями. – Литейное производство, 1989, №1, с. 12–13.

# **Материаловедение в машиностроении**

## Получение заданной толщины диффузионных слоев при однофазном борировании металлических порошков

Студент гр. 10405513 Асташаба Е. В.  
Научный руководитель – Щербаков В. Г.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск.

Борирование – процесс ХТО, при котором происходит диффузионное насыщение поверхностного слоя детали бором. При борировании (одно- и двухфазном) на поверхности образуется слой  $Fe_2B$  либо  $Fe_2B$  и  $FeB$  [1]. Борирование существенно повышает такие характеристики как твердость, износостойкость и коррозионную стойкость. Высокая окислительная стойкость (до 800 °С) и теплостойкость. Высокая твердость (16–20 ГПа) сохраняется до 950 °С. Это позволяет работать деталям с высокими механическими и тепловыми нагрузками.

Различают три основных метода борирования [2]: в порошках, в жидких средах, в газовых средах. В свою очередь борирования в порошках по технологическим особенностям различают: в негерметичных контейнерах, в контейнерах с плавкими затворами, в вакууме, в защитных атмосферах, в псевдооживленных средах, насыщение из паст. Борирование в жидких средах осуществляют в расплавах (солей или оксидов) может быть электролизным или безэлектролизным (жидким) и в растворах электролитов. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки, как с технологической точки зрения, так и экономической. Метод выбирается в зависимости от условий конкретного производства, типа обрабатываемых деталей (конфигурация, размер) и условиями эксплуатации. При массовом производстве несложных средних по размерам деталей рекомендуется использовать электролизное и газовое борирование, при упрочнении мелких и сложных по форме деталей целесообразно, применение жидкого или порошкового методов борирования, крупногабаритные детали, а также в случае местного упрочнения рационально использовать борирование из паст [2].

Для получения нужных и стабильных свойств детали необходимо контролировать и управлять процессом обработки. Следует заметить, что чем более все автоматизировано и минимизирован ручной труд в процессе, тем более стабильные свойства. Результаты борирования зависят во многом от типа и условий насыщающей среды. После борирования изменяются не только свойства поверхностных слоев упрочненных деталей, но и их свойства в целом. На прочность борированных деталей влияют метод и режим насыщения, соотношения толщины борированного слоя и толщины всей детали, размеры и форма деталей и т. п. Повышение содержания в стали углерода снижает твердость  $FeB$  и практически не влияет на твердость  $Fe_2B$ . Вносят свое влияние на твердость боридного слоя и легирующие элементы но особых закономерностей нет.

Однофазное борирование (толщина слоя до 150 мкм) на 20–50 % увеличивает усталостную прочность конструкционных сталей, а двухфазное – уменьшает. Основным преимуществом борированных деталей является их высокая износостойкость в различных условиях эксплуатации (трении скольжения, абразивном и гидроабразивном изнашивании). На износостойкость борированных деталей в условиях значительных нагрузок заметное влияние оказывает структура и твердость переходной зоны. В этом случае закалка и отпуск борированных деталей благотворно влияют на их износостойкость. Стойкость детали после борирования увеличивается в 2–10 раз [2].

Главным недостатком борирования является хрупкость полученного слоя. Наиболее хрупкая фаза  $FeB$ , поэтому стараются преимущественно получить формирование



Fe<sub>2</sub>B. В различных источниках отмечается, что этому способствует понижение температуры диффузионного насыщения, корректировка состава ванн, использование твердого борирования в атмосфере водорода. Так же снижения хрупкости добиваются нахождением оптимальной толщины диффузионного слоя для определенного химического состава. В свою очередь толщина слоя зависит в основном от температуры и продолжительности технологического процесса.

Отдельно стоит отметить особенности диффузионного легирования (ДЛ) микрообъектов [3]. Основным классификационным признаком является степень легированности полученного порошка. Эффективным является более широкое использование дисперсных металлоотходов в качестве сырья для ДЛ-процессов [3]. Традиционно при борировании стараются получать максимальные толщины диффузионных слоев (150–300 мкм). Однако, получение максимальной толщины диффузионного слоя при борировании не всегда является целесообразным. В отдельных случаях на обрабатываемой детали достаточно наличие диффузионного слоя небольшой толщины (до 30–50 мкм). А наличие диффузионного слоя большей толщины лишь снизит эксплуатационные свойства обрабатываемого материала. Таким образом, следует расширять исследования, связанные с формированием диффузионных слоев определенной толщины, что требует дополнительных теоретических и экспериментальных работ в данной области.

Целью данной работы являлось исследование кинетики роста диффузионных слоев на углеродистых сплавах при низкотемпературном однофазном борировании в порошковых средах.

Проводилось однофазное борирование в порошковых средах, разработанных сотрудниками НИЛ упрочнения стальных изделий Белорусского национального технического университета [4] стальной, чугуновой и из нержавеющей сплава колотой дробью фракцией 315–630 мкм (рисунок 1). Температура обработки составляла 750 °С, время выдержки – 4 часа. Толщина полученных диффузионных слоев составляет 30–5 мкм, микротвердость существенно зависит от степени легированности насыщаемого материала и находится в диапазоне 8–15 ГПа. Микротвердость основы после диффузионного легирования составляет порядка 4–6 ГПа.

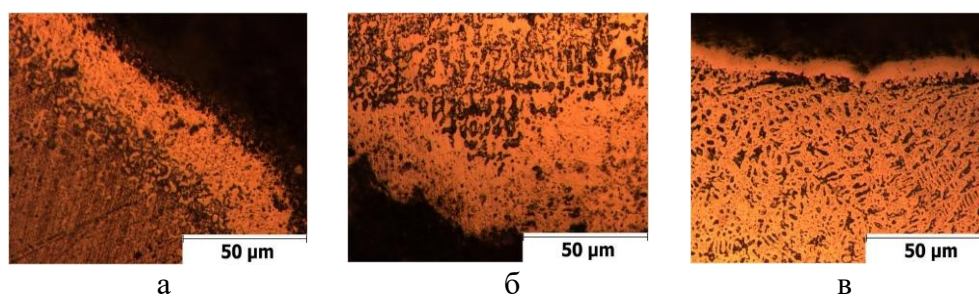


Рисунок 1 – Однофазное борирование дроби:  
а – колотая стальная; б – колотая чугуновая; в – из нержавеющей сплава

Полученный однофазный диффузионный поверхностный слой имеет микротвердость в 1,5–2,5 раза выше микротвердости основы, что придает значительно лучшую износостойкость. Таким образом, низкотемпературное борирование в порошковых насыщающих средах позволяет регулировать температурно-временными параметрами насыщения и достаточно точно формировать диффузионные слои заданной толщины на обрабатываемых материалах. Для повышения толщины диффузионного слоя на обрабатываемом материале достаточно повышать температуру процесса, а для снижения толщины образовавшегося диффузионного слоя стоит сократить продолжительность процесса, либо снизить температуру насыщения.

### Список использованных источников

1. Лабунец, В. Ф. Износостойкие боридные покрытия / В. Ф. Лабунец, Л. Г. Ворошнин, М. В. Киндрачук. – К.: Тэхника, 1989. – 158 с.
2. Ляхович, Л. С., Ворошнин, Л. Г., Панич, Г. Г. Борирование сталей в расплавленных средах // МиТОМ, 1969.
3. Ворошнин, Л. Г. Состояние и перспективы диффузионного легирования микрообъектов /Л. Г. Ворошнин, Ф. И. Пантелеенко, В. М. Константинов // Перспективы развития поверхностного и объемного упрочнения сплавов: сборник научных трудов, посвященный 40-летию кафедры «Материаловедение в машиностроении» / под ред. Ворошнина Л. Г.; БНТУ. – Минск, 2004. – С. 106 – 114.
4. Термомодиффузионная поверхностная обработка [Электронный ресурс] / Борирование. – Режим доступа: <http://www.besto.by/vidy-obrabotok/borirovanie>. – Дата доступа: 23.03.2017.

УДК 621.745.669.13

### Актуальность радиационного материаловедения

Студент гр.10401116 Веремеюк С. Р.  
Научный руководитель – Вейник В. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Радиационное материаловедение описывает взаимодействие излучения радиоактивных материалов с веществом, значит, это широкий предмет для изучения, охватывающий многие формы облучения вещества. Некоторые из наиболее существенных эффектов облучения материалов происходят в ядрах ядерных реакторов, где атомы, составляющие структурные компоненты, смещаются. Последствия радиации для компонентов активной зоны включают изменение формы и объема, уменьшение твердости, резкое снижение пластичности и увеличение хрупкости, а также изменение восприимчивости к вызванному окружающей средой растрескиванию. Чтобы структуры материалов выполняли свою цель, необходимо четкое понимание влияния излучения на материалы, чтобы учесть эффекты облучения при проектировании, смягчить его влияние, изменив условия эксплуатации, или служить руководством для создания новых, более радиационно-терпимых материалов, которые могут лучше соответствовать их назначению.

Привлекательность ядерной энергетики для сегодняшнего дня и для завтра обусловлена огромными улучшениями, которые были достигнуты в процессе эксплуатации реакторов и в нашем понимании того, как эти инженерные системы деградируют и терпят неудачу. Но привлекательность ядерной энергетики также обусловлена новыми концепциями для передовых реакторов, которые предлагают повышение безопасности и надежности, энергоэффективность, экономическую рентабельность. Ядерная энергетика обещает производить водород в чистом и дешевом процессе, который обеспечит будущую водородную экономику. Все эти улучшения приносят прибыль. Новая концепция, которая дает лучшую производительность из этого источника энергии, также включает более агрессивные среды, более высокие температуры и более высокие уровни облучения. И мешает это достичь поведение материалов, оно препятствует преодолению разрыва между концепцией и реальностью. Важнейшую роль в среде радиации, созданной в активной зоне реактора, играют радиационные материалы. Это первостепенный элемент в будущем ядерной энергии в мире. Именно с этой точки зрения сформулирован этот текст: чтобы обеспечить обоснованное, фундаментальное понимание радиационных эффектов в конструкционных материалах. Конструкционные материалы в реакторных системах яв-

ляются преимущественно кристаллическими. Практически все конструкционные материалы в реакторах являются металлическими, и многие материалы, предложенные для более агрессивных условий в передовых реакторных концепциях, также являются металлами. Типы излучения, которые могут выдерживать конструкционные материалы состоят из нейтронов, ионов, электронов и гамма-лучей. Все эти формы излучения обладают способностью вытеснять атомы из их узлов решетки, что является фундаментальным процессом, который управляет изменениями структурных металлов, описанными ранее. Включение ионов среди облучающих частиц обеспечивает привязку к другим областям и дисциплинам, таким как использование ускорителей для (переработки ядерных отходов) переработки ядерных отходов или к созданию новых материалов путем ионной имплантации, ионно-лучевого смещения, ионной имплантации с плазмой и ионного пучка.

Сегодня для стержней регулирования атомных реакторов применяют материалы, поглощающие нейтроны: изотопы бора, гафния, бористая сталь, графит. Элементы реактора, находящиеся в неактивной зоне изготавливают из специальных нержавеющей сталей перлитного и аустенитного классов. Аустенитные стали хорошо сопротивляются высоким температурам, а также имеют высокую коррозионную стойкость в газах, воде, жидком натрии. Почти все отечественные узлы ядерных реакторов: оболочки твэлов, технологические каналы и т. д. изготавливаются из этих сталей. Но из-за склонности к склонности аустенитных сталей к коррозионному растрескиванию их все чаще заменяют низколегированными перлитными сталями. Также для изготовления оболочек твэлов используется магний, обладающий низким сечением поглощения тепловых нейтронов, малой теплопроводностью и малой плотностью. В Англии магниевые сплавы применяют в реакторах: Колдер-Холла, Беркли, Брадуэлла и т. д.

Основная биологическая защита окружающей среды состоит из тяжелого бетона. А нейтронная защита внутри корпуса состоит, как правило, из борированных листов, болванок и труб, заполненных графитом.

В США в реакторах 4-го поколения применяют сплавы на основе молибдена, вольфрама и рения. Обобщенно можно сказать, что применяются композитные и керамические материалы. Особенно выделяется керамика на основе карбида кремния.

Россия же сегодня развивает проект СВБР-1000 (свинцово-висмутовый быстрый реактор), предельная температура его ограничена 620 градусами по Цельсию.

И как итог хочется отметить, что перспектив для разработки очень много. Нужно повышать, как радиационную, так и тепловую стойкость. Например, если повысить температуру на СВБР-1000 до 650, то его производительность возрастет на 11–12%, говорят эксперты. А ведь температура поднимается всего на 30 градусов!

УДК 669.268.7

### **Технология хромирования деталей машин гальваническим методом**

Студент гр. 10401115 Иванов А. И.  
Научный руководитель – Вейник В. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Обработка изделий методом хромирования может применяться в качестве декоративной обработки, а также для предохранения от коррозии и увеличения твердости поверхности изделия. Слой хрома, нанесенный на деталь, увеличивает его эксплуатационные свойства, продлевает срок службы.

Классификация хромирования осуществляется по способу нанесения хрома на деталь. Самое широкое применение получили электролитическое (гальваническое) и диффузионное хромирование.

Подготовка к процессу нанесения хрома включает в себя несколько этапов, таких как: шлифовка и полировка поверхности хромируемой детали, промывка, изолирование поверхности, на которой не должно выполняться нанесение хрома, монтаж детали на подвеску, обезжиривание, промывка в воде, декапирование.

Электролитическое (гальваническое) хромирование – один из самых известных способов металлизации поверхностей. Схема гальванической установки, используемой в этом методе, представлена на рисунке 1.

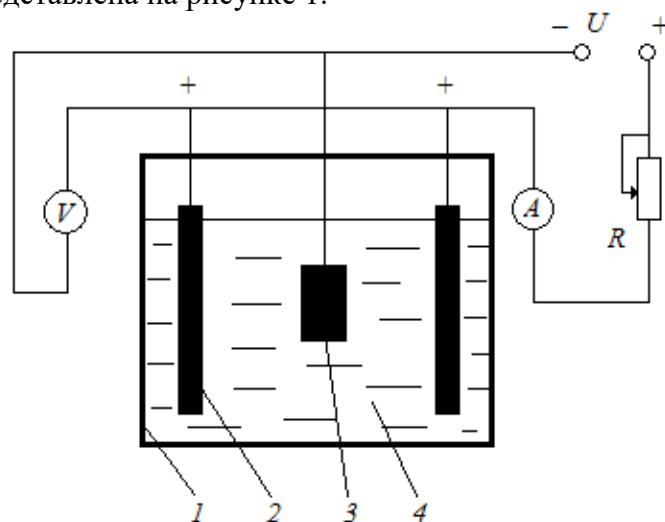


Рисунок 1 – Схема гальванической установки:

1 – емкость из химически нейтрального элемента; 2 – аноды; 3 – обрабатываемая деталь; 4 – электролит

В зависимости от режима обработки, получаемые покрытия различаются по своим качествам – как внешним, так и внутренним. Различают три покрытия:

1. «Молочный хром» – не очень твердое покрытие, обладающее беспористой, эластичной поверхностью. Получается при воздействии электрического тока плотностью  $15\text{--}25\text{ А/дм}^2$  на электролит при температуре от  $65$  до  $80^\circ\text{C}$ .

2. «Блестящий хром» – твердое и износостойкое покрытие, которому свойственен зеркальный блеск. Появляется при средних значениях температуры и плотностей тока, рекомендуемые диапазоны –  $45\text{--}60^\circ\text{C}$  для первого параметра и  $30\text{--}100\text{ А/дм}^2$  для второго.

3. «Твердый хром» – получаемый слой хрома будет самым твердым, но и самым хрупким по сравнению с предыдущими видами. Температурный режим устанавливается на низких температурах (до  $40^\circ\text{C}$ ), плотность тока – свыше  $100\text{ А/дм}^2$ .

Гальваническое покрытие выполняется растворами шести- или трехвалентного хрома: в качестве шестивалентного хрома применяется хромовый ангидрид, в качестве трехвалентного – сульфат хрома или хлорид хрома. В гальваническую ванну, кроме хромосодержащего раствора также добавляется серная кислота. В процессе нанесения гальванического хромового покрытия на поверхности нерастворимого анода происходит интенсивное выделение кислорода, а на катодной поверхности идет выделение водорода, т. к. процесс проводится при низком катодном выходе по току.

При гальваническом хромировании водород, выделяющийся на поверхности катода, частично проникает в структуру стали (материала деталей, на которые наносится покрытие) и создает внутренние напряжения. Это может привести к коррозионному растрескиванию деталей. В некоторых случаях внутренние напряжения, возникшие при гальваническом хромировании, могут суммироваться с напряжениями, которые возникли во время подготовительных операций и детали могут потрескаться (особенно, если у них достаточно тонкие стенки). Для того, чтоб со стальных и термообработанных деталей удалить водород, образованный после процесса гальванического хромирования, их в течение  $1\text{--}1,5$  часа при температуре  $445\text{--}455\text{ К}$  прогревают на воздухе или в масле.

После помещения обрабатываемой детали, в раствор подается ток определенной плотности. Раствор в ванне должен иметь определенную температуру, устанавливаемую в соответствии с режимом металлизации. Температурный режим должен поддерживаться на одном уровне в течение всего процесса хромирования, нарушения в технологическом процессе могут привести к тому, что гальваническое покрытие будет иметь неоднородную структуру (разводы, наросты в виде сталактитов и т. д.).

Длительность гальванизации зависит от требуемой толщины слоя хрома. В процессе гальванизации из электролитического раствора выделяются вредные пары, поэтому все работы должны выполняться с соблюдением техники безопасности, с использованием средств индивидуальной защиты.

В некоторых случаях покрытие хромом выполняется только после травления или после предварительного нанесения слоя другого металла (меди или никеля) – это способствует упрочнению образующегося слоя. Для заделки пор хрома, деталь дополнительно покрывают маслом или лаком, а для укрепления образовавшейся хромовой пленки проводят термообработку – выдерживают некоторое время при очень высокой температуре (около 200°C).

УДК 669.268.6

### **Кинетика диффузионного хромирования сталей**

Студент гр. 10401115 Иванов А. И.

Научный руководитель – Вейник В. А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Хромированию подвергают изделия после механической обработки, имеющие сухую, чистую, обезжиренную поверхность без следов окисления. Обезжиривание производится любыми методами, например, с использованием растворителей. Диффузионное хромирование может производиться в порошковых смесях, в газовой атмосфере, в расплавах, в парах хрома.

Физическую основу диффузионного хромирования составляет процесс диффузии атомов хрома в кристаллическую решетку металла. Механизм диффузионного насыщения металла хромом можно рассматривать как комплексный процесс, состоящий из отдельных стадий:

- образование активных атомов хрома вблизи поверхности или непосредственно на поверхности металла;
- сорбция атомов поверхностью металла;
- диффузия атомов хрома в металл.

В зависимости от степени насыщения хромом в поверхностных слоях металла происходят соответствующие фазовые превращения, приводящие к образованию на поверхности различных структурных систем, обуславливающих получение определенных физико-химических свойств. Так, для низкоуглеродистых сталей на поверхности образуется твердый раствор хрома в железе, для сталей с повышенным содержанием углерода – различные карбиды хрома ( $Cr_{23}C_6$ ,  $Cr_7C_3$ ). В зависимости от природы сплава возможно образование более сложных многофазных систем.

Механизм формирования диффузионного слоя во многом определяется величиной начальной концентрации хрома на поверхности металла, которая зависит от многих факторов.

Процесс диффузии хрома на поверхности изделия может идти по двум направлениям – с образованием стабильных фаз, все более обогащаемых хромом, или с формированием стабильных фаз высшего состава и лишь позднее фаз низшего и промежуточного составов.

В первом случае формирование диффузионного слоя подчиняется равновесным условиям, во втором – неравновесным. Физико-химические свойства диффузионных слоев, образующихся в этих случаях, будут существенно отличаться друг от друга.

В процессе диффузионного хромирования в поверхностных зонах металла происходят структурно-энергетические изменения, сопровождающиеся уменьшением термодинамического потенциала поверхности, изменениями сил связи между атомами и тонкой структуры металла.

Кинетика диффузии хрома в металл характеризуется коэффициентом диффузии  $D$ , которая в зависимости от температуры  $T$  процесса описывается экспоненциальной зависимостью.

Например, для случая диффузии хрома в  $\alpha$ -фазе (диффузия в железо) коэффициент диффузии  $D$  равен:

$$D = 1.55 \cdot 10^{-3} \exp\left(-\frac{36000}{RT}\right) \frac{\text{см}^2}{\text{сек}}.$$

Рост диффузионного слоя в зависимости от продолжительности хромирования подчиняется параболическому закону.

Выбор температурно-временных режимов диффузионного хромирования изделий зависит от условия создания необходимой толщины диффузионного слоя и на основании закономерностей, приведенных на рисунке 1.

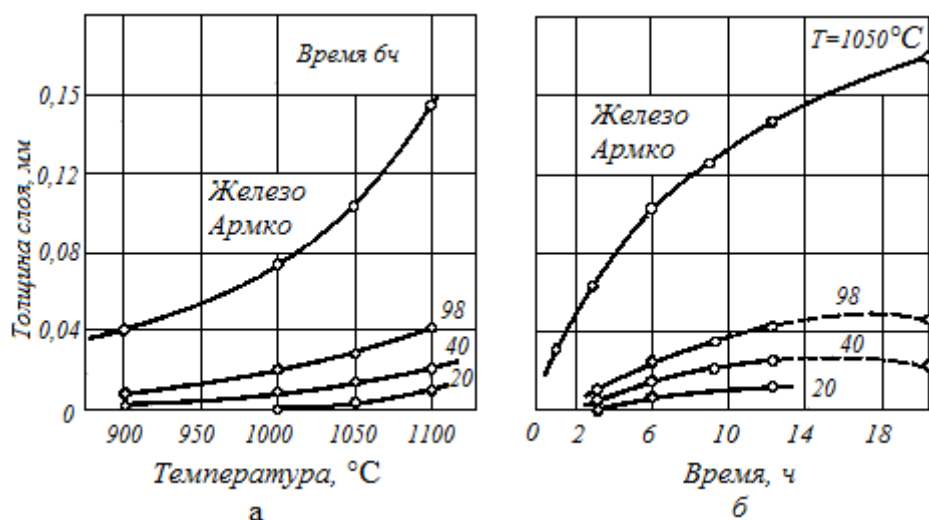


Рисунок 1 – Зависимость толщины слоя от температуры и времени

Температуры, используемые для хромирования некоторых сталей, приведены в таблице 1.

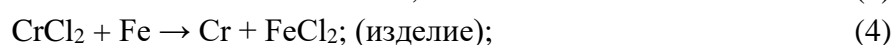
Таблица 1 – Температура хромирования некоторых сталей

Материал	T, °C	Материал	T, °C
Железо	1050	30ХГСА	1000–1050
Сталь 40	1000–1050	30ХГСНА	1000–1050
Сталь У6	980–1000	38Х2МЮА	980–1020
Сталь У10	950–980	18Х2Н4ВА	980–1050
		X12M	1000–1050

Изменение структуры и фазового состава поверхностных слоёв при диффузионном хромировании и, как следствие, изменение физико-химических и механических свойств поверхности и объемных свойств материала позволяют повысить эксплуатационную надежность изделий и их ресурс. Хромированию подвергают различные детали и инструменты, от которых требуются высокая износостойкость, коррозионная стойкость и жаропрочность (например, сверла, калибры, клапаны компрессоров и т. д.). Жаростойкость хромированных сталей составляет  $800\text{--}850^{\circ}\text{C}$ .

Студент гр. 10401115 Иванов А. И.  
 Научный руководитель – Вейник В. А.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

В настоящее время наиболее простым и вместе с тем эффективным является способ диффузионного хромирования в порошках. Получение активных атомов хрома при хромировании сплавов в порошках происходит в результате протекания в реакционном пространстве герметичного контейнера при нагреве следующих химических реакций:



Таким образом, основным поставщиком атомов хрома является хлорид хрома ( $\text{CrCl}_2$ ). В практике хромирования могут применяться другие галогенидные соли аммония, например,  $\text{NH}_4\text{I}$ ,  $\text{NH}_4\text{F}$ ,  $\text{NH}_4\text{Br}$ . Образующиеся по реакциям (4) и (5) атомы хрома, будучи в активной форме, сорбируются на поверхности, а затем диффундируют вглубь металла.

Диффузионное хромирование с применением порошковой смеси проводят с применением контейнера с плавким затвором, который обеспечивает герметизацию реакционного пространства и позволяет производить нагрев при хромировании в обычных термических печах. Контейнеры с плавким затвором изготавливают из жаростойких сталей или сплавов. Размеры и форму контейнеров подбирают в соответствии с габаритными размерами и формой изделий, подвергаемых хромированию, и нагревательных устройств. В одном контейнере могут хромироваться как одно, так и несколько изделий. В контейнер допускается помещать изделия из разных марок стали, технологические режимы обработки которых совпадают. Нагревательные печи для диффузионного хромирования должны обеспечивать нагрев изделий в контейнере до  $1200^\circ\text{C}$ , иметь равномерное температурное поле в объеме садки ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ), систему автоматического регулирования для поддержания заданной температуры в период проведения процесса с точностью  $\pm 10^\circ\text{C}$ , а также иметь вытяжную вентиляцию.

Таблица 1 – Составы порошковых смесей для диффузионного хромирования

Номер смеси	Компоненты	Химическое обозначение	Содержание, % (вес)	Стандарты на компоненты
1	Хром Окись алюминия Хлористый аммоний	Cr $\text{Al}_2\text{O}_3$ $\text{NH}_4\text{Cl}$	50 43(45) 7(5)	ГОСТ 5905-79, от X97 до X99 ГОСТ 8136-76, А1 и А2 ГОСТ 2210-73, I и II сорт
2	Хром Окись алюминия Йодистый аммоний	Cr $\text{Al}_2\text{O}_3$ $\text{NH}_4\text{I}$	50 49 1	ГОСТ 5905-79, от X97 до X99 ГОСТ 8136-76, А1 и А2 ГОСТ 3764-75, ч. д. а., ч.
3	Феррохром Окись алюминия Хлористый аммоний	FeCr $\text{Al}_2\text{O}_3$ $\text{NH}_4\text{Cl}$	50 45(47) 5(3)	ГОСТ 4757-79, от ФХ001 до ФХ100 ГОСТ 8136-76, А1 и А2 ГОСТ 2210-73, I и II сорт
4	Феррохром Окись алюминия Йодистый аммоний	FeCr $\text{Al}_2\text{O}_3$ $\text{NH}_4\text{I}$	70 29 1	ГОСТ 4757-79, от ФХ001 до ФХ100 ГОСТ 8136-76, А1 и А2 ГОСТ 3764-75, ч. д. а., ч.

Для хромирования в основном используют порошки, состав которых приводится в таблице 1. Однако возможно использование и других составов смесей, прошедших промышленное апробирование. Смесей для хромирования используют многократно (до 30 раз). Компоненты, входящие в смеси для хромирования, измельчают до размеров частиц 150–600 мкм. Подготовленные компоненты смеси взвешивают на технических весах в соотношениях, приведенных в таблице 1, затем тщательно перемешивают до получения однородной массы, которую помещают в контейнер и прокачивают в течение 3–4 ч.

Хромированию подвергают изделия после механической обработки, имеющие сухую, чистую, обезжиренную поверхность без следов окисления.

Контейнер (или несколько контейнеров) с плавким затвором помещают в печь, нагретую до 200–300 °С. Скорость нагрева контейнера с изделиями в интервале 300–600 °С не более 100 °С в час. Затем нагрев производят с максимальной скоростью. Продолжительность выдержки контейнера в печи исчисляют с момента прогрева контейнера до требуемой температуры. Охлаждение контейнера производят на открытом воздухе, предварительно понизив его температуру с помощью печи до 500 °С. Разборку контейнера производят после его остывания до комнатной температуры. Вынутые из контейнера изделия очищают от порошка, промывают в теплом содовом растворе, а затем просушивают.

Таблица 2 – Толщина хромированного слоя различных сталей при использовании смеси 1 (1050 °С, 6 ч)

Марка стали	Толщина слоя, мм	Марка стали	Толщина слоя, мм	Марка стали	Толщина слоя, мм
Техническое железо	0,090	X12M	0,030	4X14H14B2M	0,020
30XГСА	0,030	15ХМА	0,015	ШХ15	0,020
30XГСНА	0,020	40ХН	0,010	ХВГ	0,025
18X2H4BA	0,030	50XФА	0,010	У6	0,030
40	0,010	12X18H10T	0,030	2X13	0,060

Сравнительная толщина хромированного слоя сталей различного химического состава при использовании смеси 1 из таблицы 1 при температуре 1050 °С в течение 6 ч представлена в таблице 2.

УДК 621.78.066.6

### Выбор температурно-временных параметров изосклерного отпуска при ТО быстрорежущих сталей

Студенты гр. 10401112 Колбун И. В, Пилли Д. А.  
 Научный руководитель Стефанович А. В.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Основным назначением отпуска закаленных инструментов из быстрорежущей стали является возможно более полное превращение остаточного аустенита, резко снижающего режущие свойства инструмента; его количество после отпуска не должно превышать 2–3 %. Кроме того, при проведении этого процесса должен быть обеспечен отпуск мартенсита закалки и образовавшегося вторичного мартенсита, а также снятие внутренних напряжений, возникших при закалке инструментов. В результате отпуска твердость быстрорежущей стали повышается вследствие дисперсионного твердения мартенсита и распада остаточного аустенита. Лучше всего указанные цели достигаются многократным отпуском, поскольку распад остаточного аустенита происходит в процессе охлаждения от температуры отпуска, начиная от точки  $M_n$  вторичного мартенситного превращения.



В настоящее время в зависимости от выбранных условий проведения процесса многократный отпуск инструментов из быстрорежущей стали условно разделяют на обычный и кратковременный (изосклерный). Обычным или классическим считают трехкратный отпуск, выполняемый при температуре 550–570 °С.

Кратковременный отпуск классифицируют: обычный отпуск с общим временем нагрева и выдержки от 5 мин до нескольких часов; ускоренный отпуск от 30 с до 5 мин; быстрый отпуск от 30 мс до 30 с; импульсный отпуск от 1 до 30 мс.

Установлено, что для стали Р5М5 равноценными по результатам являются двукратный отпуск при 580 °С 20 мин, при 600 °С 10–15 мин, 620 °С 5–7 мин и обычный трехкратный отпуск при 560 °С по 1 ч (рисунок 1).

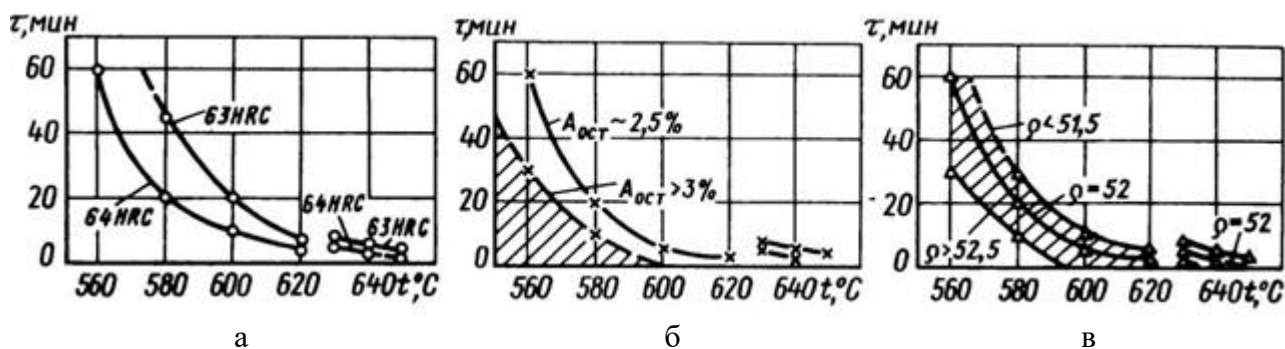


Рисунок 1 – Режимы отпуска стали Р6М5, обеспечивающие сохранение твердости 64–63 HRC (а), количества остаточного аустенита не более 3 % (б) и удельного электро-сопротивления  $\rho = 52$  мкОм\*см (в). Закалка от 1220 °С, охлаждение в селитре ( $t = 450$  °С)

Выводы:

1. Изосклерный отпуск не ухудшает твердость и теплостойкость быстрорежущей стали.
2. Температурно-временные режимы не требуют жесткого соблюдения их значений, что позволяет применять изосклерный отпуск для инструмента различного сечения.
3. Время термической обработки при использовании изосклерного отпуска сокращается в 4–10 раз.

УДК.621.785.062

### Обработка деталей с использованием технологии закалки в инертных газах

Студенты гр.10401115 Казначеева Д. А., Дершен А. В.  
 Научный руководитель – Вейник В. А  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

В настоящее время на РУП «МТЗ» завершены работы по внедрению технологии химико-термической обработки деталей в вакууме с закалкой в среде инертного газа на установке «ModulTherm 7/1» фирмы «ALD Vacuum Technologies GmbH» (Германия) (рисунок 1).

Данное оборудование смонтировано в механическом цехе № 5 в составе технологической линии для механической обработки. Таким образом, обеспечивается полный технологический цикл изготовления деталей от поковки до годной детали без дополнительных межцеховых транспортных перевозок.

Линия химико-термической обработки состоит из следующего основного оборудования: системы внешнего транспорта (устройства перемещения поддонов и стеллажи-накопители), моечной машины (используется для промывки деталей до химико-термической обработки), камеры предварительного окисления, семи камер нагрева/цементации, камеры закалки (одновременно – транспортный модуль), трех печей низкого отпуска, места охлаждения садок и компьютера оператора с системой управления. Данная линия

также укомплектована необходимым вспомогательным оборудованием: насосной станцией камер нагрева для создания вакуума, системой обратного водоохлаждения с градирней, системой рециркуляции гелия, компрессором для подачи гелия, системой бесперебойного питания для системы управления, дизель генератором для аварийной подачи электроэнергии, системой обеспечения технологическими газами (ацетилен, аммиак, водорода, гелия и азота). Имеется также лабораторное оборудование: устройства для подготовки микрошлифов, твердомеры и микроскоп с программным обеспечением по определению микротвердости и структуры.

Модульная вакуумная установка для термообработки «ModulTherm 7/1» представляет собой полностью автоматическую систему. Наличие штабелеров-накопителей на 36 поддонах позволяет проводить химико-термическую обработку деталей без участия основного производственного персонала до 24 ч. Большим преимуществом является то, что проведение ремонтно-профилактических работ на отдельных модулях возможно без остановки работы всей установки. Модульное построение всей системы дает возможность дооснащать ее в любое время дополнительными камерами или другими системными компонентами.

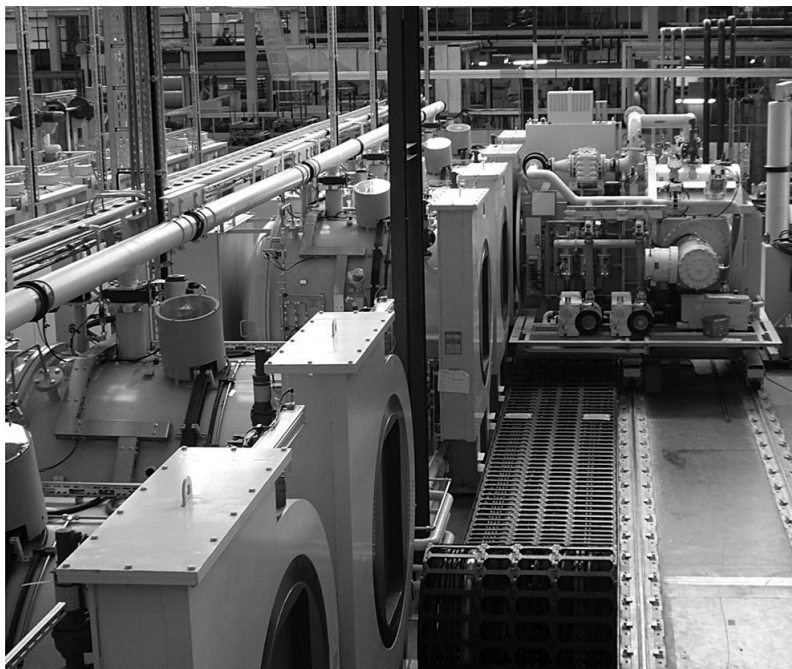


Рисунок 1 – Установка «ModulTherm 7/1» фирмы «ALD Vacuum Technologies GmbH»

При вакуумной термообработке детали нагреваются до высоких температур в бескислородной атмосфере, что позволяет препятствовать окислению поверхности деталей.

Процесс химико-термической обработки в вакууме с закалкой в среде инертного газа имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционной технологией химико-термической обработки: сокращение технологического времени химико-термической обработки; улучшение качества обрабатываемых деталей; снижение затрат на проведение химико-термической обработки; улучшение экологических условий; гибкость и легкая перенастройка технологии; стабильная воспроизводимость результатов.

В качестве закалочной среды используется экологически безопасный инертный газ – гелий, тем самым, обеспечивается отсутствие отходов процесса. После проведения термообработки отпадает необходимость в очистке деталей дробью. Процесс регенерации гелия позволяет восстанавливать до 90 % газа, используемого на закалку. Применение в высокотемпературных печах современных футеровочных материалов позволяет снизить затраты на расходование топливно-энергетических ресурсов.

На установке «ModulTherm 7/1» камера нагрева/цементации состоит из водоохлаждаемого корпуса печи, графитовой жестко-волоконной теплоизоляции с дополнительной внешней изоляцией из керамики, оснащена графитовыми нагревателями, датчиками-контроллерами расхода технологических газов, конвективным вентилятором, опорами для установки садки. Для предотвращения взаимодействия при температурах цементации выше 900 °С между опорой из карбида кремния и поддоном из жаропрочной стали опоры оснащены защитой из молибдена. В закалочной камере детали проходят закалку при помощи инертного газа высокого давления с высокой скоростью подачи газа. Давления закалки, как и другие технологические параметры, задаются в программе термообработки и выполняются автоматически.

УДК. 621.785.062

### Влияние закалки под газом высокого давления в среде инертных газов на коробление и деформации обрабатываемых деталей

Студенты гр.10401115 Казначеева Д. А., Дершен А. В.  
 Научный руководитель – Вейник В. А  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Применение технологии науглероживания при низком давлении и закаливание под газом высокого давления в среде инертных газов позволяет значительно уменьшить деформации обрабатываемых деталей. Закалка газом обеспечивает постоянный коэффициент теплопередачи. Значительное снижение деформаций достигается в процессе «динамического закаливания», при котором степень закаливания варьируется в процессе последовательных этапов закаливания путем ступенчатого регулирования скорости газового потока. Науглероживание при низком давлении – процесс цементации стали, который проводится под давлением всего в несколько миллибар с использованием ацетилена как источника углерода.

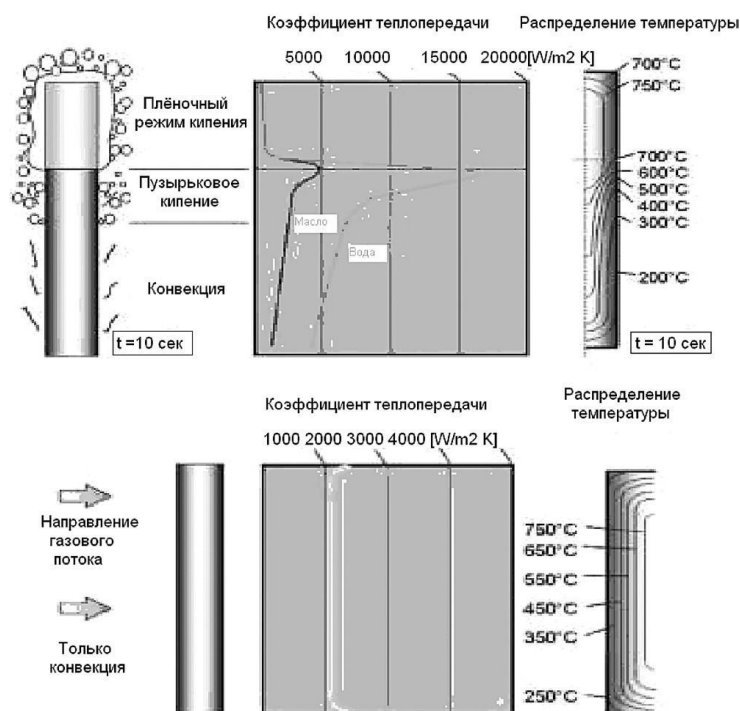


Рисунок 1 – Коэффициент теплопередачи и распределение температуры при закалке в жидкости и газе

Деформация деталей происходит в том случае, если напряжение в материале превышает предел текучести материала. При химико-термической обработке детали из цементуемых сталей подвергаются нагреву при температурах до 960 °С и предел текучести стали устойчиво снижается с повышением температуры. Выделяются три типа напряжения в материале: остаточные напряжения (образуются перед термообработкой при механической обработке); термические напряжения (вызваны перепадом температур при нагреве и охлаждении); напряжения структурных превращений стали (вызваны преобразованием структурных составляющих феррита/перлита в аустенит при нагреве и преобразованием аустенита в мартенсит/ бейнит при охлаждении).

На величину деформаций влияют геометрия деталей, химический состав стали, режимы механической и термической обработки. Технология закалки инертными газами предлагает огромный потенциал по снижению деформации при термообработке. Обычные технологии закалки, такие, как закаливание в масле или в полимерной среде, демонстрируют очень неоднородные условия охлаждения. В процессе обычного охлаждения в жидких закалочных средах происходят три различных механизма: пленочное кипение, пузырьковое кипение и конвекция (рисунок 1).

Вследствие этих трех механизмов распределение внутренних коэффициентов теплопередачи на поверхности деталей очень неоднородно. Эта неоднородность условий охлаждения вызывает значительные тепловые и преобразовывающие напряжения в деталях и, как следствие, приводит к деформации. При проведении же процесса закалки инертными газами происходит только конвекция, которая позволяет повысить однородность условий охлаждения.

Другое преимущество технологии закалки инертными газами – это возможность подобрать необходимую интенсивность закалки путем выбора давления и скорости закалки. Обычно давление при закалке варьируется от 2 до 20 бар (атмосфер).

Скорость газового потока контролируется преобразователем частоты и обычно скорости газового потока варьируются от 2 до 15 м/с в зависимости от геометрии деталей, марки стали, количества деталей в садке.

В настоящее время на закупленном оборудовании обрабатываются более 130 наименований деталей. Использование установки «ModulTherm 7/1» на РУП «МТЗ» позволило значительно улучшить качество химико-термической обработки деталей и обеспечить снижение затрат на производство.

УДК 621.78.066.6

### **Закалочные среды**

Студентка гр. 10401115 Одарченко В. Ю.

Научный руководитель – Вейник В. А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

При термической обработке стали правильный выбор закалочных сред оказывает решающее влияние на качество изделий. В настоящее время закалка наиболее часто производится в воде, водных растворах солей и щелочей, а также в маслах. Вода и среды на водной основе отличаются высокой охлаждающей способностью, но им свойственно слишком быстрое охлаждение поверхности изделий в области низких температур и резкая зависимость охлаждающей способности от температуры. В результате этого при закалке в воде на изделиях нередко получают трещины. Масла лишены этих пороков, но обладают пониженной охлаждающей способностью. Другие, реже применяемые закалочные среды расплавы солей, щелочей и металлов близки по охлаждающей способности к маслам.

Изучению закалочных сред посвящено много работ. В этих работах производилось сравнение резкости охлаждения в различных средах, исследовалось влияние температуры, циркуляции и различных добавок на скорость охлаждения и результаты закалки. Однако характеристики охлаждающей способности многих закалочных сред и процесс охлаждения в них все еще изучены недостаточно.

Охлаждение при закалке стали должно обеспечивать получение определенных структур по сечению изделий, т. е. определенную их прокаливаемость, и вместе с тем не должно вызывать закалочных дефектов – трещин, коробления, деформации и повышенного уровня остаточных напряжений. При закалке стали на охлаждение ее в интервалах пониженной устойчивости аустенита ниже критической точки А должно производиться со скоростью, превышающей критическую скорость закалки, значения которой для легированных сталей колеблются от десятых долей до 100 град/сек., а для углеродистых – от 100 до 600 град/сек. Несмотря на то, что в соответствии с данными термокинетических и С-кривых ускоренное охлаждение необходимо только в сравнительно узких интервалах температур, соответствующих перлитному и бейнитному превращениям, фактически, в силу значительности объема и тепловой инерции закаливаемых изделий, ускоренное охлаждение их обычно распространяется на значительно больший интервал температур.

При закалке изделий на мартенсит применяется форсированное охлаждение поверхности, скорость снижения температуры которой часто значительно превышает критическую скорость закалки стали. С точки зрения образования закалочных дефектов скорость охлаждения выше мартенситной точки  $M_n$  играет различную роль. При повышении скорости резко увеличивается коробление и повышается уровень тепловых напряжений. Однако получаемое при этом повышение тепловых напряжений часто приводит к снижению суммарных закалочных напряжений, что уменьшает вероятность образования закалочных трещин. Ускоренное охлаждение в мартенситном интервале крайне нежелательно, так как вызывает резкое увеличение напряжений. Особенно опасными оказываются растягивающие напряжения, которые в условиях временного снижения прочности стали в период превращения и неблагоприятного физико-химического воздействия горячей воды могут вызывать образование трещин.

В зависимости от свойств стали, характера требуемых структур, а также формы и размеров изделий, для их охлаждения при закалке применяются среды, значительно отличающиеся по своим физическим свойствам: воздух, металлические плиты, расплавленные металлы, соли и щелочи, вода, водные растворы различных веществ, масла и пр. Отличие между перечисленными средами не исчерпывается только тем, что они охлаждают изделия быстрее или медленнее. Очень важной характеристикой сред, применяемых для закалки, является то, что некоторые из них быстро отбирают тепло в самом начале процесса охлаждения, другие - в середине, третьи - в конце. Наибольшее влияние на характер охлаждения закалочных сред оказывает наличие или отсутствие изменения их агрегатного состояния в период охлаждения.

УДК 629.113.002.3(083)

### **Современные материалы в автомобилестроении**

Студент гр. 10401115 Костюкевич П. А.

Научный руководитель Вейник В. А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Развитие автомобильной промышленности требует создания новых и качественных материалов. Материалы из углеволокна наиболее полно отвечают современным требованиям, так как обладают рядом уникальных характеристик и демонстрируют наилучшее

соотношение цены и качества. Композитные материалы для автомобилей заметно потеснили на рынке привычный металл. Причем не только сталь, но и алюминиевые сплавы, которые до недавнего времени считались во всех отношениях лучшими. В настоящее время композиционные материалы используются при создании практически любого узла автомобиля. Выпускают даже концепт-кары, корпус которых целиком состоит из композитов.

Композиционные материалы и изделия на основе непрерывных волокон и армирующих тканей широко используются для производства деталей автомобиля. Чаще всего из них делают:

- силовые конструкции – силовые структуры дверей, защитные элементы днища;
- элементы крепления бамперов и радиаторов;
- декоративные элементы – декоративные панели салона, внешние декоративные панели;
- крышки багажников, кузовные панели, тормозные диски, элементы кузова, термо- и звукоизоляцию.

#### **Углепластик в автомобилестроении**

Композитные материалы для автомобилестроения – это продукция из углеродного волокна. Наиболее важное преимущество углеволокна – небольшой вес и высокая прочность. Углепластик в 5 раз легче стали и в 1,8 раза легче алюминия. Использование композитов в автомобилестроении позволяет снизить массу транспортного средства на 20–25 %. За счёт этого заметно повышается эффективность работы двигателя и снижается расход горючего. Углеродные волокна производят из синтетических и природных волокон на основе полимеров. В зависимости от режима обработки и исходного сырья получают материалы разной структуры и с разными свойствами. В этом заключается главное преимущество композитных материалов. Их можно создавать с изначально заданными свойствами под определенную задачу.

Волокна, состоящие из тончайших нитей углерода, получают термической обработкой на воздухе, то есть окислением, полимерных или органических нитей (полиакрилонитрильных, фенольных, лигниновых, вязких) при температуре 250 °С в течение 24 часов, то есть их обугливанием. На рисунке 1 представлено, как выглядит под микроскопом нить после обугливания.

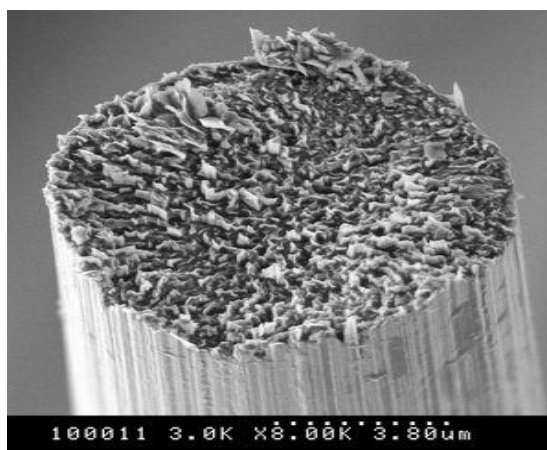


Рисунок 1 – Особенности технологии изготовления углеродного волокна

После окисления проходит карбонизация – нагрев волокна в среде азота или аргона при температурах от 800 до 1500 °С для выстраивания структур, подобных молекулам графита. Затем проводится графитизация (насыщение углеродом) в этой же среде при температуре 1300–3000 °С. Этот процесс может повторяться несколько раз, очищая графитовое волокно от азота, повышая концентрацию углерода и делая его прочнее. Чем

выше температура, тем прочнее получается волокно. Этой обработкой концентрация углерода в волокне увеличивается до 99 %.

Carbon – это углерод, из которого получают карбоновые волокна. По прочности карбон превосходит сталь (чёрный металлопрокат) в 12,5 раз. Сейчас нет ни одной кузовной детали, которая не была бы сделана из карбона. Из него изготавливают не только капоты, но и крылья, бампера, двери и крыши. Факт экономии веса очевиден. Средний выигрыш в весе при замене капота на карбоновый составляет 8 кг. Развитие технологии в автомобилестроении в первую очередь связано с развитием автоспорта. Наблюдая технический прогресс в области развития и применения композиционных материалов, можно уверенно сказать, что в ближайшем будущем появятся серийные автомобили с полностью композитным кузовом и многими узлами и агрегатами.

#### **Виды волокон карбона. Полотно**

Волокна могут быть короткими, резаными, их называют «штапелированными», а могут быть непрерывные нити на бобинах. Это могут быть жгуты, пряжа, ровинг, которые затем используются для изготовления тканого и нетканого полотна и лент. Иногда волокна укладываются в полимерную матрицу без переплетения (UD). Так как волокна отлично работают на растяжение, но плохо на изгиб и сжатие, то идеальным вариантом использования углеволокна является применение его в виде полотна CarbonFabric. Оно получается различными видами плетения: елочкой, рогожкой и пр., имеющими международные названия Plain, Twill, Satin. Правильный выбор полотна по техническим характеристикам волокна и виду плетения очень важен для получения качественного карбона. В качестве несущей основы чаще всего используются эпоксидные смолы, в которых полотно укладывается послойно, со сменой направления плетения, для равномерного распределения механических свойств ориентированных волокон. Чаще всего в 1 мм толщины листа содержится 3–4 слоя.

УДК 66.094.552

### **Борирование сталей**

Студент гр.10401115 Капусто П. М.  
Научный руководитель – Вейник В. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Борирование стали проводят для повышения ее поверхностной твердости (до 1800–2000 HV), соответственно износостойкости, повышения коррозионной стойкости, окалиностойкости (до 800 °С) и теплостойкости. Процесс заключается в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали бором при нагревании в определенной среде.

Газовое борирование схоже с процессами цементации и азотирования сталей. Процесс проводят в печах в среде диборана ( $B_2H_6$ ), треххлористого бора ( $BCl_3$ ), триметила –  $(CH_3)_3B$  или других борсодержащих веществ. Чаще применяют диборан и треххлористый бор, который разбавляют водородом, аргоном, азотом или аммиаком. Применение азота в качестве разбавителя сильно снижает взрывоопасность среды. Насыщение проводят при температурах 800–900 °С. Время выдержки составляет от 2 до 6 часов. Существенное влияние на результаты борирования оказывает избыточное давление насыщающей среды. При газовом борировании на углеродистых сталях формируется боридный слой толщиной 0,1–0,2 мм и твердостью 1800–200 HV.

#### **Электролизное борирование**

Такое борирование чаще проводят при электролизе расплавленной буры ( $Na_2B_4O_7$ ). Процесс проводят в ваннах при температуре 930–950 °С, время выдержки 2–6 часов. Борлируемые изделия служат в качестве катодов, которые монтируются на подвески.

### **Жидкостное борирование**

Жидкостное борирование основано на диффузионном безэлектролизном насыщении поверхности стали бором. Его, так же как и электролизное борирование, проводят в печах-ваннах. В качестве насыщающих сред используют расплавленные хлористые соли ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{BCl}_2$ ) с добавками ферроброма или карбида бора. Также применяют расплавы других щелочных металлов, например,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ . В данном случае, к расплаву дополнительно добавляют электрохимические восстановители: химически активные элементы ( $\text{Al}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{B}$  и др.) или ферросплавы, лигатуры и химические соединения на их основе. Для получения двухфазных ( $\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$ ) слоев можно использовать расплав, состоящий из 60–70 %  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  и 40–30 %  $\text{B}_4\text{C}$ . Для получения однофазных ( $\text{Fe}_2\text{B}$ ) слоев можно использовать расплав, состоящий из 70 %  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  и 30 %  $\text{SiC}$ .

### **Термодиффузионное борирование в порошковых смесях**

Часто, с целью местного борирования, применяют борирование с использованием обмазок. Такой способ целесообразен для химико-термической обработки крупногабаритных изделий. Также стоит отметить способ борирования в ящиках при помощи порошков-наполнителей. При таком способе используют порошки аморфного и кристаллического бора, карбида бора, ферробора и т. д. Процесс проводят при температуре 900–1000 °С в течение 2–6 часов. При этом получается слой толщиной 0,08–0,15 мм.

В качестве преимущества борирования перед другими способами химико-термической обработки стоит отметить более высокую поверхностную твердость стали.

УДК 691.175

### **Применение полимеров в автомобилестроении**

Студент гр. 10405516 Миковоз М. В.  
Научный руководитель – Вейник В. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В настоящее время из полимеров изготавливают комплектующие автомобилей и их отдельные крупногабаритные детали, разнообразные малогабаритные детали конструкционного и декоративного назначения, теплоизоляционные и звукоизоляционные детали и др.

Благодаря применению полимеров (пластмасс) в автомобилестроении: улучшается внешний вид автомобиля, уменьшается его масса, снижается шум при езде, совершенствуется конструктивное оформление деталей, увеличивается срок службы деталей, уменьшается трудоемкость изготовления.

Замена металлов пластмассами при изготовлении деталей сложной конфигурации дает значительный технико-экономический эффект, так как многие детали из пластмасс могут быть получены на автоматизированных установках с минимальными отходами перерабатываемого материала.

Особенно большую перспективу имеет применение пластмасс для изготовления кабин и кузовов, и их крупногабаритных деталей, так как на долю кузова приходится около половины массы автомобиля и ~40 % стоимости. Кузова из коррозионностойких пластмасс более надежны и долговечны в эксплуатации, чем металлические 70 % автомобилей с металлическими кузовами не выдерживают 10-летнего срока эксплуатации из-за коррозии металла), а их ремонт дешевле и проще.

При изготовлении кабин и кузовов автомобиля наиболее широкое применение находят полиэфирные стеклопластики и слоистые пластики на основе фенольных смол и тканей из растительных волокон (фенотекстолиты).

Методом горячего прессования из стеклопластика изготавливался, например, кузов легкового автомобиля «Корвет» (США), который монтировался из отдельно формуемых



панелей, а также капот и оперение грузового автомобиля «Форд» серии L. Стеклопластик был использован также для изготовления кабины грузового автомобиля «Фаун» (ФРГ) и кузова легкового спортивного автомобиля «ВМС» модели 1100 (Великобритания) методом контактного формования. В ГДР выпускался легковой автомобиль «Трабант» с кузовом из фенолтекстолита, который монтировался из панелей, получаемых прессованием. Как правило, отдельные детали кузова крепятся на металлическом каркасе.

Для изготовления кузовов применяют также сополимер АБС и жесткие пенополиуретаны. Например, кузов автомобиля «Диана-6-Мексари» (Франция) состоял из 11 деталей, получаемых вакуум формованием сополимера АБС. В ФРГ были созданы опытные образцы легкового кабриолета «УАК» (масса 65 кг) из пенополиуретана. В дальнейшем полиуретан заменили на алюминий, что сделало автомобиль не перспективным по цене.

Несмотря на отмеченные выше преимущества полимеров перед металлами, они не получили еще широкого распространения в производстве крупногабаритных деталей автомобиля, главным образом из-за недостаточной жесткости (низкого модуля Юнга) и сравнительно невысокой атмосферостойкости, например, у сополимера АБС. Наиболее широко пластмассы применяют в производстве деталей внутренней отделки салона автомобиля, особенно его передней части. При изготовлении декоративных деталей пластмассы окрашивают в массу или металлизуют. На наружные видовые детали металл наносят трудоемким, но позволяющим получать более износостойкие покрытия гальваническим способом, на внутренние детали – вакуумным способом. Из пластмасс изготавливают детали двигателя, трансмиссии, шасси. При использовании пластмасс в подшипниках скольжения уменьшается трудоемкость обслуживания автомобиля, так как подшипники с вкладышами из пластмассы и консистентной смазкой, которую закладывают во время сборки, не требуют периодической смазки при пробеге автомобиля до 80–100 тыс. км.

*Примеры применения полимеров в автомобилестроении, в частности – для производства малогабаритных комплектующих деталей автомобиля:*

- Поливинилхлорида (ПВХ) изготавливают патрубки для стеклоомывателя ветрового стекла, сильфоны, изоляцию электропроводов, мягкие ручки, кнопки, канты, прошвы и др.

- Для звукоизоляции, защиты днища кузова от коррозии, герметизации сварных швов внутри кузова, препятствующей проникновению воды и пыли, уплотнения желобка водослива, склеивания фильтрующих элементов масляных фильтров с верхней и нижней картонными крышками, изготовления прокладок воздушного фильтра и др. широко используют *поливинилхлоридные пластизолы*.

- Поливинилхлоридными пленками отделяют потолок, сиденья, дверную и боковую обшивку салона.

- Из полужесткого пенополиуретана изготавливают стойки ветрового стекла, щитки приборов, подлокотники, внутренние дверные панели, противосолнечный козырек и др.

- Из монолитных полиуретанов – подшипники скольжения рулевого управления, подвески, ремни привода распределительного вала, амортизатор рулевого механизма.

- Сополимер АБС использовался в производстве вентиляционных решеток, картера системы охлаждения, колпаков колес, щитка приборов, дверных карманов, чехлов для сидений, перчаточного ящика автомобиля «BMW». Этот сополимер используют также для облицовки радиатора, вентиляционных отверстий, эмблем.

- Некоторые зарубежные фирмы («Дженерал моторс» – США, «Фиат» – Италия, «Тайота» – Япония) устанавливают на автомобилях решетки радиаторов из сополимера АБС, хорошо окрашиваемого в массу (эти детали изготавливают также из наполненных стекловолокном полиамидов и полипропилена).

- Трудоемкость их изготовления из пластмасс в 4 – 5 раз меньше, чем из металла. Решетки радиаторов из пластмассы, устанавливаемые на машинах США, металлизуют гальваническим способом, на европейских – окрашивают в массу; в последнем случае повышается безопасность при езде вследствие уменьшения бликов.

- Полипропилен используют для изготовления вентиляционных трубопроводов, лопастей вентиляторов, педалей акселератора, а также для облицовки дверей; из этого полимера изготавливают ручки, крючки и др.

- Полиметилметакрилат – основной полимер для изготовления деталей внутрисалонного освещения, защитных колпаков фонарей заднего света.

- Пластмассы на основе ацетобутирата целлюлозы используют для облицовки рулевого колеса, изготовления кнопок управления, а также разнообразных декоративных деталей.

- Из полиамидов изготавливают лопасти вентиляторов, подшипники, топливопроводы, направляющие сидений, детали дверных замков.

- Из полиэтилена – топливные баки, уплотнительные прокладки, облицовку дверей, багажников.

- Политетрафторэтилен применяют для изготовления втулок подшипников скольжения.

- Фенопласты – для электроизоляционных деталей системы зажигания и др.

В заключение можно отметить что наилучшая надежность работы автомобиля, его долговечность, комфорт при езде и безопасность движения могут быть обеспечены при условии применения полимерных материалов – пластмасс, резин, лаков и красок и др.

УДК 621.78.066.6

### Выбор температурно-временных параметров ступенчатой закалки для высоколегированных сталей

Студенты гр. 10401112 Октысюк Д. Н., Абрамович А. Ю.

Научный руководитель – Стефанович В. А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Закалка является основной и важнейшей операцией окончательной термической обработки инструментов. Она должна обеспечивать высокую твердость, износостойкость, теплостойкость и высокую прочность режущей части инструментов.

Основными параметрами закалки, определяющими структуру, твердость и теплостойкость инструментальных сталей, являются температура и продолжительность нагрева при выполнении этой операции, а также условия охлаждения. Высокая скорость охлаждения при закалке высоколегированных сталей способствует деформации деталей и появлению трещин. Для устранения данных дефектов применяют ступенчатую закалку. При ступенчатой закалке изделие, нагретое до температуры закалки переносят в жидкую среду, имеющую температуру на 50–100 °С выше мартенситной точки  $M_n$  для закаливаемой стали, выдерживают некоторое время необходимое для выравнивания температуры по сечению, а затем окончательно охлаждают на воздухе.

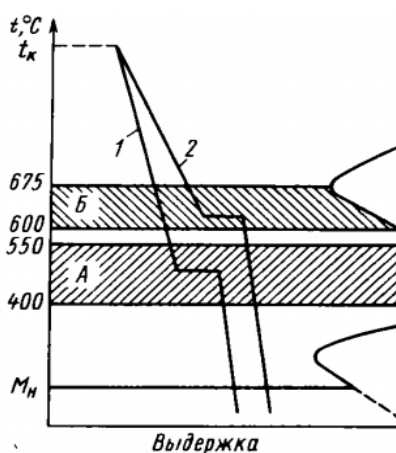


Рисунок 1 – Ступенчатая закалка

При обычной ступенчатой закалке инструменты из быстрорежущих сталей охлаждаются в жидкой среде с выдержкой в зоне А (рисунок 1, кривая 1) при температуре 400–550 °С, отвечающей области наибольшей устойчивости переохлажденного аустенита; продолжительность выдержки при этой температуре выбирают равной времени окончательного нагрева, а дальнейшее охлаждение проводят на воздухе.

В качестве охлаждающей среды при данном способе обычно используют калиевую селитру или ее смеси с едким натром. Данный расплав является взрывоопасным и разъедает поверхность детали, что приводит к браку.

Применение высокоступенчатой закалки (рисунок 1, кривая 2) расположенной зоне Б, охватывающей интервал температур 600–675 °С позволит использовать в качестве расплава смесь солей 30 %  $\text{BCl}_2 + 20\% \text{NaCl} + 50\% \text{CaCl}_2$ , которая имеет температуру плавления выше 500 °С и является невзрывоопасной. Но при данных температурах у быстрорежущих сталей из аустенита по границам зерен выделяются вторичные карбиды, вызывающие «порчу» теплостойкости и снижающие вязкость. Анализ термокинетических диаграмм распада аустенита позволил определить температурновременные параметры высокоступенчатой закалки для быстрорежущих сталей (Р6М5, Р6М5К5, Р12):  $t=580\text{--}600$  °С с выдержкой <2,5мин. Данные температурновременные параметры обеспечат минимальное коробление длинномерных изделий, отсутствие в структуре повторно выделившихся вторичных карбидов и применять высокоступенчатую закалку для изделий толщиной не более 15 мм.

УДК 612.745.669.13

### **Международная маркировка алюминиевых сплавов**

Студент гр.10405515 Мышковец С. А.

Научный руководитель – Вейник В. А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В мировой алюминиевой промышленности применяется система классификации алюминиевых сплавов, которая основана на системе Американской Алюминиевой Ассоциации (АА). Эту же классификацию применяют международные стандарты ISO и европейские стандарты EN, но в дополнение к цифровым обозначениям сплавов применяют также буквенно-цифровые обозначения. Все алюминиевые сплавы подразделяются на деформируемые и литейные, которые, в свою очередь, подразделяются на различные серии (группы) по главным легирующим элементам. Каждая из этих групп принадлежит или к термически упрочняемым сплавам, или к термически не упрочняемым сплавам. На основании классификации Американской Алюминиевой Ассоциации американский стандарт ANSI H35.1 дает системы обозначений алюминия и алюминиевых сплавов.

Международная маркировка деформируемого алюминия и деформируемых алюминиевых сплавов приведена в таблице 1. В ней применяется цифровая система обозначения из четырех цифр.

Первая цифра «1» указывает серию марок технического алюминия. Признаком, по которому алюминиевый сплав относится к одной из серий от 2xxx до 8xxx, является легирующий элемент с максимальным средним (номинальным) содержанием. Исключение составляют сплавы серии 6xxx, в которых главным преобладающим признаком является соотношение содержания магния и кремния, которые доступны для образования силицида магния  $\text{Mg}_2\text{Si}$ .

Если одинаковое максимальное среднее содержание в сплаве имеют несколько легирующих элементов, то выбор серии производится в порядке следования серий: медь, марганец, кремний, магний, силицид магния, цинк.

В марках алюминия серии 1xxx обозначения, которые имеют вторую цифру от 1 до 9 указывают на специальный контроль одной или более индивидуальных примесей. В сплавах серий от 2xxx до 8xxx вторая цифра в обозначении сплава указывает на модификацию

сплава. Если вторая цифра является нулем, то это указывает на первоначальный, базовый сплав. Цифры от 1 до 9 указывают, соответственно, модификацию базового сплава.

Таблица 1 – Маркировка деформируемых алюминиевых сплавов.

Алюминий, не менее 99,00 %	1xxx
Алюминиевые сплавы по сериям:	
Медь	2xxx
Марганец	3xxx
Кремний	4xxx
Магний	5xxx
Магний и кремний (Mg <sub>2</sub> Si)	6xxx
Цинк	7xxx
Другие элементы	8xxx
Резервная серия	9xxx

Третья и четвертая цифры. Серия 1xxx включает нелегированный алюминий с естественным уровнем примесей. Последние две цифры (10xx) применяются для обозначения минимально допустимого содержания алюминия в различных вариантах нелегированного алюминия. Обычно их называют марками алюминия. Эти две последние цифры совпадают с последними цифрами минимального содержания алюминия, который указывается до ближайшего 0,01 %. Например, при содержании алюминия не менее 99,80 % марка алюминия имеет обозначение 1080. Последние две цифры в обозначениях сплавов серий от 2xxx до 8xxx не имеют никакого физического или химического смысла, а просто идентифицируют различные сплавы внутри группы.

Дополнительные буквы. Иногда в конце четырех цифр обозначения добавляется буква А, которая указывает на модификацию сплава. Например, сплав 6063А является модификацией сплава 6063.

Международные обозначения литейных сплавов. Система из обозначений литейных марок алюминия и алюминиевых сплавов также основана на четырех цифрах, однако последняя цифра отделяется от остальных десятичной точкой. Эта система идентифицирует марки алюминия и алюминиевые сплавы, а также различает их варианты для готовых отливок и для слитков для переплава.

Первая цифра в обозначении литейных алюминиевых сплавов указывает на серию сплавов, приведено в таблице 2.

Для литейных сплавов от 2xx.x до 8xx.x соответствующая серия определяется по легирующему элементу, который присутствует в сплаве в максимальной средней концентрации. Если в сплаве одинаковое максимальное среднее содержание имеют несколько легирующих элементов, то для такого сплава главный легирующий элемент определяется в порядке следования серий: от меди (2xx.x) к олову (8xx.x). Для литейного алюминия серии 1xx.x вторая и третья цифры, как и для деформируемого алюминия, указывают на чистоту металла. Для сплавов серий от 2xx.x до 9xx.x вторая и третья цифры идентифицируют конкретный литейный алюминиевый сплав.

Таблица 2 – Маркировка деформируемых алюминиевых сплавов

Алюминий, не менее 99,00 %	1xx.x
Алюминиевые сплавы по сериям:	
Медь	2xx.x
Кремний (с добавками меди и/или магния)	3xx.x
Кремний	4xx.x
Магний	5xx.x
Цинк	7xx.x
Олово	8xx.x
Другие элементы	9xx.x
Резервная серия	6xx.x

Химический состав одного и того же литейного сплава, который идентифицируется первыми тремя цифрами, имеет варианты в зависимости от его назначения, на которые указывает четвертая цифра – цифра сразу после десятичной точки: 0 обозначает отливку (готовое изделие); 1 обозначает стандартный слиток; 2 обозначает слиток с более узким химическим составом внутри химического состава стандартного слитка.

Дополнительные варианты химического состава, например, различия по содержанию примесей, обозначаются заглавными буквами перед цифровым обозначением сплава. Например, один из самых популярных сплавов для гравитационного литья, сплав 356, имеет варианты А356, В356 и С356.

Все используемые в настоящее время изолирующие покрытия по своему составу могут быть отнесены к неорганическим или органическим покрытиям. И те, и другие применяются преимущественно для защиты от атмосферной или почвенной коррозии.

*Органические.* Нанесение на металл, органического изолирующего покрытия – наиболее традиционный, а по масштабу применения наиболее широко используемый метод защиты от коррозии. Существует весьма широкий ассортимент изолирующих материалов этого типа, мировое производство которых составляет сотни миллионов тонн.

*Неорганические.* Один класс этого вида покрытий – стекловидные эмали, получаемые нагревом защищаемой поверхности с нанесением на нее слоем стекловидного шлака до температуры плавления стекловидного шлака. Такие покрытия используются преимущественно для защиты стали и чугуна от агрессивного воздействия атмосферы и некоторых других сред. Другой разновидностью неорганических изолирующих покрытий составляют так называемые конверсионные покрытия, наносимые путем химической или электрохимической обработки поверхности металла. К числу таких покрытий относятся оксидирование, фосфатирование, химическое никелирование и др.

*Оксидирование.* Сущность различных методов оксидирования заключается в создании на поверхности металлов слоя окислов, которые обладают значительно большей коррозионной стойкостью, чем основной металл. Химическому оксидированию подвергают стали, сплавы алюминия, магния.

*Фосфатирование.* Этот способ чаще всего применяется для защиты стали, цинка, магния. Фосфатирование – процесс получения на поверхности пленки фосфорнокислой соли железа и марганца. Фосфатные пленки обладают невысокой коррозионной стойкостью вследствие пористости.

*Химическое никелирование.* Химическое никелирование осуществляется без приложения тока извне за счет восстановления ионов никеля из кислых или щелочных растворов его солей гипофосфитом натрия или кальция.

Металлические покрытия

*Гальванические покрытия.* Принципы получения гальванических покрытий, основаны на осаждении на поверхности защищаемых металлов катионов из водных растворов солей при пропускании через них постоянного электрического тока от внешнего источника. Защищаемый металл при этом является катодом, а анодом служат пластины осаждаемого металла (растворимые аноды) либо пластины металла, нерастворимого в электролите (нерастворимые аноды). В первом случае при замыкании электрической цепи металл анода растворяется, а из раствора на катоде выделяется такое же количество металла, так что концентрация раствора соли в процессе электролиза практически не изменяется. При проведении процесса с нерастворимыми анодами постоянную концентрацию раствора поддерживают периодическим введением требуемых количеств соответствующей соли. По механизму защиты различают анодные и катодные металлические покрытия. Металл анодных покрытий имеет электродный потенциал, более отрицательный, чем потенциал защищаемого металла. В случае применения анодных покрытий не обязательно, чтобы оно было сплошным. Примерами анодных покрытий являются покрытия железа цинком и кадмием. Катодные металлические покрытия, электродный потенциал которых более

электроположителен, чем потенциал основного металла, могут служить надежной защитой от коррозии только при условии отсутствия в них сквозных пор, трещин и других дефектов, так как они механически препятствуют проникновению агрессивной среды к основному металлу. Примерами катодных защитных покрытий являются покрытия железа медью, никелем, хромом и т. п. *Термодиффузионные покрытия.* Эти покрытия обладают сравнительно высокой коррозионной стойкостью и высокой адгезией. Диффузионные покрытия получают в результате насыщения поверхностных слоев защищаемого металла атомами защищающего металла и диффузии, последних в глубину защищаемого металла при высоких температурах. В поверхностных слоях покрываемого металла обычно наблюдается образование новых фаз химических соединений или твердых растворов.

*Горячие покрытия.* Способ горячего нанесения покрытий заключается в погружении изделий в расплавленный металл. Возможности получения покрытия горячим способом определяются способностью покрываемого металла смачиваться расплавленным металлом покрытия. Покрывающий металл, как правило, должен иметь более низкую температуру плавления, чем покрываемый металл. Наиболее широко этот метод применяется в промышленности для нанесения на углеродистую сталь цинка, олова, свинца.

*Плакирование.* Способ плакирования или облицовки заключается в том, что на матрицу основного металла накладывают с обеих сторон (или с одной стороны) листы другого металла, затем весь пакет подвергают горячей прокатке, получая в результате диффузии на границах раздела металлов прочное сцепление между слоями. Таким способом сталь плакируют медью, латунью, никелем, алюминием, нержавеющей сталью, получая биметаллические материалы. Толщина плакировочного слоя обычно составляет 8–20% общей толщины листа.

УДК 621.745.669.13

### **Вакуумная цементация**

Студент гр.10401114 Синкевич А. П.

Научный руководитель – Вейник В. А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

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

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

Цементация в вакууме с использованием пропана или ацетилена применяется в большинстве случаев для деталей несложной геометрии. Однако было доказано, что ацетилен дает лучший выход по углеводороду из-за своей нестабильности и более высокого содержания углеродов на моль. Поэтому, используя ацетилен, можно без особых проблем производить цементацию даже плотно загруженных садок с деталями сложной геометрии. Небольшое количество технологического газа проходит через рабочую камеру и удаляется вакуумными насосами. Параметры температуры и проток газа, определяются в зависимости от требования к деталям и используются для управления процессом. Для достижения необходимого углеродного профиля цементация сменяется этапом диффузии, весь процесс завершается этапом диффузии. Эта последовательность также является параметром системы управления.

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

Благодаря отсутствию кислорода (воздуха) качество и характеристики поверхности деталей значительно улучшились.

*Преимущества цементации в вакууме:* быстрая передача углерода, отсутствие поверхностного окисления, равномерность глубины слоя цементации, незначительный расход газа цементации, можно проводить цементацию на высоких температурах.

УДК 621.785.5

### **Термодиффузионное упрочнение элементов холодильников стекольного производства и повышение их жаростойкости**

Студент гр. 10405512 Сможевский И. И.  
Научный руководитель – Дашкевич В. Г.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В настоящее время в промышленности применяют разнообразные покрытия, наносимые на поверхность изделий тем или иным способом в зависимости от условий их эксплуатации. Диффузионное насыщение позволяет при относительно небольших затратах формировать в поверхностных слоях изделий необходимую структуру, соответствующую требуемым свойствам, и представляет собой одну из главных задач в общей системе мер по защите металла от коррозии, повышения его жаростойкости и износостойкости.

Медь и ее сплавы широко используются при изготовлении деталей, которые эксплуатируются в условиях контакта с высокотемпературными газовыми потоками, агрессивными газами, вызывающими интенсивную коррозию. Однако, обладая высокой электро- и теплопроводностью, медь имеет низкую жаростойкость.

В настоящей работе представлены исследования возможности применения технологических процессов алитирования для повышения эксплуатационных свойств теплоотводящих ламелей холодильников, использующихся при производстве стекловолокна.

При производстве стекловолокна стеклянные нити вытягивают из стекломассы, поступающей из стекловаренной печи. Стекло в этом случае распределяется через фильерные питатели, на которых установлены подфильерные холодильники. Подфильерный холодильник выполняется из меди и конструктивно представляет собой водоохлаждаемый корпус со штуцерами для подачи воды и теплоотводящие ребра-ламели, припаянные твердым припоем к корпусу.

Наиболее быстро повреждаются теплоотводящие ламели холодильника. Воздействие высокой температуры, создаваемой расплавленной стекломассой, вызывает нагрев их до температуры порядка 800–850 °С. Такое воздействие температуры и агрессивной атмосферы паров кислот, приводит к активной коррозии теплоотводящих ламелей.

Известно, что одним из наиболее рациональных способов защиты от высокотемпературной коррозии металлов, в том числе меди, при температурах до 800–850 °С является термодиффузионная обработка, а именно насыщение элементами образующими при окислении плотные, устойчивые оксидные слои, в частности алюминием, кремнием и хромом.

У алитирования при достаточно низкой температуре обработки, отсутствии дефицитных и дорогих компонентов насыщающей среды, высокая скорость роста диффузионного слоя. Для проведения процесса не требуется специализированного оборудования, его можно реализовать в стандартной, желательна шахтной, печи. Особых требований к

подготовке поверхности тоже нет, после насыщения и очистки поверхности дополнительных операций не проводится, изделие готово к эксплуатации.

Алитирование осуществлялось путем термодиффузионной обработки в порошковой среде в закрытых контейнерах. Установлено, что при насыщении на поверхности образуется диффузионный слой (рисунок 1) в котором отчетливо видны три зоны: ближе к поверхности твердый раствор толщиной около 5–10 мкм (1), глубже – комплекс алюминидных фаз, это твердые растворы на основе соединения  $\text{CuAl}_2$  и, предположительно,  $\text{Cu}_9\text{Al}_4$  общей толщиной 35–40 мкм (2), а также переходная зона (до 8 % Al масс.) представляющая собой  $\alpha$ -фазу толщиной 10–20 мкм (3).

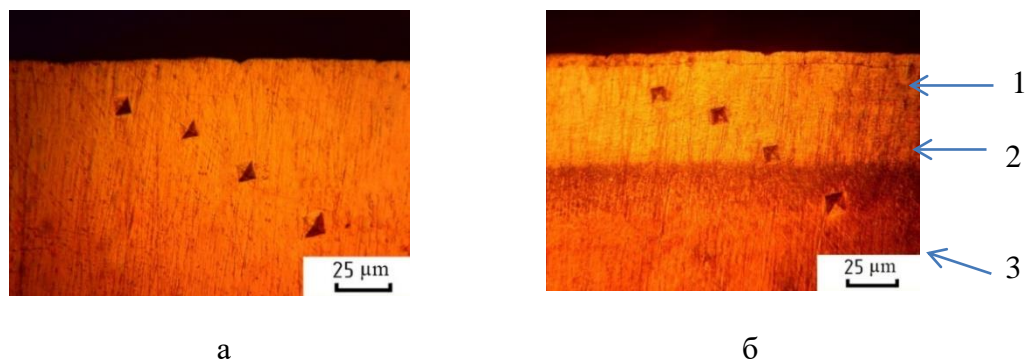


Рисунок 1 – Микроструктура алитированного слоя на меди (температура насыщения 550 °С, время 4 часа):  
а – без травления; б – с травлением

Толщина алитированного слоя за 4 часа обработки (без учета времени на прогрев контейнера) составила около 50 мкм. Микротвердость фаз основной части диффузионного слоя изменяется незначительно, средняя величина составляет 550 МПа.

При исследовании жаростойкости алитированной меди установлено, что привес образцов при окислении на воздухе при температуре 800 °С за 25 часов испытаний составил около 7 мг/см<sup>2</sup>, что практически в 10 раз меньше, чем у образцов из технической меди без упрочненного слоя. Таким образом, алитирование меди – эффективный технологический прием повышения долговечности медных деталей в условиях высокотемпературной газовой коррозии.

УДК 669.716

### **Исследование триботехнических свойств литейного силумина АК15МЗ с целью замены антифрикционных бронз**

Магистрант спец. 1-42 81 01 Тышкевич Д. С.  
Научный руководитель – Кукареко В. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Замена дорогостоящих антифрикционных бронз на экономичные алюминиевые сплавы для изготовления узлов трения является актуальной задачей. В связи с этим целью работы являлось сравнительное исследование триботехнических свойств образцов из антифрикционной бронзы БрОЦС6-6-3 и алюминиевого сплава АК15МЗ.

Триботехнические испытания этих образцов проводились в режиме граничного трения на машине трения МТВП. Испытания осуществлялись по схеме возвратно-поступательного перемещения призматического образца (10×5×5 мм) из исследуемого сплава по пластинчатому контртелу, изготовленному из закаленной среднеуглеродистой стали 45 (520–600 HV 30). Скорость взаимного перемещения образца и контртела составляла 0,1–0,5 м/с.



Номинальная удельная нагрузка испытаний варьировалась в диапазоне от 10 до 100 МПа. Перед испытаниями рабочие поверхности контактирующих тел подвергалась механической шлифовке и доводке с использованием абразивной бумаги. Подготовленные к триботехническим испытаниям поверхности, обезжиривались спиртом, ацетоном и высушивались. При испытаниях контактирующие поверхности находились в масляной ванне из смазочного материала И-20. Для определения линейного износа, не превышающего 100 мкм, при трении в среде смазочного материала был использован метод искусственных баз. Углубления на поверхности наносились путем вдавливания индентора в виде пирамиды с квадратным основанием и углом при вершине между противоположными гранями  $136^\circ$ . Для случаев, когда износ образцов при испытаниях превышал 100 мкм, для определения величины линейного износа использовался цифровой штангенциркуль. Погрешность измерений величины износа образцов не превышала 10 мкм.

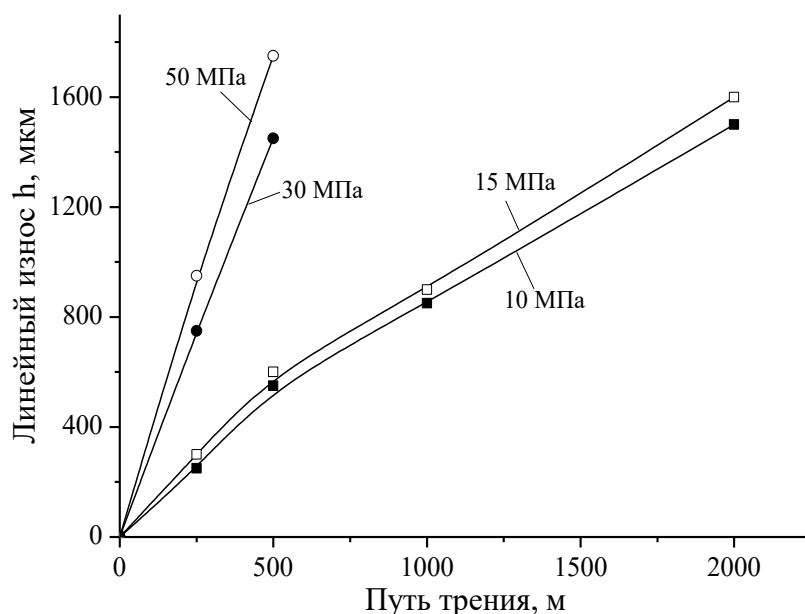


Рисунок 1 – Зависимость величины линейного износа образцов антифрикционной бронзы БрОЦС6-6-3 от пути трения при различных удельных нагрузках

Результаты сравнительных триботехнических испытаний образцов антифрикционной бронзы БрОЦС6-6-3 приведены на рисунке 1. Испытания образцов проводились при средней скорости взаимного перемещения образца по контртелу 0,1 м/с. Твердость бронзы БрОЦС6-6-3 составляла 110 HV 30.

Из рисунка 1 можно видеть, что при удельной нагрузке испытаний 50 МПа, образец бронзы БрОЦС6-6-3 обладает низкой износостойкостью, и интенсивность линейного изнашивания составляет  $I_h = 3,5 \cdot 10^{-7}$ . При уменьшении удельной нагрузки испытаний до 30 МПа интенсивность изнашивания образцов бронзы снижается до значения  $2,9 \cdot 10^{-7}$ . После проведения триботехнических испытаний при удельной нагрузке 15 МПа регистрируется дальнейшее понижение интенсивности изнашивания ( $I_h = 0,8 \cdot 10^{-7}$ ). Минимальное значение интенсивности изнашивания  $0,75 \cdot 10^{-7}$  регистрируется при нагрузке 10 МПа.

Относительно низкая износостойкость бронзы связана с интенсивным пластическим деформированием образцов в процессе трения при высоких давлениях.

Результаты триботехнических испытаний антифрикционного силумина АК15МЗ представлены на рисунке 2. Твердость силумина АК15МЗ составляла 155 HV 30. Из графика, приведенного на рисунке 2, можно видеть, что при низкой удельной нагрузке испытаний, равной 50 МПа ( $V = 0,1$  м/с) интенсивность линейного изнашивания силумина

находится приблизительно на одном уровне и составляет  $I_h \approx 0,9 \cdot 10^{-8}$ . Необходимо отметить, что интенсивность линейного изнашивания антифрикционного силумина при этих режимах трения во много раз меньше интенсивности изнашивания антифрикционной бронзы БрОЦС6-6-3 при удельном давлении 50 МПа и скорости перемещения 0,1 м/с.

УДК 621.785.5

### **Влияние предварительного гальванического меднения на морфологию термодиффузионного боридного слоя**

Студент гр. 10401113 Судников М. А., Шостыр А. И.  
Научный руководитель – Дашкевич В. Г.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Химико-термическая обработка (ХТО) используется в различных отраслях машиностроения для повышения надежности и долговечности широкого ассортимента деталей машин и инструмента, позволяет получать на поверхности изделия слой, отличающийся от сердцевины и обеспечивающий необходимый комплекс физических, химических и механических свойств.

В настоящее время накоплен огромный опыт по применению различных видов и способов ХТО. Тем не менее, получение специальных диффузионных слоев с особой морфологией слоя по-прежнему является актуальной задачей. Целью настоящей работы являлся поиск предпосылок получения при химико-термической обработке структур, значительно отличающихся от традиционных и исследование особенностей таких технологий. В частности для таких процессов как борирование – процесса насыщения поверхностного слоя детали бором.

Процесс борирования может осуществляться из порошковых сред, расплавов, обмазок, газовых сред, плазмы тлеющего разряда, а свойства боридных слоев могут изменяться в широком диапазоне. В нашем случае борирование проводилось в порошковых смесях при печном нагреве в герметичном контейнере с плавким затвором, по причине простоты и доступности такого способа насыщения. Нами был выбран следующий режим насыщения: температура 920 °С, время 4 ч.

Как известно, основное назначение борирования – повысить твердость и сопротивление изнашиванию деталям машин. В частности, по данным исследователей диффузионное борирование стали марки Ст 3 повышает ее износостойкость в гидроабразивной среде более чем в 20 раз, а износостойкость втулок быстроходных дизелей, изготовленных из борированной стали 45, оказывается в 2,8 раза выше, чем втулок, изготовленных из высококачественной легированной стали 38ХМЮА, с последующим азотированием, повышение износостойкости в масляных средах.

Одним из важнейших критериев, имеющих решающее значение для эффективного применения на производстве является хрупкость полученных термодиффузионных боридных слоев.

Отметим несколько направлений термодиффузионной обработки в порошковых средах функционально способных изменить структуру и морфологию диффузионного слоя:

1. Предварительная обработка поверхности перед насыщением.
2. Управление непосредственно процессом ХТО.
3. Последующая после насыщения термическая и химико-термическая обработка.

В настоящей работе рассматривается один из вариантов получения нетрадиционной морфологии термодиффузионного слоя, когда, например, растущие боридные иглы распределяются по стальной матрице не сплошным слоем, а фрагментами. Получить такой слой можно разделив диффузионный поток путем создания пористого (дефектного) медного

слоя, который будет являться своего рода мембраной, пропуская через себя атомы бора только в местах пор. В результате получаемая боридная фаза будет чередоваться с мягкой ферритной, перлитной или феррито-перлитной матрицей. Очевидно, что такое строение диффузионного слоя будет иметь как минимум одно преимущество, это пониженная хрупкость и склонность к скалыванию диффузионного слоя при высоких контактных давлениях.

На рисунке 1 продемонстрирован вариант однофазного боридного слоя, полученного при традиционных режимах насыщения (а) и вариант боридного слоя полученного после предварительного меднения в растворе медного купороса (б).



Рисунок 1 – Микроструктуры термодиффузионных однофазных боридных слоев:  
а – традиционный слой; б – диффузионный слой полученный после предварительного меднения

Как видно, при длительных режимах насыщения, срачивание боридных игл все-таки происходит. На рисунке 1, б верхний участок слоя сплошной, только в нижней части сохранилась раздробленность боридных игл. Это может свидетельствовать о существовании периода «работы» медного слоя, который в результате разрушется постепенно переходя в диффузионный слой и в подборидную фазу.

Необходимо отметить еще один возможный потенциальный плюс от формирования нетрадиционной структуры слоя. Известно, что растворимость меди в железе и боре при комнатной температуре ничтожно мала, большая часть меди при формировании слоя должна распределяться собственными включениями в структуре. Проведенными экспериментами подтверждается наличие меди в структуре в виде обособленных мельчайших включений округлой и продолговатой формы с размерами порядка 1–10 мкм. Такая структура достаточно перспективна в контексте улучшения упругих и антифрикционных свойств диффузионного слоя. Например, предполагается, что включения меди при сухом трении скольжении, могут частично выполнять роль смазки облегчая трение.

УДК 669.58

### **Исследование влияния знакопеременных нагрузок на эксплуатационные свойства металлических элементов с цинковыми интерметаллидными диффузионными слоями, сформированными в порошковых насыщающих средах**

Студент гр.10401113 Шостыр А. И.  
Научный руководитель – Булойчик И. А.  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск

Одним из альтернативных направлений в сфере получения защитных цинковых покрытий на стальных изделиях является способ термодиффузионного цинкования в порошковых насыщающих средах (ТДС). Преимущественной особенностью данного спо-

соба является возможность замены процессом ТДЦ ряда операций термической обработки деталей (отпуска), что ведет к снижению затрат на термическую и антикоррозионную обработку изделий. При использовании данного способа в качестве завершающей операции химико-термической обработки закаленных изделий, работающих в условиях циклического нагружения, возможно снижение прочностных свойств, обусловленное формированием в поверхностной зоне детали хрупких фаз интерметаллидного диффузионного слоя. Для ряда конструкционных деталей существенным является знакопеременный характер действующей нагрузки. В этом случае твердые (порядка 3300 МПа) цинковые интерметаллидные диффузионные слои могут выступать в качестве источника формирования усталостных трещин при знакопеременных нагрузках, что может привести к преждевременному разрушению изделия.

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов на механическую усталость

№ образца	Сталь 45		Сталь 65Г	
	Предельное напряжение при изгибе $\sigma_k$ , МПа	Долговечность образца $N_\Sigma$ , цикл	Предельное напряжение при изгибе $\sigma_k$ , МПа	Долговечность образца $N_\Sigma$ , цикл
Образцы с диффузионным слоем				
1	350	332350	250	362186
2	300	253523	250	334692
3	350	353364	250	357462
Образцы без защитного покрытия				
4	400	484015	350	528871
5	400	436715	350	495309
6	400	458241	350	525662

С целью определения влияния формирования цинкового диффузионного слоя на усталостные характеристики стальных изделий, провели сравнительное исследование механических свойств, при циклических нагрузках термически обработанных образцов из стали 45 и 65Г, обработанных способом ТДЦ и без антикоррозионной обработки.

Усталостные испытания проводились ускоренным методом ступенчатого нагружения, согласно СТБ 1233–2000. Образцы с цинковым диффузионным слоем продемонстрировали меньшую долговечность и меньшее предельное напряжение при изгибе в сравнении со стальными образцами без защитного цинкового покрытия (рисунок 1).



Рисунок 2 – Характер изломов образцов после проведения испытаний для стали 45: а – образец с цинковым диффузионным слоем; б – образец без защитного покрытия

Данный факт может быть обусловлен формированием хрупких интерметаллидных фаз ( $\Gamma$  – фаза) в переходной зоне от стальной основы к диффузионному слою в исследуемых образцах. Они являются концентраторами напряжений, которые, при увеличении знакопеременной внешней нагрузки, могут являться причиной зарождения усталостной трещины. Отличительной особенностью изломов образцов, представленных на рисунках 2, 3, является формирование сразу нескольких очагов разрушения в приповерхностной зоне для образцов из стали 65Г. Данный факт может быть объяснен большим количеством структурных напряжений за счет большей твердости образцов из стали 65Г в сравнении с образцами из стали 45, что послужило более активному зарождению усталостных трещин.

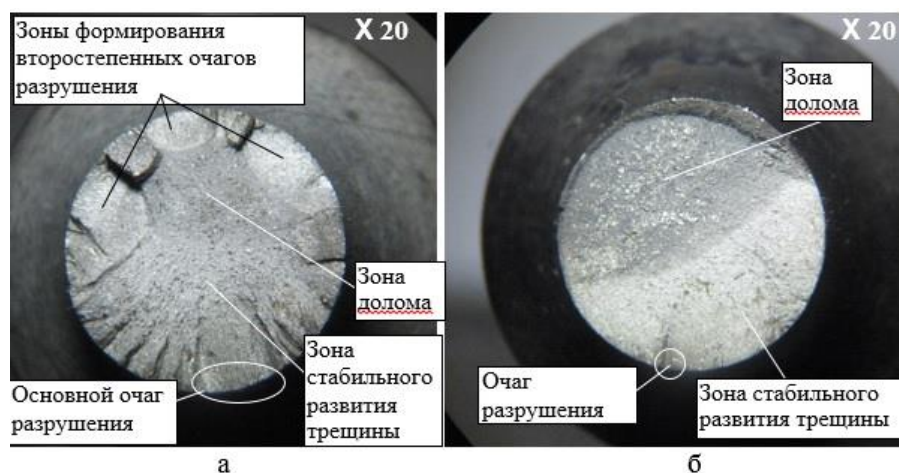


Рисунок 3 – Характер изломов образцов после проведения испытаний для стали 65Г: а – образец с цинковым диффузионным слоем; б – образец без защитного покрытия

Таким образом, для ряда деталей, работающих в условиях усталостного нагружения, антикоррозионная защита способом ТДЦ может стать причиной снижения усталостных свойств за счет наличия высокотвердых хрупких фаз в цинковом диффузионном слое.

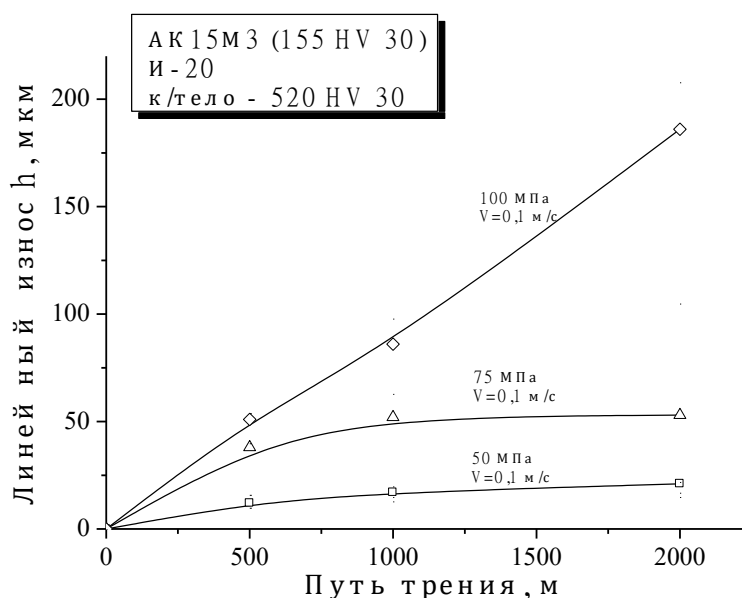


Рисунок 2 – Зависимость величины линейного износа образцов антифрикционного сплава АК15М3 от пути трения при различных удельных нагрузках и скоростях взаимного перемещения образец-контртело

Сделано заключение, что антифрикционный силумин АК15МЗ может выступать в качестве перспективного антифрикционного материала для замены бронзы БрОЦС6-6-3 в узлах трения без снижения их рабочих параметров.

УДК 621.793

### **Жаростойкие защитные покрытие на сталях и сплавах**

Студент гр. 10401115 Куделько Е. В.  
Научный руководитель Вейник В. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Защитное действие покрытий обуславливается образованием на поверхности изделий плотной окисной пленки, отличающейся хорошим сцеплением с покрытием. Жаростойкие покрытия наносят на изделия из стали, сплавов на основе железа, никеля, кобальта, титана, из цветных и тугоплавких металлов, из графита и др. материалов. Различают жаростойкие покрытия металлические, неметаллические и комбинированные. Основой большинства металлических покрытий являются сплавы или терметаллические соединения кремния, титана, алюминия, хрома, кобальта, иттрия и др. К неметаллическим покрытиям относятся стекломали: стеклосилицидные, стеклокарбидосилицидные, боросилицидные и др., а также покрытия керамического типа –  $Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3 - Al_2O_3$ ,  $ZnO_2$  и др. Жаростойкие покрытия наносят гальваническим и диффузионным способами, осаждением в вакууме, напылением, и др. Гальванический способ заключается в электроосаждении металла из водных растворов и расплавов солей (покрытия хромовые, хромоникелевые, и др.). Диффузионным способом поверхность изделий насыщают при высокой температуре в порошковых смесях, металлических расплавах, газовых и паровых средах с различной степенью разрежения. Жаростойкие покрытия применяют для защиты деталей в приборо- и машиностроении, авиа- ракетостроении и др. областях техники. Авиационном машиностроении жаростойкие покрытия получают различными способами, но чаще всего диффузионным нанесением покрытий и электрическим нанесением покрытий. Качество и защитные свойства жаростойких покрытий зависят не только от способов их нанесения, но и от материала покрытия, адгезии этого материала к подложке, соотношения их коэффициентов термического расширения, плотности слоя и др. Жаростойкие покрытия предназначены для защиты поверхностей изделий от высокотемпературной коррозии, их обеднения легирующими компонентами или насыщения газами. Часто нанесение покрытий на детали, работающие в условиях высоких температур жаростойкие, более экономично, чем изготовление всей детали из жаростойкого материала.

УДК 621.78

### **Выбор температуры самоотпуска при термической обработке с нагревом ТВЧ**

Студены гр. 10401112 Колбун И. В., Пилли Д. А.  
Научный руководитель Стефанович В. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Самоотпуском называется операция высокочастотной закалки, при которой охлаждение прерывается с таким расчётом, что бы оставшееся в изделии тепло произвело отпуск на заданную твердость. Сущность самоотпуска заключается в следующем: после нагрева изделия до заданной  $t$  (кривая 1, рисунок 1) проводят интенсивное охлаждение

поверхности, чтобы заданный слой под закалку охладился ниже  $M_n$  (кривая 4 рисунок 1). Далее охлаждение прекращается и тепло, находящееся внутри детали распространяется как в закаленный слой, так и вовнутрь, но при этом данного тепла должно быть достаточно, чтобы закаленный слой нагрелся до  $t$  отпуска (кривая 6).

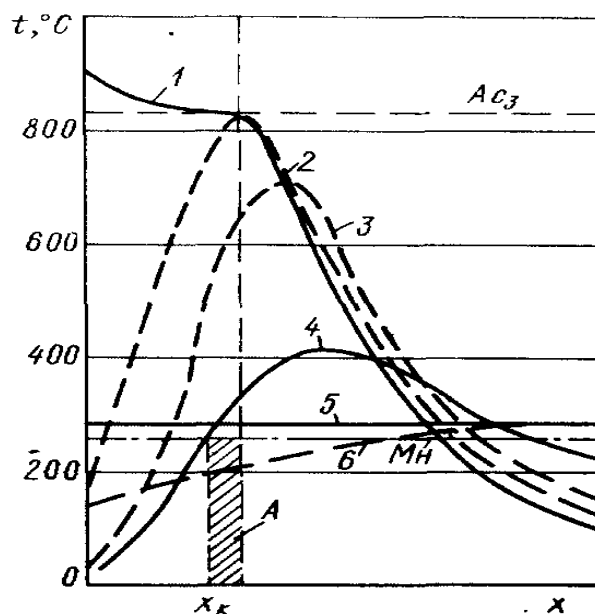


Рисунок 1 – Распределение температуры в процессе охлаждения при закалке с самоотпуском:

1 – конец нагрева; 2,3 – стадии искусственного охлаждения; 4 – окончание искусственного охлаждения; 5 – температура самоотпуска; 6 – охлаждение после самоотпуска

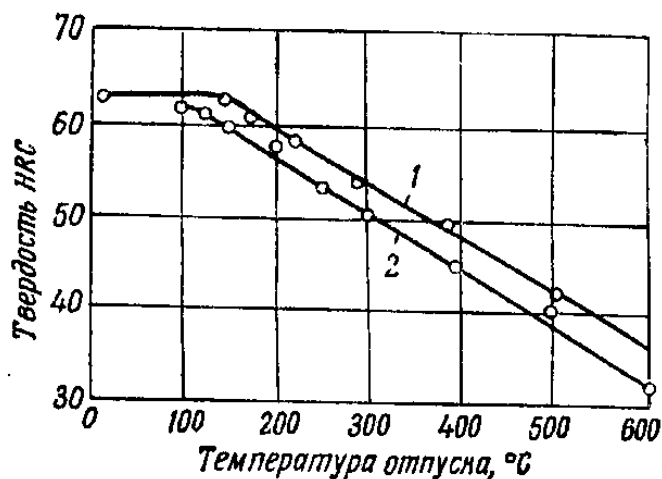


Рисунок 2 – Зависимость твердости закаленной стали 40X после самоотпуска (1) и отпуска (2) в печи в течение 1,5 часа

Экспериментально установлено, что при самоотпуске твердость стали чуть выше (на 3–5 единиц), чем при отпуске в печи (рисунок 2). Это связано со следующим: время

пребывания закаленного слоя при  $t$  самоотпуска меньше, чем при обычном печном отпуске, поэтому для получения заданной твердости температура самоотпуска должна быть на 75–125 °С выше, чем  $t$  при печном отпуске.

При проведении самоотпуска трудноосуществить нагрев закалённого слоя до температуры выше 250–300 °С, так как для сохранения в сердцевине нужного количества теплоты (толщина  $A$  рис. 1) приходится или прогревать изделие на значительную глубину, что приводит к нарушению оптимальных режимов нагрева и распределения температуры по сечению изделия, или прерывать охлаждение слишком быстро. В последнем случае имеется опасность не получить в закалённом слое структуру отпущенного мартенсита. Обычно температура самоотпуска не должна превышать 250–280 °С, т.е. самоотпуск следует применять для проведения низкого отпуска. Преимуществами самоотпуска является: снижение энергозатрат при упрочнении с нагревом ТВЧ, отсутствие брака по закалочным трещинам, сокращение времени процесса упрочнения.



**Машины  
и технология  
литейного  
производства**

## Построение многомерных моделей для исследования взаимосвязей свойства сплава и параметры технологии

Студент гр. 10404113 Павлович В. С  
 Научный руководитель – Чичко А. Н.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Современные технологические процессы и литейного производства представляют собой совокупность взаимосвязанных физико-химических процессов, которые трансформируют исходные параметры технологии в свойства отливок. При этом трансформация параметров технологии в свойства отливок сопровождается изменением большого количества физических параметров, которые определяют весь технологический процесс получения конечного продукта. Для любого процесса важны выбор и оптимизация параметров технологии, обеспечивающих требуемое качество конечного продукта. Эффективным инструментом для решения задач оптимизации технологического процесса является метод математического моделирования. Сущность этого метода заключается в замене реального технологического процесса на модельный, описываемый математическими уравнениями. При этом модель полностью или частично воспроизводит свойства технологического процесса или объекта. Изучая модель, мы изучаем реальный технологический процесс и определяем пути его совершенствования.

*Цель работы* – исследование методами регрессионного анализа многомерных линейных взаимосвязей между свойствами литейного сплава АК5М2 и параметрами технологии.

В качестве математических моделей использовались многомерные уравнения вида:

$$y = \sum_{i=1}^n A_i x_i + A_0,$$

где  $x_i$  – входные характеристики литейной технологии для математической модели;

$y$  – выходные характеристики модели литейных свойств;

$A_i$  – коэффициенты математической модели, определяемые с помощью метода наименьших квадратов;

$i$  – номера коэффициентов математической модели.

Для математического описания модели использовали методы [1].

В качестве исходных данных использовали экспериментальные данные (54 наблюдения) для параметров технологии и свойств сплава АК5М2 (электронный ресурс кафедры машины и технология литейного производства БНТУ по курсу «Основы научных исследований»), фрагмент которых представлен в виде матрицы:

Таблица 1 – Исходные данные

№ п/п	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
1	0,1899	0,0095	0,5511	0,9233	0,8991	0,06	0,03	0,0462	0,1197	0,179
2	0,1399	0,0142	0,7631	0,9151	0,8266	0,0899	0,045	0,0692	0,179	0,2667
3	0,091	0,019	0,9074	0,9038	0,7314	0,1197	0,06	0,0923	0,2377	0,3523
4	0,0434	0,0237	0,9738	0,8897	0,6191	0,1494	0,0749	0,1152	0,2955	0,435
5	0,003	0,0284	0,9603	0,8729	0,4956	0,179	0,0899	0,1382	0,3523	0,5141
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
54	0,8782	0,2299	0,6938	0,9185	0,3498	0,9969	0,7345	0,9552	0,1577	0,9719

Обозначения во входной матрице следующие:  $X_1$  (о.е) – относительная температура заливки;  $X_2$  (о.е) – относительная температура формы;  $X_3$  (о.е) – относительное содержание

железа;  $X_4$  (о.е) – содержание кремния;  $X_5$  (о.е) – относительное содержание покровного флюса;  $Y_1$  (о.е) – относительная рассеянная пористость в сплаве;  $Y_2$  (о.е) – относительная усадка сплава;  $Y_3$  (о.е) – относительная горячеломкость сплава;  $Y_4$  (о.е) – относительная величина объемных раковин сплава;  $Y_5$  (о.е) – относительная жидкотекучесть сплава.

В работе использован следующий алгоритм и пакет анализа MS EXCEL.

Шаг 1: Ввод исходной матрицы в MS EXCEL.

Шаг 2: Использование функции MS EXCEL для вычисления регрессии.

Шаг 3: Вычисление регрессионных коэффициентов  $A_0$ – $A_i$  по исходным данным.

Шаг 4: Анализ адекватности математических моделей с помощью статистических характеристик – коэффициент детерминации  $R^2$  и значение Фишера  $F$  математических моделей.

Таблица 2 – Результаты расчетов

	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$R^2$	$F$
$Y_1$	-0,0469	-0,0039	-1,1883	3,8546	0,0749	-0,0427	0,9787	442,8097
$Y_2$	-0,0117	-0,3410	-0,3161	0,8368	0,0173	0,01283	0,8991	85,5570
$Y_3$	0,5919	-1,5038	1,6985	0,2791	0,5901	-0,1158	0,1806	2,1166
$Y_4$	1,0408	-0,6918	-4,4193	4,0290	-0,6264	0,0117	0,9692	302,8973
$Y_5$	0,9348	12,2800	36,2229	-40,3278	0,4204	-0,8463	0,6962	22,0026

Как видно из таблицы, представленный метод моделирования позволяет оценить количественно вклад технологических факторов в литейные свойства АК5М2. Это позволяет использовать данные уравнения для оптимизации технологического процесса, а также предсказывать возможные варианты улучшения свойств за счет модификации факторов технологии.

#### Список использованных источников

1. Чичко, А. Н. Математическое моделирование технологических процессов. – Минск: БГПА, 2001. – 128с.

УДК 621.742.45; 621.742.59; 621.743.422

#### Современные перспективные методы повышения качества жидкостекольных стержневых смесей

Студенты гр. 10404115 Мелешко Г. А., Русевич О. А.  
 Научный руководитель: Гуминский Ю. Ю.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

В настоящее время жидкостекольные стержневые смеси в основном применяются при производстве больших станочных отливок и в мелкосерийном производстве. Смеси на основе жидкостекольного связующего обладают рядом преимуществ – это высокая прочность, технологичность, уменьшенные припуски и уклоны. Главным же достоинством жидкого стекла, как связующими является экологическая безопасность. При заливке расплавом они не только не выделяют вредных веществ, но и отработанные жидкостекольные могут использоваться в различных отраслях промышленности. Например, как подложка при строительстве автомобильных дорог.

Но наряду с большим количеством достоинств, жидкостекольные смеси имеют существенные недостатки, а именно затрудненную выбивку стержней и хрупкость (осыпаемость). В первую очередь это связано с повышенным процентным содержанием жидкостекольного связующего в смеси (7–9% для стержневых составов) и наличием точечного контакта глобул силикагеля. Одним из направлений улучшения качеств жидкостекольных смесей – это ввод различных добавок в состав смесей в процессе перемешивания. Данные добавки призваны

либо повышать прочность смесей, с целью снижения процентного содержания связующего, либо разупрочнять стержни при высоких температурах (температурах заливки расплава).

На данный момент вопросы экологии в литейном производстве выходят на передний план. Данная ситуация обострилась в связи с преимущественным применением смоляных связующих, которые во время заливки расплавом при термодеструкции выделяют множество токсичных и канцерогенных веществ, таких как аммиак, ацетон, акролеин, фенол, формальдегид, фурфурол и т. д. Поэтому поиск экологически безопасных альтернатив связующим смолам является важной задачей. Жидкое стекло может являться такой альтернативой, с учетом избавления от недостатков, описанных выше. Множество исследований было проведено в этом направлении и ведутся до сих пор.

На основании литературных источников И. В. Вахромеевым были обобщены и классифицированы методы и способы улучшения выбиваемости жидкостекольных смесей и рассмотрены влияния различных веществ и химических соединений на улучшение выбиваемости. Было установлено, что отверждение жидкостекольных смесей углекислым газом на начальных стадиях связано со снижением электрокинетического потенциала на поверхности мицелл силиката натрия, что обусловлено адсорбцией на их поверхности молекул  $\text{CO}_2$ . Снижение электрокинетического потенциала на поверхности мицелл приводит к агрегации коллоидной системы. [1]

В теории формовочных процессов в настоящее время доминирующее положение получили представления по отверждению жидкостекольных смесей углекислым газом, как о химическом взаимодействии растворенных в воде силикатов, входящих в состав жидкого стекла, с углекислотой, образующейся в результате растворения в воде  $\text{CO}_2$ . при пропускании газа через смесь (химическая теория отверждения).

Основные положения химической теории могут быть выражены следующими утверждениями:

– основным связующим компонентом в жидком стекле на этапе отверждения является гель кремневой кислоты, образующийся в результате взаимодействия силикатов натрия с углекислым газом;

– побочными продуктами реакции отверждения являются карбонаты (гидрокарбонаты), увеличение доли которых в смеси при перепродувке способствует снижению прочности;

– процессы отверждения жидкостекольных смесей сушкой и  $\text{CO}_2$  различны по своей природе.

Изучение состава связующей массы смесей показывает, что при отверждении жидкостекольных смесей оптимальными объемами  $\text{CO}_2$  основным связывающим компонентом выступают силикаты натрия. Причем, даже при значительной перепродувке смесей наблюдается большое количество силикатов натрия в связующей массе, в то же время содержание карбонатов или гидрокарбонатов – обязательных продуктов химического взаимодействия силикатов натрия с углекислотой – окатывается значительно меньшим, чем теоретический выход, согласно реакциям.

Если же говорить о специальных добавках, то наиболее эффективными, по мнению Вахромеева, из органических добавок могут считаться органические соединения, дающие при термодеструкции наибольший выход блестящего углерода, например, стирол и его производные. Осаждаясь из газовой фазы при термодеструкции на поверхности кварцевых зерен, блестящий углерод препятствует растворению зерен огнеупорной основы силикатным расплавом, не допуская при охлаждении образования монолитной стеклофазы (последняя является одной из основных причин плохой выбиваемости жидкостекольных смесей).

Вахромеевым в качестве добавки была предложена смола СНЛ. Результаты исследования показали ее довольно высокую эффективность по улучшению выбиваемости и снижению пригарообразования при литье бронзовых сплавов, мелких и средних отливок из чугуна и стали. Наилучшие результаты отмечались при использовании 50 %-ого рас-

творя СНЛ в сольвенте при введении его в объем смеси и при поверхностном окрашивании. Кроме того, использование раствора СНЛ в сольвенте способствовало увеличению исходной прочности жидкостекольных смесей, за счет полимеризации на воздухе смолы. Однако ввод в жидкостекольные смеси органических смол лишает одного из главных их преимуществ – экологичности. При термодеструкции смол выделяется огромное количество вредных веществ, ухудшающих экологию в цехах и их окрестностях.

Таблица 1 – Состав саже-смоляной пульпы по фракциям

<b>Фракция</b>	<b>Состав, масс. %</b>
Нафталин-метилнафталиновая фракция с температурой кипения 200–245°C	9,0–11,5
Диметил-триметилнафталиновая фракция (аценафтилен, аценафтен, флуорен, метилфенантрен) с температурой кипения 245–300°C	10,0–12,5
Высококонденсированная ароматика (пирены, антрацен, метилпирены, фенантрен) с температурой кипения выше 300°C	30,5–38,5
Хлорид железа	0,5–1,0
Вода	остальное

В работах Д. О. Алиева было предложено улучшить выбиваемость жидкостекольных смесей путем введения в их состав добавок, способствующих увеличению адгезии жидкого стекла к кварцевому песку и приводящих к ее разупрочнению в результате нагрева. В качестве данных добавок автором предложено использовать саже-смоляную пульпу и кальцийборфосфат, составы которых представлен в таблице 1 и 2. [2]

Таблица 2 – Химический состав кальцийборфосфата

<b>Химический состав</b>	<b>Значение</b>
Массовая доля СаО, %	45,0–49,0
Массовая доля Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> , %	25,0–39,0
Массовая доля В <sub>2</sub> О <sub>3</sub> , %	не более 0,5
Массовая доля хлора, %	не более 1,0
Массовая доля воды, %	остальное

Изменение структуры жидкого стекла в результате температурного воздействия. По мере нагрева в структуре жидкого стекла образуются кристаллические фазы, которые играют роль инородных включений – надрезов, нарушающих целостность пленок и концентрирующих напряжения, возникающие при охлаждении образца. На процесс кристаллизации жидкого стекла большое влияние оказывают неорганические фосфатные добавки, в частности кальцийборфосфат. В процессе нагрева жидкостекольных смесей, содержащих саже-смоляную пульпу и кальцийборфосфат, установлено, что в результате выгорания компонентов саже-смоляной пульпы, в интервале температур 200–410 °С, происходит разрушение пленок связующего и разупрочнение жидкостекольной смеси.

Оптимальный состав жидкостекольной смеси, с добавками саже-смоляной пульпы и кальцийборфосфата следующий: 95,75 % кварцевый песок, 4 % – жидкое стекло, 0,25 % – саже-смоляная пульпа, 0,5 % – кальцийборфосфат. Предел прочности при разрыве образцов данной смеси составляет более 2,1 МПа, с учетом того, что количество связующего снижено с 7–9 % до 4 %, а работа выбивки, после нагрева образца до 800 °С составляет 6 кДж. Стержень, изготовленный из данной жидкостекольной смеси, полностью удаляется из отливки, а работы на его выбивку затрачивается меньше практически в 10 раз.

В своих работах К. А. Маслов сформулировал понятие «технологичность литейного стержня», включающее в себя комплекс характеристик и свойств стержня одновременно как изделия, как элемента литейной формы и как материального объекта. Так же Маслов обозначил основные направления повышения технологичности жидкостекольных смесей,

связанные с применением ТДОП (технологические добавки органического происхождения), ТДНП (технологические добавки неорганического происхождения), физических методов воздействия и их комбинаций. И доказал принципиальную возможность применения ТДОП, ТДНП (например, перманганат калия, бихромат калия, алюмокалиевые квасцы, карбонаты кальция и бария), физических методов воздействия (вакуумирование и СВЧ обработка) и их комбинаций в качестве средств повышения технологичности стержневых жидкостекольных смесей при производстве отливок из чугуна и стали. Так же им были выявлены основные условия повышения технологичности стержневых жидкостекольных смесей, касающиеся присутствия в составе стержневой смеси «сшивающих» добавок или применения физических методов воздействия, повышающих поверхностную прочность стержня; и использования разупрочняющих добавок, увеличивающих податливость и уменьшающих работу выбивки стержня в процессе охлаждения отливки. [3]

Принцип дисперсного армирования путем введения волокнообразующего материала в виде отжатых целлюлозно-бумажных микроволокон непосредственно в жидкостекольное связующее было предложено Е.А. Тютиной. Это позволяет использовать для дисперсного армирования распушенную в воде макулатуру, ранее считавшуюся непригодной для этих целей. Так же особенности двухстадийной технологии приготовления жидкостекольных смесей за счет введения органического связующего и неорганического армированного связующего (ЖС), базирующемся на применении отходов производства (макулатуры). Экспериментально установлена зависимость прочностных показателей от количества и концентрации вводимых в жидкостекольные смеси добавок, а именно ее влияние на образование первичной и остаточной прочности.

При дисперсном армировании жидкого стекла, а затем и самой жидкостекольной смеси наблюдается увеличение прочностных показателей. Так, прочность после отверждения в печи образцов, изготовленных из ЖСС с добавкой водно-щелочного раствора Н-КМЦ в количестве 3 % и армированных МРМ в количестве 2–3 % от массы песка, увеличивается в 1,2 раза; после СО<sub>2</sub>-процесса возрастает в 1,12 раз. Наряду с общей прочностью усиливается и поверхностная прочность. Осыпаемость, за счет армирования жидкостекольной смеси, снижается в 5–10 раз.

К. Е. Нефёдовым было предложено управление механизмом формирования свойств жидкостекольных смесей добавками химически активного ингредиента с размерами частиц, соизмеримыми с размерами частиц силикагеля, а также установлена принципиальная возможность управления свойствами жидкостекольных смесей микродобавками ультрадисперсного пироуглерода (УДП). Экспериментально установлена возможность образования новой ультрадисперсной высокотемпературной фазы при взаимодействии частиц ультрадисперсного пироуглерода и силикагеля, в результате чего происходит разупрочнение жидкостекольной адгезивной оболочки, что ведет к снижению удельной работы выбивки практически в 7 раз.

В результате исследований была установлена принципиальная возможность применения УДП, как добавки улучшающей выбиваемость жидкостекольных смесей. Введение микродобавок УДП в смесь существенно не изменяет ее технологические и физико-механические свойства до заливки формы металлом. Однако существенно улучшают ее некоторые технологические свойства после. УДП способен образовывать восстановительную атмосферу в полости формы, что способствует снижению возможности возникновения окислов на границе раздела металл-форма и уменьшает вероятность образования пригара. Так же УДП имеет низкую газотворную способность по сравнению с традиционными углеродосодержащими материалами, что положительно сказывается на газовом режиме в полости формы после заливки металлом и снижает вероятность образования газовых раковин.

Проведя анализ вышеизложенного, можно сделать следующие выводы: Во-первых, исследования в направлении улучшения качества жидкостекольных смесей, как экологически чистых заменителей смоляных, являются перспективными. Во-вторых, ввод различных добавок в смесь показывает неплохие результаты, но которые на данный момент не являются удовлетворительными. Возможно следует вести исследования в направлениях модифицирования самого

жидкостекольного связующего или технологий отверждения и перемешивания смесей. В-третьих, большое количество исследований, ведущихся с целью повышения качества жидкостекольных смесей, говорит о том, что этот вопрос до сих пор досконально не изучен.

#### **Список использованных источников**

1. Вахромеев, И. В. Совершенствование методов снижения остаточной прочности и исследование природы отверждения силикатов натрия в жидкостекольных смесях при СО<sub>2</sub>-процессе – И. В. Вахромеев, автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Спб., 1996.

2. Алиев, Д. О. Исследование механизма формирования прочности жидкостекольных смесей и разработка состава жидкостекольной смеси улучшенной выбиваемости – Д. О. Алиев, автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Волгоград, 2004.

3. Маслов, К. А. Разработка и освоение методов повышения технологичности стержней из жидкостекольных смесей для стального и чугуна ЛИТЬЯ – К. А. Маслов, автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Нижний Новгород, 2010.

4. Тютин, Е. А. Разработка технологии получения легковыбиваемых жидкостекольных стержневых смесей – Е. А. Тютин, автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Комсомольск-на-Амуре, 2006.

5. Нефёдов, К. Е. Разработка и исследование рецептур жидкостекольных формовочных и стержневых смесей с микродобавками ультрадисперсного пироуглерода (УДП) – К. Е. Нефёдов, автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Барнаул, 2004.

УДК 669.13.018.256

#### **Абразивный и ударно-абразивный износ чугунов**

Студент гр. 10404114 Клинецов К. С.

Научный руководитель – Крутилин А. Н.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Проблема износостойкости неразрывно связана с созданием новых материалов и прогрессивных технологических процессов производства заготовок, позволяющих значительно повысить эксплуатационные характеристики литых деталей. Усложнение условий работы деталей, разработка и применение новых материалов, раскрыли огромную сложность и многогранность явлений трения и изнашивания. Детали в процессе работы могут быть подвержены ударно-абразивному, ударно-усталостному, ударно – кавитационному, абразивному и гидроабразивному изнашиванию, которые отличаются по своему механизму и закономерностям и критериям.

На практике наиболее часто встречается абразивный и ударно-абразивный износ. В механизме абразивного и ударно-абразивного изнашивания много общего. В процессе изнашивания поверхностные слои металла претерпевают изменения, образующиеся вторичные структуры обладают аномалией физических, химических и механических свойств. Эти сложные изменения происходят с определенной скоростью и состоят из процессов упрочнения, разупрочнения, фазовых превращений, разрушения межатомных связей и других явлений, и зависят от структурного состояния металла, химических, физико-механических свойств и условий внешнего нагружения.

В качестве износостойких материалов, работающих в условиях абразивного и ударно-абразивного износа, широкое распространение нашли белые износостойкие чугуны. Это группа хромистых, марганцово-хромистых, никель-хромистых, хромомолибденовых и ванадиевых чугунов.

Анализ литературы показывает, что большинство исследователей считают, что наилучшие результаты в этих сплавах обеспечиваются при микроструктуре, состоящей из твердых карбидов, внедренных в мартенситную или нестабильную аустенитную матрицу. Выбор химического состава чугуна и технологии изготовления той или иной отливки, зависит от конкретных условий работы отливки, существующего оборудования, используемого на предприятии.

Основная задача заключается в том, чтобы определить оптимальные технологические параметры литья, применительно к конкретной отливке, обеспечивающие высокие эксплуатационные свойства деталей.

УДК 621.74.043

### **Особенности литья под давлением**

Студенты гр.10404115 Мелешко Г. А. гр. 10404114 Дегтяренко И. Д.  
Научный руководитель – Крутилин А. Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Экономия материальных и топливно-энергетических ресурсов за счет совершенствования и широкого внедрения прогрессивных технологических процессов производства является одним из основных направлений развития Республики Беларусь.

Технологический процесс изготовления отливок способом литья под давлением занимает одно из ведущих мест в литейном производстве. Обладая большими преимуществами перед другими способами получения отливок повышенной точности, литье под давлением находит большое применение в различных отраслях промышленности при крупносерийном и массовом производстве отливок.

Снижение себестоимости происходит за счет снижения массы литых заготовок, а, следовательно, сокращения работ по механической обработке, отсутствия формовочных и стержневых смесей, сокращения расходов на выполнение мероприятий по охране труда и технике безопасности.

Особенности литья под давлением обусловлены условиями заполнения пресс-формы расплавленным металлом и питания отливок. Для качественного заполнения тонкостенной формы и обеспечения сплошности потока расплава до начала его затвердевания время заполнения пресс-формы не должно превышать десятые доли секунды (0,1–0,6 с), а при литье тонкостенных заготовок, с толщиной стенки менее 3 мм, даже сотые доли секунды. Скорость впуска расплава в зависимости от конфигурации и геометрии отливки может изменяться от 0,5 до 120 м/с.

На характер заполнения оказывает влияние не только скорость впуска расплавленного металла в пресс-форму, но и конфигурация отливки, литниковой системы, соотношение толщины питателя и отливки, вязкость, поверхностное натяжение, жидкотекучесть заливаемого сплава и т.д.

Турбулентное движение расплава ведет к захвату воздуха и газообразных продуктов сгорания смазки. В форме образуется воздушно – металлическая смесь. После затвердевания воздух и газы остаются внутри отливки. В случае ламинарного движения потока эжекция воздуха струей расплава не происходит, воздух вытесняется потоком металла через вентиляционные каналы. Однако, при нарушении сплошности потока, воздух может попасть в расплавленный металл в камере прессования. Во время кристаллизации возможно образование эндогенных газовых раковин, образующихся в результате выделения газа из твердого раствора.

Температура заливаемого расплава и температура формы, а также скорость заполнения формы определяют тепловой и гидродинамический режим формирования отливки.



Безусловно, выбор оптимальных технологических параметров литья для получения высококачественных заготовок необходимо определять на основе тщательного теоретического анализа гидродинамических и тепловых условий формирования отливки, на которые оказывают влияние усилия прессования и запирания формы, размеры литниковых и вентиляционных каналов, скорость прессования, интенсивность охлаждения металла в форме и т.д.

УДК 669.14.018.252

### Особенности плавки быстрорежущей стали

Студенты гр. 104310 Буйневич Ф. А., Воронин Р. И.  
Научный руководитель – Рудницкий Ф. И.,  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Режим плавки стали включает все технологические операции от подготовки печи до выпуска готовой стали. Ниже приводятся сведения о рекомендуемых к применению приемах ведения режима плавки стали в индукционной тигельной печи с кислой футеровкой.

Загрузку шихты производят так, чтобы она ложилась в тигель максимально плотно. На дно укладывают часть мелкой шихты, лучше стружки – это предохраняет тигель от ударов. Крупные куски следует укладывать ближе к стенкам тигля, мелкие – в центр. Перед загрузкой шихту подогревают для предотвращения выброса металла.

Плавку в индукционных печах с кислой футеровкой ведут форсировано [1–4]: первые 5–6 мин мощность повышают медленно, затем дают полную мощность для возможно более быстрого расплавления шихты. После расплавления всей шихты мощность снижают на 70–80 %, чтобы не допустить перегрева стали.

Сталь держат под шлаком весь период плавки. При этом первый густой шлак удаляют и регулярно наводят новый. Для наведения шлака используют следующие смеси:

1) СМЕСЬ 1

- кварцевый песок 70%;
- обожженная молотая известь 25%;
- плавиковый шпат 5%;

2) СМЕСЬ 2

- шамот 65%;
- бой стекла 10%;
- обожженная молотая известь 25%;

3) СМЕСЬ 3

- бой стекла, песок 65%;
- обожженная молотая известь 25%;
- плавиковый шпат 5%;

Постоянный шлаковый покров зеркала металла предотвращает насыщение стали газами из атмосферы, поэтому необходимо тщательно следить за его состоянием. Расход смеси для наведения шлака составляет 5–6% от массы завалки.

Загрузку ферросплавов, с учетом состава шихты, рекомендуется производить следующим образом [2, 3]: графит вводить либо на дно, либо в середину завалки; ферровольфрам и феррохром подавать в тигель не позднее, чем за 20 минут до выпуска стали из печи; ферромарганец и ферросилиций присаживают за 7–10 мин до выпуска стали; ванадий присаживают, для снижения угара, только после глубокого раскисления стали ферромарганцем и ферросилицием; алюминий вводят непосредственно перед выпуском стали.

Наномодификатор, в виде дисперсного порошка, вводится в сталь аргоном, при продувке стали через футерованную штангу. Для сохранения эффекта модифицирования сталь следует заливать в форму с минимальной задержкой после ввода модификатора.

### Список использованных источников

1. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении: Учебное пособие / Воздвиженский В. М., Грачев В. А., Спаский В. В. – М.: «Машиностроение», 1984. – 432 с.: ил.
2. Производство стальных отливок: Учебник для вузов / Козлов Л. Я., Колокольцев В. М., Вдовин К. Н. [и др.] / Под ред. Козлов Л. Я. – М.: МИСИС, 2003. – 352 с.
3. Шульте Ю. А. Производство отливок из стали.– Киев: Донецк. Вища школа. Головное изд-во, 1983. 184 с.: ил.
4. Моргунов В. Н. Печи литейных цехов. Характеристика, анализ, классификация.: Учебное пособие. – Пенза.: Изд-во. Пенз. гос. ун-та, 2009. – 179 с., ил.

УДК 621.74.

### Проектирование моделей для разовых форм

Студенты гр. 10404115 Скворцов А. А., гр. 10404113 Михайлов И.  
Научный руководитель – Скворцов В. А.  
Белорусский национальный технический университет.  
г. Минск

При проектировании моделей необходимо стремиться к простоте их конструкции, отвечающей выбранному технологическому процессу получения формы. Они должны быть легкими, прочными и достаточно жесткими. Исходными данными для определения толщины стенки металлической модели является ее длина  $L$  и ширина  $B$ , определяющие средний габаритный размер  $\frac{L+B}{2}$ . Значения толщин стенок моделей зависит от их среднего габаритного размера и материала, из которого они изготавливаются выбираются по справочным данным. Модели со средним габаритным размером до 160 мм, а также низкие модели ( $H \leq 25$  мм) допускается изготавливать цельнолитыми, во всех остальных случаях изготавливают пустотелые модели. При уплотнении формовочной смеси под удельным давлением 1–4 МПа необходимо увеличивать толщину стенок пустотелых моделей на 30–35 %.

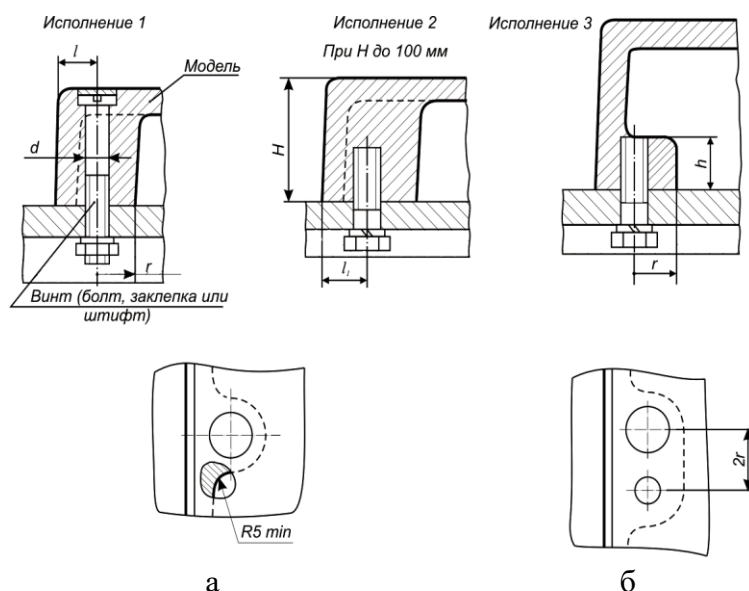


Рисунок 1 – Конструкция элементов крепления модели к подмодельным плитам:  
а – приливы под крепежную деталь; б – прилив под крепежную деталь и центрирующий штифт

Конструкция элементов крепления моделей к подмодельным плитам зависит от габаритных размеров самой модели. Для невысоких моделей ( $H < 100$  мм) рекомендуется осуществлять крепление с помощью специальных приливов (рисунок 1, а), а для высоких – с помощью отбуртовок (рисунок 1, б).

Крепление моделей питателей, шлакоуловителей, дросселей осуществляется сверху винтами или заклепками, диаметр которых выбирается конструктивно в зависимости от размеров элементов литниковой системы. Фиксирование и крепление стояка на модельных плитах может осуществляться штырями или с помощью резьбового хвостовика.

Модели-фальшивки, применяемые для получения земляного «болвана», могут крепиться к подмодельным плитам с помощью врезных бортов или вставкой в специальные приливы на плитах (рисунок 2).

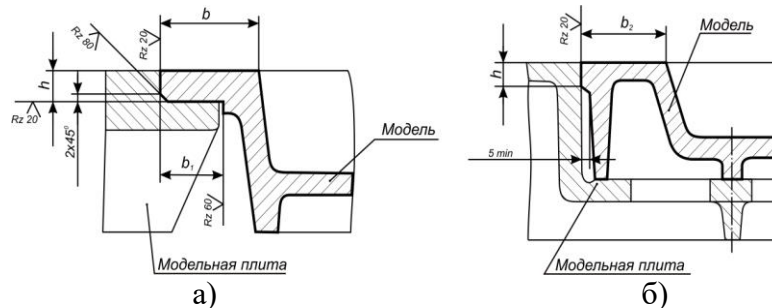


Рисунок 2 – Крепление моделей-фальшивок к подмодельным плитам:  
а – врезными бортами; б – установка в приливы

Жесткость моделей обеспечивается с помощью специальных ребер, толщина которых принимается равной 0,8 от толщины стенки модели. Формовочные уклоны на ребрах берутся в пределах 1–3°. Минимальное расстояние между ребрами должно быть не менее 60 мм, а максимальное – не более 250 мм. Конструкция ребер жесткости может быть следующей. Они могут доходить до плоскости разъема. Такая конструкция ребер жесткости применяется для невысоких моделей ( $H \leq 100$  мм) с горизонтально расположенными формообразующими поверхностями большой протяженности.

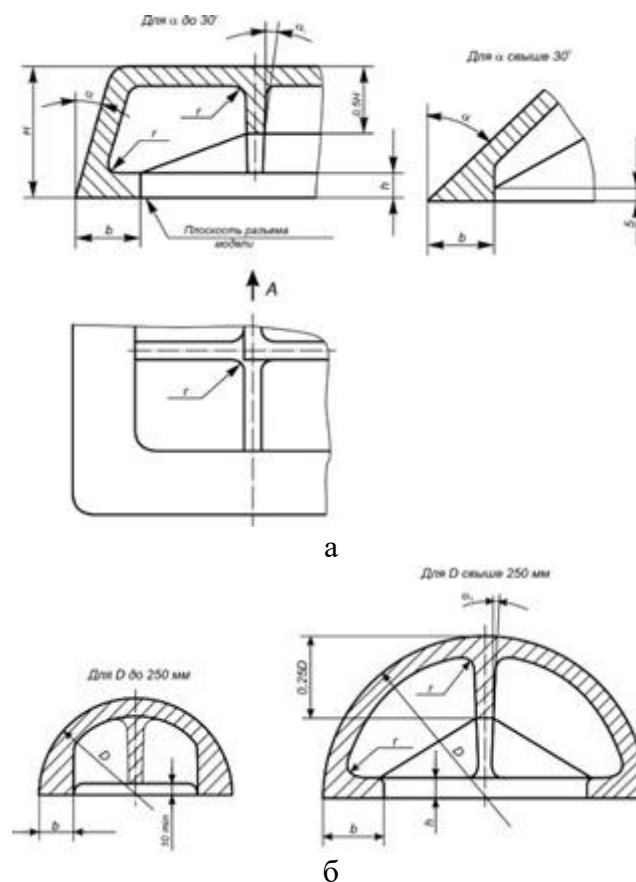


Рисунок 3 – Борты и ребра прямоугольных, круглых и цилиндрических моделей:  
а – прямоугольные и круглые модели; б – цилиндрические модели

В высоких моделях прямоугольной, круглой или цилиндрической формы с небольшой опорной поверхностью делают арочные ребра (рисунок 3 а, б). Мелкие и средние модели ( $D \leq 250$  мм) могут иметь ребра жесткости, приподнятые на 10 мм над плоскостью разъема.

УДК 621.74

### **Использование техногенных отходов в качестве огнеупорных наполнителей противопрigarных покрытиях для литейных форм и стержней**

Магистрант кафедры «МиТЛП» Дубицкий А. А.  
Научный руководитель – Николайчик Ю. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В настоящее время в современном литейном производстве существует большое разнообразие технологий получения отливок, но на отливки из стали и чугуна, изготавливаемые в разовые песчаные формы, приходится около 80 % общего объема. Это обусловлено в первую очередь тем, что процесс литья в разовые песчаные формы обладает высокой производительностью и универсальностью и позволяет получать отливки массой от нескольких граммов до десятков тонн. Одним из недостатков такой технологии является недостаточно высокое качество поверхности отливок, обусловленное образованием различных дефектов поверхности, из которых пригар является самым распространенным. В свою очередь современный уровень развития машиностроения требует высокого качества получаемых отливок, потому применение противопрigarных покрытий остается на сегодняшний день самым действенным способом профилактики образования пригара на поверхности отливки.

Противопрigarные покрытия состоят из огнеупорного наполнителя, связующего, суспензирующего вещества, растворителя и вспомогательных компонентов (функциональные добавки).

Огнеупорный наполнитель – это активная составляющая противопрigarного покрытия, обуславливающая противопрigarные свойства. Но, как известно, Беларусь не богата полезными ископаемыми, которые можно было бы применить в качестве огнеупорных наполнителей противопрigarных покрытий. Речь идет в первую очередь о самых популярных наполнителях для покрытий: дистен-силлиманит, циркон, корунд, графит, тальк и др. Поэтому для нашей страны наибольший интерес представляет переработка отходов литейного производства и дальнейшее их использование, то есть рециклинг отходов. В связи с этим есть необходимость рассмотреть возможность использования огнеупорных отходов литейного и металлургического производств, в качестве наполнителей для противопрigarных покрытий.

В литейном производстве применяется большое множество огнеупорных материалов, используемых для футеровки плавильных и термических печей – это как штучные огнеупорные изделия, так и различного рода бетоны и набивные массы. Также стоит обратить внимание на бой графитированных электродов образующихся при электродуговой плавке. Использование таких материалов в роли наполнителя вызывает интерес, так как большинство таких материалов имеют термостойкость от 1500 °С и выше и зачастую в процессе работы эти материалы уже претерпели термические превращения, связанные с изменением объема. Это в свою очередь обеспечит необходимую термостойкость покрытия и его трещиностойкость, связанную часто из-за изменения объема наполнителя при воздействии высоких температур. Все что необходимо – это измельчить огнеупорные отходы до необходимой величины (менее 100 мкм) и сделать рассев по фракциям. Мелкодисперсную фракцию возможно использовать как наполнитель противопрigarных покрытий, а более крупную – как наполнитель для штучных огнеупорных изделий или футеровки печей.

Как вариант, возможно создать централизованное производство по переработке такого вида отходов с последующим распределением полученного продукта по способу применения.

Либо, если это экономически целесообразно, создавать такого рода участки непосредственно на предприятиях, на которых образуются такие отходы. Переработка этих отходов позволит сократить затраты на их утилизацию, а в отдельно взятых случаях извлекать из этого прибыль.

Рециклинг отходов – актуальная задача, решение которой ставят перед собой, как наши предприятия, так и предприятия во всех развитых странах. Недаром некоторые исследователи все чаще обращают внимание на возможность использования различных отходов в качестве огнеупорного наполнителя в противопожарных покрытиях. Например, имеются исследования на предмет использования для данных целей отходов гальванического производства, отходов абразивного и металлургического производств, а также множество исследований связанных с комбинированием различных наполнителей с целью добиться максимального положительного эффекта от применения противопожарного покрытия.

Таким образом, беря во внимание небогатую сырьевую базу в нашей стране, необходимо изыскать возможности использования техногенных отходов в качестве наполнителя противопожарных покрытий и не только.

УДК 621.531

### Использование программы КОМПАС-3D LT для кинематического анализа рычажного механизма графическим способом

Студенты гр. 10404215 Радионов М. В, гр. 10404115 Русевич О. А.  
Научный руководитель – Одинокко В. Ф.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Под кинематическими диаграммами понимают графики зависимостей кинематических параметров выходного звена от обобщенной координаты механизма. Кинематическими параметрами могут быть перемещение, скорость или ускорение.

Процесс построения кинематических диаграмм начинается с построения нескольких совмещённых планов рычажного механизма (рисунок 1).

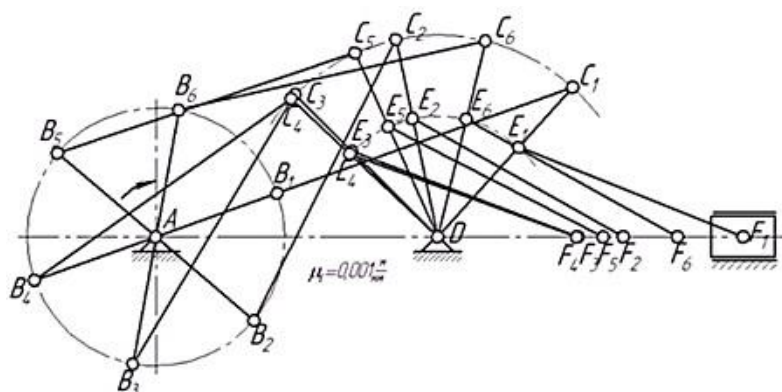


Рисунок 1 – Планы механизма второго класса для шести положений кривошипа

Затем выполняется построение зависимости перемещения выходного ползуна от времени. В качестве начальной точки, принимается крайнее правое положение ползуна  $F_1$ . Под перемещением ползуна принимают его удаление от этой точки. Построения выполняются с использованием масштабного коэффициент перемещения ползуна  $F$ , который может быть равный масштабному коэффициенту, в котором построены планы механизма (рисунок 1).

По оси абсцисс откладывается время с учетом масштабного коэффициента, который определяется на основании исходных данных. Например, при угловой скорости кривошипа  $\omega_1 = 14,66 \text{ c}^{-1}$ , время одного его оборота равно:

$$t_0 = \frac{2\pi}{\omega_1} = \frac{2 \cdot 3,14}{14,66} = 0,429 \text{ с.}$$

Для изображения этого промежутка времени выбирается отрезок, например, длиной 90 мм. Тогда масштабный коэффициент времени будет равен:

$$\mu_t = \frac{t_0}{l_t} = \frac{0,429}{90} = 0,00476 \frac{\text{с}}{\text{мм}}$$

Далее на чертеже изображаются оси координат для будущей диаграммы перемещения ползуна и часть планов механизма, необходимую для построения диаграммы перемещения ползуна (рисунок 2).

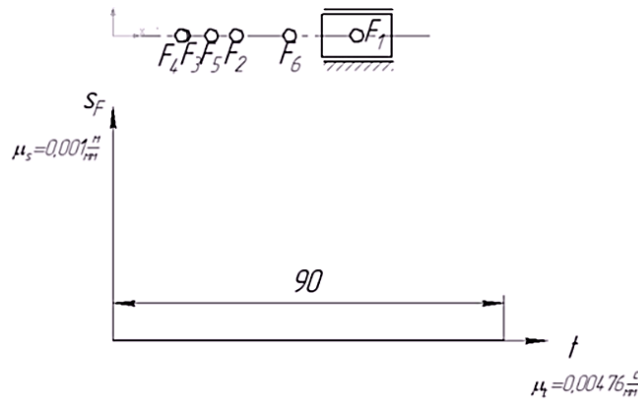


Рисунок 2 – Первый этап построения диаграммы

Затем время одного оборота делится на шесть равных частей по 50 мм каждый и полученные точки нумеруются. Каждая точка соответствует определённому плану механизма. Построение диаграммы удобно делать при помощи геометрического калькулятора. При этом измеряется расстояние между точками  $F_1$  и  $F_2$ , и переносится на диаграмму. Аналогичным образом переносятся точки  $F_1$  и  $F_4$ ,  $F_1$  и  $F_3$ ,  $F_1$  и  $F_2$ ,  $F_1$  и  $F_6$ . Далее добавляют по одной точки справа и слева от графика, чтобы поведение кривой в точке 1 было более реальным. Для этого нужно провести горизонтали через точки 2 и 6, скопировать эти точки и отложить их с соответствующих сторон.

Затем с помощью инструмента «кривая Безье», изображается искомая зависимость. Внешние отрезки кривой удаляются (рисунок 3).

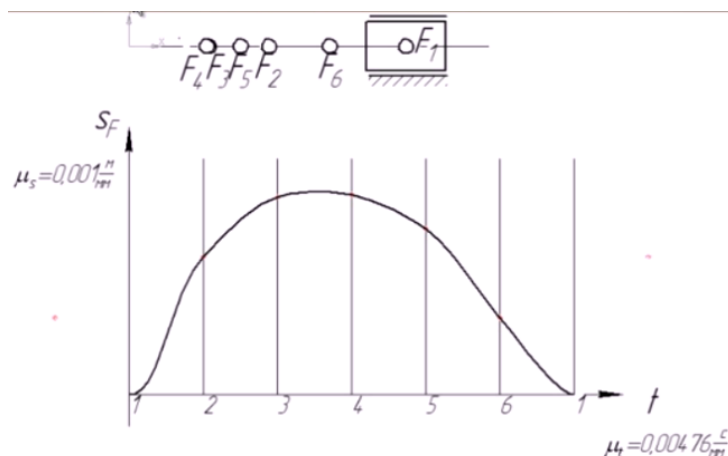


Рисунок 3 – Второй этап построения диаграммы

Дважды продифференцировав по времени полученную зависимость, получают диаграммы скорости и ускорения ползуна. Дифференцирование производят графически, чаще всего методом хорд. Для этого, на каждом из шести участков, заменяем кривую соответствующей хордой.

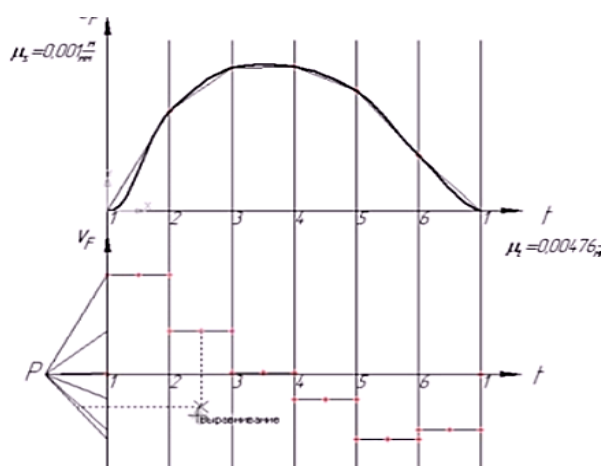


Рисунок 4 – Точки для диаграммы скорости ползуна

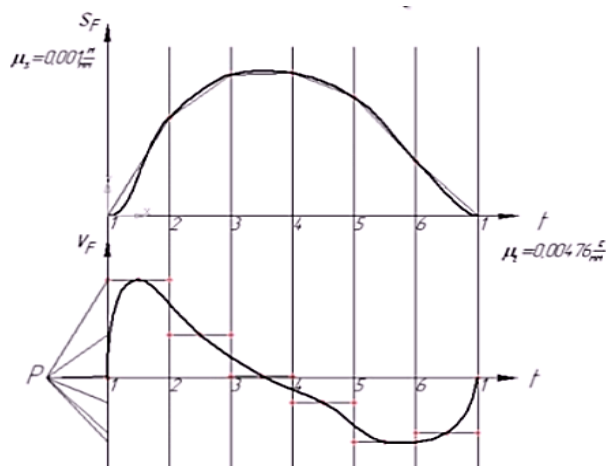


Рисунок 5 – Окончательная диаграмма скорости ползуна

Диаграммы скорости размещают под диаграммой перемещения. Масштабный коэффициент времени не изменяют. Масштабный коэффициент скорости определится в результате построения диаграммы. По оси времени влево, от начала координат диаграммы, откладывают точку Р – полюс. Расстояние этой точки до начала координат – полюсное расстояние обозначают буквой Н и принимают, например, Н = 50 мм. Параллельно хорде на первом участке, из полюса проводится прямая до пересечения с осью ординат диаграммы скорости. Полученная ордината в определённом масштабе есть среднее значение производной от кривой перемещения на первом участке. Из этой точки проводится горизонтальный отрезок до пересечения со вторым участком и делится пополам. Тем самым получается первая точка диаграммы скорости. Аналогичным образом получают все точки (рисунок 4), через которые с помощью кривой Безье строится окончательная диаграмму скорости ползуна (рисунок 5).

Масштабный коэффициент скорости диаграммы равен:

$$\mu_v = \frac{\mu_s}{H \cdot \mu_t} = \frac{0,001}{15 \cdot 0,00476} = 0,014 \frac{\text{м/с}}{\text{мм}}$$

Измеряя ординату кривой в любой точке и умножая её на масштабный коэффициент скорости, получают приближённое значение скорости ползуна.

Диаграмму ускорений получают аналогичным образом дифференцируя диаграмму скорости.

#### Список использованных источников

1. Буйневич, Ф. А. Использование КОМПАС-3D V14 для построения планов механизма / Ф. А. Буйневич, Н. В. Базылев, К. Д. Шишпор // Новые материалы и технологии их обработки: материалы XVI Респ. студ. научн-техн. конф., Минск, 22–24 апреля 2015 г. / Белорус. нац. техн. ун-т : редкол. : И. А.Иванов [и др.]. – Минск, 2015. – С. 98–99.

**Машины  
и технология  
обработки  
металлов  
давлением**



Студенты гр.10402112 Журо М. Н., Язевич И. Н., Грищук О. А.

Научный руководитель - Шиманович О. А.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Новые методы обработки металлов давлением тесно связаны с развитием мирового машиностроения. Одним из важнейших путей развития машиностроения является отказ от обработки металлов резанием в пользу обработки металлов давлением в холодном состоянии. Это приводит к улучшению механических свойств, повышению точности изготовления, повышению производительности труда и чистоты поверхности обрабатываемых деталей.

Для накатывания профильных элементов применяют автоматы и полуавтоматы двухроликовые профиленакатные. Применяться они могут как самостоятельные, так и в составе автоматических линий и автоматизированных комплексов. Они предназначены для накатки в холодном состоянии различных профилей, точных метрических, трапециидальных и других резьб, мелко модульных червяков, обкатывания цилиндрических и сферических деталей с целью упрочнения с ручной и автоматизированной подачей заготовок.

Технология накатывания профильных элементов заключается в следующем: накатываемый профиль на заготовке образуется в результате вдавливания выступов накатных роликов в цилиндрическую заготовку при принудительном одностороннем вращении роликов и радиальном перемещении одного из них под действием силы, развиваемой гидроприводом. При этом заготовка будет вращаться, находясь между роликами, за счет сил трения, возникающих при соприкосновении с ней роликов и возрастающих по мере внедрения профиля роликов в заготовку и образования на ней профиля. Технологический процесс накатки закрепил наличие в составе автомата двух основных рабочих механизмов: обеспечение вращения роликов с регулируемой скоростью, а также силовой гидропривод, обеспечивающий регулируемое по величине и скорости перемещение правого ролика, а также создающий силу, которая необходима для пластической деформации заготовки.

В состав автоматов также входят электроприводы, устройство для опоры деталей в процессе накатки и устройство для автоматизированной выгрузки и загрузки заготовок из рабочей зоны. Основными преимуществами данного технологического процесса является то, что применяется технология холодного формообразования, что в свою очередь обеспечивает улучшение механических характеристик, повышение твердости, повышение прочности, сокращение время обработки изделия, экономию материала в связи с отсутствием отходов. В связи с тем, что процесс накатывания экономичен, его широко применяют в автомобильной промышленности, производстве нормалей, гидроаппаратуры, насосов, труб, станкостроении и др.

В настоящее время серийно изготавливаются станки с давлением накатки от 5 до 60 т. В зависимости от модификации станок может быть оборудован ЧПУ, вместо электродвигателей и трансмиссий применяются серводвигатели, все команды задаются с пульта управления, а результаты настройки станка вводятся в память и могут быть впоследствии отображены на дисплее. Точность и надежность станков позволяют применять их для накатки всех типов резьбы (в том числе конической резьбы), червяков, мелко модульных косозубых колес, шпелей, цапф, а также для обкатки клапанов. Станки легко оснащаются автоматическими механизмами загрузки и выгрузки деталей, что позволяет широко применить их в автоматических комплексах и линиях для изготовления массовых деталей. При использовании автоматической загрузки станок накатывает до 1200 деталей в час.

**Разработка специализированного прокатного оборудования  
для формообразования рабочих деталей сельскохозяйственной техники**

Студенты гр. 10402112 Легенькая М. С., Ясюкович Е. В.  
Научный руководитель – Давидович Л. М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Рабочие детали сельскохозяйственной техники предназначены для обработки почвы и уборки кормов и представляют собой изделия плоской формы с лезвиями по краям. Наиболее производительной технологией формообразования лезвий является прокатка, обеспечивающая получение заостренных лезвий за счет локального воздействия рабочего вала на заготовку.

Для реализации технологии разработано специализированное оборудование на базе стана поперечно-клиновой прокатки. Стан содержит станину, силовой гидропривод с ползуном, прокатную клетку и электрооборудование. Особенностью разработанного оборудования является наличие в прокатной клетке валкового инструмента, расположенного на ползуне стана и системы упоров, установленных на нижней части прокатной клетки. Схема стана представлена на рисунке 1.

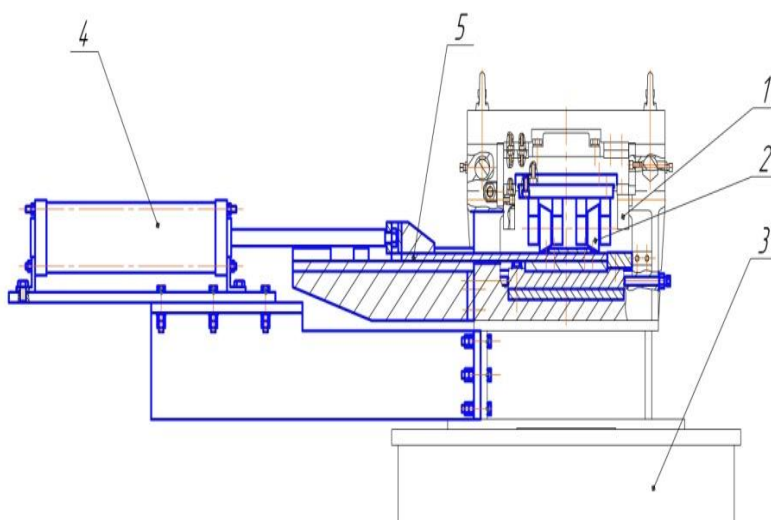


Рисунок 1 – Специализированный прокатный стан:

1 – прокатная клетка; 2 – валковый инструмент; 3 – станина; 4 – пневматическая система перемещения; 5 – нижняя подвижная плита

Стан оснащен пневматической системой перемещения нижней плиты перпендикулярно направлению оси силового воздействия рабочего гидроцилиндра. Это позволяет выдвигать нижний инструмент из прокатной клетки и тем самым решать вопросы автоматизации и механизации передачи нагретой до ковочной температуры плоской заготовки от индукционного нагревателя к прокатному стану. Размещенная в открытых упорах заготовка пневматической системой передается вместе с нижней подвижной плитой в зону действия валкового верхнего инструмента. Кроме того, такая конструкция позволяет производить быстрое перемещение заготовки на позицию обработки в случае наличия на изделии двух лезвий. Необходимость быстрого позиционирования заготовки обусловлена соблюдением требуемого температурного режима формообразования.

В том случае, если прокатка является завершающей стадией формообразования, ее целесообразно совмещать с операцией термической обработки для реализации процессов как термического, так и деформационного упрочнения.

УДК 621.762.5

### Деформация заготовок из металлических порошков под действием магнитного поля импульсного тока

Студенты гр.10402112 Кубасов С. А., Пилипцевич Д. В.  
Научный руководитель – Минько Д. В.  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск

Высокоскоростные методы обработки давлением порошковых материалов является перспективным направлением для порошковой металлургии. Одним из методов такой обработки является магнитно-импульсное прессование порошков, основанное на действии пинч-эффекта, вызывающего пластическую деформацию материала порошковых частиц в зоне их механических контактов. При разработке технологических процессов с использованием магнитно-импульсного прессования используется математическое моделирование, позволяющее оптимизировать режимы получения порошковых материалов с заданными физико-механическими свойствами. С учетом этого для математического моделирования процессов получения порошковых деталей установлены следующие уравнения:

$$\frac{dp}{dr} = -j(r)B(r) \quad (1)$$

$$B(r) = \frac{\mu_0 I_0 (\alpha r \sqrt{-i})}{2\pi R J_1(\alpha R)} \quad (2)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\omega \mu_0}{\rho}} \quad (3)$$

где  $p$  – давление;

$r$  – радиус-вектор;  $R$  – радиус электрода-пуансона;

$\rho$  – плотность материала порошковой частицы;

$\omega, j, I_0$  – соответственно циклическая частота, плотность и амплитуда силы тока;

$\mu_0$  – магнитная проницаемость вакуума;

$J_1$  – функция Бесселя I-го порядка.

Для оценки характера распределения давления в порошке при электроимпульсной обработке проведено моделирование с использованием прикладных программ «MathCAD». При моделировании в зависимостях, описывающих распределение давления в порошке, использовались такие относительные переменные, как  $\chi$  и  $\psi$ , характеризующие диаметр  $D$  и высоту  $H$  находящегося в жесткой цилиндрической матрице порошка, а также параметр  $\beta$ , определяющий соотношение  $H$  к  $D$ . При вычислениях относительные переменные  $\chi$  и  $\psi$  изменялись в пределах от нуля до единицы, а параметр  $\beta$  – в пределах от единицы до двух.

При моделировании распределения давления в порошке в момент протекания импульсного тока в качестве исходных данных использовались: длительность первого периода электрического импульса – 80 мкс, амплитуда напряжения и силы тока – 1,5 кВ и 10 кА соответственно (рисунок 1, а). Для наглядности при построении графических зависимостей распределения давления в порошковом слое выделялась граница раздела со стенкой матрицы (рисунок 1, б) и диаметр центрального сечения (рисунок 2).

На конечной стадии моделирования исследовалась эффективная глубина проникновения в условиях действия скин-эффекта по сечению порошкового слоя импульсного тока, циклическая частота которого изменялась в пределах  $(2-8) \cdot 10^4$  рад/с (рисунок 3).

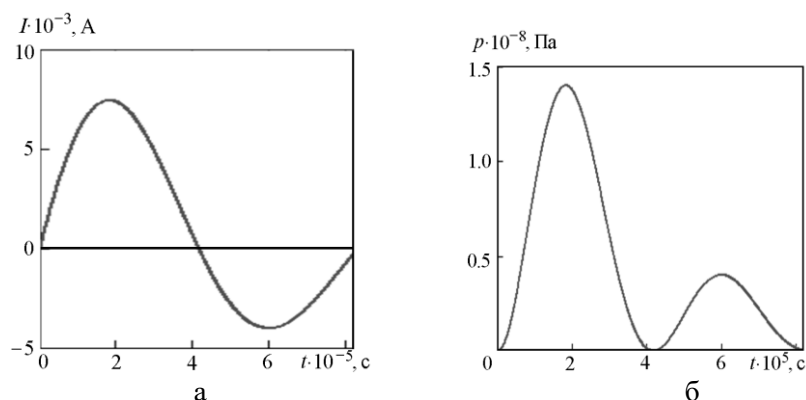


Рисунок 1 – Характер изменения величины импульсного тока (а) и давления (б) в центре порошкового слоя за первый период разряда

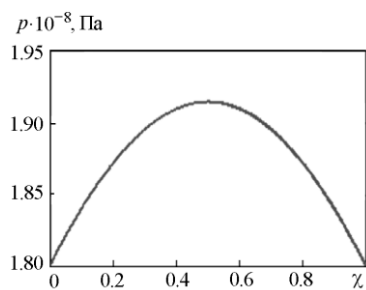


Рисунок 2 – Характер распределения давления в сечении порошкового слоя при  $i(t) = I_0$

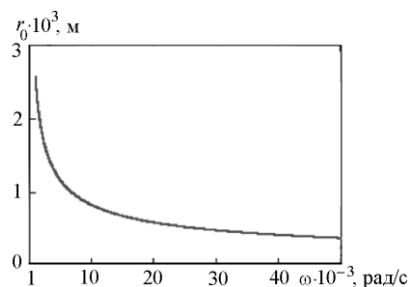


Рисунок 3 – Эффективная глубина проникновения импульсного тока в порошковом слое

Анализ результатов моделирования показал, что на распределение давления в порошке при электроимпульсной обработке существенное влияние оказывает пинч-эффект, действие которого приводит к радиальному сжатию прессовки в поперечном сечении собственным магнитным полем импульсного тока. Под действием пинч-эффекта давление в порошке монотонно возрастает вдоль оси  $r$  от периферии к центру, где и достигнет своего максимума. При высоте порошковой насыпки, равной диаметру, неравномерность радиальной составляющей вызванного действием пинч-эффекта давления в поперечном сечении может составить 7–8%, а в продольном сечении неравномерность осевой составляющей этого давления достигает уже 19–20%. При определенных значениях импульсных токов и соотношениях высоты к диаметру насыпки полученная после ЭИП заготовка может приобрести форму гиперболического цилиндра. Результаты моделирования показывают, что действие пинч-эффекта способно создавать давления, вызывающие не только упругие, но и пластические деформации частиц порошка. Поэтому при ЭИП следует учитывать, как характер распределения давления в порошке, вызванного действием пинч-эффекта, так и характер распределения давления, вызванного одноосным двухсторонним нагружением.

Результаты решения уравнений (1)–(3) могут использоваться при расчетах и оптимизации режимов магнитно-импульсной обработки пористых порошковых материалов.

Студенты гр. 10402112 Манцевич И. О., Шенец А. Л.  
Научный руководитель – Любимов В. И.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Наиболее простым и универсальным методом получения изделий различной формы из порошков любых составов является холодное статическое прессование в закрытых пресс-формах. Закрытая пресс-форма состоит в простейшем случае из матрицы (контейнера), нижнего и верхнего пуансонов. Нижний пуансон закрывает снизу отверстие матрицы, сверху в матрицу засыпается порошок, в матрицу вставляется верхний пуансон, к которому прикладывается усилие прессования. После снятия деформирующего усилия прессовка выталкивается из матрицы с помощью одного из пуансонов.

Для изделий, спрессованных из порошков, характерными дефектами являются так называемые трещины расслаивания. Они возникают на боковых поверхностях прессовки, перпендикулярно направлению прессующего усилия, и выводят изделия в брак. Объясняется это следующим. При прессовании поверхностный слой частиц порошка, воспринимая давление от пуансона, передает его всему объему порошка. Из-за подвижности частиц порошка по горизонтали создается боковое давление, действующее также и на стенки контейнера. Боковое давление увеличивается с увеличением давления прессования. Под действием бокового давления размеры контейнера упруго увеличиваются. В заключительный момент прессования диаметр уплотненной порошковой заготовки соответствует внутреннему диаметру контейнера. После снятия усилия прессования в результате упругого последействия контейнера размеры его внутренней полости стремятся вернуться к исходным значениям. В результате прессовка оказывается под действием радиального давления со стороны контейнера. В случае низкой прочности прессовки это приводит к возникновению в ней трещин, сколов, расслоений или полному ее разрушению непосредственно после снятия усилия прессования, так как радиальное давление со стороны контейнера при любом давлении прессования превышает величину предельно допустимого формоизменения прессовки. Разрушение прессовки может произойти и при выталкивании ее из контейнера в результате действия сил контактного трения.

По этим причинам метод сухого одноосного статического прессования в закрытых пресс-формах не пригоден для некоторых жестких трудноуплотняемых порошков (карбидов, боридов и др.). В связи с этим возникает необходимость изменения классической схемы прессования с целью улучшения условий формования и извлечения прессовки.

Для изготовления ряда изделий из трудноформуемых порошковых материалов может быть использована технология прессования в тонкостенном упруго деформируемом контейнере. Перед прессованием или в процессе прессования тонкостенный контейнер подвергается радиальному обжатию, в результате которого рабочий канал контейнера упруго уменьшается. После снятия усилия прессования и радиального давления на контейнер последний восстанавливает свои первоначальные размеры и между контейнером и прессовкой образуется зазор, исключаящий силовое воздействие на боковую поверхность изделия и позволяющий легко извлечь его из контейнера.

Схема процесса приведена на рисунке 1. В тонкостенном стальном закаленном контейнере 1 между пуансонами 2 и 3 размещается порошковая заготовка 4 (рисунок 1, а слева от оси симметрии). В процессе прессования контейнер обжимается полиуретановой оболочкой 5, в результате чего он упруго деформируется в радиальном направлении, создавая радиальное давление на боковую стенку прессуемой порошковой заготовки (рисунок 1, а справа от оси симметрии). После снятия деформирующего усилия в результате упругого последействия

тонкостенный контейнер 1 возвращается к своим прежним размерам и между ним и изделием образуется зазор  $Z$ , позволяющий беспрепятственно извлечь изделие (рисунок 1, б).

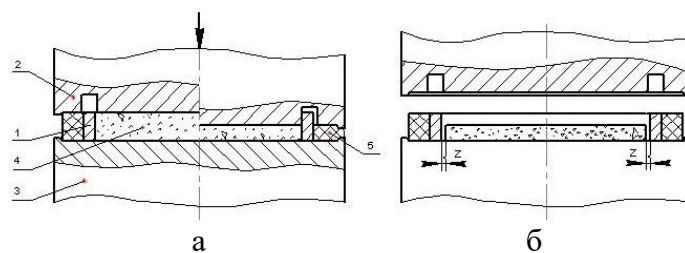


Рисунок 1 – Схема прессования в упруго деформируемом контейнере

Предложенная схема прессования была экспериментально опробована при изготовлении пластин диаметром 100 мм и толщиной 5 мм из порошковых керамических композиций TiN и  $YBa_2Cu_3O_7$ .

Металлическая упругая оболочка (контейнер) 1 была изготовлена из стали У10А, термообработана до твердости 54–58 HRC, и имела следующие размеры: внутренний диаметр 101 мм, толщину стенки 2 мм и высоту 7 мм. Кольцевая эластичная оболочка 5 с наружным диаметром 120 мм и внутренним диаметром 105 мм была изготовлена из полиуретана СКУ-7Л. На торцевой поверхности верхнего пуансона 2 был выполнен кольцевой паз глубиной 6 мм с внутренним диаметром 100 мм и наружным диаметром 105,5 мм.

При давлении прессования 100 МПа (для порошковой композиции  $YBa_2Cu_3O_7$ ) относительная плотность прессовки составляла 64,1 %. Полученные изделия не имели повреждений в виде трещин, сколов, расслоений и свободно извлекались из контейнера.

Такой метод может быть использован для прессования тонких пластин, колец и тонкостенных втулок, в том числе весьма малой плотности.

УДК 621.762.5

### Влияние давления прессования на структуру порошкового материала при электроимпульсной обработке

Студенты гр.10402112 Бахтин А. С., Стецко В. В.

Научный руководитель – Минько Д. В.

Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск

Электроимпульсная обработка порошковых материалов применяется в машиностроении, приборостроении и медицине для получения изделий (фильтроэлементов, радиаторов и имплантатов), имеющих проницаемую поровую ( $P=25-35\%$ ) структуру. Электроимпульсная обработка порошковых материалов основана на упругой деформации и электротермическом спекании порошковых частиц. Поровая структура порошковых материалов в этом процессе определяется распределением контактных механических напряжений в порошковой насыпке, которые зависят от ее линейных размеров и величины давления подпрессовки. С учетом этого, для порошковых частиц сферической формы, засыпанных в жесткую цилиндрическую матрицу и подпрессованных двумя электродами-пуансонами, исходя из решения уравнения:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = \xi^2 \left( \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} \right), \quad (1)$$

где  $p$  – давление подпрессовки;

$r, z$  — цилиндрические координаты;  
 $\xi$  — коэффициент бокового давления.  
 Определена зависимость:

$$\frac{2 - 2\Pi + 2\Pi^2 + 3\Pi^3 - \Pi^4}{\Pi^3} = \frac{1}{\rho g L} p(z), \quad (2)$$

где  $L$  — высота порошковой насыпки;  
 $\rho$  — плотность материала порошковой частицы;  
 $g$  — ускорение свободного падения,

Данная зависимость устанавливает связь распределения локальной пористости от линейных размеров порошковых изделий.

Для оценки характера распределения давления в порошке при электроимпульсной обработке проведено моделирование с использованием прикладных программ «MathCAD». При моделировании в зависимостях, описывающих распределение давления в порошке, использовались такие относительные переменные, как  $\chi$  и  $\psi$ , характеризующие диаметр  $D$  и высоту  $H$  находящегося в жесткой цилиндрической матрице порошка, а также параметр  $\beta$ , определяющий соотношение  $H$  к  $D$ . При вычислениях относительные переменные  $\chi$  и  $\psi$  изменялись в пределах от нуля до единицы, а параметр  $\beta$  — в пределах от единицы до двух.

В качестве модельного использовался порошок, состоящий из сферических частиц диаметром 100 мкм с физико-механическими свойствами, аналогичными свойствам порошка титана. Считалось, что частицы порошка под действием предварительного двухстороннего прессования с помощью электродов-пуансонов испытывают только упругую деформацию. При этом сами электроды-пуансоны и стенки матрицы не деформировались. Давление предварительного прессования вдоль оси электродов-пуансонов задавалось в пределах 10–100 МПа.

Результаты моделирования в относительных координатах распределения давления в порошке на стадии, предшествующей протеканию импульсного тока, представлены рисунке 1.

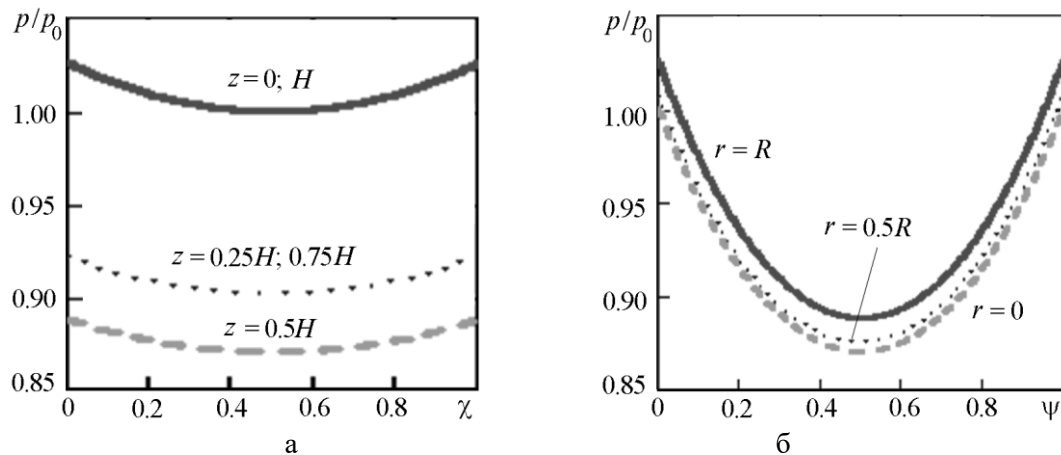


Рисунок 1 – Относительное распределение давления в поперечных (а) и в продольных (б) сечениях порошковой насыпки

Анализ результатов моделирования показал, что давление в продольном сечении порошковой насыпки при одноосном двухстороннем прессовании монотонно уменьшается от периферии к центру по осям цилиндрической системы координат  $z$  и  $r$ , где и достигает своего минимума. При этом своего максимума давление достигает на границах соприкосновения порошка с торцами электродов-пуансонов. Величину неравномерности распределения давления в порошке определяет отношение высоты к диаметру порошковой насыпки. При

высоте насыпки, равной диаметру, неравномерность распределения давления в поперечном сечении будет несущественной и составит, в среднем, два-три процента. В то же время неравномерность распределения давления по высоте продольного сечения может составить 8–9 %. При увеличении высоты насыпки в два раза характер распределения давления в поперечном сечении не изменится, а неравномерность распределения давления в продольном сечении составит 10–12 %. При увеличении высоты насыпки в четыре раза неравномерность распределения давления в продольном сечении возрастет до 16–17 %.

Разработанная феноменологическая методика моделирования позволяет оценивать характер распределения давления в порошковой насыпке. Благодаря этому она может использоваться в расчетах по оптимизации режимов электроимпульсной обработки, обеспечивающих получение порошковых материалов с относительно равномерной плотностью. В методике имеются зависимости, учитывающие в определенном виде связь с пикнометрической плотностью исследуемой дисперсно-порошковой среды, а также с формой частиц, составляющих эту среду, включая способность материала к линейной деформации при сжатии и растяжении. Это позволяет при проведении моделирования распределения давления при электроимпульсной обработке учитывать индивидуальные особенности исследуемой дисперсно-порошковой среды и свойства ее частиц.

Результаты решения уравнений (1) и (2) могут быть использованы в оптимизации режимов электроимпульсной обработки порошковых материалов при получения титановых фильтрующих элементов и изделий медицинского назначения.

УДК 621.771.013

### **Технологические возможности процесса сферодвижной штамповки**

Студенты гр. 10402114 Фролов А. В., Крук Д. С.  
Научный руководитель – Ленкевич С. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Экономическая эффективность, того или иного способа изготовления детали, определяется повышенным коэффициентом использования металла, а оборудования минимально возможной мощностью привода и его габаритных размеров.

В этой связи, перспективным является расширение промышленного использования штамповки с обкатыванием или сферодвижной штамповки. Применение данной технологии при изготовлении широкой номенклатуры изделий, в конечном счете, приводит к ощутимому снижению себестоимости изготовления, повышению показателей качества и конкурентоспособности производителя.

Процесс сферодвижной штамповки позволяет деформировать наружные, внутренние и торцевые поверхности полых и сплошных металлических заготовок. При их реализации можно осуществлять формоизменяющие операции высадки, обратного и прямого выдавливания.

Кинематическая схема сферодвижного механизма предложенная ленинградским изобретателем А.Н. Силичевым представлена на рисунке 1.

Асинхронные электродвигатели 1 через упругие муфты 2 обеспечивают вращение червяков 3, связанных с червячным колесом 4. Водило 5 благодаря возможности поворота своей цапфы в подшипнике 10 преобразует вращательное движение в круговое качательное, которое передается инструменту 6. Заготовка 7 установлена в матрице 8. При вертикальном перемещении стола или ползуна пресса осуществляется штамповка заготовки 7. Технологическое усилие, воспринимаемое пуансоном 6, передается на сферический подшипник 9, который служит опорой водила 5. При круговом качании горизонтальная линия контакта пуансона с заготовкой поворачивается в горизонтальной плоскости с постоянной



угловой скоростью и является в каждый момент времени осью качания всего звена водила. То есть при сферодвижной штамповке заготовка остается неподвижной, а инструмент совершает по отношению к ней движение обкатки и поступательное перемещение.

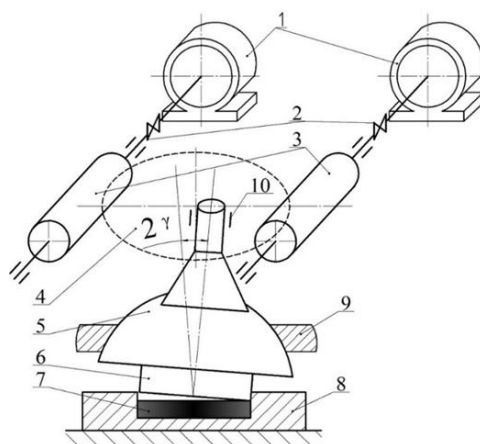


Рисунок 1 – Кинематическая схема сферодвижного механизма Силичева:  
 1 – асинхронный электродвигатель; 2 – муфта; 3 – червяк; 4 – червячное колесо;  
 5 – водило; 6 – пуансон; 7 – заготовка; 8 – матрица; 9, 10 – подшипники

Геометрия очага пластической деформации определяется тремя кинематическими характеристиками процесса:

- осевой скоростью деформирования ( $v$ );
- частотой обкатывания ( $n$ );
- углом наклона оси обкатывания ( $\gamma$ ).

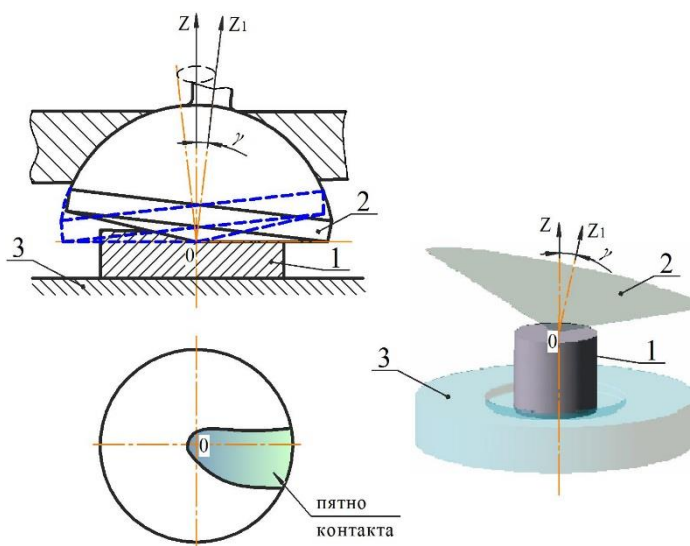


Рисунок 2 – Схема сфероподвижной штамповки

Угол наклона оси  $OZ_1$  активного инструмента 2 относительно вертикальной оси  $OZ$  составляет угол  $\gamma$ . Деформирование заготовки происходит при осевом сближении инструмента 2 со штампом 3 и движении обкатывания. Между инструментом 2 и заготовкой 1 образуется контакт только по части ее торцевой поверхности, которую называют пятном контакта. Суммарная зона пластической деформации при круговом перемещении локализованного очага, который образуется под пятном контакта, охватывает весь объем заготовки 1.

Наличие локально подвижных зон и зоны замкнутого контакта в очаге деформации позволяет снизить общее усилие деформирования и в то же время иметь в очаге деформации преимущественно схему всестороннего неравномерного сжатия, благоприятную для пластического деформирования заготовок в термоупрочненном состоянии. Кроме того, при штамповке обкатыванием трубных заготовок имеются условия для варьирования «жесткости» схемы напряженного состояния путем изменения схемы деформации от вытяжки с утонением до прессования. При приложении рабочего усилия к пуансону получают схему вытяжки с утонением, если усилие прикладывают к торцу заготовки – схему прессования. Это значительно расширяет возможности процессов получения трубных деталей из термоупрочненных заготовок.

При оценке технологических возможностей сферодвижной штамповки следует учитывать два обстоятельства:

1) схемы, обеспечивающие монотонное возрастание площади поверхности контакта, приводят к повышению уровня сжимающих напряжений, но имеют низкий уровень сдвигающих напряжений. Это устраняет возможность появления макротрещин, но ухудшает плотность спрессованной заготовки;

2) схемы, обеспечивающие немонотонный характер изменения площади контакта, как правило, имеют меньшие значения сжимающих напряжений, но деформация при этом имеет сдвиговый характер.

В обоих случаях требуются методики выбора оптимальных технологических режимов. Проведены исследования влияния технологических режимов на структуру металла. Установлено, что получение ультрамелкозернистой структуры реализуется не при всех режимах сферодвижной штамповки. Так, степень изменения структуры существенно улучшается при немонотонном циклическом характере изменения площади поверхности контакта. Сильное влияние на степень измельчения зерна оказывает реверс вращательного движения инструмента. Этого можно достичь чередованием вращения матрицы и пуансона, а также путем переворачивания заготовки.

Процесс сферодвижной штамповки обеспечивает следующие преимущества: во-первых, «плавающий» очаг деформации приводит к существенному снижению удельного усилия в 5–15 раз; во-вторых, улучшаются условия изменения структуры за счет интенсивных сдвигающих деформаций; в-третьих, расширяются технологические возможности получения деталей различной формы (разнообразии схем деформирования).

УДК 620.1-19

### **Изготовление биметаллического штампового инструмента с высокими скоростями деформирования**

Студенты гр. 10402112 Кубасов С. А., Дыдик П. И., Азохов Д. Л., Пилипцевич Д. В.  
Научный руководитель – Ленкевич С. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

На современном этапе развития машиностроительной отрасли в Республике Беларусь приоритетными задачами являются повышение качества, надежности и долговечности деталей узлов и механизмов, как технологического оборудования и оснастки, так и выпускаемой продукции. Решение обозначенных задач может осуществляться на основе комплексного подхода, включающего в себя создание новых материалов, разработку и внедрение эффективных технологий по упрочнению и ресурсосбережению металлов, являющихся основным сырьем машиностроительных предприятий.

Кроме того, конструкторы и технологи все чаще проявляют интерес к созданию и использованию биметаллических изделий с целью экономии дорогостоящих материалов

и повышения их эксплуатационных свойств. В этой связи процесс скоростного горячего выдавливания открывает новые возможности получения изделий с одновременным формированием биметаллического соединения.

Высокие скорости деформирования способны обеспечить положительное действие инерционной составляющей усилия, значительное снижение контактного трения, интенсивное выделение тепла в местах наибольшей деформации, что обеспечивает четкое выполнение штампуемого рельефа, получение тонких стенок (до 3–4 мм), ребер (до 1,5–2,5 мм), полотен (до 1–2 мм), малых радиусов закруглений. Высокоскоростное воздействие на заготовку увеличивает глубину проникновения пластической деформации, что гарантирует хорошую проработку структуры металла и благоприятное расположение волокна.

В качестве деталей-представителей были выбраны детали типа «вставка пуансона» и детали типа «пуансон», которые используются в качестве основных деталей штампов.

Наибольшие нагрузки, такие как сжатие, износ, удар по инструменту и тепловое воздействие, испытывает та часть инструмента, где непосредственно происходит пластическое формоизменение, т. е. формообразующая полость вставки пуансона или торец пуансона.

Для получения биметаллических деталей штампов в качестве основы использовали недорогую конструкционную низколегированную сталь, такую как 40Х, а в качестве рабочей части инструмента применяли инструментальные легированные 9ХС, 5ХНМ и высоколегированные штамповые стали – Х12МФ и Р6М5.

С учетом перечисленных выше факторов была спроектирована штамповая оснастка для реализации схемы скоростного нагружения, которая представлена на рисунке 1.

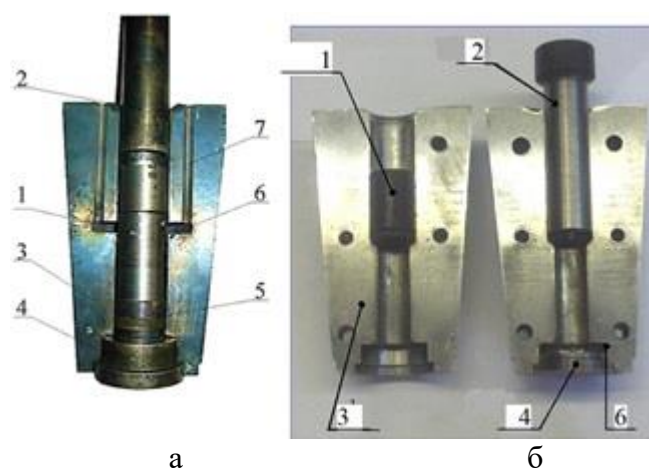


Рисунок 1 – Штамповая оснастка и составные заготовки для комбинированного выдавливания (а) вставки пуансона, (б) пуансона:

1 – составная заготовка; 2 – ударник; 3 – полуматрицы; 4 – упор; 5 – набор прокладок для регулировки линии раздела составной заготовки относительно кольцевой проточки; 6 – кольцевая проточка; 7 – канал для отвода газов и смазки

С помощью оснастки, представленной на рисунке 1, на газодинамической установке были получены биметаллические поковки штампового инструмента типа «вставка пуансона» и «пуансон» (рисунок 2). Охлаждение поволоков велось на спокойном воздухе.



Рисунок 2 – Внешний вид биметаллических поковок, полученных с начальной скоростью деформирования 50 м/с: а – вставка пуансона; б – пуансон

Совместное затекание двух металлов при температуре штамповки 1150 °С в кольцевую проточку б (рисунок 1) обеспечивало удаление окислов с поверхностей и формирование биметаллического соединения. Исследование зоны соединения осуществлялось по шлифам (рисунок 3), вырезанным из центральной части, полученных поковок различных композиций сталей.

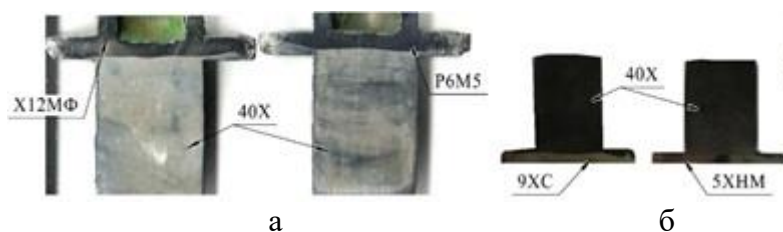


Рисунок 3 – Протравленные шлифы биметаллических образцов: а – вставка пуансона; б – пуансон

На рисунке 4 приведены фотографии микроструктуры биметаллических образцов в зоне шва.

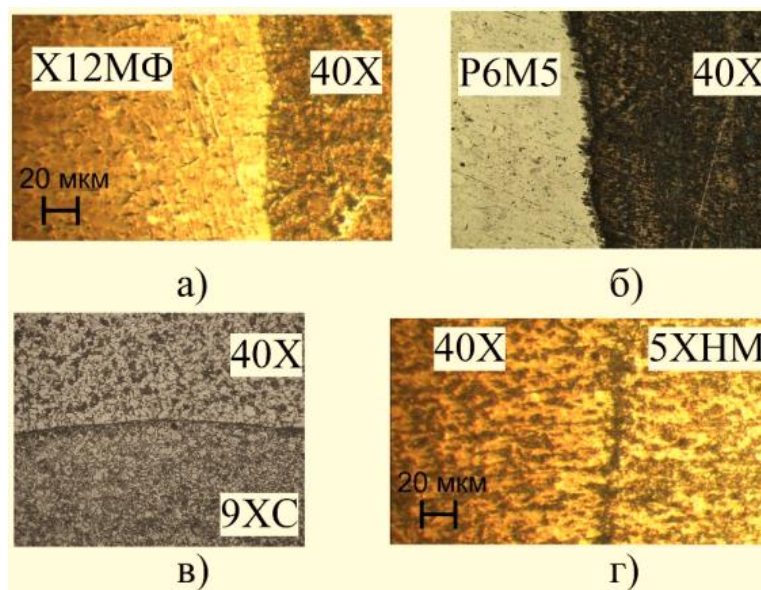


Рисунок 4 – Микроструктура шва биметаллических образцов х500: а – сталь 40X+X12MФ; б – сталь 40X+P6M5; в – сталь 40X+9XC; б – сталь 40X+5XHM

Исследование зоны соединения показало отсутствие несплошностей и микротрещин, а на поверхности соединения отсутствуют цепочки окисных включений.

Кроме того, проведенный на электронном микроскопе спектральный анализ показал наличие переходной зоны в пределах до 10 мкм в котором наблюдалась диффузия легирующих элементов от более легированной стали к стали 40X. Диффузия легирующих элементов вероятно протекает в процессе выхода дислокаций на контактные поверхности двух сталей при интенсивной совместной деформации и наиболее выражена при высоком процентном содержании того или иного легирующего элемента.

Значение твердости на поверхности рабочей полости вставок пуансона после проведенной закалки, выполненной из стали X12MФ составило 58–61 HRC, для стали P6M5 – 64–66 HRC. Значение твердости на рабочей поверхности пуансонов для стали 9XC составило 60–61 HRC, для стали 5XHM 59–60 HRC. Из чего следует, что, применяя ту или иную штамповую сталь, можно обеспечить требуемый комплекс механических свойств инструмента. При значительных нагрузках штамповые стали обеспечат высокую износостойкость инструмента, а сталь 40X используемая в качестве основы, с полученной твердостью 39–46 HRC (увеличивается от сердцевины к поверхности) будет дополнительно поглощать ударную нагрузку, что увеличит общую стойкость биметаллического инструмента.

УДК 621.777.35.621

### **Особенности пластического формоизменения заготовки при комбинированном способе получения трубок малого диаметра из ленты**

Студент гр. 104412 Хведчук Н. С  
Научный руководитель – Карпицкий В. С  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Длинномерные трубчатые изделия малого диаметра (капиллярные трубы с внутренним диаметром 0.1–1.5 мм) находят широкое применение в приборостроении в качестве дозаторов и дистанционных датчиков температуры, радиаторов охлаждения приборов и др., в медицине в качестве наконечников шприцев и в других отраслях промышленности. Основное свойство таких трубок – пропускать при заданном давлении строго определенное количество жидкости или газа в единицу времени. Получают, как правило, такие изделия из коррозионностойких сталей и цветных металлов и сплавов сочетанием процессов холодной прокатки на начальной стадии их изготовления и волочения с использованием оправок различной конструкции и безоправочного волочения на заключительных этапах технологического цикла.

Однако следует отметить, что существующие способы получения трубок малого диаметра характеризуются длительностью и сложностью маршрута изготовления, во многих случаях с применением промежуточной термообработки. Длительность технологического цикла изготовления предопределяет необходимость частого изготовления захваток на концевых участках труб с использованием специального оборудования, что ведет к значительным материальным и энергетическим затратам. Большие силы контактного трения в очаге деформации при волочении приводят к частым обрывам изделий и ограничению минимально возможных диаметров получаемых изделий.

На основании анализа существующих технологических схем получения трубок малодиаметра предложен комбинированный способ формообразования таких трубок из ленты, позволяющий упростить технологию их изготовления. Сущность данного метода заключается в том, что формообразование трубчатых изделий в процессе изготов-

ления производится путем одновременной свертки ленты в трубку в заходной зоне конусной части волоочильного инструмента и редуцирования изделия по наружному диаметру в переходной зоне волокна от конусной ее части к калибрующему пояску с последующим формированием качественного стыкового соединения за счет пластического деформирования сдвигом и дополнительным локальным воздействием на изделие в калибрующей части волокна.

Основными операциями в технологическом цикле изготовления изделия являются: подготовка полосы (ленты) для последующего деформирования (точная резка на полосы требуемой ширины, обжим ее концевой участка с возможностью заправки заготовки в волоочильный инструмент и захвата тянущим механизмом); безправочное волочение через волоочильный инструмент (количество волок, определяется маршрутом волочения) и при необходимости окончательная обработка изделия (химико-термическая, правка и др.).

Установлено, что качество стыкового соединения получаемых трубок в значительной степени зависит от точности исходных полос по ширине с целью получения таких заготовок разработаны и изготовлены малогабаритные многоножевые ножницы, обеспечивающие резку нескольких лент толщиной на 0,15–0,5 мм из рулона, а также обрезку лент по ширине на заданный размер. Расчет требуемой ширины полосы для каждого типоразмера изделия производили методом развертки по нейтральной поверхности деформации, используя коэффициенты смещения нейтрального слоя.

При изгибе (свертке) особенно относительно толстостенных заготовок при  $S > 0,05d$  в кольцевую форму происходит меньшее удлинение (утяжка) наружных растягивающих слоев заготовки и меньшее укорочение внутренних сжимающих слоев. В этом случае место стыка получится со скосом кромок, что не обеспечивает плотного соединения. Во избежание этого дефекта необходимо применять заготовку со скошенными концами, увеличивая длину заготовки с наружной стороны изгиба и уменьшая с внутренней. Угол скоса при этом зависит от относительного радиуса гибки ( $R/S$ ).

Более плотное, герметичное и качественное стыковое соединение можно получить за счет пластической деформации в процессе волочения. С этой целью после формирования трубчатой, кольцевой заготовки в зоне свертки производится безправочное волочение с незначительной степенью деформации ( $E_D=1,2$ ). С учетом этого должна быть скорректирована расчетная ширина исходной заготовки (полосы) для определенного диаметра капиллярной трубки с учетом дополнительного припуска по ширине на пластическую деформацию в обжимной и калибрующей части волокна для образования более качественного стыкового соединения.

В качестве исходного материала для проведения экспериментальных исследований процесса изготовления трубок с наружным диаметром до 2,0 мм использовали стали углеродистые качественные марок 10, 20 и сталь легированную коррозионно-стойкую марки X18H9T толщиной 0,15–0,2 мм. Процесс свертки полосы в трубчатое изделие и волочение осуществляли с использованием стандартных твердосплавных волок с углом конусности  $12^\circ$  и длиной калибрующей части 1,5 мм. С целью уменьшения усилия и напряжения волочение трубок проводили со смазкой. В качестве смазочного материала использовали порошкообразные смазки (порошок сухого мыла, хлорированный парафин).

Изготовление трубок осуществляли на лабораторном цепном волоочильном стане со скоростью 20 м/мин. С целью точного замера тянущего усилия процесс волочения проводили на испытательной машине Р-5. Результаты экспериментальных исследований показали, что формообразование трубок малого диаметра происходит при небольших силовых параметрах. Так, например, для изготовления трубок из стали X18H9T диаметром 1,2 мм, толщиной 0,2 мм из полосы шириной 3,9 мм процесс свертки осуществляли за три прохода со средней разовой степенью деформации 15 %. Тянущее усилие при этом составляло 150 Н. На окончательном проходе волочения – 200–220 Н. Качество готовых



трубчатых изделий проверяли на герметичность (продувкой воздуха под давлением) и на пропускную способность путем пропуска через трубку воды. Исследования показали стабильную работоспособность предложенного способа и возможность изготовления качественных трубчатых изделий малого диаметра из ленты.

УДК.621.77.04

### **Интенсификация процесса разделения пруткового материала на мерные заготовки клиновидными ножами**

Студенты гр.104412 Высево В. А., Колядко С. Д., Кисель И. С.  
Научный руководитель – Исаевич Л. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Установлено, что наиболее эффективным является способ формообразования в нем кольцевой канавки клиновидного сечения пластическим деформированием металла дисковыми ножами, при постепенном углублении которой происходит разрушение сортамента в этой зоне (рисунок 1).

В этом случае большую роль играет угол изгиба оси прутка в зоне формообразованной канавки, при котором происходит отделение самой заготовки. Его можно рассчитать с помощью эмпирической формулы:

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{1}{l} \left( \frac{K_1}{2^{2k-1}} + K_2 \right),$$

где  $K_1, K_2$  – коэффициенты, имеющие размерность в мм;

$K$  – безразмерный коэффициент, численно равный  $h$ ;

$h$  – глубина канавки, мм;

$l$  – расстояние от линии дна канавки до точки приложения отгибающей силы  $P$ , мм.

Формула составлена на основании экспериментальных данных, полученных при разделении прутков на токарном станке.

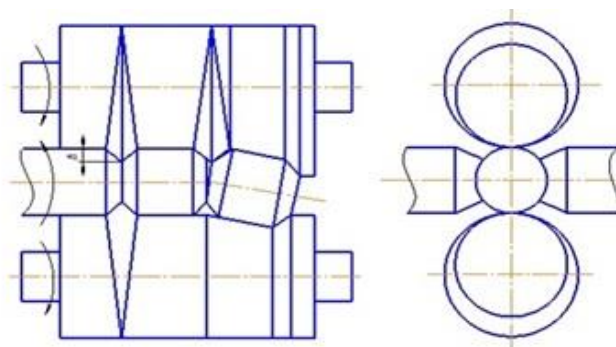


Рисунок 1 – Сборный инструмент для поперечной прокатки тел вращения

На основании проведенных исследований установлено, что в случае локального изгиба прутка в зоне формированной кольцевой канавки клиновидного сечения для обеспечения эффективного отделения заготовки глубина этой канавки может быть значительно меньше, чем в отсутствие указанного изгиба. При этом значение данного угла при глубине канавки не менее 0,5 мм не превышает  $9^\circ$  и не зависит от диаметра разделяемого прутка.

УДК 621.771

## Технология получения валов с удлиненной осью методом поперечно-клиновой прокатки

Студенты гр. 304411 Подлипский Д. М., Камера Д. С.  
Научный руководитель – Белявин К. Е.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Технология производства детали «Вал 181.897» (рис. 1, а) методом поперечно-клиновой прокатки (ПКП) и инструмент ПКП для ее изготовления разработаны для ОАО «Лепсе» – электромашиностроительный завод, Россия, г. Киров. При разработке технологического процесса прокатки вала и конструировании его формообразования из штучной заготовки решались следующие основные задачи: обеспечение устойчивого протекания процесса несимметричной прокатки, прокатка ступени детали с большой степенью обжатия  $\delta = 2,1$  без разрыва цилиндра, качественное оформление всех ступеней детали, снижение осевого биения, уменьшение концевых отходов, исключение скручивания ступеней из-за разности их диаметров.

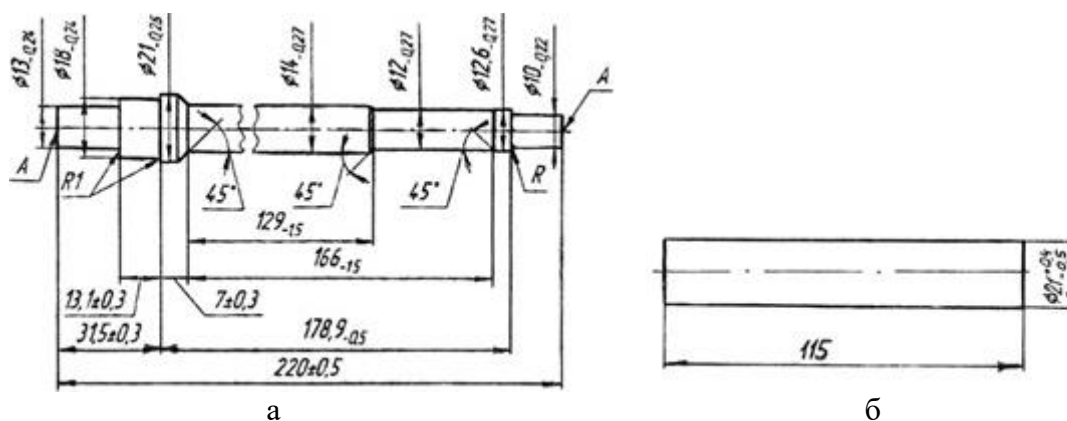


Рисунок 1 – Чертеж детали «Вал»:  
а — прокатанная поковка; б — исходная заготовка

Для разрешения возникающих проблем ПКП осуществлен оптимальный подбор углов  $\alpha$  и  $\beta$ , а также  $\gamma$  для отрезных ножей для предотвращения скручивания, отдельные вставки 8 понижены до 0,1 мм, а для повышения чистоты прокатанной поверхности выполнены радиусы скругления между деформирующими гранями клиньев и их калибрующими поверхностями.

При составлении схемы прокатки (рисунок 2) учитывалась длина инструмента прокатного стана линии, которая составляет 900 мм. Этой длины недостаточно для одновременного формирования двух деталей с разделением их на заключительной стадии прокатки, что позволило бы снизить расход металла. Поэтому была принята схема прокатки, при которой прокатывается одна деталь. Такая схема прокатки позволяет выполнить клиновой инструмент с геометрическими параметрами, находящимися в оптимальных пределах, позволяющих получить качественную заготовку.

Исходная заготовка (рисунок 1, б) 21 мм длиной 115 мм нагревается в индукторе проходного типа до температуры  $1423 \pm 25$  К, поступает до упора на приемный лоток 10 неподвижного нижнего инструмента ПКП. Подвижный верхний клиновой инструмент, перемещаясь параллельно неподвижному нижнему инструменту, внедряется в заго-



товку, придавая ей вращение. Ориентация и раскручивание заготовки в начальной стадии прокатки осуществляется при помощи рифленых дорожек 9 и наклонных боковых граней клиньев 1; 2, на которых выполнено рифление. Подвижный и неподвижный клиновые инструменты при помощи наклонных боковых граней перемещают избыток металла по направлению к торцам, тем самым удлиняют заготовку. Оставшаяся часть металла профилируется калибрующими поверхностями инструмента, формируя цилиндрические участки поковки. Наклонные деформирующие грани имеют угол  $\alpha=30^\circ$  на клиньях 1–4 и угол заострения клина  $\beta = 9^\circ$ . На клиньях 5 и 6 угол  $\alpha$  будет меняться от  $30^\circ$  до  $45^\circ$ , а угол заострения клиньев  $\beta$  от  $9^\circ$  до  $3^\circ$ . Угол подъема лезвия ножа 7  $\gamma = 5^\circ$ , наклона грани  $\alpha_1 = 45^\circ$ ,  $\alpha_2 = 15^\circ$ .

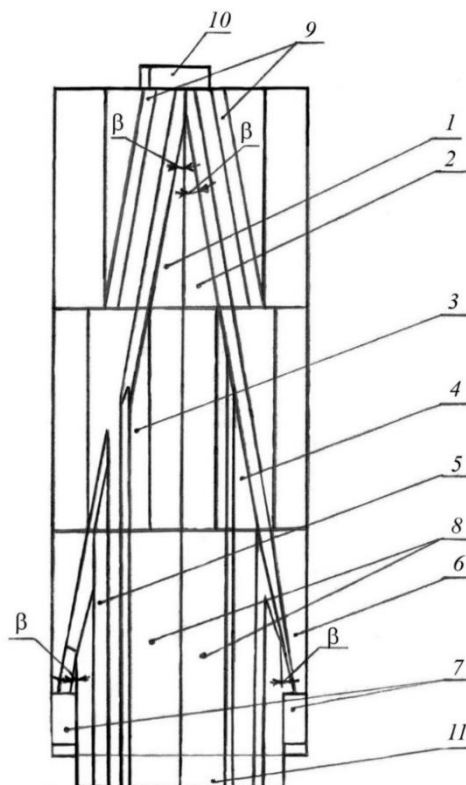


Рисунок 2 – Схема инструмента ПКП для детали «Вал»

Для прокатки цилиндрического участка  $\varnothing 10$  мм, который имеет обжатие  $\delta = 2,1$ , прокатку производим в два перехода одновременно с обжатием  $\delta = 1,5$ , что позволяет избежать разрыва стержня. При помощи сближения углов наклона  $\alpha$  от  $30^\circ$  до  $45^\circ$  на клиньях 5, 6 и уменьшения угла  $\beta$  до  $3^\circ$  появляется возможность снизить величину концевых отходов во время отрезки.

Величина радиального биения прокатанной поковки уменьшается за счет участка правки 11, выполненного за отрезными ножами.

Экономическая целесообразность достигается за счет экономии металла и уменьшения времени и затрат на механическую обработку.

## Стан реверсивной поперечной прокатки

Студенты гр. 10402112 Леонов Р. А., Пономарев Т. С., Дубенец С. С.  
Научный руководитель – Белявин К. Е.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Изменение требований современного производства, в которые входят уменьшение серийности деталей и расширение их номенклатуры, повышение точности, простота изготовления инструмента, быстрота и легкость переналадки на прокатку других изделий, уменьшение энергоемкости производства вызвало необходимость разработки новой гаммы прокатного оборудования. В наибольшей степени этим требованиям отвечают станы поперечно-клиновой прокатки.

Получение деталей методом пластического формообразования имеет ряд существенных преимуществ: экономия металла; повышение производительности труда и долговечности обработанных деталей; уменьшение расходов на инструмент; экономия производственных площадей. Пластическая деформация, обеспечивая необратимые изменения тонкого кристаллического строения, является одним из эффективных средств формоизменения структуры металлов и сплавов, а, следовательно, улучшение физико-механических и эксплуатационных характеристик полученных изделий.

Как известно, при поперечно-клиновой прокатке предварительно нарубленная и нагретая до ковочной температуры мерная заготовка укладывается на загрузочный лоток клинового инструмента поперек формообразующих клиньев, расположенных в направлении перемещения.

Верхний и нижний клиновые инструменты движутся поперек оси заготовки параллельно один другому навстречу друг другу. Параллельное перемещение одной из инструментальных плит относительно другой или взаимное встречное параллельное перемещение обеих инструментальных плит вызывает вращение заготовки между профилирующими калибрами, деформирующие клинья которых своими боковыми гранями заставляют перемещаться избытки металла к торцам и образуют негативный профиль своей формообразующей поверхности. Отличие стана реверсивной поперечной прокатки от традиционного стана поперечно-клиновой прокатки заключается в том, что один из клиновых инструментов имеет дополнительное возвратно-поступательное перемещение под углом  $0^{\circ}$ – $90^{\circ}$  к направлению его рабочего движения.

Дополнительное возвратно-поступательное перемещение клинового инструмента осуществляется за счет установки дополнительного привода в конструкции стана поперечно-клиновой прокатки.

Дополнительный привод стана реверсивной поперечной прокатки (рисунок 1) модели ФТИ 5.556.000.000.00 – механический и обеспечивает только возвратно-поступательное перемещение стола, несущего нижний клиновой инструмент. Реверсивный механизм включает в себя жесткую сварную раму 1, на которой смонтирован инструментальный стол 2 с механизмом регулировки закрытой высоты и системой охлаждения нижнего клинового инструмента, приводимую в движение парой эксцентриковых валов 3.

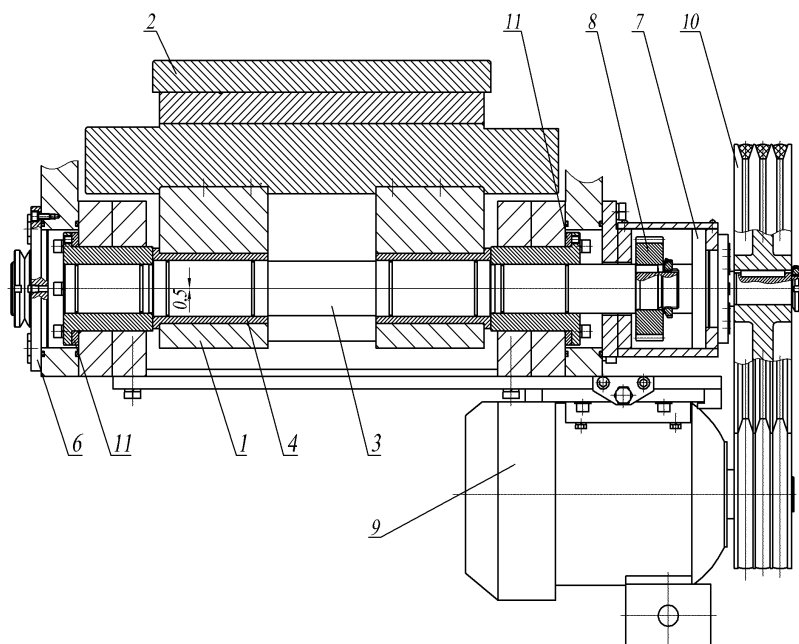


Рисунок 1 – Дополнительный привод стана реверсивной поперечной прокатки

Эксцентрикные валы 3 установлены в опорах скольжения 4 поперек оси рабочего движения в местах начала и конца нижнего клинового инструмента, и своими коренными шейками заделаны в отверстиях нижнего пакета 5 клетки прокатного стана. Смазка всех опор скольжения – принудительная, и осуществляется от импульсной смазочной станции через каналы, выполненные в теле вала 4. Подвод смазывающей жидкости осуществлен через крышку 6. Положение осей эксцентриситетов обоих валов 3 синхронизировано специальным редуктором 7. Редуктор 7 установлен снаружи прокатной клетки и конструктивно выполнен в виде отдельного узла. Редуктор содержит три зубчатых колеса 8 с передаточным числом равным 1 и связанных между собой паразитными шестернями. Привод ведущего зубчатого колеса редуктора осуществляется от отдельного электродвигателя 9 через клиноременную передачу 10.

Осовой зазор в опорах эксцентрикных валов 3 обеспечивается подгонкой компенсаторов 11 при сборке механизма. При этом выдерживается параллельность стола 2 относительно главного движения стана.

Приложение дополнительного колебательного движения к одному из клиновых инструментов обеспечивает дискретную деформацию заготовки, состоящую из множества локальных деформаций с незначительными обжатиями, вследствие чего уменьшается контактная поверхность заготовки с инструментом и изменяется напряженно-деформированное состояние в очаге деформации. Это позволяет перераспределить необходимое для деформирования заготовки усилие прокатки и тем самым уменьшить усилие рабочего привода стана и, как следствие, снизить давление в гидроприводе, что позволит повысить скорость движения гидроцилиндра и увеличить производительность оборудования.

Такой способ клиновой прокатки приводит к изменению зерна металла в приконтактном слое за счет увеличения накопленных деформаций в этой области заготовки и, как следствие, к повышению усталостной прочности прокатанных поковок. Кроме того, возрастает чистота поверхности прокатанных валов за счет того, что одни и те же участки многократно локально деформируются.

Студенты гр. 10402112 Леонов Р. А., Осадчий М. С.  
 Научный руководитель – Белявин К. Е.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Конструктивной особенностью разработанной поковки детали «Палец цилиндра» (рисунок 1) является ее несимметричность и наличие пяти цилиндрических участков различных диаметров, к которым предъявляются высокие требования к их соосности. Выполнение этих требований при прокатке позволит минимизировать припуски под дальнейшую механическую обработку.

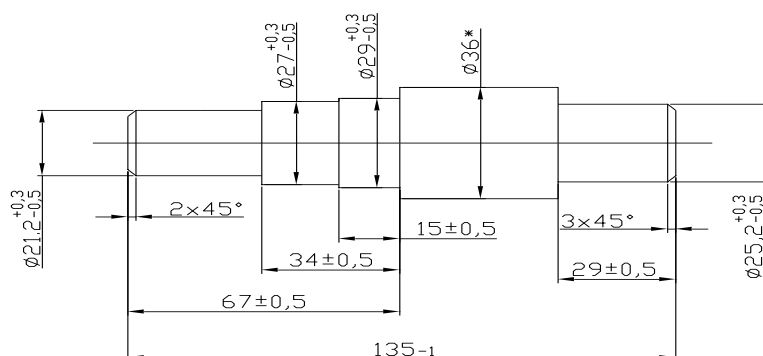


Рисунок 1 – Чертеж поковки «Палец цилиндра»

При разработке технологии поперечно-клиновой прокатки (ПКП) и проектировании инструмента необходимо было учитывать ряд условий, определяемых оборудованием и самим процессом деформирования. Так суммарная длина инструмента и расчетное усилие деформации не должны превышать паспортных данных оборудования. Одновременно геометрические параметры инструмента должны обеспечивать устойчивое протекание процесса, исключая проскальзывание заготовки и ее обрыв. Проскальзывание заготовки наступает, когда сил трения между заготовкой и инструментом не хватает для ее вращения, в результате чего наступает искажение цилиндрических частей детали. В случае, когда из-за неправильной геометрии инструмента растягивающие напряжения в прокатываемом стержне превосходят предел текучести, начинается внеконтактная деформация стержня, которая может завершиться разрывом прокатываемого участка заготовки.

При разработке технологического процесса поперечно-клиновой прокатки детали «Палец цилиндра» и инструмента ПКП решались следующие задачи:

- создание условий для стабильного положения заготовки на начальной стадии прокатки;
- обеспечение устойчивого протекания процесса несимметричной прокатки;
- оформление торцевых участков поковки при обрезке концевых отходов;
- получение высокого качества поверхности прокатанной детали.

Исходная заготовка диаметром 36 мм и длиной 100 мм, предварительно нагретая в индукторе проходного типа до температуры  $1423 \pm 25^\circ\text{K}$  поступает до упора на приемный лоток неподвижного нижнего инструмента ПКП. Подвижный верхний клиновидный инструмент, перемещаясь параллельно неподвижному, внедряется в заготовку, вовлекая ее во вращение. Подвижный и неподвижный клиновые инструменты имеют заходные участки для внедрения в исходную заготовку, а также боковые грани, которые заставляют перемещаться избыток металла по направлению к торцам, тем самым удлиняя

заготовку. Калибрующими поверхностями инструмента формируются цилиндрические шейки различных диаметров.

Для стабилизации положения заготовки в процессе прокатки и придания ей устойчивого вращения используются технологические дорожки с рифленой поверхностью, расположенные параллельно боковым граням деформирующих клиньев. Боковые грани деформирующих клиньев имеют рифленую поверхность. Это необходимо для придания прокатываемой заготовке стабильного вращения без проскальзывания.

На заключительной стадии прокатки специальными ножами, установленными по обе стороны инструмента, отрезают избытки металла от окончательно сформированной поковки. Схема инструмента поперечно-клиновой прокатки показана на рисунке 2. Все деформирующие клинья имеют наклонные боковые грани с углом наклона  $\alpha = 30^\circ$ .

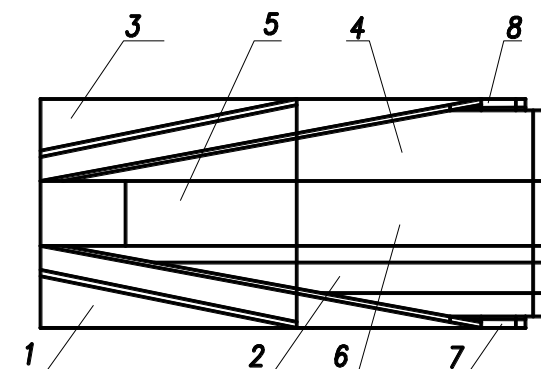


Рисунок 2 – Схема инструмента ПКП для прокатки поковки «Палец цилиндра»

На гранях выполнено технологическое рифление для исключения проскальзывания прокатываемой заготовки. Угол заострения клиньев 1, 2  $\beta = 7^\circ$ , для клиньев 3, 4 угол  $\beta = 3^\circ 30'$ . На опорной поверхности клиньев выполнены рифленые дорожки шириной 10 мм и высотой 0,5 мм выше опорной плоскости. Это необходимо для стабилизации положения прокатываемой заготовки перед заходными участками деформирующих клиньев и придания ей устойчивого вращения в начале прокатки.

Для предотвращения скручивания прокатываемых цилиндрических участков поковки относительно диаметра 36 мм исходной заготовки, рабочие вставки 5, 6 выполнены с понижением до 0,2 мм.

Отрезные ножи 7, 8 имеют угол подъема лезвия  $\gamma = 5^\circ$ , углы наклона  $\alpha = 40^\circ$  и  $20^\circ$  для стабильного отделения концевых отходов. Во избежание появления продольных следов на поверхности поковки при выходе детали, на инструменте выполнен уклон в  $3^\circ$  на длине 20 мм.

УДК 621.793

### **Исследование влияния термообработки на покрытия, сформированные деформационным плакированием гибким инструментом**

Студенты гр. 10402112 Денисов Д. Г., Бахтин А. С.  
Научный руководитель – Белый А. Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Деформационное плакирование гибким инструментом (ДПИ), обеспечивающее формирование поверхностного слоя с заданным комплексом эксплуатационных характеристик,

относится к новым перспективным технологиям финишной обработки, получившим широкое развитие в настоящее время [1, 2]. Метод ДПГИ сочетает пластическое деформирование поверхностного слоя основы с одновременным формированием покрытия, которое может рассматриваться как самостоятельный функциональный слой, так и в качестве промежуточного слоя необходимого для увеличения адгезионной прочности при формировании биметаллического соединения, с применением технологий порошковой металлургии и прокатки.

Однако в вопросе оценки прочности сцепления сформированных покрытий с основой многие исследователи приводят лишь данные о качественной оценке адгезионных свойств покрытий, что в определенной степени затрудняет не только выбор рациональных технологических режимов, но и расчет энергосиловых параметров процесса плакирования.

Необходимо отметить, что ранее выполненными исследованиями нами было установлено, что адгезионная прочность и характер разрушения покрытий, сформированных методом ДПГИ, в значительной степени зависит от вида материала основы и состава материала донора, а также, возможно, и толщины сформированного слоя. Максимальную адгезионную прочность (15,1 МПа) и адгезионный характер разрушения имели покрытия из бронзы БрО5С5Ц5Гр1ДМ0,5 с толщиной слоя 3...5 мкм, сформированные на образцах из стали 45. Меньшие значения адгезионной прочности (13,2 МПа) и смешанный характер разрушения имели покрытия, сформированные из бронзы БрОС. Однако вопросы влияния термической обработки на адгезионную прочность покрытий полученных методом ДПГИ не изучались. Между тем, подобная информация способствовала бы значительному расширению технологических возможностей метода ДПГИ и выбору материала покрытия, предназначенного для эксплуатации в конкретных условиях.

Цель работы заключалась в изучении влияния термической обработки (отжига) на адгезионную прочность покрытий из бронзы БрО10Ф1, сформированных методом деформационного плакирования гибким инструментом.

Методика исследований предполагала проведение испытаний на нормальный отрыв двух склеенных образцов цилиндрической формы, в соответствии с ГОСТ 27890–88. Перед началом испытаний на рабочих торцовых поверхностях ( $R_a = 0,16$  мкм) цилиндров, изготовленных из ст. 20 (HRC 20) формировали слой покрытия из бронзы БрО10Ф1. При этом формирование слоя покрытия осуществлялось как на чистых поверхностях, так и на поверхностях с предварительно нанесенным слоем из Ni и Cr.

Формирование покрытий осуществляли с использованием вращающейся цилиндрической щетки диаметром 150 мм, шириной 15 мм, длиной и диаметром ворса 25 и 0,25 мм соответственно. Линейная скорость вращения щетки составляла 35...38 м/с, частота вращения образца – 60 мин<sup>-1</sup>, число проходов щетки – 9...12. Толщина слоя покрытия из бронзы БрО10Ф1 на чистых поверхностях составляла 9...12 мкм, толщина покрытий из Ni и Cr – 3...4 мкм, суммарная толщина двухслойных покрытий Ni+БрО10Ф1 и Cr+БрО10Ф1 не превышала 10...12 мкм. Площадь основания цилиндрических образцов, на которую наносили испытываемое покрытие, составляла 1193,9 мм<sup>2</sup>.

После нанесения покрытия образцы подвергались отжигу в защитно-восстановительной атмосфере эндогаза при температуре 800–820 °С в течение 30 – 35 мин (остывание с печью). Затем производилась мойка и сушка образцов, обезжиривание и их склеивание с образцами без покрытия при усилии сжатия 3000 Н. Для склеивания использовался клей марки 3М производства Республики Корея. Время выдержки склеенных образцов составляло 24 часа.

Оценку адгезионной прочности склеенных образцов производили на универсальной гидравлической испытательной машине Instron Satеc 300LX. Технические характеристики модели 300LX: предельная нагрузка – 300 кН; максимальная скорость –

152 мм/мин; точность измерения нагрузки – 0,5 % от измеренного значения; частота синхронной регистрации данных – 1кГц; полное программное управление.

Испытания проводили с постепенным нарастанием нагрузки до разрыва пары образцов. Скорость перемещения захвата разрывной машины не превышала 10 мм/мин. Фиксировали нагрузку, при которой произошло разрушение образца, после чего обе части испытанного образца подвергали визуальному осмотру для определения характера разрушения:

- 1) адгезионный (А) – отрыв покрытия от основания;
- 2) когезионный (К) – разрушение внутри слоя покрытия;
- 3) межслойный (М) – разрушение между слоями покрытия;
- 4) смешанный (А, К, М) – сочетание перечисленных выше разрушений.

Предел прочности покрытия при отрыве образца ( $\sigma$ ) в паскалях вычисляли по формуле:

$$\sigma = \frac{P}{F},$$

где  $P$  – сила отрыва образца;

$F$  – площадь основания,  $m^2$ .

Результаты проведенных испытаний показали, что термическая обработка покрытий из бронзы БрО10Ф1 оказывает существенное влияние на их адгезионную прочность. У всех образцов с покрытием подвергнутых отжигу она превысила адгезионную прочность используемого клея, составляющую 22,5...25,0 МПа. В то же время у образцов, не подвергавшихся отжигу, адгезионная прочность составила в среднем 11,5...13,5 МПа. При этом, преобладал преимущественно когезионный характер разрушения покрытия (рисунок 1, а).

Следует отметить, что наряду с изменением адгезионной прочности изменяется и микротвердость поверхности сформированных покрытий. У образцов до отжига и после отжига среднее значение микротвердости покрытий HV0,2 составляет, соответственно 315 и 187.

#### Список использованных источников

1. Леванцевич, М. А. Исследование адгезионной прочности покрытий, сформированных методом деформационного плакирования гибким инструментом / М. А. Леванцевич, Н. Н. Максимченко, Е. Ф. Коновалова // Актуальные вопросы машиноведения : сб. научн. трудов. / ОИМ НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. – 2014. – Вып. 3. – С. 350–353.

2. Белявин, К. Е. К вопросу о получении композиционного двухслойного антифрикционного материала / К. Е. Белявин, А. Н. Белый, Л. Н. Дьячкова, М. А. Леванцевич // Современные методы и технологии создания и обработки материалов. – Минск, 2014. – С.38–44.

# **Металлургические технологии**



## Применение регенеративных горелок в металлургических нагревательных печах

Студент гр. 10406112 Сильченко А. А., студент гр. 10405315 Храменков Д. В.  
Научный руководитель – Кабишов С. М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Нагревательные пламенные печи являются основным видом печей для нагрева и термообработки металлоизделий в металлургии и машиностроении. Наиболее эффективным средством повышения коэффициента использования топлива является утилизация теплоты уходящих из печи газов, в частности, путем нагрева воздуха и газообразного топлива в рекуператорах или регенераторах.

В рекуператорах доля теплоты, передаваемой воздуху по отношению к теплоте уходящих дымовых газов, составляет 30–40 %. Остальная часть теплоты выносится в атмосферу. На печах большой мощности устанавливают энергетические котлы-утилизаторы. Однако присущая нагревательным печам работа с переменной производительностью создает ненормальные условия для эксплуатации дорогостоящих котлов-утилизаторов.

Причины низкой эффективности существующих рекуператоров таковы:

1. Температура дымовых газов перед металлическим рекуператором не может быть выше 900–1000°C по условиям его долговечности.

2. Фактически температура дыма на входе в рекуператор значительно ниже в результате подсоса холодного воздуха в дымовой канал за печью, поэтому температура подогрева воздуха (либо газа) не превышает 300–400°C.

3. Керамические рекуператоры способны подогреть воздух до более высокой температуры, однако они громоздки и негерметичны. Утечки воздуха через неплотности достигают 50 %, в результате чего снижается тепловая мощность печи и нарушается регулирование горения.

Перспективным направлением развития конструкций нагревательных печей в XXI веке является применение для утилизации теплоты печных газов малогабаритных, в частности, шариковых регенераторов. Регенеративные печи нового типа получают распространение в мире по мере накопления опыта их эксплуатации [1–3]. Насадка малогабаритных регенераторов, применяемых в промышленных нагревательных печах, состоит из корундовых окатышей диаметром 20–25 мм, содержащих 98 %  $Al_2O_3$ . Поверхность нагрева 1 м<sup>3</sup> такой насадки в 10–15 раз больше, чем кирпичной насадки типа Сименс. Поэтому шариковый регенератор имеет небольшие габариты и может устанавливаться в стенах печи или в так называемой регенеративной горелке. Чтобы возвратить в печь с нагретым воздухом и, при необходимости, с газом как можно больше теплоты, уносимой дымом, насадка регенератора не должна прогреться по всей высоте, поэтому через 1–3 минуты делают перекидку клапанов – дымовоздушных и газовых, при этом температура дыма на выходе из регенератора не превышает 150–200°C.

Шариковые регенераторы возвращают в печь 85–90 % теплоты уходящих из печи газов. Температура подогрева воздуха примерно на 100°C ниже температуры дыма на выходе из печи. Расход топлива на печь сокращается в 1,5–2,0 раза. Наибольший эффект относится к печам, не имевшим рекуператоров. Перевод действующих печей на регенеративное отопление требует установки дымососа для преодоления аэродинамического сопротивления шариковой насадки.

В методических и кольцевых регенеративных печах не нужна неотопливаемая зона, в которой понижали температуру уходящих газов с целью экономии топлива. В печах с регенеративными горелками удельный расход топлива не зависит от температуры уходящих газов в связи с глубокой утилизацией их теплоты в шариковых регенераторах,

предусматривающей охлаждение дыма до 150–200°C. Дымовые газы уходят из печи через горелочные отверстия, расположенные в каждой зоне. Поэтому температурный режим каждой зоны регулируется автономно.

#### **Список использованных источников**

1. Сезоненко, Б. Д., Орлик, В. Н., Алексеенко, В. В. Повышение эффективности использования природного газа при отоплении промышленных печей регенеративными горелками. // Экотехнологии и ресурсосбережение, 1996, № 1. – С. 14–18.
2. Хоу Чэн Лян. Современное состояние и перспективы развития высокопроизводительных регенеративных печей в КНР // «Металлургическая теплотехника». Сборник научных трудов Государственной металлургической академии Украины. В 2-х томах. Т. 1 – Днепропетровск: ГМетАУ, 1999. – 214 с.
3. Дистергефт, И. М., Дружинин, Г. М. и другие. Регенеративные системы отопления для нагревательных печей прокатного и кузнечного производства (История развития, теория и практика) // «Металлургическая теплотехника». Сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины. Том 5. Днепропетровск: НМетАУ, 2002. – 196 с.

УДК 669

#### **Снижение энергопотребления в металлургических печах**

Студент гр.10405313 Городник П. А., студент гр. 10405314 Менчицкая Т. Н.  
Научный руководитель – Кабишов С. М., Ратников П. Э.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В настоящее время снижение потребления энергетических и природных ресурсов и уменьшение отрицательного воздействия производства на окружающую среду входят в число основных приоритетов развития металлургических технологий и оборудования. Очевидно, что эти задачи тесно связаны между собой. Несмотря на высокий уровень внедрения новейших технических достижений, металлургические предприятия служат источниками вредных выбросов и крупными потребителями энергоресурсов. В связи с этим поиск рациональных методов, позволяющих улучшить ситуацию, является актуальным и необходимым.

Значительные объемы энергоресурсов, потребляемые металлургическими и машиностроительными предприятиями, является основной причиной увеличения выбросов парниковых газов и оксидов азота энергогенерирующими установками. Поэтому разработка и внедрение технологий, обеспечивающих снижение энергопотребления на стадии выплавки стали, которая является одним из наиболее энергоемких технологических переделов черной металлургии, положительно отражается на общей экологической ситуации. В условиях современных металлургических предприятий для получения стального расплава используются две основные технологии: передел жидкого чугуна и переплав стального лома. Следует отметить, что на практике технология выплавки стали и в кислородных конвертерах, и дуговых сталеплавильных печах зачастую включает элементы как первого, так и второго вариантов. Кроме того, в последние десятилетия все большее развитие получают технологии, связанные с применением железа прямого восстановления (DRI) и горячбрикетированного железа (HBI) при выплавке стали. Данные шихтовые материалы характеризуются низкой концентрацией вредных примесей (S, P, Cu, Ni, Cr, Sn, и As), что позволяет получать высококачественную металлопродукцию. Но замена 1 % лома металлургическим сырьем при степени металлизации окатышей (горячбрикетированного железа) 92–93 % и содержании в них 4–5 % пустой породы требует ввода до 2 кВт·ч/т дополнительной энергии. И, напротив, замена 1 % стального лома передельным чушковым чугуном позволяет дополнительно ввести 1,1 кВт·ч/т энергии за счет окисления C и Si.

Возможны три направления энергосбережения в металлургических печах:

1. Уменьшение теплового дефицита металла  $\Delta i$ , т. е. количества теплоты, которое должен поглотить 1 кг металла в печи, чтобы нагреться от начальной до конечной температуры.

2. Уменьшение потерь теплоты из рабочего пространства печи через футеровку и окна в окружающую среду, а также на разогрев футеровки до рабочей температуры.

3. Повышение коэффициента использования теплоты топлива (КИТ), т. е. доли теплоты сгорания топлива, которую удается использовать в пределах рабочего пространства печи.

Расход топлива на печь обратно пропорционален величине КИТ.

В докладе рассмотрены методы снижения энергопотребления в металлургических печах такие как:

- автоматизация режимов горения;
- использование металлолома в металлургическом производстве;
- использование регенеративных и рекуперативных горелок;
- внедрение и модернизация теплоизоляционных материалов.

УДК 672.1

### Производство высокопрочного чугуна

Студент гр.10405313 Ярошевич И. А., студент гр. 10405314 Мурашко А. Ю.  
Научный руководитель – Трусова И. А., Цыкунов П. Ю.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Чугун широко используется при производстве изделий различного назначения, что обусловлено, прежде всего, такими качествами чугуна как хорошие литейные качества, прочность, твердость и относительная дешевизна при его получении.

Высокопрочный чугун с целью придания ему требуемой структуры (графитные включения сфероидальной формы) получают модифицированием жидкого серого чугуна магнием, церием, ферросилицием и пр. Основным требованием к высокопрочному чугуну является низкое содержание серы – до 0,03%. Содержание в чугуне демодификаторов Pb, Bi, Sn, Sb, As, Ti, Al даже в незначительных количествах препятствует сфероидизации графита.

В докладе рассмотрены методы модификации серого чугуна. На основании анализа технической литературы показано:

– при использовании магния обычно в металле остается не более 1/10 количества введенного в него магния. Для улучшения усвоения магния расплавом используются магнийсодержащие лигатуры (магний-кремний-железо, магний-никель, магний-медь, магний-никель-медь и др.) Широкое распространение получили в свое время тяжелые лигатуры, содержащие около 85 % никеля;

– церий, также как и магний, является активным десульфуратором, но в отличие от магния, не образует черных пятен в структуре отливок при повышенном содержании серы в исходном чугуне;

– в настоящее время наибольшее применение получили комплексные модификаторы, разнообразные по составу и свойствам, в том числе ФСМг5 и ФСМг6, содержащие соответственно 5 и 6 % Mg и использующиеся как для внутриформенного, так и для ковшового модифицирования.

В работе также рассмотрены способы производства высокопрочного чугуна:

– автоклавный способ получения высокопрочного чугуна, предусматривающий использование в качестве сфероидизирующего модификатора магний первичный в чушках;

– получение высокопрочного чугуна с шаровидным графитом в промежуточном ковше с крышкой. Способ предусматривает использование футерованной чаши-крышки

с расчетным сечением отверстия для подачи чугуна в ковш, в реакционной камере которого размещается Fe-Si-Mg лигатура;

– получение ВЧШГ модифицированием порошковой проволокой. Сущность способа получения ВЧШГ модифицированием порошковой проволокой заключается в обработке жидкого «исходного чугуна» в коническом ковше известной металлоемкости, заданным количеством порошковой проволоки, наполненной мелкодисперсной фракцией сфероидизирующего и графитизирующего модификаторов;

– инмолд-процесс получения ВЧШГ;

– получение ВЧШГ сэндвич-процессом. Технологический процесс получения ВЧШГ сэндвич-процессом предусматривает поэтапный контроль качества получаемого чугуна, который осуществляется по следующим показателям: температура жидкого чугуна, механические свойства материала отливки, химический состав чугуна, макро и микроструктуре материала отливки.

УДК 669

### **Сравнительный анализ дуговых сталеплавильных печей постоянного и переменного тока**

Студент гр. 10405313 Давыденко А. А., студент гр. 10405314 Ярошевич П. В.  
Научный руководитель – Корнеев С. В., Румянцева Г. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В настоящее время в литейных цехах машиностроительных предприятий и на металлургических предприятиях в качестве плавильных агрегатов для получения черных и цветных сплавов широко используются электродуговые печи постоянного и переменного тока. При этом имеются существенные различия в компоновке конструкции печей, технологии ведения плавки и в составе оборудования, что вызвано различием в характере физических процессов в дугах постоянного и переменного тока, а также различием в характере взаимодействия электромагнитного поля постоянного и переменного тока с жидкометаллической ванной.

Проблемы энергоэффективности, экологичности и безопасности дуговых сталеплавильных печей и используемых в электроплавке материалов постоянно находятся в центре внимания. Исходя из этого, важно сделать обоснованный выбор между электродуговой печью постоянного и переменного тока, ведь в них существуют различия, которые в наше время могут играть важную роль.

В данной статье рассмотрены конструктивные особенности, а также энергетические, технологические, экологические и экономические показатели дуговых печей переменного и постоянного тока.

Основными существенными различиями печей постоянного и переменного тока являются в первую очередь электропитание, компоновка конструкций, характер физических процессов в дугах постоянного и переменного тока. К отличиям печей постоянного тока различных фирм можно отнести количество подовых электродов и конструкцию токопроводящего узла - анода. Многоэлектродные печи постоянного тока распространения не получили. Практически все работающие дуговые печи постоянного тока являются одноэлектродными. Компоновка конструкций печей постоянного тока позволяет выполнять их более газоплотными, чем ДСП, что обеспечивает большую экологичность, а также более равномерный прогрев шихты и футеровки по периметру ванны. В дуговой печи постоянного тока требуются специальные меры по предотвращению отклонения дуги из-за явления магнитного дутья. Аналогично не отвечает электротехнологическим требованиям и дуга переменного тока. В начальный период плавки дуга имеет небольшую

длину, что повышает вероятность эксплуатационных коротких замыканий и увеличивает расход энергии, усиливает влияние на питающую сеть. В то же время дуга непрерывно перемещается, что расширяет колодцы и снижает остроту проблемы перегрева подины. По расплавлению шихты дуга переменного тока более эффективна, однако важно указать, что КПД дуг переменного тока в зависимости от электрического и шлакового режимов выше, чем КПД дуг постоянного тока, чем и объясняется больший, в некоторых случаях, удельный расход электроэнергии в дуговых печах постоянного тока. Показатели работы современных дуговых печей постоянного и переменного тока близки, за исключением расхода электродов – на дуговых печах постоянного тока расход графитированных электродов примерно в два раза ниже, чем на дуговых печах переменного тока.

Упомянув экологические и экономические проблемы можно сослаться на то, что электрическая дуга в ДППТ питается от тиристорного преобразователя постоянного тока, обеспечивающего высокую стабильность токового режима, в результате чего в ДППТ по сравнению с ДСП обеспечивается снижение уровня шума в среднем на 15 дБА. В ДППТ расплавляемый металл контактирует только с анодным пятном электрической дуги, а в ДСП на металле попеременно располагаются анодное и катодное пятна. Поскольку плотность тока и удельный тепловой поток в анодном пятне на порядок ниже, чем в катодном, при плавке в ДППТ испаряется значительно меньше металла и шлака и образуется в 6–8 раз меньше пыли, экономится примерно 5 % шихты, а также около 20 % ферросплавов, чем при плавке в ДСП. По этой причине в ДППТ можно плавить металлы и сплавы, имеющие относительно низкую температуру плавления, обеспечивая минимальные угары переплавляемых материалов, чего нельзя достигнуть при плавке в ДСП. Однако, несмотря на упомянутые преимущества печей постоянного тока, следует отметить, что у печей переменного тока ниже капитальные затраты, практически одинаковый суммарный расход электроэнергии, сближение показателей по торцовому расходу электродов и воздействию на питающую сеть высокоимпедансных трехфазных печей и печей постоянного тока, большая гибкость в регулировании температуры ванны.

Определить явное преимущество того или иного типа печи в настоящее время не представляется возможным. Производители стали сами выбирают тип печи исходя из условий их эксплуатации, наличия или отсутствия мощных электропитающих сетей, обеспеченности металлошихтой различного вида и качества, обеспеченности топливом, кислородом и других факторов. Ссылаясь на исследования германской компании «Badische Stahlwerke» следует отметить, что:

- в распоряжении пока нет новых технологий с очевидными существенными преимуществами;
- применение традиционной технологии позволяет ограничить риск, например, запрета эксплуатации агрегата органами по охране окружающей среды;
- изменение технологических режимов процесса плавки, которые влияют на выбросы, должно быть минимальным;
- необходимо свести к минимуму любой риск потерь в производстве и появление дополнительных издержек;
- предпочтение необходимо отдавать тем технологиям, которые уже освоены персоналом завода.

Исходя из всего вышесказанного резюмируем, что при определении типа строящейся печи в каждом конкретном случае должен проводиться комплексный анализ проекта, где учитываются:

- географическое расположение площадки, на которой будет установлена печь;
- вид используемой металлошихты;
- наличие мощных источников электроэнергии;
- обеспеченность топливом и альтернативными источниками;
- экологические требования;

- возможности рафинирования жидкого металла в агрегатах внепечной обработки и другие факторы.

В ближайшем будущем продолжится так называемое соревнование дуговых печей постоянного и переменного тока, будут строиться те и другие печи, но опережающими темпами будут строиться дуговые печи постоянного тока – примерно в два раза больше, чем новых дуговых печей переменного тока.

УДК 546.623

### **Алюминий: свойства, производство, использование**

Студент гр.10405313 Балмаков А. Д., студент гр. 10405314 Крисеева Н. А.  
Научный руководитель – Румянцева Г. А., Корнеев С. В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Алюминий – 13-й элемент периодической системы, занимающий первое место среди металлов по распространённости в земной коре. Алюминий используется в самых разных отраслях промышленности и по объёмам использования уступает лишь железу. Широкий спектр применения алюминия объясняется его свойствами. Ковкость и пластичность позволяют придать алюминию практически любые формы. Оксидная плёнка, покрывающая металл, обеспечивает высокую стойкость к коррозии, а значит, изделия из алюминия могут использоваться в течение длительного времени. Алюминий – очень лёгкий металл (его плотность составляет  $2,7 \text{ г/см}^3$ ), обладающий к тому же высокой тепло- и электропроводностью. Совокупность вышеперечисленных свойств позволяет отнести алюминий к числу важнейших технических материалов.

В чистом виде алюминий в природе не встречается. В работе подробно описан процесс производства алюминия, который включает в себя 3 основных этапа: добыча бокситов (алюминийсодержащей руды), их переработка в глинозем (оксид алюминия), и получение чистого металла с использованием процесса электролиза – распада оксида алюминия на составные части под воздействием электрического тока.

Для процесса электролиза алюминия требуется огромное количество электроэнергии, поэтому важно использовать возобновляемые и не загрязняющие окружающую среду источники этой энергии. Чаще всего для этой цели используются гидроэлектростанции.

Первичный алюминий отливается в слитки и отправляется потребителям, а также используется для дальнейшего производства алюминиевых сплавов.

Алюминий поддается стопроцентной переработке, не утрачивая при этом своих уникальных свойств. Перерабатывать алюминий можно практически бесконечно – около 75 % алюминия, выпущенного за все время существования отрасли, используется до сих пор. В настоящее время производство вторичного алюминия занимает около 30 % от общего объема выпуска и его доля продолжает расти.

Алюминий – один из самых экологичных металлов, с точки зрения, как производства, так и применения. Он легко утилизируется, позволяет создавать энергоэффективный транспорт и экологичные здания, а его производство – одно из самых безопасных в металлургии. Электролиз алюминия наносит окружающей среде гораздо меньший урон, чем производство большинства металлов.

Производители алюминия постоянно совершенствуют технологии, чтобы производимый металл обладал наилучшими качествами. Наименьшие затраты и минимальное воздействие на экологию – вот к чему стремятся производители.

Одна из передовых мировых разработок, описанная в работе – производство металла с использованием инертного анода. Инертный анод позволяет минимизировать выбросы углекислого газа в атмосферу. При производстве металла по такой технологии в атмосферу выделяется не углекислый газ, а кислород. Причем 1 электролизная ванна

сможет вырабатывать примерно столько же кислорода, сколько 70 га леса. Пока эта технология проходит промышленные испытания, но, возможно, в будущем она превратит алюминиевую промышленность в еще одни легкие нашей планеты.

Резюмируя, можно утверждать, что, благодаря своим качествам, алюминий по праву занимает лидирующие позиции среди конструкционных материалов. Вероятно, такая ситуация сохранится и в будущем. Подтверждением этому служит широкий спектр использования данного металла и непрерывное развитие технологий добычи и производства алюминия.

УДК 669

### **Снижение себестоимости металлопродукции**

Студент гр.10405313 Аверин В. А., студент гр. 10405314 Роскач А. Н.  
Научный руководитель – Трусова И. А., Ратников П. Э.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В данной работе выполнен анализ технической литературы по основным направлениям снижения себестоимости продукции на металлургических предприятиях.

Выявление резервов снижения себестоимости может опираться на системный, комплексный, технико-экономический анализ работы предприятия: изучение технического и организационного уровня производства, использование производственных мощностей и главных фондов, сырья и материалов, хозяйственной силы, рабочих связей.

Выделим основные условия и факторы снижения себестоимости.

Важнейшим условием снижения себестоимости является бесперебойный технический прогресс. Внедрение современной техники, системная механизация и автоматизация процессов на предприятии, совершенствование технологии, внедрение прогрессивных видов материалов позволяют значительно снизить себестоимость продукции [1].

Серьезным резервом для снижения себестоимости продукции выступает расширение кооперирования и специализации. В специализированных организациях с массово-поточным производством себестоимость продукции гораздо ниже, нежели на предприятиях, которые вырабатывают такую же продукцию в малых количествах. Улучшение специализации требует установления самых рациональных кооперированных связей предприятий между собой.

Снижение себестоимости продукции может быть обеспечено за счет увеличения производительности труда. С увеличением производительности труда уменьшаются затраты труда при расчете на единицу продукции, и таким образом, снижается и удельный вес в структуре себестоимости заработной платы [2].

Важным значением в борьбе за понижение себестоимости продукции является соблюдение строго режима экономии на каждом участке производственно-хозяйственной работы предприятия. Поэтапная реализация предприятия режима экономии проявляется, в первую очередь, в сокращении расходов материальных ресурсов на единицу товара, сокращении расходов в области услуг управления и производства, в устранении потерь от брака и иных непроизводительных затрат.

Как известно, материальные затраты, в большинстве отраслей промышленности обладают большим удельным весом в системе себестоимости товаров, следовательно, даже небольшая экономия материалов, сырья, энергии и топлива в процессе производства каждой единицы продукции по предприятию в целом будет приносить результаты.

Важнейшим условием снижения затрат материалов и сырья на производство единицы товара выступает применение прогрессивных видов материалов, внедрение обоснованных технических норм затрат материальных ценностей.

Уменьшение расходов на управление и обслуживание производства также снижает себестоимость продукции. Величина данных расходов на единицу продукции находится в зависимости не только от объемов выпуска продукции, но также и от абсолютной их

суммы. Чем сумма общезаводских и цеховых расходов меньше в общем по предприятию, тем меньше себестоимость каждого отдельного изделия при равных прочих условиях.

Себестоимость продукции связана с показателями результативности производства. В ней отражается большая часть стоимости продукции, при этом она зависит от изменений условий производства и продажи продукции. Значительное влияние на уровень расходов оказывают технико-экономические факторы производства.

В целом для предприятий можно выделить 4 группы мероприятий с целью снижения себестоимости.

I. Снижение материальных расходов. Для этого требуется:

1. Оптимизировать использование материальных ресурсов и материально-техническое снабжение, что в себя включает уменьшение расходов на доставку материалов и сырья, снижение потерь от брака, введение материалосберегающих технологий, а также оптимизация в сфере хранения запасов.

2. Усовершенствовать конструкции изделий, а также улучшить технологии производства, провести изменения структуры и объема продукции, изменить ассортимент и номенклатуру производимой продукции.

3. Сформировать автоматизированные системы управления, комплексное применение компьютерных технологий.

4. Понизить затраты на освоение и подготовку новых видов продукции и новейших технологических процессов, понизить расходы пускового периода по вводимым вновь в действие объектам и цехам.

II. Уменьшение затрат на сбыт, что предусматривает: оптимизацию каналов сбыта, усовершенствование рекламной деятельности, введение системы оптовых скидок, уменьшение транспортных затрат на доставку продукции.

III. Уменьшение затрат на оплату труда и включает в себя следующее:

1. Увеличение эффективности кадровой службы, которое заключается в совершенствовании качества в сфере подбора персонала, определении оптимальной численности персонала, совершенствовании системы мотивации персонала, реализацию эффективной социальной политики.

2. Увеличение производительности труда. Заключается в установлении и пересмотре оптимальных норм выработки на одного рабочего, мотивации и стимулировании работников, совершенствовании материально-технической базы, компьютеризации и автоматизации производственных процессов, пересмотре зон по обслуживанию на одного работника.

IV. Четвертая группа мероприятий тесно связана с уменьшением амортизационных отчислений. Для этого необходимо научно подойти к выбору метода начисления амортизации, а также снизить период внедрения новой техники.

Таким образом, важнейшее значение для снижения себестоимости продукции имеет соблюдение строжайшего режима экономии на всех участках производственно-хозяйственной деятельности предприятия. Последовательное осуществление на предприятиях режима экономии проявляется, прежде всего, в уменьшении затрат материальных ресурсов на единицу продукции, сокращении расходов по обслуживанию производства и управлению, в ликвидации потерь от брака и других непроизводительных расходов [3].

#### **Список использованных источников**

1. Коваленко, А. В., Калининская, Е. С., Гелета, И. В. Направления роста производительности труда // Экономика устойчивого развития. Региональный научный журнал. Краснодар. КРОО «ОАИУР», 2014. № 3. С. 99–104.

2. Максимов, Д. Ю. Методика оценки уровня развития промышленного предприятия в направлении повышения эффективности использования ТЭР / Промышленная энергетика. 2007. № 7. С. 2–5.

3. Себестоимость [Электронный ресурс] / Электронный научно-практический журнал Nauka-Rastudent.ru. – Режим доступа: <http://nauka-rastudent.ru>. – Дата доступа: 05.04.2016.



**Порошковые и  
композиционные  
материалы,  
покрытия и сварка**

## Влияние времени сварки на параметры соединения при контактной точечной сварке разнородных материалов

Студент гр. 10403114 Фигурин Ф. К.  
 Научный руководитель – Демченко Е. Б.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

При проведении анализа механизмов формирования при сварке разнородных материалов необходимо учитывать специфику образования ядра в зоне контакта «алюминий-биметалл» и «биметалл-сталь».

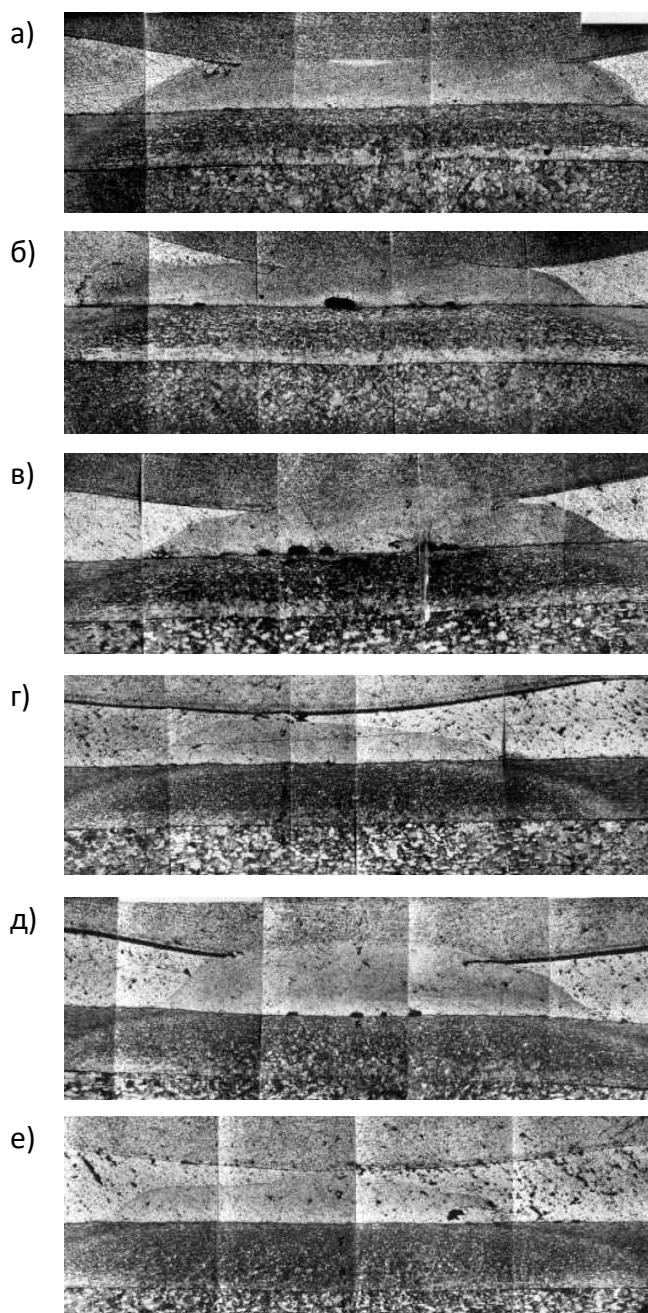


Рисунок 1 – Микроструктуры зоны сварного соединения при различном времени сварки

Что касается возможности образования ядра в зоне контакта материалов биметаллической детали, то ни анализом литературных данных, ни проведенными исследованиями это не подтверждается. На рисунке 1, а–е представлены микроструктуры ( $\times 50$ ) зоны сварных соединений при сварке разнородных материалов. При сварке использовали биметаллическую прокладку «алюминий-сталь». Время протекания сварочного тока ( $t_{CB}$ ) изменяли в пределах от 0,36 с до 0,16 с при постоянном усилии сжатия электродов  $P = 100$  кг. Эти параметры выбрали исходя из анализа литературных данных.

На рисунке 2 представлены зависимости изменения диаметра и высоты ядра ( $d_{я}$ ,  $h_{я}$ ), а также диаметра и высоты отпечатка ( $d_{отп}$ ,  $h_{отп}$ ) от времени протекания сварочного тока в контакте «алюминий-сталь».

Анализ геометрии формы и структуры точек показал, что с увеличением времени протекания сварочного тока происходит значительное увеличение диаметра ядра с 3,3 до 4,8 мм и диаметра отпечатка с 4,95 до 6,4 мм. При этом высота ядра практически не изменяется (0,4...0,6 мм), а высота отпечатка незначительно увеличиваются с 0,25 до 0,45 мм. Такой характер изменения параметров при увеличении длительности действия сварочного тока объясняется выделением большего количества тепла в зоне контакта свариваемых деталей, увеличением

пластичности материала, и, что наиболее важно, значительным усилием сжатия электродов для такого материала как алюминий.



Рисунок 2 – Зависимость изменения диаметра и высоты ядра и отпечатка от времени протекания сварочного тока в контакте «алюминий-сталь»

При уменьшении  $t_{CB}$  до минимального значения наблюдается практически полный непровар зоны контакта деталей. Ядро сминуто в сторону алюминия биметалла не касается алюминия детали. Ядро имеет форму выпуклой линзы. При увеличении  $t_{CB}$  форма ядра практически не изменяется.

Размеры отпечатка стабильно возрастают, что совершенно естественно. Большое количество тепла, выделяющееся в зоне контакта, способствует увеличению пластичности алюминия.

На основании анализа результатов исследования был сделан вывод о том, что наиболее оптимальным режимом процесса сварки является режим сварки при времени протекания сварочного тока  $t_{CB} = 0,24$  с (рисунок 1, в).

УДК 621.745.669.13

### Изготовление и подготовка деталей бака к сварке, сборка и сварка бака трансформатора, контроль качества

Студент гр. 104812 Жизневский А. В.

Научный руководитель – Голубцова Е. С.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

В настоящей работе представлен технологический процесс сварки бака трансформатора, предназначенного для нужд народного хозяйства для внутренней и наружной установки.

Кожух бака трансформатора состоит из двух боковых стенок. Стенки изготавливаются из стального листа марки 10кп размером  $3 \times 1250 \times 3000$  мм. Лист разрезают на заготовки размером  $3 \times 774 \times 956$  мм на гильотинных ножницах. Затем в заготовках пробивают необходимые отверстия. После этого торцы заготовок изгибаются на листогибочном прессе радиусом 165 мм.

Рама представляет собой сварную конструкцию, изготовленную из двух полурам из стали марки СтЗпс толщиной 8 мм.

Заготовку для изготовления дна режут из листа  $3 \times 1400 \times 2800$  мм в размер  $3 \times 350 \times 850$  мм на гильотинных ножницах. Затем заготовку штампуют радиусу 175 мм, используя обрезной штамп. Балки изготавливают из горячекатаного швеллера 5П с применением комбинированных ножниц. Далее происходит процесс пробивки отверстий с использованием пробивных ножниц.

Крюк изготавливают с использованием специальных штампов.

После изготовления все заготовки очищают дробью в дробеметной камере.

### **Сборка и сварка бака трансформатора**

Стенки кожуха собирают на сварочном столе, выбирая зазор между кромками до 1,0–1,5 мм. При необходимости стенки рихтуют в месте постановки прихваток. Длина прихваток 15–20 мм, расстояние между ними 150–200 мм. После этого собранные стенки кожуха ставят на ребро и производят сварку в нижнем положении. Соединение стыковое С2 по ГОСТ 14771-76. Сваренный кожух отправляют на последующую операцию.

Сборку кожуха с другими элементами бака выполняют на сварочном столе. Раму укладывают на стол и размечают, затем на нее устанавливают кожух по нанесенной разметке и прихватывают. Далее размечают днище и укладывают его на стол. Кожух с прихваченной рамой переворачивают, устанавливают на днище и прихватывают. Длина прихваток 15–20 мм, расстояние между ними 150–200 мм. Далее кожух бака с прихваченными рамой и днищем при помощи кран-балки устанавливают на сварочный кантователь, на котором производится сварка всех швов в горизонтально-вертикальном положении путем поворота бака. Соединения тавровые Т1 по ГОСТ 14771-76 с катетом 4 мм. В последующем осуществляют приварку крюков и балок.

Сварку деталей конструкции бака производят механизированной дуговой сваркой в смеси  $Ar + CO_2$  (80 + 20 %) с применением сварочной проволоки марки Св-08Г2С-О по ГОСТ 2246-70 диаметром 1,2 мм. При сварке применяется полуавтомат ПДГ-202. Технические характеристики:

Номинальное напряжение трехфазной питающей сети, В:	380
Номинальная частота питающей сети, Гц:	50
Род сварочного тока:	постоянный
Рабочий диапазон регулирования сварочного тока, А:	60–280
Диапазон регулирования напряжения:	
– на холостом ходу	17,5–46
– в режиме сварки	16–29
Номинальный сварочный ток, А:	250
Диаметр проволоки, мм:	1,0–2,0
Диапазон регулирования скорости подачи проволоки, м/ч:	120–1100
Потребляемая мощность, кВт:	
– подающим устройством (со схемой управления)	0,3
– источником сварочного тока	12
Габаритные размеры, мм:	755×410×1273
Масса, кг:	160

Сварку выполняют на следующих режимах:

- а) сила сварочного тока,  $I_{св}=120–150$  А;
- б) напряжение дуги,  $U_{д}=20–22$  В;
- в) расход углекислого газа,  $Q =12–16$  л/мин;
- г) скорость сварки,  $V_{св}=16–18$  м/ч;
- д) вылет электродной проволоки,  $h=8–15$  мм.

### **Контроль качества**

#### *Входной контроль*

Внешнему осмотру подвергают материал, который может браковаться при наличии вмятин, заусенцев, окалины, окислов, ржавчины и др. Определяется качество подготовки кромок под сварку и сборку заготовок.

#### *Операционный контроль*

Визуально контролируют режимы сварки, правильность наложения валиков шва.

#### *Приемочный контроль*

Внешним осмотром проверяется наличие трещин, подрезов, прожогов, натеков, непроваров корня. Геометрические параметры швов измеряют с помощью шаблонов или измерительного инструмента.

Для контроля герметичности сварных соединений применяют метод цветной дефектоскопии.

УДК 621.793

### **Получение механоактивированных порошков для магнитно-абразивной обработки**

Студент гр. 10406112 Березин Н. А.

Научный руководитель – Жук А. Е.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Магнитно-абразивная обработка (МАО) – абразивная обработка, осуществляемая при движении заготовки и абразивных зерен относительно друг друга в магнитном поле (согласно ГОСТ 23505-79 Обработка абразивная). Сущность магнитно-абразивной обработки заключается в том, что порошковая ферромагнитная абразивная масса, уплотненная энергией магнитного поля, осуществляет абразивное воздействие на обрабатываемую деталь [1]. Магнитно-абразивным способом можно успешно обрабатывать поверхности: цилиндрические наружные и внутренние, плоские, тел вращения с криволинейной образующей, винтовые и др. Наиболее распространенной областью применения магнитно-абразивной обработки является снижение шероховатости на обрабатываемых поверхностях с одновременным повышением качественных характеристик поверхностного слоя.

Получение (смешивание) порошков Fe и  $V_4C$  производится в механоактиваторе (планетарной мельнице) «Активатор 2S». Используются железные шары, т.к. попадание частит железа от истирания шаров не критично. При создании смеси порошка с использованием крупных частиц исходных материалов порошок приобретает матричную структуру. При использовании смеси из крупных порошков полирование поверхности больше напоминает резание материала и оставляет крупные царапины. При создании смеси из мелкодисперсных исходных порошков, смесь приобретает плакированную структуру. При использовании смеси из мелких порошков полирующие свойства преобладают над режущими и могут использоваться для поверхностей с меньшим допуском. Смесь мелкого порошка обладает большим массосъемом.

Большое влияние на свойства порошка для МАО оказывает время активации исходной шихты (энергонапряженность мельницы  $I = 3Вт/г$ ). Было выбрано время активации 5, 10, 20 и 35 мин. При смешивании 60 г порошка после разного времени обработки массы навесок составили соответственно 70.1, 70.5, 63 и 63.1 г. В режимах 5 и 10 минут изменение массы порошка связано с истиранием шаров и фурнитуры мельницы. В режимах 20 и 35 мин. также происходит истирание шаров, но из-за продолжительности активации происходит налипание частиц порошка на металлические размольные тела. Также начинают идти химические реакции с образованием карбидов железа. Оптимальным является 10 мин.

Механическая обработка смеси Fe –  $V_4C$  приводит к частичному разложению карбида бора и сопровождается созданием избыточного давления в барабане, а также к существенному намолу. Так, привес массы смеси достигает 17 % при длительности механической активации до 10 мин. При дальнейшем увеличении длительности обработки происходит уменьшение размера частиц абразива, о чем свидетельствует снижение интенсивности рентгеновских рефлексов фазы карбида бора и, следовательно, его режущей способности.

Механическое сплавление (МС) в системах «пластичный-хрупкий» и «хрупкий-хрупкий» происходит обычно труднее, чем в системах «пластичный-пластичный», что обусловлено, по мнению ряда авторов, длиной диффузионных путей, которые в случае глобулярной структуры значительно длиннее, чем при ламинарной структуре. В работе

J. S. Benjamin показано, что механическое сплавление может успешно реализоваться, если имеется не менее 15 об. % пластичного компонента, поскольку хрупкие частицы не свариваются, а только разрушаются, в противном случае, считается, что может происходить только разрушение частиц порошка при отсутствии холодной сварки. Однако существует предел измельчения твердого тела, который отражает фундаментальные свойства твердого тела. При этом, с уменьшением размеров частиц до предельного значения, хрупкие материалы проявляют пластические свойства, и поскольку из пары компонентов, как правило, один более хрупкий, а другой более пластичный, МС такой системы происходит подобно МС системы «пластичный-хрупкий». Так, наиболее твердая и хрупкая фаза, диспергируется и распределяется на границах слоев пластичной составляющей. По мере дальнейшего измельчения все слои пластичного металла утончаются и «закручиваются». Средний химический состав каждой частицы постепенно становится равным среднему химическому составу исходной смеси; карбидные частицы равномерно распределяются на границах слоев, плотность их на границах уменьшается, поскольку увеличивается площадь самих границ. Дисперсные частицы твердой фазы могут не растворяться в мягкой матрице порошковой частицы или растворяться в ней.

#### **Список использованных источников**

1. Малашенко, В. В. Намагниченность ферромагнитных наноматериалов с немагнитными поверхностными примесями. Наноструктурные материалы – 2008: Беларусь – Россия – Украина (НАНО-2008): материалы Первой междунар. науч. конф. (Минск, 22–25 апр. 2008 г.)/редкол: П. А. Витязь [и др.] – Минск: Белорус. наука, 2008 – 513 с.

УДК 621.793

#### **Получение поликристаллических сверхтвердых материалов инструментального назначения на основе алмазных порошков термобарическим спеканием**

Студент гр. 10406112 Гайдучёнок А. П.

Научный руководитель Жук А. Е.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Современное производство предъявляет к инструментам и инструментальным материалам растущие требования по обеспечению работоспособности в условиях больших скоростей резания и динамических нагрузок, интенсивного теплового и химического взаимодействия с обрабатываемыми материалами. Необходима все более высокая производительность при соблюдении точности геометрии и размеров деталей, качества их рабочих поверхностей. Наиболее полно таким требованиям отвечают инструментальные сверхтвердые материалы (СТМ) на основе алмаза.

Известно, что высокий уровень физико-механических свойств определяется высокодисперсной зеренной структурой материала, что непосредственно вытекает из экспериментально установленной зависимости твердости и предела текучести от размера зерна (соотношение Холла-Петча) [1]. Отсюда следует, что для получения поликристаллического материала с плотной, однородной, мелкозернистой структурой перспективно использование наноалмазных порошков. При соответствующих условиях в наноструктурном поликристаллическом материале возможна реализация сочетания высоких значений твердости и трещиностойкости.

Следовательно, поликристаллические сверхтвердые материалы (ПСТМ) на основе алмаза, полученные из нанопорошков, либо на основе составов, включающих нано- и микропорошки алмаза, будут обладать улучшенными физико-механическими характеристиками по сравнению с ПСТМ, спеченных только из микропорошков алмаза [2]. Поэтому разработка составов и методов получения бимодальных ПСТМ на основе нано- и микроалмазов является весьма актуальной практической задачей.

Целью работы является получение в условиях высоких давлений и температур алмазных ПСТМ на основе микроалмазных порошков с добавками наноалмазов, содержащих неалмазные формы углерода (НФУ) и исследование их структуры и свойств.

В качестве исходных материалов использовали микропорошки алмазов статического синтеза АСН 14/10 производства ЗАИ ПО «Кристалл» (г. Гомель), а также порошки очищенных наноалмазов детонационного синтеза и алмазосодержащей детонационной шихты с размером частиц 4–10 нм производства НП ЗАО «Синта» [3]. Термобарическую обработку шихты выполняли в аппарате высокого давления (АВД) «наковальня с лункой» при давлениях 6,0–7,0 ГПа в диапазоне температур 1600–2300 °С. Для оценки давления в камере синтеза использовали метод калибровки при комнатной температуре, основанный на сопоставлении усилия пресса и давления полиморфного превращения в реперном веществе, в качестве которых применяли *Vi*. Контроль температуры проводили с помощью хромель-алюмелевой и платина-платинородиевой термопар. Для управления заданными параметрами спекания (длительность и мощность нагрева, а также усилие нагружения) использовался контроллер, разработанный на базе РС-совместимой промышленной рабочей станции. Рентгеновские исследования порошков выполнены на дифрактометре фирмы «Bruker» D8 ADVANCE в *Cu-K $\alpha$*  излучении в автоматическом режиме съемки. Фазовый и полуколичественный анализ дифрактограмм выполнен в программном обеспечении «EVA» в объеме картотеки PDF-2 (Powder Diffraction File) International Centre for Diffraction Data. Определение периода кристаллической решетки, размеров кристаллитов, каждой структурной составляющей порошков выполнено в программном обеспечении Diffrac «TOPAS». Структурные исследования исходных порошков и продуктов спекания осуществляли на атомно-силовом микроскопе (АСМ) NT-206 (ОДО «МикроТестМашины», Беларусь).

Вначале была приготовлена рабочая шихта на основе 85 масс. % микропорошка алмаза, 10 масс. % порошка наноалмазов и 5 масс. % порошка алмазосодержащей детонационной шихты, содержащей до 50 масс. % НФУ. Шихту перемешивали в баночном смесителе в течение 3-х часов, после чего в нее добавляли связующее на основе водного раствора ПВС. Далее в стальной пресс-форме из шихты прессовали образцы высотой 4 мм и диаметром 4,5 мм, при усилии прессования в диапазоне 0,2 ГПа, которые затем отжигали при температуре 120 °С в течение 1 ч. Полученные образцы помещали в АВД и затем спекали в условиях высоких давлений и температур в диапазоне давлений и температур, указанных выше.

После проведения термобарического спекания образцы материала изучали методом атомно-силовой микроскопии. В результате исследования изломов образцов материала, спеченных при температуре до 2000 °С, было установлено, что размеры частиц алмазного микропорошка в спёке уменьшились с 10–14 до 5–7 мкм вследствие их дробления под действием высокого давления. На поверхности алмазных зерен наблюдаются полосы сдвига, а размеры субзерен составляют порядка 0,1 мкм. По границам зерен алмаза находятся спеченные наноалмазы, размер кристаллитов которых составляет порядка 10–30 нм, плотность полученного материала достигает 3,0–3,1 г/см<sup>3</sup>. Рентгеноструктурный анализ спеченных в течение 15 с образцов показал отсутствие графита в материале. При увеличении времени термобарического спекания образцов свыше 30 с происходит графитизация наноалмазов, что фиксируется по появлению линий графита на рентгенограммах и снижению плотности материала. При более высоком давлении до 7,0 ГПа и температуре спекания 2300 °С получен материал, обладающий максимальной плотностью 3,4 г/см<sup>3</sup>. Структурные исследования материала, спеченного при указанных режимах, показали, что в данном случае на основе наноалмазов формируется нанокристаллическая матрица, окружающая более крупные алмазные зерна. Размер алмазных нанокристаллитов составляет 30–50 нм, что выше, чем у материала, спеченного при более низких температурах. Размер крупных (микронных) алмазных частиц в материале остался на прежнем уровне 5–7 мкм, при этом признаков графитизации алмаза в спеченном материале не обнаружено.

Установлено, что в ходе термобарического спекания происходит диспергирование зерен алмазного микропорошка с 10–14 до 5–7 мкм вследствие их дробления под действием высокого давления. На поверхности алмазных зерен наблюдаются полосы сдвига, а размеры субзерен составляют порядка 0,1 мкм. По границам крупных (микронных) зерен алмаза находятся спеченные наноалмазы с размером кристаллитов 10–30 нм. Плотность полученного материала составляет 3,0–3,1 г/см<sup>3</sup>. При более высоком давлении и температуре спекания получен материал, обладающий более высокой плотностью 3,4 г/см<sup>3</sup> без признаков графитизации алмаза. В этом случае на основе наноалмазов формируется нанокристаллическая матрица, окружающая крупные алмазные зерна. Размер алмазных нанокристаллитов составляет 30–50 нм, что выше, чем у материала, спеченного при температурах до 2000 °С. При этом размер более крупных алмазных частиц в материале остался на прежнем уровне.

#### **Список использованных источников**

1. Андриевский, Р. А., Глезер, А. М. Размерные эффекты в нанокристаллических материалах. II. Механические и физические свойства // Физика металлов и металловедение. 2000. № 1. С. 91–112.
2. Новиков, Н. В. (ред.) Инструменты из сверхтвердых материалов. М., 2005.
3. Наноалмазы детонационного синтеза: получение и применение. Под общ. ред. П. А. Витязя. / Витязь П. А. Жорник В. И., Ильющенко А. Ф., Сенють В. Т., Комаров А. И., Корженевский А. П., Ивахник А. В. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 381 с.

УДК 621.745.669.13

#### **Технология получения высокоплотных деталей из порошковых низколегированных сталей**

Магистрант Демьянчик Г. А.

Научные руководители – Горохов В. М., Киреев П. Н., Голубцова Е. С.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Стремление свести к минимуму остаточную пористость конструкционных деталей это один из наиболее эффективных путей приближения свойств порошковых материалов к свойствам компактного материала. Несмотря на то, что это приводит к дополнительным материальным и трудовым затратам, это направление привлекает своей доступностью в практической реализации этих процессов в промышленных условиях, так как реализуется на серийном кузнечно-прессовом оборудовании.

Цель работы – исследование порошковых низколегированных сталей на основе железных порошков и разработка технологии изготовления высокоплотных порошковых конструкционных деталей.

Для изготовления высокоплотных конструкционных деталей из порошковых низколегированных сталей до настоящего времени основной операцией остается пластическая деформация (калибровка) спеченных заготовок. После спекания по стандартному режиму, в силу специфики получаемой микроструктуры, такие стали относятся к числу труднодеформируемых и даже полухрупким сплавам. По этой причине плотность изделий не превышает ~7,20 г/см<sup>3</sup>, что недостаточно для конструкционных деталей, которые в процессе эксплуатации испытывают высокие знакопеременные и контактно-усталостные нагрузки. Важнейшим методом повышения пластичности и улучшения механических свойств порошковых низколегированных сталей являются: регулирование химического состава, создание благоприятного фазового состава и структуры, получаемой при определенных режимах термо-временной обработки порошковых заготовок.

В качестве объекта исследования в настоящей работе были выбраны порошковые низколегированные стали улучшаемого класса ПК40НМ и ПК40НМД, у которых содержание каждого легирующего элемента (Ni, Mo и Cu) составляло менее 1 %.



Для приготовления шихты исходные порошки смешивали в четырехбаночном смесителе в течение 4–6 часов при весовом соотношении стальных шаров и шихты 2:1 и диаметре шаров 6–8 мм.

Кривая прессуемости порошковых сталей ПК40НМ и ПК40НМД в области давлений 400–800 кг/мм<sup>2</sup>, представлена на рисунке 1 и имеет обычный вид, характерный для всех композиций на основе железных порошков. Несмотря на наличие в составе 20 % гомогенно- или частично легированного железного порошка прессуемость порошковых композиций ПК40НМ и ПК40НМД высокая и плотность равна  $\approx 7,2$  г/см<sup>3</sup> достигается при давлении 800 кг/мм<sup>2</sup>.

Результаты исследований показали, что при деформировании обеих марок сталей с ИК-структурой наблюдается один тип диаграммы сжатия: гладкая кривая без срывов нагрузки, которая в каждой своей точке регулярна, т. е. угол, образованный между нормалью к кривой и осью абсцисс, с увеличением степени деформации не возрастает.

Порошковые стали ПК40НМ и ПК40НМД после спекания характеризуются сравнительно невысоким сопротивлением пластической деформации. Ощутимая пластическая деформация начинается при напряжениях, превышающих 400–500 МПа.

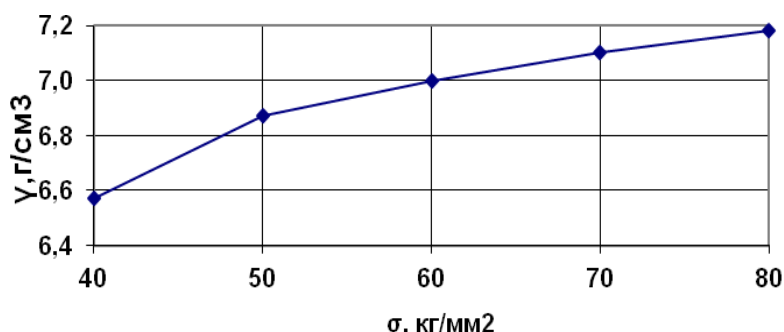


Рисунок 1 – Влияние давления прессования на плотность порошковой низколегированной стали ПК40НМД

Деформационное поведение порошковых низколегированных сталей ПК40НМ и ПК40НМД с ИК-структурой при испытаниях на сжатие не зависит от состава легирующих элементов и описывается единой кривой.

Предел текучести порошковых низколегированных сталей с ИК-структурой очень низкий и пластическая деформация начинается практически сразу же после приложения внешней нагрузки, т. е. сопротивление пластической деформации низкое, а пластичность высокая. Сопротивление пластической деформации у порошковых сталей с ИК-структурой при всех степенях пластической деформации приблизительно на 60 % ниже по сравнению с состоянием после стандартного спекания.

В таблице 1 приведены данные по определению плотности на экспериментальных образцах порошковых сталей ПК40НМД и ПК40НМ.

Таблица 1 – Результаты измерений экспериментальных образцов

Технические показатели	Фактические значения
Плотность, г/см <sup>3</sup>	7,61–7,63

Исследования показали также, что конечная плотность изделий из порошковых низколегированных сталей при деформировании заготовок с ИК-структурой в исследуемом диапазоне не зависит от исходной плотности. Полученный результат имеет важное практическое значение, поскольку позволяет выполнять прессование порошковых заготовок при минимальных напряжениях порядка 45–50 кг/мм<sup>2</sup>.

Студент гр. 10406112 Жук В. А.  
Научный руководитель Керженцева Л. Ф.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Эксплуатация фильтрующих элементов в условиях агрессивных сред и температур возможна при изготовлении их из пористых порошковых материалов (ППМ) формованием и спеканием из сферических порошков керамики, титана, кислотостойких сталей (12X18H9T). Спекание в свободной засыпке сферических порошков практически невозможно. Применение нашей технология формования с легкоплавкими добавками при спекании в условиях упруго – пластической подпрессовки. В работе реализуется получение ППМ путем нанесения конденсата из карбидообразующих элементов и углерода или молибдена и кремния на сферические порошки титана или стали 12X18H9T магнетронным распылением комбинированных катодов Si – C или Mo – Si за счет эрозии поверхностных слоев катода при бомбардировке их ускоренными ионами рабочего газа (аргона). Использование планарной конструкции электродов позволяет в 3–5 раз повысить производительность магнетронных распылительных систем (МРС) за счет увеличения площадей одновременно участвующих в обработке. Снижение интенсивности бомбардировки вторичными электронами достигается за счет создания аксиального магнитного поля и сетчатого анода. Выбор режимов обработки рекомендуется осуществлять в диапазоне линейной зависимости вольтамперной характеристики при низком давлении рабочего газа (0,35 Па) и высокой магнитной индукции (до 100 мТл), что обеспечивает хорошую воспроизводимость и стабильность технологии. Изготовление фильтров из ППМ осуществляли по комбинированной технологии, включающей технологию нанесения нанопокровов и технологию порошковой металлургии: формование и спекание активированных порошков [1].

Разработана комбинированная технология, сочетающая активацию плазмой тлеющего разряда поверхности частиц с удалением адсорбированных газов и оксидных пленок, нанесения слоистых конденсатов, формования порошков с конденсатом в металлической пресс – форме в фильтр и его спекание. Присутствие в конденсате смеси (Si + C), и смеси (Mo + Si) с размещением между ними слоя C способствует при нагреве протеканию экзотермической реакции  $Mo + 2Si = MoSi_2$ . При взаимодействии графита с  $MoSi_2$  образуется тройная фаза (Mo – Si – C) переменного состава.

Дилатометрическими испытаниями установлена температура реакционного спекания в покрытии в интервале температур 650–850 °С, с образованием  $\alpha$  – SiC а затем при температуре 940 °С с образованием  $MoSi_2$  и тройной фазы ( $MoSi_2C$ ) при изотермической выдержке в течение часа. Реакция с образованием SiC протекает с внедрением C и объем слоя уменьшается,  $MoSi_2$  образуется по реакции замещения, объем слоя увеличивается. Формуемость порошков повышается за счет активирования их поверхности осаждением конденсата[2].

Линейное температурное расширение частиц при нагреве в зоне контакта частично выдавливает покрытие и формирует типичную шейку, образующуюся при спекании (рисунк 1). Термическое линейное расширения порошковых частиц Fe ( $\alpha = 12,4 \cdot 10^6 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) приводит к растягивающим напряжениям в конденсате, т.к. коэффициент линейного термического расширения для Mo составляет  $\alpha = 5,1 \cdot 10^6 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , а для Si – ( $\alpha = 3,72 \cdot 10^6 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ), для C – ( $\alpha = 3,02 \cdot 10^6 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ), что облегчает процесс диффузии. Для порошков FeSi и стали 12X18H10T с покрытием Si при 600–1000 °С происходит интенсивная усадка за счет диффузионных процессов спекания частиц через прослойку Si. Нанесение комбинированного покрытия Si + C в течение первых 15–20 мин. формирует аморфную структуру смеси, термомеханическая обработка которой плазмой тлеющего разряда приводит к

разогреву до 600 °С с поверхностным сдвигом атомов С с образованием (SiC) аморфной структуры. Реакционное спекание в объеме конденсата с формированием  $\alpha$  – (SiC) протекает при температуре 850 °С. Силициды титана и железа образуется при 1100 °С, а молибдена при 940 °С.

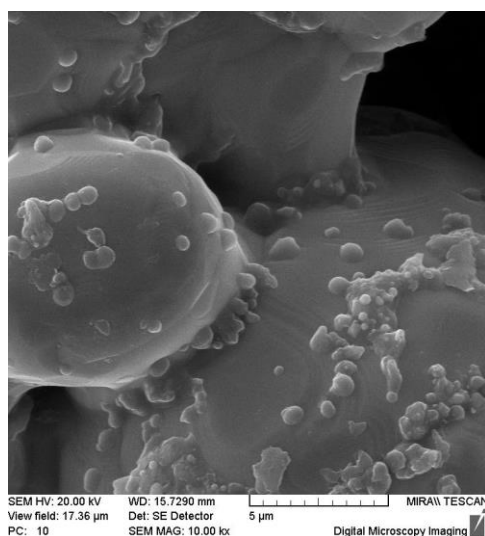


Рисунок 1 – Зона контакта частиц

Нанесение магнетронным распылением охлаждаемых моно – и комбинированных катодов слоистого конденсата с низкой скоростью и энергией связано с размещением перемешивающего устройства в области плазменной тени. Форма частиц обеспечивает хорошее перемешивание и качественное слоистое покрытие из слоев кремния и слоя из смеси кремния с молибденом, что формирует аморфно – кристаллическую структуру.

Анализ морфологии поверхностей исследованных порошков с покрытием показал, что для обеспечения качественного покрытия частиц следует использовать частицы округлой формы с повышенной сыпучестью, не склонных к агломерации. Тонкопленочные (20–100 нм) покрытия получают, размещая подложку вблизи (до 50 мм) катода, время распыления 30–600 с. Увеличение длительности процесса распыления, как минимум на порядок, позволило изготовить порошки – композиты толщиной свыше 100 нм, размещение порошка на расстоянии до 200 мм в зоне плазменной тени, где распыляемые потоки обладают низкой энергией, позволяет конденсировать кремний, молибден, графит, кобальт (сплав ЭП131) в виде смеси элементов. Полученные порошки – композиты выполняют технологическую функцию создания нового композиционного пористого или высокоплотного материала. Комбинированные катоды позволяют транспортировать и осаждать материалы в виде атомов, кластеров и дисперсных частиц (капельной фазы).

#### Список использованных источников

1. Пористые порошковые материалы с анизотропной структурой для фильтрации жидкостей и газов / Л. П. Пилинович [и др.]; под ред. П. А. Витязя. – Минск: Топик. 2005. – 252 с.
2. Ковалевский, В. Н. Изготовление пористых порошковых материалов с управляемым направлением фильтрации/ Ковалевский В. Н., Алексеев Ю. Г., Жук А. Е., Ковалевская А. В., Жук В. А. // Литье и металлургия. – 2015. – №1. – С.134–140.

УДК 621.791.052:621.791.65

## **Изучение некоторых технологических особенностей и их оптимизации при сварке плавлением стали 09Г2С на примере кронштейна трактора Беларус 1525.5**

Студент гр. 10403112 Мельничук Д. И.  
Научный руководитель – Голубцова Е. С.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Кронштейны для тракторов Беларус применяются в различных моделях и имеют множество разновидностей и назначений.

Кронштейн 1525.5–6700030 устанавливается на трактор общего назначения Беларус 1525.5. Материалом для данного кронштейна является сталь 09Г2С, которая используется для производства листовых конструкций в нефтяной и химической промышленности, судостроении и машиностроении.

Если свариваются листы толщиной до 40 мм, то сварка производится без разделки кромок. При использовании многослойной сварки применяют каскадную сварку с током силой 40–50 Ампер на 1 мм электрода, чтобы предотвратить перегрев места сварки. После сварки рекомендуется прогреть изделие до 650 °С, далее выдержать при этой же температуре (время выдержки определяется исходя из толщины проката), после чего изделие охлаждают на воздухе или в горячей воде – благодаря этому в сваренном изделии повышается твердость шва и устраняются зоны напряженности.

Широкое распространение и популярность стали 09Г2С объясняется тем, что ее высокие механические свойства позволяют экономить при изготовлении строительных конструкций. Из нее изготавливаются элементы и детали сварных металлических конструкций, которые могут работать при температурах от –70 °С до +450 °С.

На Минском тракторном заводе для сварки данного кронштейна применяют дуговую сварку в углекислом газе сплошной проволокой. В связи с особенностями данной стали требуется последующая термическая обработка после сварки. Для доступа ко всем зонам сварки используется специальное сварочное приспособление и контователь. Данный способ сварки не всегда дает нам нужное и стабильное качество сварных соединений, так как в нем присутствует термообработка и человеческий фактор, поэтому для улучшения и оптимизации данных параметров, а также для экономии времени и уменьшения экономических затрат оптимально применять РТК.

Для сварки данного кронштейна отлично подходит РТК IRB 6650 S. Используя данный комплекс, мы можем четко контролировать время и параметры сварки, тем самым подбирать оптимальные. Так же, используя РТК, мы оптимизируем экономические параметры и избавляемся от человеческого фактора. Благодаря внедрению данного комплекса возможно получать качественные, стабильные сварные соединения с уменьшением экономических затрат и времени на сварку.

УДК 621.793

## **Особенности технологии получения композиционного материала алмаз-карбид кремния**

Студент гр. 10406112 Жук В. А.  
Научный руководитель – Жук А. Е.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Технология получения композита алмаз – карбид кремния основаны на процессах пропитки жидким кремнием пористой заготовки из кристаллов алмаза, что сопровождается образованием графита на поверхности алмаза. Взаимодействие графита с жидким

кремнием приводит к его растворению и образованию SiC, формирующему карбидокремниевую матрицу [1]. Пористую заготовку формируют из алмазных порошков микронных размеров прессованием, шликерным литьем, изостатическим прессованием с использованием известного оборудования со связующим или без него. Для уменьшения пористости и получения высоких износостойкости и абразивных характеристик используют сочетание малых и больших размеров частиц алмаза, отличающихся не менее, чем в 5 раз. Возможность формование изделия на ранних стадиях техпроцесса позволяет исключить окончательную механическую обработку сверхтвердого материала. Недостатком технологии являются потери массы алмаза на графитацию.

Покрытие кристаллов алмаза тонким слоем карбида кремния, который образуется путем реакционного спекания покрытия из смеси атомов (Si + C), позволяет избежать потерь алмаза при нагреве свыше 1000 °C [2, 3]. Источником углерода для реакции с кремнием в этом случае является пиролитическое покрытие частиц алмаза. Изменение условий формирования карбидокремниевой матрицы при силицировании пиролитического покрытия вызвало необходимость оценки влияния пористости, которая заполняется жидким кремнием, на структурообразование композита из порошков с нанопокрытием.

В процессе вакуумной пропитки полуфабриката, представляющего пористый каркас из кристаллов алмаза с покрытием, жидкий кремний по порам, как по капиллярам, заполняет свободное пространство, стенками которого являются кристаллы алмаза, покрытые пиролитическим углеродом (графитом). При температуре пропитки (1550 °C) происходит растворение углерода в жидком кремнии с одновременным образованием карбида кремния. Растворимость интенсивно повышается с ростом температуры. Температура в разных местах исходной пористой заготовке неодинакова, так как в процессе нагрева в интервале температур 650–800 °C, протекает процесс образования SiC в покрытии с выделением тепла. На отдельных участках наблюдается пересыщение расплава углеродом, вблизи поверхности кристаллов алмаза, что приводит к образованию кристаллов SiC. Избыточный жидкий кремний заполняет остаточный объем пор. При образовании карбида кремния наблюдаются объемные изменения, которые можно определить, исходя из расчета кристаллохимических величин.

Известен способ получения абразивного изделия [1], включающий стадию формования пористой заготовки из шихты, содержащей смесь алмазных кристаллов с отличающимися друг от друга размерами, последующую термообработку заготовки в вакууме и пропитку ее жидким кремнием. Композит алмаз – карбид кремния, получают формированием пористой (30–60 %) заготовки из алмазосодержащей шихты (величина пористости определяется процессами пропитки жидким кремнием), осуществляют ее термообработку для образования полуфабриката, состоящего из алмаза и углерода, полученного за счет графитации алмаза с уменьшением массового содержания алмаза не более чем на 50 масс. %, пропитывают полученный полуфабрикат жидким кремнием, что приводит к взаимодействию кремния и графитоподобного углерода с образованием карбида кремния. К недостаткам способа относятся большие потери алмаза (до 50 %) за счет графитации и присутствие хрупкого включения свободного кремния.

Известен способ получения абразивного изделия [2], при котором активируют в плазме тлеющего разряда поверхность алмазных кристаллов разного размера, наносят на них многослойное покрытие из смеси кремния и углерода магнетронным распылением, при этом первый слой толщиной до 10 нм термообработывают с использованием плазмы тлеющего разряда, после чего наносят слои толщиной 120–160 нм затем слой графита в количестве 16 % от массы алмазных кристаллов, приготавливают шихту смешиванием полученных алмазных кристаллов, карбида кремния и кремния в следующем соотношении: алмазные кристаллы 46,4–58,1; карбид кремния 23,3–28,4, кремния 18,6–25,2, формируют пористую заготовку из полученной шихты и термообработывают заготовку в вакууме путем реакционного спекания в засыпке. Недостатком способа являются низкие

прочность и вязкость разрушения абразивного материала за счет присутствия в структуре свободного кремния с большим зерном.

Авторами экспериментально установлено, что, соблюдая условия отдельного синтеза, при расположении порошка в смесителе на расстоянии 150–200 мм от катода в зоне фарадеева пространства при нанесении смеси углерода и кремния образуется конденсат с аморфной структурой, в которой существуют связи Si – Si, C – C, Si – C (покрытие токопроводно) после обработки плазмой тлеющего формируется SiC с аморфной структурой (покрытие не токопроводно), состав покрытия определяется соотношением распыляемых площадей комбинированного катода Si – C в зоне максимальной эрозии, что должно соответствовать стехиометрическому составу  $\alpha$  – SiC.

В зависимости от назначения и требуемых свойств абразивного изделия готовится шихта, в состав которой входят микрошлиф порошки алмаза фракций размеры частиц которых отличаются в 4–5 раз. Поверхность алмазов активируется обработкой плазмой тлеющего разряда, наносят покрытие из смеси кремния и углерода толщиной 10 нм, которое обрабатывают плазмой тлеющего разряда, что приводит к образованию карбида кремния с аморфной структурой вследствие высокой теплопроводности алмаза и малой толщине покрытия, перед нанесением второго слоя катод охлаждают, в качестве второго слоя используют многослойное покрытие, наносимое послойно толщиной до 10 нм с обработкой плазмой тлеющего разряда, затем производят охлаждение рабочей поверхности катода, цикл повторяют до получения толщины до 160 нм, Затем наносят покрытие графита 10 % от массы кристаллов алмаза. На полученные алмазные порошки с покрытиями наносят смесь молибдена и кремния толщиной до 200 нм, на первичный карбид кремния и кобальт на каждый из них наносят аналогичное покрытия [3]. Смесь порошков тщательно смешивают. Смешивание осуществляли в футерованном полиуританом в высокоэнергетическом агрегате, например, активаторе, атриторе или вибрационной мельнице. Формуют заготовку в металлической пресс – форме при давлениях до 400 МПа. Термообработывают заготовку в вакууме при температуре 850 °С с выдержкой 1 ч.

#### Список использованных источников

1. Патент 13989 ВУ, С 30 В 29/10, 2009
2. Патент 10833 ВУ, В 24 D 17/00, 2006
3. Ковалевский, В. Н., Гордеев, С. К., Корчагина, С. Б., Фомихина, И. В., Жук, А. Е. Структурообразование карбидокремниевой матрицы в композиции алмаз – карбид кремния // Огнеупоры и техническая керамика. – 2005. – №5 – С. 8–14.

УДК 534.2

#### Упрочнение инструментальной стали нетрадиционным методом порошковой металлургии

Студент гр. 10406112 Сильченко А. А.  
Научный руководитель – Ушеренко С. М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Технология традиционной порошковой металлургии основана на использовании, в качестве матричного материала – порошков, а в качестве материала оснастки компактной стали или керамики. Основной материал конструкции технологической оснастки изготавливают из инструментальных сталей или из твердого сплава. Нетрадиционная порошковая металлургия предполагает, наоборот использование в качестве материала оснастки порошков, а в качестве матричного материала оснастки литой или ковальной стали.

Кроме того, упрочнение стали нетрадиционными методами порошковой металлургии предполагает, что дополнительное упрочнение реализуется за счет объемного легирования

сталей в твердом агрегатном состоянии. Такой результат показывает, что упрочняющие порошковые материалы будут проникать сквозь стальную преграду на глубины в десятки миллиметров. Движение сгустков порошковых материалов сквозь стальную матрицу приводит к прошивке металлической матрицы и формированию из стали композиционного материала.

При движении частиц порошка в объеме стальной преграды происходит их размывание по стенкам канала, закачивание энергии в форме поля высокого давления, захлопывание, синтез метастабильных соединений и новых химических элементов и генерация энергии в виде интенсивного электромагнитного поля.

За счет генерации дополнительной энергии в процессе термоядерного синтеза в зоне закрытых канальных элементов формируются армирующие волокна, которые в результате последующей диффузии упрочняют стальную матрицу. На рисунке 1 показана зона прошивки инструментальной стали Р6М5 сгустком частиц SiC. В качестве вещества (стрелка), используемого для маркировки зоны прошивки, использовали карбид кремния.

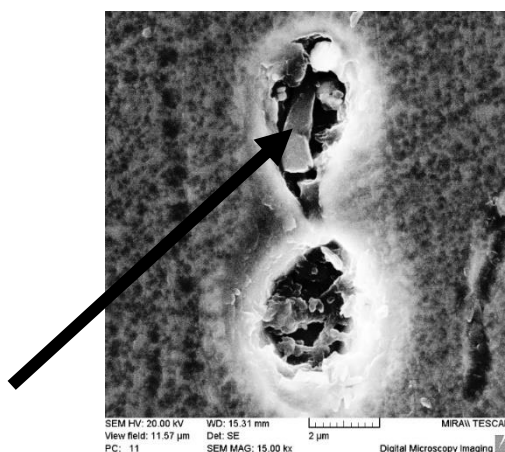


Рисунок 1 – Зона прошивки (легирования) стали Р6М5 частицами карбида кремния.  
Глубина 25 мм

**Выводы.** Для маркировки канальной зоны прошивки используют порошки на основе кремния, как часть порошковой композиции

УДК 669.715+621.785.72

### **Установление статистических связей между механическими свойствами сварных соединений сплава 01915**

Студенты гр. 10403115 Бычек А. Б., Мазолевский К. А.  
Научный руководитель Голубцова Е. С.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Для сварных конструкций, изготовляемых сваркой плавлением, применяют термически неупрочняемые сплавы, обладающие хорошей свариваемостью. Из термически неупрочняемых алюминиевых сплавов наибольшее применение получили сплавы системы Al–Mg, такие как АМг3, АМг5, АМг6.

Однако сплавы системы Al–Mg имеют определенные недостатки: невысокий предел прочности и текучести, повышенная склонность к порообразованию, а при сварке конструкций с толщиной стенки менее 2,0 мм – сложность получения герметичных соединений.

Применение алюминиевых сплавов системы Al–Zn–Mg является альтернативным решением при получении аналогичных сварных конструкций. Сплавы Al–Zn–Mg имеют

более высокие показатели механических свойств, коррозионной стойкости, и к тому же обладают хорошей свариваемостью.

Целью работы является определение коэффициента парной корреляции  $r_{ij}$  между механическими свойствами сварных соединений, выполненных из сплава 01915 системы Al–Zn–Mg. Значения механических свойств сварных соединений в зависимости от времени старения, приведены в таблице.

Таблица 1 – Механические свойства сварных соединений сплава 01915, выполненных аргоно-дуговой сваркой

№ опыта	Время естественного старения после сварки, сутки	$\sigma_b$ , кг/мм <sup>2</sup>		Угол загиба, град.
		Шов с проплавом и усилением	Шов с усилением	
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	1	30,0	27,0	150
2	5	34,0	33,0	126
3	15	37,7	36,5	120
4	30	38,6	38,0	118

Суть метода заключается в вычислении коэффициентов парной корреляции или корреляционного соотношения между каждыми двумя параметрами на основе имеющихся данных. При наличии высокой корреляции любой из них можно исключить из рассмотрения, поскольку всю необходимую информацию мы получим, определяя другой параметр.

Коэффициент парной корреляции  $r_{1,2}$  рассчитывается по формуле:

$$r_{1,2} = \frac{\sum_1^n \Delta y_1 \cdot \Delta y_2}{\sqrt{\sum_1^n \Delta y_1^2 \cdot \sum_1^n \Delta y_2^2}},$$

где  $\Delta y_1$  и  $\Delta y_2$  – разность между текущим и средним значениями параметров, т. е.  $\Delta y_1 = y_1 - \bar{y}_1$  и  $\Delta y_2 = y_2 - \bar{y}_2$ ;

$n$  – число наблюдений.

Рассчитанное значение коэффициента корреляции сравнивают с критическим  $r_{кр}$  (табличным) значением этого коэффициента, исходя из заданного уровня доверия  $\alpha$  (в нашем случае  $\alpha = 0,05$ ) и степени свободы  $f$ , равной  $n - 2$  (у нас  $f = 2$ , т. к.  $n = 4$ ). Если опытное значение  $r_{1,2} \geq r_{кр}$ , то линейная корреляция существует, в противном случае ( $r_{1,2} < r_{кр}$ ) ее нет. В нашем случае  $r_{кр} = 0,95$ .

Для расчета корреляционной зависимости между двумя параметрами необходимо иметь достаточное количество данных об этих параметрах. Поэтому проводится некоторое количество опытов (наблюдений). Опыты проводятся с каждым из параметров (в нашем случае число наблюдений  $n = 4$ ).

Следующим шагом будет расчет коэффициента корреляции. Для расчета используется следующая формула:

$$r_{i,j} = \frac{\sum (y_i - \bar{y}_i) \cdot (y_j - \bar{y}_j)}{\sqrt{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2 \cdot \sum (y_j - \bar{y}_j)^2}}, \quad (2)$$

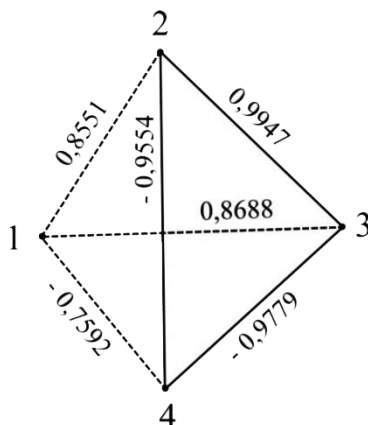
где  $i, j$  – наименования параметров;

$y_{i,j}$  – результат опыта;

$\bar{y}_{i,j}$  – среднее значение всех опытов.



Рассчитав коэффициенты корреляции для каждого параметра, сравниваем их с  $r_{кр}$  (в нашем случае  $r_{кр} = 0,95 - 0,99$ ). На основании полученных значений строим граф, который будет наглядно демонстрировать наличие или отсутствие корреляционной связи между каждым из параметров.



$$r_{1,2} = 0,8551; r_{1,3} = 0,8688; r_{1,4} = -0,7592; r_{2,3} = 0,9947; r_{2,4} = -0,9554; r_{3,4} = -0,9779$$

Рисунок 1 – Корреляционная связь между параметрами

Сплошная линия между параметрами обозначает наличие линейной корреляционной связи, штриховая ее отсутствие. Отрицательное значение коэффициента говорит о наличии обратной связи (т. е. один параметр будет увеличиваться, другой уменьшаться).

Зная коэффициенты парной корреляции можно определить корреляционные уравнения в виде  $y_j = b_0 + b_{1y}$ .

В результате расчетов получены следующие уравнения:  $y_2 = 1,23 - 9,5y_3$ ;  $y_3 = -2,94 + 227,4y_4$ ;  $y_2 = -3,59 + 254,4y_4$ .

Эти уравнения позволяют рассчитать значения того или иного свойства через другие.

С помощью корреляционного анализа можно выявить зависимость одного параметра от другого. Эта зависимость облегчает изучение свойств материалов, так как благодаря ей отпадает необходимость проведения множественных опытов. В случае существования зависимости достаточно знать первый параметр, чтобы рассчитать второй. Это особенно удобно, когда измерение второго параметра опытным путем представляет большие трудности.

УДК 539.893

### Исследование структуры материалов на основе карбида кремния

Студент гр.10403115 Специан И. В.  
 Научный руководитель – Григорьев С. В.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Одним из перспективных конструкционных материалов для работы при температурах свыше 1000 °С является высокоплотный материал на основе карбида кремния (SiC). Высокие физико-механические свойства этого материала сохраняются и при высоких температурах, и в условиях резких скачков температуры.

Для создания высокоплотных композиционных керамических материалов на основе тугоплавкой керамики широко используются технологии комплексной обработки материалов высокими давлениями и температурами. Спекание под высоким давлением позволяет достичь высокой степени уплотнения тугоплавкой керамики без активирующих добавок.

С целью оптимизации физико-механических характеристик материала на основе карбида кремния были выполнены исследования, связанные с изучением его тонкой структуры.

В качестве исходных компонентов были использованы субмикронные порошки SiC из которых спеканием под высоким давлением были изготовлены образцы диаметром 8 мм и высотой 6 мм. Образцы из SiC спекались в диапазоне температур от 1300 °С до 2000 °С. Давление при спекании составляло 4 ГПа.

Изменения пористости поверхности шлифов полученных образцов в зависимости от температуры спекания изучалась на сканирующем электронном микроскопе Vega II LMU с использованием детектора обратно отраженных электронов (BSE-детектора) без предварительного нанесения токопроводящих покрытий на исследуемую поверхность образцов. Полученные изображения поверхности образцов изучались с использованием специализированного программного обеспечения сканирующего электронного микроскопа для определения пористости.

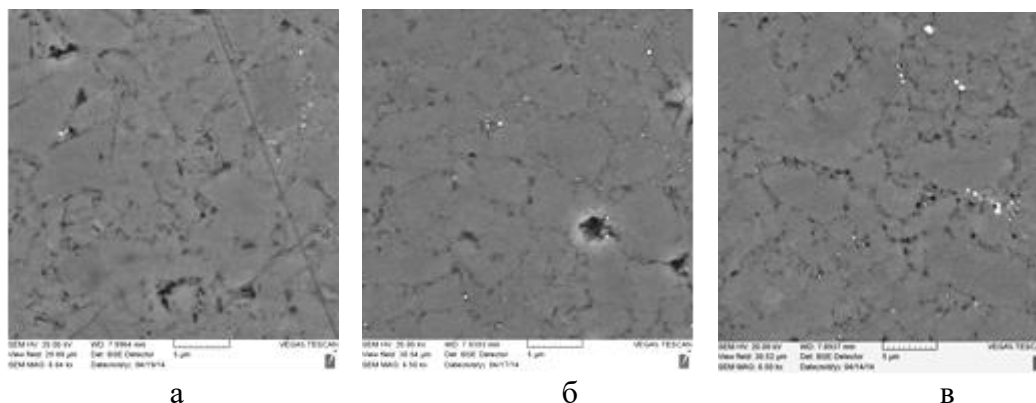


Рисунок 1 – Пористость спеченных при различных температурах под высоким давлением образцов SiC: а – 1300 °С; б – 1600 °С; в – 2000 °С

На рисунке 1 представлены фотографии спеченных под высоким давлением при различных температурах образцов SiC. Во всем интервале температур спекания отмечается наличие пористости.

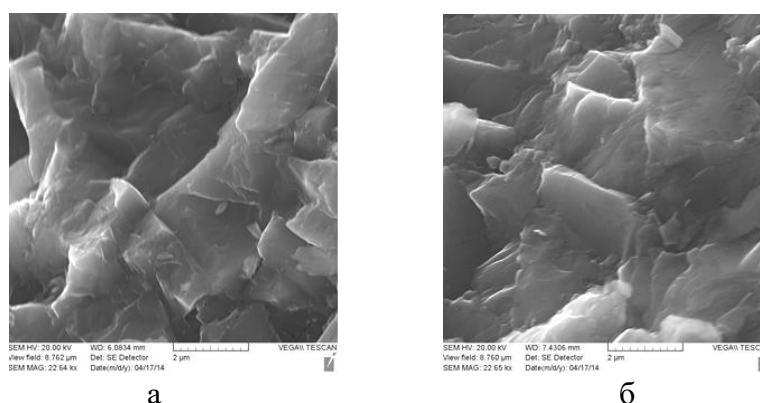


Рисунок 2 – Фотографии изломов образцов SiC, спеченного под высоким давлением: а – спекание при 1300 °С; б – спекание при 1600 °С

Поры располагаются по границам частиц порошка. При низких температурах спекания периодически встречаются крупные поры, которые с ростом температуры спекания встречаются реже.

Пористость образцов имеет тенденцию к уменьшению по мере роста температуры спекания с 1300 °С до 2000 °С, причем по мере роста температуры поры располагаются

более равномерно. Количественно пористость образцов с увеличением температуры спекания от 1300 °С до 2000 °С уменьшалась с 4–4,5 % до 1,5–2 %.

На рисунке 2 представлены фотографии изломов образцов SiC, спеченных под высоким давлением при температурах 1300 °С и 1600 °С.

На фотографиях заметно, что характер разрушения с изменением температуры спекания в выбранном диапазоне температур визуально не изменяется. Разрушение происходит по границам зерен. Можно отметить, что по объему спеченного образца не наблюдается видимых пор. Тройные стыки зерен заполнены материалом, что говорит о прохождении процесса спекания по всему объему заготовки.

УДК 621.78

**Исследование возможности применения ультра и нанодисперсных частиц, содержащихся во вторичных материалах и отсевах модификаторов, в покрытиях электродов**

Студенты гр.104112 Серeda В. Ю., гр.10403114 Миклуш Е. А., Яркевич Е. В.

Научный руководитель: Урбанович Н. И.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью данной работы является изучение влияния нано-и ультрадисперсных частиц, содержащихся во вторичных ресурсах и материалах, применяемых в металлургической промышленности на сварочно-технологические свойства покрытых электродов и свойства металла шва.

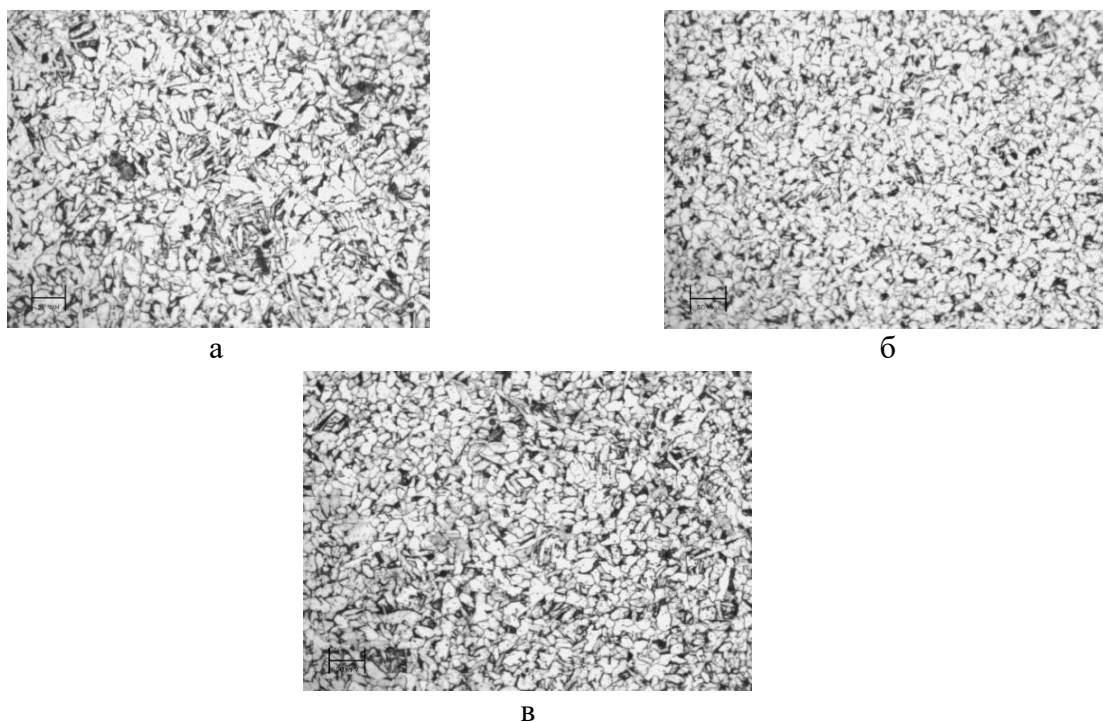


Рисунок 1 – Микроструктура сварных швов:

а – стандартным электродом; б – с модификатором L-cast; в – с модификатором MS

Таковыми веществами могут являться: пылевидный продукт, осаждаемый на рукавных фильтрах и образующийся при производстве высокопрочного чугуна (MgO); отход, образующийся при разрезании проволокой слитков монокристаллического кремния в полиэтиленгликоле, где в качестве абразивного вещества используется карбид кремния

и полученный в виде порошка в результате сушки при 200 °С (ПЭГ); отсеvy модификаторов марок «МС» и «L-cast».

Для проведения экспериментов использовали стандартные электроды марки УОНИ 13/55 (ГОСТ 9466-75) диаметром 2,5 мм, на поверхность которых со связующим натриевым жидким стеклом наносили тонким слоем отходы и модификаторы в количестве 0,2–0,3 % от массы покрытия. Сварочно-технологические свойства оценивали по пятибалльной системе согласно показателям по РД 03-613-03. Как показали исследования, самый высокий показатель по длине разрывной дуги имеют электроды с добавкой модификатора L-cast. Остальные результаты по сварочно-технологическим свойствам электродов без добавок и с добавками (MgO, ПЭГ-200, МС) соответствуют 4-м баллам по РД 03-613-03 кроме электродов с добавкой L-cast, которые соответствует показателям на 5 баллов.

Для изучения микроструктуры металла шва получали стыковое сварное соединение из стальных пластин марки 09Г2С толщиной 4 мм без разделки кромок с зазором 2мм согласно ГОСТ 5264-80, соединение С2. Сварку осуществляли в 2 прохода.

Следует отметить, что структура металла сварного шва (рисунок 1), полученного электродом без добавки, характеризуется наличием участков с повышенным содержанием таких хрупких составляющих как блочный феррит и феррит Видманштетта (рисунок 1, а). Зерна имеют величину от 20 до 50 мкм.

Микроструктуры металла швов, полученных электродом с добавками модификаторов L-cast и МС, имеют более дисперсную и равноосную структуру (рисунок 1, б, в). Например, величина зерна шва, модифицированного добавкой L-cast, составляет 5-20мкм. Введение в покрытие электрода отходов производства (ПЭГ-200 и MgO) не оказало заметного влияния на измельчение зерна металла шва.

С целью установления связи между микроструктурой металла шва и свойствами сварного соединения проводили испытания на механические свойства. Для проведения испытания были получены контрольные сварные соединения толщиной 12 мм. Заготовки изготавливались согласно ГОСТ 6996-66.

Механические свойства металла шва, выполненные электродами УОНИ-13/55, представлены в таблице 1. Для испытаний по ГОСТ 6996-66 применяли разрывную машину РМ-50 и маятниковый копер МК-30А.

Таблица 1 – Механические свойства сварного соединения

Электроды марки УОНИ-13/55 диаметром 2,5 мм	$\sigma_b$ , МПа	$\delta_5$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
Серийный	450	23	160
Модификатор L-cast	465	26	178
Отход MgO	445	21	150
Модификатор МС	460	28	174
Отход ПЭГ-200	440	22	162

Таким образом, проведенные исследования показали, что применение в составе покрытия электродов для ручной дуговой сварки, отходов производства и модификаторов, содержащих нано- и ультрадисперсные частицы, позволило не только повысить их сварочно-технологические свойства, но и механические, особенно показатели, характеризующие пластичность металла. Показано, что ввод в покрытие модификаторов измельчил структуру и изменил морфологию зерна металла шва, что положительно отразилось на показателях по механическим свойствам, особенно ударной вязкости, значение которой увеличилось на 9–11 % по сравнению со стандартным электродом.

Студент гр. 10403112 Сень Е. А.  
Научный руководитель – Гольцова М. В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Электричество – относительно дешевый и экологичный вид энергии. С завершением строительства и запуском в эксплуатацию Белорусской АЭС можно прогнозировать всплеск развития транспорта, использующего электроэнергию, одним из видов которого являются трамваи.

Транснациональная компания Stadler Rail AG занимается строительством трамваев на протяжении более чем 75 лет. Отделения Компании функционируют в разных странах и на разных континентах (включая Австралию), а в 2012-м году в Республике Беларусь было открыто дочернее предприятие Stadler-Minsk.

«Штадлер Минск» осуществляет деятельность в области разработки, проектирования, конструирования и производства рельсового подвижного состава для городских, пригородных, региональных перевозок, а также для межрегиональных и междугородных перевозок. В своей работе компания опирается на международные требования ISO.

В целом на предприятии для производства всех видов электрического транспорта используются следующие виды сварки:

- механизированная сварка в смеси газов (Ar + CO<sub>2</sub>);
- механизированная сварка в смеси газов (Ar + He);
- роботизированная сварка в смеси газов (Ar + He).

Основная технология сборки трамвайных вагонов – механизированная сварка в смеси газов (Ar + CO<sub>2</sub>). При производстве вагонов используется сталь марки 09Г2С, поскольку она соответствует всем технологическим требованиям. Сталь 09Г2С получила широкое применение из-за отсутствия ограничения в ее свариваемости и экономической целесообразности использования.

Однако, несмотря на хорошо проработанную технологию, существуют возможности ее рационального усовершенствования.

В частности, на этапе сборки необходимо использовать сборочно-сварочное приспособление (вращатель), что даст возможность проводить сварку в нижнем положении. Также целесообразно использовать пневматические прижимы, которые позволят более точно выдержать необходимые размеры и избежать сварочных деформаций.

Вторая возможность рационализации – подбор сварочных материалов. Особенностью сварки данной марки стали является то, что достаточное содержание в ней марганца дает возможность использования более дешевой проволоки с меньшим содержанием марганца. Для сварки стали 09Г2С используется проволока Св-08ГС диаметром 1,6 мм. Сварка проволокой меньшего диаметра (1,2 мм) на одних и тех же режимах увеличит проплавление металла небольших толщин, вследствие чего есть возможность исключить часть слесарных операций по обработке кромок свариваемых деталей. Это, в свою очередь, уменьшит трудовые и экономические затраты.

На этапе контроля можно применить визуальный способ контроля и капиллярный способ, который не требует специального оборудования и больших затрат времени на его проведение. Предварительные оценки показывают, что ожидаемый экономический эффект от реализации данных предложений составляет не менее 8–10 %.

# **Охрана труда и промышленная безопасность**

## Соблюдение требований охраны труда на рабочих местах в оптических исследовательских лабораториях при работе с лазерами

Студенты гр. 11311113 Кожевников Д. А., Астрада А. Н.  
Научный руководитель – Автушко Г. Л.,  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Современные тенденции развития областей науки связанных с исследованиями и испытаниями оптических систем вызывают необходимость своевременной реакции технических средств, которые будут обеспечивать точность анализа, что в свою очередь повышает требования к специалистам-операторам. Использование сложных оптических комплексов в лабораториях накладывает обязательства в проведении мероприятий с подробным разбором техники безопасности при работе. В связи с использованием прецизионной техники в оптических лабораториях получили широкое распространение лазерные интерферометры. Помимо этих приборов в оптической лаборатории находится огромное количество источников лазерного излучения (ЛИ). Это обуславливает необходимость более детального рассмотрения правил техники безопасности при работе с ЛИ. ЛИ высокой мощности при взаимодействии с мягкими тканями человека и аппаратами зрения вызывает их повреждение. Одним из самых распространенных видов несчастных случаев с лазерами является повреждение сетчатки и роговицы глаза. Повреждающий эффект ЛИ проявляется при попадании в глаз мощного строго направленного монохроматического излучения (Рисунок 1). Степень поглощения лазерного излучения различными структурами глаз зависит от длины волны и плотности световой энергии в зоне фокусировки.

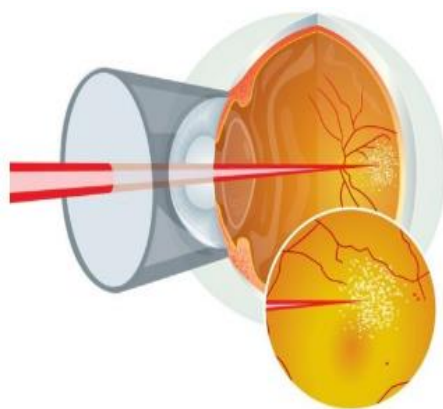


Рисунок 1 – Действие ЛИ на сетчатку глаза

Ближний диапазон инфракрасного излучения (780–1400 нм) является наиболее опасным для человеческого глаза, потому что мы не имеем естественной защиты от него. Глаз почувствует излучение, падающее на сетчатку, только после того, как непоправимый ущерб уже нанесен. Инфракрасное излучение в диапазоне 1400–11000 нм поглощается поверхностью глаза и не доходит до сетчатки. Это приводит к перегреванию ткани и горению, или разрушению роговой оболочки. Однако, это происходит только при значительно больших мощностях, чем те, которые опасны для сетчатки глаза [1]. Конструктивно приборы изготавливаются с условием невозможности расположения глаз оператора в области распространения лазерного пучка. При лазерном ожоге происходит повреждение пигментных структур сетчатки и хориоидеи с вовлечением окружающих тканей, что приводит к деструкции пигментного эпителия сетчатки (ПЭС), нейроэпителия, повреждению стенок сосудов с

выходом плазмы и форменных элементов крови. Характерные клинические проявления лазерного ожога – отек и кровоизлияния в центральной зоне сетчатки (в зоне фокусировки света). Скопление крови и продуктов ее распада в сетчатке может привести к необратимой потере зрительных функций глаза [2]. Взаимодействие ЛИ с кожным покровом так же зависит от длины волны и пигментации кожи. В видимой области отражающая способность очень высока. В большей степени та часть, пигментация которой незначительна. В связи с этим значительная часть видимого излучения будет отражаться. В дальней ИК области (2–20 мкм) поглощение кожного покрова заметно возрастает. Лазеры, излучающие в дальней ИК области на волне 10 мкм (СО<sub>2</sub>, некоторые полупроводниковые), представляют серьезную опасность для человека. В связи с особенностями кожи такое излучение поглощается почти полностью. Энергия задерживается в тонком слое. Даже кратковременное попадание излучения на кожу (15 мс) человека приводит тяжелым ожогам. Травмы кожи от лазеров делятся на две категории: тепловые травмы (ожоги) и фотохимические индуцированные повреждения от хронического воздействия рассеянного ультрафиолетового лазерного излучения. Фотохимические повреждения могут произойти с течением времени от ультрафиолетового облучения прямого света, зеркальных отражений, или даже диффузного отражения. Эффект может быть незначительным, но длительное воздействие может способствовать формированию рака кожи. Современные средства защиты глаз от ЛИ разделяются на активные и пассивные. К активным можно отнести защитные очки с определенным спектром поглощения (рисунок 1), к пассивным относят системы, предупреждающие пересечение глаза с лучом ЛИ. Для каждого типа лазеров подбираются очки с определенным светофильтром, пропускающим максимальное количество видимого света, но блокирующем свет на длине волны лазера. Удобство работы в лазерных защитных очках зависит от параметра VLT (visible light transmission). Использование неправильных (не тех, которые блокируют излучение данного лазера) является одной из наиболее распространенных причин повреждения глаз. Принципиальным способом изменения принципов обеспечения безопасности на рабочем месте является гарантированное отсутствие контактов органов зрения оператора с ЛИ. Существуют различные способы обеспечения данного условия, однако большинство из них в той или иной степени ограничивают функциональность установки и ее эргономичность для работы. После подробного анализа различных систем авторы предлагают к использованию новую систему обеспечения безопасности. Суть заключается в создании искусственного оптического тракта между зоной действия ЛИ и глазами оператора. Конструктивно предлагаемая система представляет собой непрозрачный в оптическом диапазоне экран. Данный экран предполагает непосредственное закрытие только той части исследуемого прибора, в которой будет проходить ЛИ. Части лазерной установки предназначенные для юстировки находятся вне экрана, что позволит регулировать ее работу при проведении испытаний. Визуальный контроль работы лазера будет осуществляться через установленный на данный экран, широкодиагональный монитор и цифровую камеру, установленную под экран и направленную в зону контроля лазерного пучка.

Совместное использование широкоспектральной камеры и монитора позволит с минимальной задержкой оценивать получаемые данные. Широкий спектр действия камеры позволяет проводить юстировку и исследование прибора на разных длинах волн генерации лазера, переводя их в видимое изображение на мониторе. Вспомогательные приборы и устройства, цель которых заключается в определении энергетических характеристик, так же предлагается связать с общим компьютером и выводить показания измерений на монитор. Предложенный комплекс позволит в высокой степени автоматизировать процесс, понизит ошибку оператора, предоставит более детальную информацию о наблюдаемой работе прибора, а также ожидается, что при использовании подобной схемы вероятность несчастного случая стремится к нулю.



Студенты гр. 10404116 Горбань И. Н., Дудинская Ю. В.,  
Иваненко А. Н., Рогов А. О.  
Научный руководитель – Лазаренков А. М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Параметры метеорологических условий определяются совокупностью температуры воздуха, его относительной влажности и скорости движения, интенсивности теплового излучения. Исследования параметров микроклимата рабочих мест литейных цехов показали, что фактические значения интенсивного теплового излучения в большинстве случаев превышают допустимые величины. В таблице 1 приведены результаты исследований параметров микроклимата на рабочих местах литейных цехов в холодный и теплый периоды года. Анализ результатов исследований показывают, что в теплый период года в литейных цехах с любым характером производства температура воздуха соответствует нормативным значениям на всех участках, за исключением рабочих мест плавильно-заливочного участка, где она в среднем выше на 5–9 °С. Кроме того отмечено превышение допустимых температур в среднем на 3–5 °С в термообрубных отделениях (на участках отжига отливок на 3–6 °С и при съеме отливок с эпрон-конвейеров на 6–8 °С) литейных цехов массового производства, на 2–3 °С выше на выбивном участке литейных цехов серийного производства (выбивка средних и крупных отливок, которые остаются в помещении участка и отдают значительное количество тепла).

Аналогичное положение отмечается и в холодный период года, однако значения превышений допустимых температур фиксируются большие (нормативные величины в этот период имеют меньшие абсолютные значения). В тоже время на рабочих местах шихтовых отделений литейных цехов всех характеров производства температура воздуха ниже нормативных значений, что объясняется практически постоянно открытыми въездными воротами, вывозом больших объектов формовочных и шихтовых материалов и отсутствием источников тепловыделений.

Недостаточные температуры воздуха отмечаются и на большинстве участков литейных цехов с серийным и мелкосерийным характером производства, которые расположены у наружных стен помещения (смесеприготовительный, формовочный). Причем на этих участках, как правило, нет источников со значительными тепловыми выделениями. Кроме того, как показали исследования, действующие системы отопления не обеспечивают поддержания требуемых температур в помещениях литейных цехов в холодный период года, так как в начале первой смены температура воздуха фиксировалась ниже нормативной.

Превышение допустимых температур отмечается на участках всех литейных цехов, где имеются источники значительных тепловых излучений. Также следует отметить, что в таблицах приведены средние значения температур и отклонений их от нормативных. В процессе проведения экспериментальных замеров установлены значительно большие значения температур, достигающие 37–42 °С в летний период на рабочих местах плавильщиков и заливщиков. Но указанные температуры имели место только при некоторых технологических операциях (выпуск металла, наполнение ковшей, заливка форм, счистка шлака).

Сравнение скоростей движения воздуха на рабочих местах участков литейных цехов с нормативными величинами также позволило установить ряд закономерностей. В табл. 2 приведены превышения допустимых значений скоростей движения воздуха на рабочих местах участков исследуемых цехов, которые показаны как соответствующие нормам или превышающие их во столько-то раз, так как допустимые величины для работ разной категории тяжести отличны друг от друга.

Таблица 1 – Отклонение значений температуры воздуха на рабочих местах участков литейных цехов от нормативных величин

Участок цеха	Величина отклонения температуры воздуха от допустимых значений, °С					
	теплый период года			холодный период года		
	производство			производство		
	массовое	серийное	мелкосерийное	массовое	серийное	мелкосерийное
Шихтовый	соответствует норме			на 2–5° ниже	на 5–8° ниже	на 4–6° ниже
Смесеприготовительный	соответствует норме			соотв. норме	на 2–4° ниже	на 3–5° ниже
Плавильно-заливочный	на 6–8° выше	на 5–7° выше	на 7–9° выше	на 7–10° выше	на 5–8° выше	на 6–9° выше
Стержневой	соответствует норме			на 2–5° выше	соответствует норме	
Формовочный	соответствует норме			соответствует норме		
Выбивной	соотв. норме	на 2–3° выше		соотв. норме	на 2–4° выше	
Обрубочно-очистной	на 3–5° выше	соответствует норме		на 3–6° выше	на 2–4° выше	на 1–3° выше

Таблица 2 – Превышение допустимых значений скоростей движения воздуха на рабочих местах участков литейных цехов

Участок цеха	Кратность превышения допустимых значений скорости движения воздуха на цеха рабочих местах					
	теплый период года			холодный период года		
	производство			производство		
	массовое	серийное	мелкосерийное	массовое	серийное	мелкосерийное
Шихтовый	2–4	1,5–3	2–3	1,6–2,0	2,0–2,5	1,5–2
Смесеприготовительный	1,1–1,6	1,1–1,4	1,1–1,3	1,1–1,3	1,1–1,4	1,1–1,2
Плавильно-заливочный	1,2–1,4	1,3–1,4	1,6–2,0	1,2–1,3	1,1–1,4	1,5–1,8
Стержневой	1,1–1,3	1,2–1,4	1,3–1,6	соответствует норме		
Формовочный	1,1–1,3	1,2–1,5	1,4–1,7	соответствует норме		1,2–1,4
Выбивной	1,2–1,4	1,4–1,8	1,6–2,0	1,1–1,3	1,3–1,5	1,4–1,6
Обрубочно-очистной	1,3–1,5	1,4–1,6	1,5–2,0	соответствует норме		1,2–1,5

Анализ результатов исследований показал, что в холодный период года на большинстве участков литейных цехов не отмечается значительной подвижности воздуха, когда ворота, двери, светоаэрационные фонари и окна закрыты. Исключением является шихтовый и плавильно-заливочный участки всех цехов независимо от характера производства. Значительные скорости движения воздуха на рабочих местах шихтовых дворов объясняются открытыми или неплотно закрытыми въездными воротами для транспорта и как правило с двух сторон участка, что приводит к сквознякам. На рабочих местах плавильно-заливочных отделений всех литейных цехов также отмечены превышения допустимых скоростей движения воздуха, хотя и меньшие, чем на шихтовых дворах. Однако источником таких скоростей здесь является применение установок воздушного душирования на рабочих местах плавильщиков и заливщиков.

В теплый период года в цехах массового производства в основном картина аналогичная холодному периоду сохраняется. Однако отмечаются большие превышения допустимых скоростей особенно на участках, расположенных у открытых въездных ворот (шихтовый, смесеприготовительный, выбивной и др.).

В литейных цехах серийного и мелкосерийного производства в теплый период отмечаются повышенные скорости движения воздуха на всех участках. Причиной этого является неизолированность участков цеха друг от друга, расположение большинства участков у наружных стен, что при открытых воротах и светоаэрационных проемах приводит к постоянным воздушным потокам, которые и были зафиксированы при проведении исследований.

Исследование влажности воздуха рабочих зон участков цехов показало, что она практически на всех рабочих местах соответствовала нормативным значениям, за исключением рабочих мест на шихтовых дворах литейных цехов, где в холодный период года отмечалось превышение допустимых значений влажности. Такая картина объясняется поступлением холодного влажного воздуха через въездные ворота.

Таким образом параметры микроклимата оказывают значительное влияние на работающих в литейных цехах, степень воздействия которого определяется уровнем механизации и автоматизации, применяемыми технологическими процессами и оборудованием для изготовления стержней, плавки и заливки металла, выбивки литья, приводя к увеличению острых респираторных инфекций и заболеваний верхних дыхательных путей, радикулитам и др.

УДК 629.039

### **Техника безопасности при работе на шлифовально-полировальных (ШП) станках**

Студент гр. 11311113 Володько Е. Э.

Научный руководитель – Автушко Г. Л.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Шлифовально-полировальные станки используются в оптическом производстве для обработки сферических и плоских поверхностей оптических деталей, таких как линзы, призмы, пластинки.

Для начала работы на станке, рабочие получают специальный инструктаж по технике безопасности, эксплуатации, чистке, ремонту станка, инструмента и приспособления, соблюдать простейшие правила безопасности. Люди, работающие за станком должны знать устройство, принцип его действия, а также признаки и причины неисправностей и возможные последствия наравне с влиянием вредных производственных факторов на них, суметь оказать первую (доврачебную) медицинскую помощь при несчастных случаях. Обязательно проверять исправность станка перед запуском.

Во время работы на шлифовально-полировальном станке на персонал могут воздействовать вредные и опасные производственные факторы:

- повышенная запыленность воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень вибрации;
- эмоциональное напряжение.

Для защиты от воздействия вредных факторов персоналу выдаются средства индивидуальной защиты (СИЗ), например, хлопчатобумажные халаты, защитные очки, напальчники.

Рабочим запрещается курить или пользоваться открытым огнем, проводить работы, связанные с применением открытого огня или под напряжением, курить в специальных местах.

Персонал обязан знать требования инструкции техники безопасности, нарушение этих правил приведет к дисциплинарной или иной ответственности рабочего.

Перед началом работы проверяют исправность станка в течение на холостом ходу 2-х минут, наличие заземления, надежность крепления шлифовального круга.

Шлифовальные круги должны храниться в сухом, нормально отапливаемом помещении, оберегаться от ударов, в использование допускаются только круги, прошедшие соответствующие испытания. После установки на шпинделе станка, шлифовальный круг должен быть подвергнут вращению в холостую при рабочей скорости в течение 2-х минут.

Во избежание несчастных случаев, рабочим запрещается на работающем станке производить регулировку механизмов, проверять натяжение ремней, оставлять посторонние предметы (ключи, детали). Они должны периодически проверять правильность работы блокировочных устройств. Для обеспечения безаварийной работы станка необходимо, чтобы напряжение питающей сети было в пределах 0,95–1,1 номинального значения, а отклонение частоты от номинального значения в пределах 0,1 Гц, а также периодически (несколько раз в год) проверять состояние механизмов, все детали электроаппаратуры очищать от пыли, грязи, ржавчины, нагара.

Для сохранения надежной и долговечной работы шлифовально-полировального станка, необходимо ежедневно, по окончании работы, проводить влажную уборку рабочего места и, особенно, зоны обработки, не допускать нарастания и затвердевания порошка на шпинделях и уплотнениях, так как при запуске это увеличивает нагрузку на привод и приводит к износу уплотнительных узлов.

Обязательно останавливать работу станка при обнаружении дефектов оборудования (шлифовальных кругов), представляющих опасность для жизни персонала и целостности оборудования. Незамедлительно обращаться в медпункт при получении травмы.

УДК 620.9:658.345(075.8)

#### **Безопасность при эксплуатации тепловых сетей и тепловых пунктов**

Студентов гр. 10606113 Шандроха А. Р.  
Научный руководитель – Филянович Л. П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Требования безопасной эксплуатации тепловых сетей и тепловых пунктов очень разнообразны и захватывают многие вопросы: как вводить их в эксплуатацию, как работать с ними на поверхности, как проводить работы в тепловых пунктах закрытого типа и как проводятся работы с тепловыми пунктами и тепловыми сетями под землей.

Ввод в эксплуатацию производится следующим образом:

При обслуживании подземных теплопроводов, камер и каналов учитываются следующие положения, установленные в типовой инструкция по охране труда при выполнении работ внутри колодцев, цистерн и других емкостных сооружений: общие требования по охране труда; требование по охране труда перед началом работы; требования по охране труда во время работы; проверка пригодности предохранительных поясов (страховочных привязей) и страховочных канатов (веревки) к ним; требования по охране труда по окончании работы; требования по охране труда в аварийных ситуациях.

Работы, связанные с пуском водяных или паровых тепловых сетей, а также испытания сети или отдельных ее элементов и конструкций должны производиться по специальной программе, утвержденной техническим руководителем организации и согласованной энергоснабжающей организацией. В период пуска должно вестись наблюдение за наполнением и прогревом трубопроводов, состоянием запорной арматуры, сальниковых компенсаторов, дренажных устройств. Последовательность и скорость проведения пусковых операций должны быть такими, чтобы исключить возможность значительных тепловых деформаций трубопроводов. В случае повреждения пускаемых трубопроводов или связанного с ними оборудования должны быть приняты меры к немедленной ликвидации этого повреждения. Трубопроводы тепловых сетей должны заполняться водой температурой не выше 70 °С при отключенных системах теплоснабжения. Персонал, наблюдающий за воздушниками в тепловой камере при заполнении сети, должен находиться в стороне от

фланцевых соединений. Воздушная арматура должна иметь отводы, направленные в сторону приямка. Открывать воздушники при повторных продувках после заполнения тепловой сети следует с особой осторожностью, не дожидаясь большого сброса воды. Прогрев и пуск паропроводов должны производиться в соответствии с нормативными документами или по специальной программе. В случае возникновения гидравлических ударов прогрев необходимо прекратить до их исчезновения и принять меры к устранению причин, вызвавших эти удары. Перед прогревом паропроводов при пуске тепловой сети дополнительно должны быть отключены конденсационные горшки. Продувку паропроводов следует осуществлять по специальным программам, утвержденным руководителем монтажной, ремонтной и пусконаладочной организации (подразделения), согласованным с руководителем организации и в необходимых случаях с энергоснабжающей организацией. Для продувки паропроводов временные продувочные трубопроводы должны быть проложены свободно, с учетом тепловых удлинений, без передачи нерасчетных усилий на перекрытия и другие конструкции и не касаться деревянных конструкций во избежание их возгорания. Персонал, принимающий участие в продувке паропроводов, должен наблюдать за состоянием паропровода, его подвижных опор и подвесок.

Территория в месте выхода выхлопной трубы временного продувочного паропровода должна быть ограждена и по ее границам должны быть выставлены наблюдающие. Персонал, участвующий в продувке, должен быть обеспечен противошумными наушниками или вкладышами, защитными очками. При гидропневматической промывке тепловых сетей проводить испытание тепловой сети на расчетное давление системы теплоснабжения запрещается. Производство ремонтных и других работ на участках тепловой сети во время их гидропневматической промывки, а также нахождение вблизи промываемых трубопроводов лиц, не участвующих непосредственно в промывке, запрещаются. Места сброса водовоздушной смеси из промываемых трубопроводов следует оградить и не допускать приближения к ним посторонних лиц. Трубопроводы, из которых сбрасывается водовоздушная смесь, на всем протяжении должны быть надежно закреплены. Пребывание людей в камерах и проходных каналах промываемого участка тепловой сети в момент подачи воздуха в трубопроводы запрещается.

При испытании на расчетную температуру должны быть отключены от тепловой сети системы отопления детских и лечебных учреждений, системы отопления с непосредственным присоединением к тепловым сетям, открытые системы горячего водоснабжения, калориферные установки, а также неавтоматизированные закрытые системы горячего водоснабжения. Во время испытания тепловой сети на расчетное давление тепловые пункты и системы теплоснабжения должны быть отключены от испытываемой сети. При нарушении плотности запорной арматуры на тепловых пунктах их следует отключать задвижками, находящимися в камерах присоединения их к тепловой сети, или заглушками, устанавливаемыми на тепловых пунктах. Во время испытаний тепловой сети на расчетные параметры теплоносителя должно быть организовано постоянное дежурство персонала потребителей на тепловых пунктах и в системах теплоснабжения. Кроме того, на время испытаний тепловой сети на расчетную температуру необходимо организовать наблюдение за всей ее трассой, для чего по трассе по указанию руководителя испытаний, исходя из местных условий, следует расставить наблюдателей из персонала организации, обслуживающей тепловую сеть, и персонала потребителей. Особое внимание должно быть уделено участкам сети в местах движения пешеходов и транспорта, участкам бесканальной прокладки, участкам, на которых ранее имелись случаи коррозионного разрушения труб, и т. п. При испытании участка тепловой сети потребителя совместно с испытаниями, проводимыми энергоснабжающими организациями, владелец участка тепловой сети обязан письменно предупредить персонал и владельцев зданий, расположенных в зоне испытываемого участка, о времени проведения испытаний и необходимости принятия мер безопасности.

При наличии вводов тепловой сети в помещения, где возможно нахождение людей (тепловые узлы, подвалы, полуподвалы, цокольные этажи), владелец здания обязан выполнить уплотнение входа трубопроводов (герметизацию ввода) для исключения возможности поступления горячей воды в данное помещение. Одновременное проведение испытаний на расчетное давление и расчетную температуру запрещается.

Что касается работы под землёй или в трубопроводах, то здесь есть опасность задохнуться. Спуск в тепловые камеры должен осуществляться по стационарным металлическим лестницам и скобам-ступеням, расположенным непосредственно под люками. Обходы (объезды) теплотрассы без спуска в подземные сооружения должны осуществляться группой, состоящей не менее чем из двух человек; при спуске в камеру или выполнении работы в ней бригада должна состоять не менее чем из трех человек. При обходе (объезде) теплотрассы персонал кроме слесарных инструментов должен иметь ключ для открывания люка камеры, крючок для открывания камер, ограждения для установки их у открытых камер и на проезжей части, осветительные средства (аккумуляторные фонари, ручные светильники напряжением не выше 6 В во взрывозащищенном исполнении), а также газоанализатор. При обнаружении дефектов оборудования, представляющих опасность для людей и целостности оборудования, персонал должен принять меры к немедленному его отключению. При работе в трубопроводе должны быть обеспечены условия работы и отсутствие газа в самом трубопроводе и камерах тепловой сети. Имеющиеся на участке ответвления, перемычки и соединения с другими трубопроводами должны быть надежно отключены.

УДК 331.45:658.345

#### **Требования безопасности при погрузочно-разгрузочных работах, выполняемым вручную**

Студент гр. 11402113 Манько Д. Н.  
Научный руководитель – Фасевич Ю. Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Рациональная организация складского хозяйства имеет большое значение для ускорения и удешевления продвижения материальных ценностей внутри предприятия для повышения производительности труда работников, лучшего использования оборудования и помещений складов, для мобилизации излишних запасов. В рыночных условиях перед складскими подразделениями, являющимися важными составными частями производственной инфраструктуры, ставится задача не только хранения материалов, но и всемерного ускорения их оборота с одновременным сокращением непроизводительных расходов. Указанные проблемы особенно актуальны для машиностроительных предприятий и фирм, их внутризаводских инфраструктурных подразделений. Это объясняется высокой материалоемкостью продукции этой отрасли, технологическими особенностями ее предприятий, выполняющих большой относительно других отраслей объем складских и погрузочно-разгрузочных операций. По ориентировочным подсчетам, в настоящее время, на погрузочно-разгрузочных, транспортных, складских работах и вспомогательных операциях основного производства в машиностроительной промышленности страны занято более 45 % всей численности промышленно-производственного персонала, из них более 25 % на транспортно-складских работах. Законодательно закрепленные нормы предельно допустимых физических нагрузок на одного человека, выражены в массе перемещаемого груза вручную (в кг) или в единицах внешней механической работы за смену (в кг/м) регламентируются [1]. Постоянный перенос тяжестей вручную сверх установленных норм может привести к тяжелым заболеваниям и травматизму. Рабочие, занятые на погрузочно-разгрузочных работах, должны проходить предварительный и периодические осмотры. На работах, связанных с переноской тяжестей, соблюдают следующие требования: подростки до 16

лет не допускаются к работам по переноске тяжестей; предельная норма переноски тяжестей по ровной горизонтальной поверхности на каждого человека не должна превышать для подростков женского пола от 16 до 18 лет – 10 кг, старше 18 лет – 15 кг, при постоянном перемещении – 10 кг, при подъеме на высоту более 1,5 м – 10 кг, для подростков мужского пола от 16 до 18 лет – 16 кг, старше 18 лет – 50 кг.

Грузчикам-мужчинам разрешается переносить груз массой до 80 кг только с помощью приспособлений; при массе 50 кг и выше подъем его на спину и выше производится с помощью других рабочих. При расстоянии свыше 15 м груз массой 50 кг и более перемещают при помощи механизмов. Груз массой более 80 кг независимо от расстояния перемещают только с помощью механизмов и специальных приспособлений, допуская к обслуживанию их опытных и специально обученных рабочих. Ручную погрузку и разгрузку выполняют обычно при небольшом объеме работ. Место производства работ должно быть достаточно освещено и освобождено от посторонних предметов, нельзя производить работы на скользком масляном полу. Люки, отверстия и ямы на рабочем пути необходимо надежно ограждать.

При переносе тяжестей в таре убеждаются в ее прочности: осматривают тару, а затем приподнимают груз на высоту 10–20 см, особенно тщательно надо осматривать грузы, перемещаемые в ящиках, забивать торчащие гвозди и концы железной обвязки. При переносе ящичных грузов на спине необходимо пользоваться специальными наспинниками. Переноска грузов на голове во избежание травмирования запрещена.

Длинномерный груз переносят несколько рабочих, находясь с одной стороны от него. Поднимать и сбрасывать груз разрешается только по команде старшего.

Груженные бочки, цилиндры, валы перемещают перекатыванием, толкая груз от себя, если груз перекатывают по наклонной, то рабочие располагаются сбоку.

В момент перемещения груза по наклонной плоскости необходимо предупреждать его самопроизвольное перемещение. Для этого груз обвязывают канатом, один конец которого крепят неподвижно, а другой за устойчивую опору так, чтобы по мере передвижения канат можно было отпустить или подтянуть. Во избежание обрывов канатов груз передвигают равномерно без рывков.

При погрузке и разгрузке пылевидных материалов (известь, цемент и т. д.) рабочим необходимо надевать респиратор, очки, рукавицы и специальную противопыльную одежду.

Таблица 1 – Предельные нормы подъема и перемещения тяжестей вручную

Возраст, пол	Подъем и перемещение груза вручную в течение смены		Суммарная масса груза*, поднимаемого и перемещаемого в течение смены	
	постоянно, более 2 раз в час	при чередовании с другой работой, до 2 раз в час	при подъеме с рабочей поверхности	при подъеме с пола
Женский пол				
20 лет	3 кг	4 кг	180 кг	90 кг
23 лет	4 кг	5 кг	200 кг	100 кг
26 лет	5 кг	7 кг	400 кг	200 кг
30 лет	6 кг	8 кг	500 кг	250 кг
Мужской пол				
20 лет	6 кг	10 кг	400 кг	200 кг
23 лет	7 кг	12 кг	500 кг	250 кг
26 лет	10 кг	16 кг	900 кг	450 кг
30 лет	12 кг	18 кг	1400 кг	700 кг

\*С учетом массы тары и упаковки

Ручная укладка груза в штабеля допускается на высоту не более 2 м. Поднимать или опускать вручную груз массой 60–80 кг должны двое или более грузчиков. Для обеспечения укладки грузов при взвешивании площадка весов должна находиться на высоте 0,7–0,8 м над уровнем пола. Перемещения грузов массой более 50 кг, а также их подъем на высоту более 3 м должны производиться механизированным способом.

В складах, расположенных выше первого этажа, а также в подвальных и полуподвальных помещениях, имеющих лестницы длиной более одного марша или высотой более 1,5 м, должны устраиваться пандусы, гравитационные спуски, лифты, валковые мешкоподъемники и другие устройства для спуска или подъема грузов.

В складах сырья и готовой продукции между штабелями устраивают проходы не менее 1,25 м, а между штабелем и стеной помещений 0,6–0,7 м. При использовании ручных тележек и погрузчиков ширина проходов между штабелями должна быть не менее максимальной ширины грузового транспорта плюс 0,8 м, а при двустороннем движении – не менее двойной максимальной ширины груженого транспорта плюс 1,5 м.

В камерах непосредственно за грузовой дверью следует оставлять свободную от груза площадку размером 3,5×3,5 м для маневрирования напольного электротранспорта.

#### **Список используемых источников**

1. Санитарные нормы и правила «Гигиеническая классификация условий труда», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 №211.

УДК 331.45

#### **Требования по технике безопасности, предъявляемые к магнитно-резонансной томографии**

Студенты гр. 11307113 Дроздова В. С., Емельянова А. С.  
Научный руководитель – Автушко Г.Л.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Магнитно-резонансная томография в основном применяется для диагностики изменений в мягких тканях. Кроме того, этот метод исследования позволяет визуализировать головной и спинной мозг, а также другие внутренние органы с высоким качеством, недоступным для рентгенологического исследования, ультразвука или компьютерной томографии. МРТ играет важную роль в раннем выявлении, диагностике и лечении распространенных заболеваний и состояний, таких как рак, неврологические расстройства или повреждения опорно-двигательного аппарата.

При выполнении работ с МРТ на медицинских работников возможно действие следующих опасных и вредных производственных факторов:

- биологический фактор при обслуживании больных;
- лазерное излучение;
- сильные магнитные поля;
- электромагнитные поля;
- радиочастотные и тепловые воздействия;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

Поэтому при работе на магнитно-резонансном томографе необходимо следовать инструкции по охране труда, включающей в себя 5 разделов: 1) общие требования по охране труда; 2) требования по охране труда перед началом работы; 3) требования по охране труда при выполнении работы; 4) требования по охране труда по окончании работы; 5) требования по охране труда в аварийных ситуациях.

Разработка, организация и проведение диагностики, связанной с эксплуатацией МРТ в организациях должна осуществляться в соответствии с требованиями, установленными в санитарных правилах и нормах 2.2.4.13-2-2006 «Лазерное излучение и гигиенические требования при эксплуатации лазерных изделий», утвержденных постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 17 февраля 2006 г. №16, инструкциями по охране труда, правилами по охране труда для организаций здравоохранения и других



НПА, ТНПА. К работе на МРТ допускаются лица не моложе 18 лет. При работе на МРТ работники должны быть обучены безопасным методам и приемам выполнения работ, проведен им вводный инструктаж по охране труда и инструктаж по охране труда на рабочем месте, пройти стажировку на рабочем месте и проверку знаний по охране труда. К самостоятельной работе на магнитных резонансных томографах (далее – МРТ) допускаются лица, имеющие соответствующее медицинское образование и подготовку по специальности, обладающие теоретическими знаниями и профессиональными навыками в соответствии с требованиями действующих нормативных правовых актов, не имеющие противопоказаний к работе по данной специальности по состоянию здоровья, прошедшие в установленном порядке предварительный (при поступлении на работу) и периодические (во время трудовой деятельности) медицинские осмотры. Медицинский персонал при работе с МРТ с учетом воздействующих на него опасных и вредных производственных факторов должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты (далее – СИЗ), в соответствии с Типовыми отраслевыми нормами бесплатной выдачи средств индивидуальной защиты, утвержденными Постановлением Министерства труда и социальной защиты от 01.09.2008 г. за №129.

Перед отпуском процедур медицинская сестра должна свериться с картой назначения больного, предупредить пациента о возможных ощущениях, пояснить меры безопасности. Работу производить в строгой последовательности согласно инструкции МРТ по эксплуатации (полностью запрещено проходить магнитно-резонансную томографию при наличии установленного кардиостимулятора, различных металлических имплантатов и металлических осколков в теле).

В кабинет МРТ запрещено вносить железные, стальные и другие ферромагнитные материалы (ножницы, ручки, пинцеты, скальпели, кольца и другое). Из кабинета МРТ должны быть удалены все опасные предметы.

В кабинетах МРТ должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата:

- температура воздуха в помещении кабинета МРТ для работы (с магнитом) должна находиться в диапазоне от 22 до 26 °С при относительной влажности 40–60 %;
- уровень шума на рабочих местах не должен превышать 50 дБа;
- регулировка МРТ должна проводиться согласно плану-графику сервисного обслуживания.

Вблизи установки МРТ не допускается использовать сотовые телефоны, радиопередатчики, мобильные передатчики и другое.

Запрещается принимать пищу на рабочем месте, а также хранить пищевые продукты и домашнюю одежду.

По окончании работы работающий на МРТ должен:

– отключить МРТ через питающий кабель от сети и перевести в режим требований инструкций по эксплуатации;

– убрать инструменты, приспособления и материалы в места их хранения;

– привести в порядок рабочее место.

Работник на МРТ должен прекратить выполнение работ и обесточить аппараты:

– при обнаружении обрыва проводов питания, неисправности заземления и других повреждениях аппаратов;

– в случае короткого замыкания электрооборудования и его возгорания;

– при возникновении пожара или несчастного случая.

Работники, не выполняющие требования настоящей инструкции, привлекаются к ответственности согласно законодательству.

Студент гр.106423 Ковалев В. М.  
Научный руководитель – Филянович Л. П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Одним из важных элементов системы теплоснабжения являются грязевики. На источнике, в котельной или на ТЭЦ грязевики, как правило установлены на обратной магистрали перед сетевыми насосами. На тепловых их два: на подающей магистрали для защиты систем отопления и на обратной магистрали для защиты систем теплоснабжения. Грязевик прост в исполнении и эксплуатации, надежен, неприхотлив, десятилетиями служит верой и правдой, подчищая нашу бесхозяйственность и низкую техническую культуру.

Принцип действия грязевиков основан на резком снижении скорости движения теплоносителя. В некоторых конструкциях грязевиков скорость снижается до 0,03 м/с, в результате чего посторонние частицы, случайно попавшие в трубопровод, и находившиеся в воде примеси оседают на дно грязевика. Необходимо обеспечить чистку и промывку грязевиков. У грязевика большой запас прочности.

Для получения точных замеров используются манометры, выставленные на одном уровне. Термометр будет показывать точную температуру теплоносителя, только если гильза для него врезана на 50 % диаметра трубопровода, прочищена и залита машинным маслом.

При эксплуатации внутренних систем теплоснабжения промышленных объектов тепловая нагрузка крупных промышленных объектов включает отопительно-вентиляционную составляющую, доля которой в общем объеме теплоснабжения предприятия значительна.

При эксплуатации приточных, отопительно-вентиляционных систем в дневное время, особенно ночью, установки работают в режиме рециркуляции, то есть с выключенными вентиляторами, теплосъема нет, температура обратной воды аналогична подающей. В тепловой источник (котельную, ТЭЦ) по обратному трубопроводу приходит теплоноситель с сильно завышенной температурой. Хорошо, если, у предприятия своя котельная. ТЭЦ же нещадно штрафует потребителей тепловой энергии за превышение температуры в обратном трубопроводе.

Влияние приточных отопительно-вентиляционных систем на температуру обратного трубопровода на предприятиях, поскольку их тепловая нагрузка основная. При эксплуатации рассматриваются два метода для борьбы с этим явлением. Первый – монтаж на всех установках без исключения так называемых отсекателей. Это простой прибор, который при выключенном вентиляторе существенно сокращает расход теплоносителя через установку до минимума, а при включении вентилятора требуемый расход теплоносителя моментально восстанавливается. Приборы отечественные, на рынке более 15 лет, недорогие, хорошо себя зарекомендовали, надежны, просты в монтаже и эксплуатации.

Второй вариант считается беззатратным, хотя и требует небольших переврезок на гребенке и ежедневного внимания службы эксплуатации. Применяется с советских времен, когда «отсекателей» еще не было. Особенно подходит он для предприятий российской глубинки, где на поддержание теплоснабжения отпускается недостаточно средств или вообще не отпускается. Такой вариант очень прост: теплоноситель, заходя в цех на гребенку, сразу весь поступает на ветви с калориферами и отопительно-вентиляционными агрегатами, при этом ветви на теплоснабжение отопительно-вентиляционных систем цеха и отопления на подающем трубопроводе разделены между собой задвижкой, которая закрыта. Возвращаясь от приточных систем, теплоноситель «уходит» не в обратную магистраль тепловой сети (поскольку задвижка на обратном трубопроводе от притоков закрыта), а в подачу ветвей отопления цеха через переемычку. Пройдя системы отопления, теплоноситель возвращается уже в обратную магистраль тепловой сети. Если надо вернуть

систему к обычной схеме, это очень легко делается. Расход теплоносителя существенно сокращается. Для экономичного теплоснабжения цеха в ночное время (когда нет третьей смены) – перспективная схема. Утром эксплуатационный персонал за несколько минут возвращает теплоснабжение по обычной схеме, если это требуется. Схема внедрялась много раз, хорошо себя зарекомендовала, единственное – надо следить за переключениями. Эффективнее всего использовать данную схему на ближних к котельной цехах.

УДК 331.451

### **Обеспечение работников предприятия спецпитанием за вредность на производстве**

Студентка гр. 10503214 Максимович А. А.  
Научный руководитель – Вершеня Е. Г.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Одним из наиболее важных вопросов на промышленных предприятиях, в том числе и в некоторых коммерческих организациях, работники которых подвергаются ежедневно воздействию вредных факторов, является вопрос обеспечения работников молоком или другими равноценными пищевыми продуктами за вредность. По данным Минтруда Республики Беларусь каждый четвертый работник подвергается воздействию вредных производственных факторов. Это связано с тем, что преобладающим сектором экономики в Республике Беларусь является промышленность, доля в структуре которого составляет до 30 % ВВП страны, где регистрируются высокие уровни профессиональной заболеваемости. Вредные и тяжелые условия труда на предприятии влияют на здоровье самого человека и, как следствие, на его работоспособность.

Само понятие вредные и тяжелые условия труда – условия и характер труда, при которых осуществляется неблагоприятное воздействие вредных и опасных производственных факторов, вызывающие стойкие функциональные изменения в организме работающих и характеризующиеся повышенной опасностью развития заболеваний. В зависимости от степени вредности и тяжести на конкретном рабочем месте, должна быть проведена аттестация рабочих мест по условиям труда, одной из главных задач которой является: доплаты, льготы и компенсации за работу в неблагоприятных условиях труда. В качестве компенсации работники организации получают вознаграждения и преимущества за работу в условиях, не гарантирующих здоровые и безопасные условия труда, в число которых входит бесплатное обеспечение лечебно-профилактическим питанием, молоком или равноценными пищевыми продуктами.

Равным образом, бесплатная выдача работникам молока осуществляется согласно постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 27 февраля 2002 г. № 260 «О бесплатном обеспечении работников молоком или равноценными пищевыми продуктами при работе с вредными веществами». Такой перечень вредных веществ, при работе с которыми в профилактических целях показано употребление молока или равноценных пищевых продуктов утвержден в постановлении Министерства труда и социальной защиты и Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 19.03.2002 г. № 34/12.

Бесплатная выдача работникам молока осуществляется, главным образом, в профилактических целях. Молоко выдается работнику по 0,5 литра за рабочий день (смену), независимо от его продолжительности, в случае фактической занятости на работах, при которых в профилактических целях необходима выдача молока, не менее половины продолжительности рабочего дня (смены), установленной законодательством. Выдача и употребление молока должны осуществляться в буфетах, столовых или в специально оборудованных в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями помещениях.

Молоко и лечебно-профилактическое питание выдается как по ведомости, в которой работником по каждому факту получения ставится подпись, так и талонам. В случае применения талонов составляется ведомость на их выдачу.

Перечень вредных факторов и соответствующие продукты питания представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Вредные факторы и продукты питания, которые положены за работу с ними

Вредный производственный фактор	Продукт питания
Контакт с неорганическими соединениями цветных металлов (кроме соединений алюминия, кальция и магния)	Молоко и 2 г пектина (в виде содержащих его продуктов)
Постоянный контакт с неорганическими соединениями цветных металлов (кроме соединений алюминия, кальция и магния)	Кисломолочные продукты или продукты для диетического (лечебного и профилактического) питания при вредных условиях труда
Производство или переработка антибиотиков	Кисломолочные продукты, обогащенные пробиотиками (бифидобактерии, молочнокислые бактерии) или приготовленный на основе цельного молока колибактерин

Кисломолочные продукты необходимо выдавать в течение рабочего дня, а продукты, обогащенные пектином, – перед началом работы. Однако не допускается: замена молока товарами и продуктами (кроме равноценных молоку пищевых продуктов) и выдача молока за одну или несколько смен вперед, а также за прошедшие смены и отпуск на дом.

С согласия работника работодатель может заменять молоко равноценными пищевыми продуктами (таблица 2).

Таблица 2 – Продукты, которыми можно заменить молоко

Наименование продукта	Норма выдачи за смену
Кисломолочные жидкие продукты, в том числе обогащенные, с содержанием жира до 3,5 % (кефир разных сортов, простокваша, ряженка), йогурты с содержанием жира до 2,5 %	500 г
Творог не более 9 % жирности	100 г
Сыр не более 24 % жирности	60 г

Нельзя заменять молоко сметаной, сливочным маслом, другими продуктами (кроме тех, что указаны в таблице 2). Продукты, обогащенные пектином (2 г), могут быть заменены натуральными фруктовыми и(или) овощными соками с мякотью в количестве 300 мл.

Выдача молока осуществляется в соответствии с фиксированным декретом от 1918 года, где была ратифицирована выдача молока голодающим рабочим, что повлекло за собой дальнейшее ее распространение на многих промышленных предприятиях. На законодательном уровне выдача молока была закреплена в статье 142 от 1922 г. «В производствах, связанных с опасностью профессионального отравления... жиров или нейтрализующих веществ».

Молоко содержит все необходимые для человеческого организма легкоусвояемые организмом вещества: белки, жиры и углеводы – оно также содержит все необходимые витамины, ферменты, гормоны и иммунные тела, помогающие организму противостоять различным заболеваниям. Молоко является незаменимым элементом профилактического питания, повышающим сопротивляемость организма к неблагоприятным факторам производственной среды. Именно поэтому оно выдается лицам, работающим в контакте с вредными факторами и токсическими веществами, вызывающими нарушение функции печени, белкового и минерального обмена.

Студент гр. 10503214 Брига Д. Г.  
Научный руководитель – Вершеня Е. Г.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Сегодня работа в офисе не очень полезно сказывается на работе и здоровье сотрудников. Сотрудники не только прокладывают себе карьерную лестницу, но и зарабатывают множество профессиональных заболеваний. К таким заболеваниям мы можем отнести: болезни костно-мышечной системы и опорно-двигательного аппарата (болезнь, возникающая, когда человек в основном сидит); синдром хронической усталости (заболевание возникает во время постоянного напряжения. Узнать синдром возможно по четырем критериям: головная боль, нарушение сна, снижение эффективности, постоянная раздражительность. Лечение синдрома является отдых); синдром сухого глаза (заболеванию, обычно подвержены те, кто проводит много времени перед монитором компьютера. Синдром является результатом того, что глаз долгое время находится в состоянии стресса и это сопровождается острыми болями и жжением. Остановить это можно путем регулярного мигания, периодическим отдыхом от компьютера, также помогает использование препаратов, которые заменяют слезы); кистевой туннельный синдром (болезнь поражает нервы и запястье. Это «любимая» болезнь (после синдрома сухого глаза) тех, чья работа связана с компьютерами. Это заболевание проявляется как онемение рук, покалывание, боль распространяется на ладони. Прогрессирование синдрома сопровождается ослаблением мышц рук. В качестве профилактики необходимо регулярно делать упражнения легкие для рук, а также при работе за компьютером, использовать специально разработанные подушки).

Также существует ряд правил, которые следует соблюдать в офисе, чтобы создать рабочее место, удовлетворяющее всем правилам и нормам:

1. Цветы. Растения не только приносят уют в офис, но и помогают избавиться от стресса. Следует выбирать растения, за которыми не нужен особый уход. Также перед покупкой цветущих растений спросите ваших коллег, нет ли у них аллергии.

2. Естественное освещение. Естественное освещение влияет на продуктивность работы, способствует выработке витамина D и уменьшает нагрузку на глаза. Поэтому лучший офис – это офис с большими окнами или террасой.

3. Офисная еда. В каждом офисе есть небольшая кухня, в которой есть кофе, чай, печенье, чипсы. Было бы неплохо заменить последние продукты на корзины с фруктами и овощами, молочные и кисломолочные продукты также смогут поддерживать высокий уровень производительности, орехи и сухофрукты тоже приветствуются.

4. Перерывы. Делайте перерывы по 5–10 минут, встаньте из-за компьютера и дайте отдохнуть своим глазам. Ваш мозг также сможет переключиться с текущих задач и передохнуть.

5. Стоянка для велосипеда или самоката. В последнее время все больше людей ездят на работу на велосипеде и самокате. Это заменяет и физические нагрузки, и утреннюю зарядку, что очень полезно.

Лучшим офисом для работы признан офис компании «Google». Здесь все создано для лучшей работы. Работу в компании можно назвать работой мечты. Так как офисов по миру очень много, одинаковых офисов вы не найдете, каждый офис индивидуален. Например, офис, который находится в Нью-Йорке, выполнен в стиле игры «Pac-man». Так как офис просторный, в нем есть самокаты, на которых могут кататься сотрудники компании. Если вы любитель баскетбола или футбола, вы можете поиграть, не выходя из офиса. Также тут существует массажный кабинет. В офисе несколько небольших кухонь, они все в пределах пятиминутной доступности от рабочего места. Много всяких сэндвичей,

чтобы даже тот, кто завален работой, мог встать, быстренько чем-нибудь перекусить и вернуться к делам. В «Google» давно заботятся о здоровье сотрудников и стараются всячески мотивировать людей вести здоровый образ жизни. Когда-то, давным-давно, в офисе в Калифорнии стоял автомат, который продавал вредную еду. Цена была установлена по количеству калорий. 200 калорий – 2 доллара. Чем калорийнее была еда, тем дороже. Сейчас автомата нет, так как вся еда бесплатна. В офисе «Google» есть любые места для работы, которые только можно было придумать. Хочешь – работай на крыше под открытым небом. Компания совершенно ни в чем не ограничивает своих сотрудников. Хочешь работать дома? Работай. Самое главное, чтобы выполнялись поставленные задачи. И еще: за сотрудниками нет никакого особого контроля. Работа командная, и тут важно не подводить команду. Это самый главный контроль и самая эффективная мотивация.

Надеюсь, что в скором времени все офисы в мире будут такими же, как офисы компании «Google», в которых будет приятно работать, а рабочая обстановка не будет вредить здоровью, а наоборот его улучшать.

УДК 658.382.3:681.7

### **Влияние шума на работающих в литейных цехах**

Студенты гр. 10404116 Макаренко Д. В., Новицкий А. А., Телешова Е. В.  
Научный руководитель – Лазаренков А. М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Одним из вредных производственных факторов, определяющих условия труда в литейных цехах и неблагоприятно воздействующих на работающих, является шум, который при длительном воздействии на организм человека может привести к патологическим изменениям, а затем и профессиональному заболеванию – невриту слухового органа.

Результаты исследований шума литейного оборудования показали, что параметры шума основных видов оборудования смесеприготовительных, стержневых, формовочных, плавильно-заливочных, выбивных и обрубочно-очистных участков превышают допустимые значения. Наибольшие превышения допустимого уровня отмечаются на рабочих местах у стержневых и формовочных встряхивающих машин (на 10–21 дБА), у выбивных решеток (на 14–24 дБА), у обрубочно-очистного оборудования (на 16–27 дБА). Шум, создаваемый основными литейными машинами, является широкополосным, звуковое поле неоднородно в связи с наличием источников шума, различных по уровню акустической мощности и характеру спектра. Шум, создаваемый оборудованием с ударным режимом работы, непостоянный, с максимальным уровнем звуковой мощности в области средних и высоких частот. Это говорит о значительном воздействии шума на формовщиков, выбивальщиков форм, обрубщиков и чистильщиков литья. Степень влияния шума на работающих определяется и характером производства литейных цехов. Анализ результатов исследований позволил выявить некоторые особенности распределения уровней шума в зависимости от характера производства.

В литейных цехах массового производства у оборудования создаются значительные шумовые зоны, охватывающие практически все места плавильно-заливочных, формовочных, выбивных и обрубочно-очистных участков и которые наблюдаются практически в течение всей рабочей смены. Особенности литейных цехов серийного производства является то, что несмотря на большое число технологических процессов, меньший уровень автоматизации и механизации этих процессов позволяет выбрать более рациональное и, как правило, изолированное расположение оборудования, создающего повышенные уровни шума. А это в свою очередь приводит к повышенным шумам на отдельных участках или зонах, концентрирующихся непосредственно у шумного оборудования, в меньшей

степени воздействуя на других работников этих участков. Кроме того, следует отметить, что в этих цехах работа оборудования происходит циклично (т. е. не постоянно, как в литейных цехах массового производства) и эквивалентные уровни шума будут иметь меньшие значения. Так в цехе среднего и крупного литья шум встряхивающих машин наблюдается только в первую смену и в течение примерно 1,5 часов во время изготовления необходимого количества полуформ. Выбивные решетки работают в третью смену, когда происходит только выбивка отливок из форм.

На основании проведенных исследований сделан вывод о том, что шум оказывает влияние на работающих в литейных цехах, степень воздействия которого определяется применяемыми технологическими процессами и оборудованием различных участков цехов, а также характером производства. В цехах массового производства наибольшее число профессиональных заболеваний связано с воздействием на работающих чрезмерного шума от используемого литейного оборудования, более высоким уровнем механизации и автоматизации и более продолжительным воздействием. Наиболее высокая заболеваемость невритом слухового органа приходится на профессии обрубщиков, формовщиков, стерженщиков, плавильщиков и чистильщиков литья. Группа ремонтников также имеет наиболее высокий коэффициент заболеваемости, так как им приходится непосредственно контактировать с шумным оборудованием.

УДК 537.8.029

### **Опасные и вредные производственные факторы при эксплуатации радаров**

Студент гр. 11305313 Казанский В. Д.  
Научный руководитель – Науменко А. М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

С начала 90-х годов впервые появились лазерные дальнометры и измерители скорости, основанных на отражения узконаправленного луча лазера от препятствия.

Скорость вычислялась по простым алгоритмам, путем подачи несколько коротких импульсов через строго определенный промежуток времени измеряя расстояния до цели от каждого отражения этого импульса. В итоге получалась некая средняя составляющая, которая и выводилась на экран. Принцип прост и не изменился с тех пор и до сегодняшних дней, но с каждым новым витком эволюции таких дальнометров менялась частота импульсов и длина луча лазера. Почти все современные радар-детекторы встроены сенсоры для приема лазерного диапазона. Принимаемая длина волны которых колеблется от 800 нм до 1100 нм.

Имеются так же недостатки, присущие приборам, используемых лазерный диапазон – они не любят дисперсионных препятствий (осадки, туман и т. д.), вследствие чего данные приборы используются только в сухую погоду. Наличие приема данного диапазона важно в большинстве своем лишь в мегаполисах, где сотрудники ГИБДД имеют дорогую технику для отслеживания скоростного режима.

В конце 90-х годов прошлого века сменилась эпоха постоянно действующих радаров X, K и Ka диапазонов на более быстрые и неуловимые короткоимпульсные радары.

Данные устройства имеют импульсную форму определения скорости – небольшой очередью модулированных сверхкоротких импульсов (короткоскважных) с короткой длительностью основного импульса порядка 0,3–0,4 секунды. Данную форму не понимают многие радар-детекторы и просто не обрабатывают ее, считая это помехой.

Специально для таких радаров были разработаны многими компаниями новые алгоритмы по определению таких форм. Названий они получили много, но утвердились лишь немногие:

- Ultra-X – OEM – короткоимпульсный режим диапазона X;
- Ultra-K – OEM – короткоимпульсный режим диапазона K;

- Instant-On – импульсный режим диапазона X;
- POP™ – международный сертифицированный режим по определению короткоимпульсных K и Ka диапазонов;

Режим POP™ является международным стандартом, которому придерживаются мировые лидеры по разработке детекторов. Российские производители компании «Симикон» и «Ольвия» так же поддерживают этот стандарт.

Режимы Ultra-X, Ultra-K – это собственные обобщения названия режимов определения импульсных сигналов от производителей Кореи и Китая.

По сути дела, являются урезанные режимами стандарта POP™, которые не всегда работают корректно с короткоимпульсным режимом X и K. Всего в мире существуют пять диапазонов, в которых работают дорожные радары: три радиодиапазона и один лазерный (инфракрасный диапазон).

Рабочие радио частоты:

X-диапазон – 10,525 ГГц

K-диапазон – 24,150 ГГц

Ka-диапазон – 33,4–36,0 ГГц

Ki-диапазон – 10,7–18 ГГц

Лазерное инфракрасное излучение:

800–1100 нм (длина волны)

В странах СНГ для измерения скорости используются два радио диапазона «X» и «K», а также ЛАЗЕР с длиной волны 800 нм.

В нормативной и технической документации на ручные инструменты должны быть представлены следующие сведения:

- назначение и область применения;
- наличие конструктивных решений, исключающих или ограничивающих неблагоприятное влияние вибрации, шума и др. (вибрирующие прокладки, звукопоглощающие облицовки, вибродемпфирующие устройства, глушители шума и т. п.);
- вибрационные характеристики (средние квадратические значения виброскорости (м/с) или виброускорения (м/кв. см) или их логарифмические уровни (дБ), измеренные в октавных полосах частот 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц, а также их скорректированные значения или логарифмические уровни) для всех номинальных режимов работы инструмента, измеренные в трех направлениях ортогональной системы координат в точках контакта с руками оператора (корпус инструмента, правая и левая рукоятки и др.), Точки и направления измерений должны быть указаны на чертеже инструмента;
- шумовые характеристики (уровни звукового давления в дБ в октавных полосах частот 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц и уровни звука в дБА);
- характеристики воздушного ультразвука (уровни звукового давления в дБ в третьоктавных полосах частот 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40 кГц);
- характеристики электростатического поля на поверхности ручного инструмента (напряженность, кВ/м);
- характеристики переменного электрического и магнитного поля частоты 50 Гц у поверхности ручного инструмента (напряженность электрического поля, кВ/м, и напряженность магнитного поля, А/м);
- допустимое суммарное время непрерывной работы с ручным инструментом в зависимости от уровней вибрации и шума;
- масса ручного инструмента;
- вес ручного инструмента и его частей, приходящийся на руки работающего при выполнении различных технологических операций (при разной ориентации ручного инструмента в пространстве);
- сила нажатия, прикладываемая руками работающего и необходимая для работы ручной машины в установленном паспортном режиме (минимальная);



- коэффициент теплопроводности рукояток или коэффициент теплопередачи покрытия рукояток вибрирующего оборудования в местах контакта с руками работающего;
- требования к использованию конструкций, обеспечивающих поддержание (подвешивание) ручных инструментов массой более 5 кг;
- вредные производственные факторы, источником которых является данный ручной инструмент;
- меры, обеспечивающие безопасные условия труда (использование средств индивидуальной защиты, режимы труда, необходимость подогрева рукояток у ручных механизированных инструментов и др.);
- типовые режимы испытаний, способы и средства воспроизведения типовых режимов, методов и средств контроля, контрольные точки для проведения измерений, правила приемки, объем выборки, периодичность испытаний;
- масса ручного инструмента не должна превышать 5 кг.

Предельно допустимые величины напряженности ЭСП при работе с ручными инструментами регламентируются Санитарными нормами, правилами и гигиеническими нормативами «Гигиенические требования к электромагнитным полям в производственных условиях». Постановление Минздрава РБ № 69 от 21.06.10.

### **Предельно допустимые уровни электромагнитных полей диапазона частот <sup>3</sup> 30 кГц – 300 ГГц.**

Оценка и нормирование ЭМП диапазона 30 кГц – 300 ГГц осуществляется по величине энергетической экспозиции (ЭЭ).

Энергетическая экспозиция в диапазоне частот 30 кГц – 300 ГГц рассчитывается по формулам:

$$\begin{aligned} \text{ЭЭ}_E &= E^2 \cdot T, \text{ (В/м)}^2 \cdot \text{ч}, \\ \text{ЭЭ}_H &= H^2 \cdot T, \text{ (А/м)}^2 \cdot \text{ч}, \end{aligned}$$

где  $E$  – напряженность электрического поля (В/м),

$H$  – напряженность магнитного поля (А/м), плотность потока энергии (ППЭ, Вт/м<sup>2</sup>, мкВт/см<sup>2</sup>).

$T$  – время воздействия за смену (ч).

Энергетическая экспозиция в диапазоне частот <sup>3</sup> 30 кГц–300 ГГц рассчитывается по формуле:

$$\text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}} = \text{ППЭ} \cdot T, \text{ (Вт/м}^2\text{) ч, (мкВт/см}^2\text{) ч,}$$

где ППЭ – плотность потока энергии (Вт/м<sup>2</sup>, мкВт/см<sup>2</sup>).

ПДУ энергетической экспозиций (ЭЭ<sub>ПДУ</sub>) на рабочих местах за смену представлены в таблице 1.

Таблица 1 – ПДУ энергетических экспозиций ЭМП диапазона <sup>3</sup> 30 кГц – 300 ГГц

Параметр	ЭЭ <sub>ПДУ</sub> в диапазонах частот (МГц)				
	0,03–3,0	3,0–30,0	30,0–50,0	50,0–300,0	300,0–300000,0
ЭЭ <sub>E</sub> , (В/м) <sup>2</sup> · ч	20000	7000	800	800	–
ЭЭ <sub>H</sub> , (А/м) <sup>2</sup> · ч	200	–	0,72	–	–
ЭЭ <sub>ППЭ</sub> , (мкВт/см <sup>2</sup> )	–	–	–	–	200

Фактические значения параметров ЭМП при эксплуатации радаров не превышает допустимые значения. Однако, суммарное время работы таких радаров за рабочий день ограничено 2–3 часами, во избежание вредного воздействия на организм человека.

Студентка гр. 10503114 Лазакович А. Л.  
Научный руководитель – Вершеня Е. Г.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Развитие науки и техники, изменение технологических процессов, развитие нанотехнологий неизбежно приводит к изменению условий труда работников. Эти изменения оказывают сильное влияние на систему охраны труда. Возникает необходимость адаптации системы охраны труда в организации к новым производственным условиям. Данная задача решается, прежде всего, посредством совершенствования нормативно-правового регулирования данной сферы деятельности.

В настоящее время развитие нанотехнологий предлагает наиболее эффективные технические решения. В то же время, выдающиеся свойства нанотехнологий могут представлять угрозу для здоровья человека и окружающей среды, на что ученые уже обратили особое внимание. Небольшие размеры наночастиц позволяют им легко проникать в различные системы, в том числе – в человеческие ткани, где они могут проявить свои токсичные свойства. Наночастицы не только заметно активнее в химическом отношении, чем их более крупные аналоги, но и способны проникать в человеческий организм способами, недоступными для более крупных фрагментов. В настоящее время никаких специальных норм по безопасному обращению с наноматериалами не существует, так как их влияние на здоровье человека малоизучено. Все принятые документы разработаны в виде рекомендаций и направлены в большинстве случаев на сокращение контакта работника с наносубстанциями.

На международном уровне были приняты всего два документа – стандарты ISO/TS 12901-1:2012 «Нанотехнологии – применение управления профессиональным риском к сконструированным наноматериалам – Часть 1: Принципы и подходы» и 12901-2:2014 «Нанотехнологии. Менеджмент профессиональных рисков, связанных с разработанными наноматериалами – Часть 1: Принципы и подходы». В ряде стран рекомендации, сходные со стандартами 12901-2:2014, приняты в качестве общегосударственного документа.

Политика в области охраны труда при развитии нанотехнологий должна включать, как минимум, следующие ключевые цепи, выполнение которых организация принимает на себя:

- обеспечение безопасности и охраны труда здоровья всех работников организации путем предупреждения несчастных случаев и профессиональных заболеваний;
- соблюдение соответствующих национальных законов и иных нормативных правовых актов, регулирующих деятельность в сфере нанотехнологий, программ по охране труда, коллективных соглашений и других требований, которые организация обязалась выполнять;
- обязательства по проведению консультаций с работниками и их представителями по вопросам возникновения новых профессиональных рисков в связи с развитием нанотехнологий и привлечению их к активному участию во всех элементах системы управления охраной труда;
- непрерывное совершенствование функционирования системы управления охраной труда.

Определение новых профессиональных рисков имеет важное значение для охраны труда работников. Новые технологии приводят к возникновению новых производственных рисков, полное представление о которых мы получаем, к сожалению, уже после их внедрения. Нанотехнологии применяются в целом ряде отраслей, в том числе в здравоохранении, информационных и коммуникационных технологиях, оборонной промышленности, сельском хозяйстве. Эти технологии находятся только в стадии развития и новые риски, связанные с использованием наноматериалов, еще практически не исследованы. Поэтому важное значение при выявлении новых профессиональных рисков имеет обмен информацией по данному вопросу, как на национальном, так и на международном уровне и доведение этой

информации до работодателей. Необходимо также проводить всесторонние исследования с привлечением специалистов – практиков, ученых, исследователей для решения важных проблем, связанных с выявлением новых профессиональных рисков в сфере новых технологий и выработки стратегии их предотвращения.

УДК 331.45

### **Охрана труда при работе с пневматическим инструментом**

Студент гр. 11302113 Черкас Н. Н.

Научный руководитель – Автушко Г. Л.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Пневматический инструмент широко используется в промышленности. Подобно сети электроснабжения, на предприятиях устанавливают централизованную систему распределения сжатого воздуха или другого газа, от которой запитываются пневматические инструменты.

Персонал обязан знать требования инструкции техники безопасности, нарушение этих правил приведёт к дисциплинарной или иной ответственности рабочего.

К выполнению работ с пневматическим инструментом допускаются люди не моложе восемнадцати лет, прошедшие медицинский осмотр, инструктаж, стажировку и проверку знаний по вопросам охраны. Люди, работающие с пневматическим инструментом обязаны знать его устройство, признаки неисправностей и способы их решения, а также способы прекращения его работы в экстренной ситуации.

Перед началом работы нужно: осмотреть средства индивидуальной защиты на отсутствие внешних повреждений, осмотреть и подготовить рабочее место, убедиться в достаточном освещении рабочего места, проверить наличие ограждений и других средств коллективной защиты. Что касается самого пневматического инструмента, нужно внешне его осмотреть (не имеет ли он трещит, выбоин, соответствует ли вставной инструмент допустимым параметрам), немаловажно проверить наличие смазки.

В процессе работы с пневматическим инструментом возможно воздействие на работающих следующих вредных и (или) опасных производственных факторов:

- отлетающие твердые частицы, осколки металла и абразивных материалов;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень вибрации на рабочем месте;
- повышенная запыленность воздуха рабочей зоны;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенное давление в рабочей зоне.

Во время работы с пневматическим инструментом на работника могут воздействовать вредные и опасные производственные факторы:

- повышение запыленности в рабочей зоне;
- воздействие вибрации на организм;
- воздействие шума на органы слуха;
- эмоциональное напряжение.

Для уменьшения влияния вредных факторов при работе с пневматическим инструментом работающему, кроме средств индивидуальной защиты, предусмотренных типовыми отраслевыми нормами для соответствующей профессии, выдаются для защиты: щитки, или защитные очки (для защиты глаз от пыли, или осколков метала), беруши, или наушники противошумные (защита органов слуха), респиратор, или противогаз (для защиты органов дыхания от пыли и дыма), рукавицы, или перчатки ( для защиты рук от вибраций).

При работе с пневматическим инструментом персоналу строго запрещается: пользоваться не исправным инструментом; снимать элементы защиты; перегибать шланги пневмопровода; присоединять к магистрали сжатого воздуха, без применения вентили;

допускать продолжительную работу инструмента в холостую; стоять во время работы на обрабатываемом изделии.

В случае возникновения аварийной ситуации следует немедленно отключить инструмент, если это невозможно, то прекратить запитку от пневмопровода. Принять меры по предотвращению развития аварии, если нужно, то обеспечить эвакуацию людей с помещения. При несчастном случае быстро принять меры по предотвращению воздействия на потерпевшего травмирующих факторов, оказанию потерпевшему первой помощи, вызову на место происшествия медицинских работников или доставке потерпевшего в организацию здравоохранения и сообщить о происшествии непосредственному руководителю или иному уполномоченному должностному лицу работодателя.

УДК 620.9:658.345(075.8)

### **Меры безопасности при использовании газа в быту**

Студенты гр. 10603313 и 10603113 Гушляк А. Н., Свирида Я. С.  
Научный руководитель – Филянович Л. П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Во избежание возникновения аварийной ситуации перед включением газоиспользующего оборудования необходимо убедиться, что все краны на нем и подводящем газопроводе находятся в положении «закрыто», а также перед каждым использованием газовых водонагревателей и отопительного газового оборудования необходимо проверять тягу в соответствии с техническими (эксплуатационными) документами изготовителя. Помещения, в которых установлено газоиспользующее оборудование, необходимо проветривать. Дефлекторы (декоративные решетки) вентиляционных каналов должны быть постоянно открыты. В квартирах на время работы газоиспользующего оборудования необходимо обеспечить работу вентиляционного оборудования необходимо обеспечить работу вентиляции и приток свежего воздуха. При эксплуатации проточных газовых водонагревателей следует учитывать, что они работают только при определенном давлении воды (предусмотренном техническими данными аппарата и руководством по эксплуатации). В случае, если при снижении давления воды горелка водонагревателя погаснет, необходимо закрыть все краны. Разжигать горелку водонагревателя можно только после восстановления номинального давления потока воды.

Первичное включение в работу емкостных газовых водонагревателей, отопительного газового оборудования производится газоснабжающей организацией либо сервисным центром под контролем газоснабжающей организации. Отключение на летний период отопительного газового оборудования с пломбированием отключающих устройств и его включение в работу после отключения производится газоснабжающей организацией по заявкам потребителей газа и (или) их представителей.

При появлении в помещении запаха газа следует немедленно прекратить пользование газоиспользующим оборудованием (перекрыть краны, находящиеся перед газоиспользующим оборудованием и на нем, или вентиль баллоны), открыть окна для проветривания помещения, немедленно сообщить в специализированное подразделение газоснабжающей организации. При этом в помещении запрещается пользоваться открытым огнем, электрозвонками, курить, включать и выключать электроосвещение и электроприборы. Необходимо также удалить из газонаполненного помещения людей и домашних животных.

Оставлять открытыми вентили баллонов (если баллон установлен в помещении), краны, находящиеся перед газоиспользующим оборудованием и на нем, после окончания пользования газоиспользующим оборудованием является грубым нарушением, как и оставлять без присмотра работающее газоиспользующее оборудование, кроме рассчитанного на непрерывную работу и оборудованного соответствующей автоматикой безопасности. Не допускается привязывать к газопроводам веревки, нагружать газопроводы и ис-

пользовать их в качестве опор и сушить вещи над пламенем горелок газовой плиты, использовать для сна помещения, в которых установлено газоиспользующее оборудование и применять огонь для обнаружения утечки газа из газопроводов, газоиспользующего оборудования. Воспрещается подсоединять к газоиспользующему оборудованию самодельные горелки и другие приспособления, эксплуатировать газоиспользующее оборудование при неисправности дымовых и вентиляционных каналов, отсутствии тяги, а также без наличия актов проверки технического состояния дымовых и вентиляционных каналов, выдаваемых специализированной организацией, или при просроченных таких актах либо отсутствии записей в журналах учета результатов повторной проверки и прочистки дымовых и вентиляционных каналов при наличии свидетельства о прохождении обучения на право выполнения работ по повторной проверке и прочистке дымовых и вентиляционных каналов. Срывать пломбы, установленные изготовителями и газоснабжающими организациями на индивидуальных приборах учета расхода газа, отключающих устройствах, газоиспользующем оборудовании недопустим. Запрещено нарушать целостность пломбирующего материала и самовольно подключать газоиспользующее оборудование после его отключения газоснабжающими организациями.

При газификации жилого дома не допускается производить слив содержимого из баллона, наполнение и подогрев баллона, эксплуатировать баллон с утечками газа или признаками износа уплотнительных материалов, механическими повреждениями, передавать баллон другим лицам пользоваться газоиспользующим оборудованием с истекшим сроком эксплуатации при отсутствии положительных результатов его диагностики, а так же, нарушать установленные законодательством ограничения по использованию охранных зон объектов газораспределительной системы. Не допускается производить замену баллонов при отсутствии удостоверения на право самостоятельной замены баллона, соответствующей записи в техническом паспорте. Удостоверение о специальной подготовке на право самостоятельной замены баллона выдается газоснабжающей организацией после прохождения потребителем газа соответствующего инструктажа. Устанавливать баллоны в жилых комнатах, помещениях без естественного освещения, использовать баллоны для иных целей, не предусмотренных проектом (эскизом) на монтаж запрещено.

УДК 620.9:658.345(075.8)

### **Требования к персоналу, обслуживающему атомные станции**

Студенты гр.10608113 Струй Е. В., Войтенкова Д. А., Карпович А. С.

Научный руководитель – Филянович Л. П.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Атомная электростанция – технически сложный объект, ошибка персонала которого может «дорого» обойтись как самим работникам, так и сотням, тысячами, и даже миллионам людей вокруг АЭС. В связи с этим требования к работникам АЭС значительно отличаются от требований к сотрудникам «обычных» предприятий.

До начала физического пуска АС должна быть укомплектована подготовленным и допущенным к самостоятельной работе персоналом.

Графики комплектования и программы подготовки персонала разрабатываются администрацией АС.

Рабочий персонал АС должен иметь соответствующую своей должности квалификацию. Их прямое руководство должно обладать опытом работы в энергетике не менее двух лет, в том числе 1 года на АС.

Персонал каждой АС, в том числе занятой техническим обслуживанием, должен проходить подготовку в учебно-тренировочных пунктах и центрах с использованием тренажеров и на рабочем месте, проверку знаний и дублированием перед допуском к самостоятельной работе, а также периодическую переподготовку – в соответствии с действующими правилами.

Перед выполнением работ, связанных с повышенной радиационной опасностью, должен быть проведен целевой инструктаж по безопасному выполнению этих работ персоналу, участвующему в работах.

Учебно-тренировочный пункт должен начать функционировать не позднее начала физического пуска I блока АС.

При подготовке и переподготовке персонала должно быть уделено особое внимание его действиям и взаимодействию при авариях, отработке практических навыков управления АС.

Подготовка персонала должна вестись с учетом анализа имевших место в прошлом ошибок, обеспечивать понимание и знание им последствий возможных ошибок для безопасности персонала, населения и окружающей среды.

Требования к квалификации персонала АС устанавливаются эксплуатирующей организацией в программе подготовки персонала.

Атомная станция должна быть укомплектована персоналом, имеющим необходимую квалификацию и допущенным в установленном порядке к самостоятельной работе до завоза ядерного топлива на станцию.

Допуск эксплуатационного персонала к выполнению определенных видов деятельности осуществляется при наличии разрешений.

Квалификационные требования к остальному персоналу АС устанавливает эксплуатирующая организация АС.

Подбор, подготовку, допуск к самостоятельной работе и поддержание квалификации эксплуатационного персонала обеспечивает эксплуатирующая организация АС. Система подбора и подготовки эксплуатационного персонала АС должна быть направлена на достижение, контроль и поддержание уровня его квалификации, необходимого для обеспечения безопасной эксплуатации АС во всех режимах, а также выполнения действий, направленных на ослабление последствий аварии при их возникновении.

Составным элементом содержания подготовки должно быть формирование у эксплуатационного персонала культуры безопасности.

Весь персонал, выполняющий работы с источниками ионизирующего излучения (ИИИ) на АС должен принимать все меры для поддержания индивидуальных доз на возможно низком уровне, предупреждения загрязнения помещений и территории станции, а также окружающей местности и, при необходимости, вести работу по снижению облучаемости.

Персонал АС должен быть подготовлен к действиям в случае радиационной аварии в соответствии с «Планом мероприятий по защите персонала...».

В системе подготовки эксплуатационного персонала для отработки практических навыков эксплуатации АС должны использоваться технические средства обучения, включая тренажеры различных типов, допущенные в установленном порядке к применению при подготовке персонала АС. Особое внимание должно обращать на отработку действий при возможных нарушениях (включая аварии) в работе АС и учет опыта прежних ошибок и аварий.

Перед допуском к самостоятельной работе, а также периодически эксплуатационный персонал должен проходить медицинский контроль. Состояние здоровья лиц из числа эксплуатационного персонала должно обеспечивать выполнение ими надежным и безопасным образом должностных обязанностей по эксплуатации АС.

Все работники АЭС проходят регулярный медицинский осмотр, в том числе и при приеме на работу, чтобы получить исходные данные о состоянии здоровья персонала и отслеживать в дальнейшем возможные изменения.

Не допускаются сотрудники, здоровью которых работа на АЭС может нанести урон, а также специалисты, имеющие ряд заболеваний и физических недостатков. В частности, работники должны проходить тест на наркотики в наркологических диспансерах.

Работники проходят регулярное психологическое и психофизиологическое обследование – при приеме на работу и переводе на новую должность, а также регулярное предсменное психофизиологическое обследование. Уровни психофизиологических требований отличаются в зависимости от сложности выполняемых работ и степени ответственности сотрудника.

УДК 331.45

### **Меры безопасности при проведении строительно-монтажных работ в зимних условиях**

Студент гр. 11202114 Ковальчук К. А.  
Научный руководитель – Батяновская И. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Строительная отрасль является одной из самых травмоопасных. Выполнение строительных и строительно-монтажных работ в зимнее время увеличивает риск травмирования работающих, занятых в строительстве, поэтому к организации производства строительно-монтажных работ в зимнее время предъявляются дополнительные требования охраны труда.

Дополнительные требования, предъявляемые к работам, выполняемым в зимнее время, установлены в ТКП 45-1.03-40-2006 «Безопасность труда в строительстве. Общие требования» и ТКП 45-1.03-44-2006 «Безопасность труда в строительстве. Строительное производство».

Так, при организации производственных территорий, участков работ и рабочих мест необходимо помнить, что проезды, проходы на производственных территориях, а также проходы к рабочим местам и на рабочих местах должны содержаться в чистоте и порядке, очищаться от мусора и снега, не загромождаться складываемыми материалами и конструкциями. При температуре воздуха на рабочих местах ниже 10 °С работающие на открытом воздухе или в неотапливаемых помещениях должны быть обеспечены помещениями для обогрева.

Также наниматель должен обеспечить работников санитарно-бытовыми помещениями (гардеробными, сушилками для одежды и обуви, душевыми, помещениями для приема пищи, отдыха и обогрева, здравпунктами и др.). Подготовка к эксплуатации санитарно-бытовых помещений для работающих на строительной площадке должна быть закончена до начала основных строительно-монтажных работ.

В помещении для обогрева должно быть устройство для быстрого согревания рабочих, вешалки для одежды и устройства для быстрого (от 10 до 15 мин.) просушивания рукавиц. Комната приема пищи должна быть оборудована умывальниками, кипятильниками, электрическими плитами и холодильниками. Отопительные и вентиляционные установки в помещениях для сушки одежды и обуви должны обеспечивать высушивание спецодежды и спецобуви в течение времени, не превышающего продолжительности одной рабочей смены.

При эксплуатации строительных машин в зимний период, работы по монтажу (демонтажу) машин, устанавливаемых на открытом воздухе, не допускается выполнять в гололедицу, туман, снегопад, при температуре воздуха ниже или при скорости ветра выше пределов, указанных в паспорте машины.

Средства подмащивания (леса, подмости), используемые в зимних условиях, подлежат дополнительному осмотру после дождя, ветра, оттепели, которые могут повлиять на несущую способность основания под ними, а также на деформацию несущих их элементов. При обнаружении нарушений, касающихся несущей способности основания или деформации средств подмащивания, эти нарушения должны быть ликвидированы.

К строительно-монтажным работам, выполняемым в зимнее время, предъявляются дополнительные требования безопасности.

Транспортные и погрузочно-разгрузочные работы: спуски и подъемы площадок для погрузочных и разгрузочных работ в зимнее время должны очищаться ото льда и снега и посыпаться песком или шлаком.

Электросварочные работы: во время снегопада, дождя сварочные работы на открытом воздухе должны быть прекращены.

Земляные работы:

– выемки, разработанные в зимнее время, при наступлении оттепели должны быть осмотрены и приняты меры по обеспечению устойчивости откосов или креплений;

– валуны и камни, а также отслоения грунта, обнаруженные на откосах, должны быть удалены;

– в зимнее время выемку грунта лопатами можно осуществлять только после его отогревания, при этом приближение источника тепла к кабелям допускается не менее чем на 0,15 м;

– в случае электропрогрева грунта напряжение источника питания не должно быть выше 380 В;

– прогреваемый участок грунта необходимо оградить, установить на ограждении знаки безопасности, а в ночное время осветить;

– расстояние между ограждением и контуром прогреваемого участка должно быть не менее 3 м;

– на прогреваемом участке пребывание работников и других лиц не допускается.

Бетонные и железобетонные работы:

– при электропрогреве бетона монтаж и присоединение электрооборудования к питающей сети должны выполнять только электромонтеры, имеющие группу по электробезопасности не ниже III;

– в зоне электропрогрева необходимо применять изолированные гибкие кабели или провода в защитном шланге;

– не допускается прокладывать провода непосредственно по грунту или по слою опилок, а также с нарушенной изоляцией;

– зона электропрогрева бетона должна иметь защитное ограждение, световую сигнализацию, знаки безопасности и находиться под круглосуточным наблюдением электромонтеров, выполняющих монтаж электросети;

– выполнение работ на этих участках не допускается, за исключением работ, выполняемых по наряду-допуску;

– открытая (незабетонированная) арматура железобетонных конструкций, связанная с участком, находящимся под электропрогревом, подлежит заземлению (занулению);

– после каждого перемещения электрооборудования, применяемого при прогреве бетона, на новое место следует измерить сопротивление изоляции и визуально проверить состояние средств защиты, ограждений и заземлений;

– к работе по приготовлению растворов хлористых солей для бетона с противоморозными добавками допускаются лица, обученные безопасным методам работы (так как хлористые соли опасны для кожи лица и рук) и снабженные спецодеждой, респиратором, очками и перчатками;

– при укладке бетонной смеси с противоморозными добавками, обладающей повышенной электропроводностью, необходимо тщательно следить за тем, чтобы у проводов, подводящих ток к вибраторам, не была повреждена изоляция.

Изоляционные работы: при выполнении изоляционных работ загружаемый в котел для варки и разогрева битумных мастик наполнитель должен быть сухим. Недопустимо попадание в котел льда и снега. Заполнение битумного котла допускается не более 3/4 его вместимости.

При производстве монтажных работ в зимний период, очистку подлежащих монтажу элементов конструкций от грязи и наледи необходимо производить до их подъема.

Также запрещается выполнение работ по кладке или облицовке наружных стен многоэтажных зданий, изоляционных, кровельных, монтажных работ на высоте в открытых местах, а также работ по разборке карнизов и свисающих частей здания во время гололеда, тумана, исключающего видимость в пределах фронта работ, и при скорости ветра 15 м/с и более.



Студентка гр. 10608113 Стрижёва Е. М.  
Научный руководитель – Филянович Л. П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Ускоренный рост ядерной энергетики требует самого серьезного внимания к решению всего комплекса проблем обеспечения безопасных условий труда на атомных станциях, в том числе и к оптимальному решению вопросов индивидуальной защиты персонала, особенно при проведении ремонтных работ и работ по перегрузке топлива. В общем комплексе мероприятий по обеспечению безопасных условий труда и профилактике профессиональных заболеваний на АС важное место занимает индивидуальная защита персонала. Индивидуальная защита персонала АС – единая система организационных, технических и медицинских мероприятий, направленных на обеспечение здоровья персонала и сохранение его работоспособности при эксплуатации АС. Организационные мероприятия включают прежде всего решение вопросов индивидуальной защиты на стадии проектирования и строительства АС, выбор и регламентацию применения средств индивидуальной защиты (СИЗ), организацию труда с использованием СИЗ, исключаящую или уменьшающую степень воздействия на человека неблагоприятных и вредных производственных факторов. К техническим мероприятиям относится применение соответствующих образцов или комплектов СИЗ в комплексе с обеспечением эффективного использования санпропускников и санитарных шлюзов. Медицинские мероприятия предусматривают отбор персонала и контроль за состоянием его здоровья и работоспособностью при выполнении особо сложных ремонтных и аварийных работ с применением изолирующих, шланговых и других дополнительных СИЗ. Средства индивидуальной защиты должны предохраняют работающих от попадания радиоактивных веществ внутрь организма и на кожные покровы. Применение СИЗ является вынужденной мерой, используемой при недостаточности коллективной защиты, а также при проведении ремонтных работ, перегрузке топлива и в аварийных ситуациях, которые обычно сопровождаются значительным повышением уровней радиоактивного загрязнения поверхностей и воздуха производственных помещений. К средствам индивидуальной защиты, применяемым на АС, относятся: спецодежда основная (комбинезоны, костюмы, халаты, шапочки) и дополнительная (пленочные фартуки, нарукавники, полуккомбинезоны и т. п.); СИЗ органов дыхания (респираторы, пневмомаски, пневмошлемы, пневмокуртки и др.); изолирующие костюмы (пневмокостюмы, костюмы из прорезиненного материала и др.); спецобувь (основная и дополнительная); средства защиты рук (резиновые, пленочные, хлопчатобумажные или трикотажные перчатки, рукавицы); средства защиты глаз (защитные очки, щитки и др.); средства защиты органов слуха (противошумные вкладыши и др.); предохранительные приспособления (ручные захваты, пояса и др.). В санпропускниках должна быть предусмотрена возможность снятия и хранения личной одежды, выдача спецодежды и других СИЗ, радиометрического контроля загрязненности спецодежды и кожных покровов персонала, санитарной обработки персонала, надевания личной одежды после санитарной обработки, сбора и отправки на дезактивацию загрязненной спецодежды и спецобуви, контроля их исправности после получения их спецпрачечной. Для предотвращения распространения радиоактивных веществ из зоны с повышенными уровнями радиоактивного загрязнения применяются санитарные шлюзы.

Если проектом АС не предусмотрены стационарные санитарные шлюзы на входе в помещения, загрязняемые радиоактивными веществами, в период проведения ремонтных работ должны использоваться переносные или временные санитарные шлюзы с подводками к ним воды и моющих растворов для дезактивации пленочных и прорезиненных СИЗ, а

также для облива водой охлаждающих комбинезонов, надеваемых поверх изолирующих костюмов. При невозможности создания санитарных шлюзов на входе в загрязнённые помещения должны организовываться дисциплинирующие барьеры со сменой или дезактивацией спецобуви. При выборе спецобуви для той или другой категории работников следует учитывать наличие следующих производственных факторов: уровни загрязнения поверхностей производственных помещений радиоактивными веществами; возможность контакта с водой, агрессивными и радиоактивными растворами; возможность механических воздействий (удары, падения на ноги тяжёлых предметов и т. д.); возможность контакта с брызгами расплавленного металла или нагретыми поверхностями; возможность контакта с электрическим током; возможность контакта с органическими растворителями; неприятные микроклиматические факторы (температура, влажность и др.). Основной спецобувью для работающих с радиоактивными веществами являются ботинки с верхом из лавсановой ткани. Для выполнения работ, связанных с возможностью удара ног тяжёлыми предметами, рекомендуются полусапоги юфтевые с внутренними капроновыми подносками для станочников. Для выполнения погрузочно-разгрузочных работ рекомендуются полусапоги юфтевые с наружными металлическими носками. При работах в условиях радиоактивного загрязнения и вероятности контакта с большими количествами воды, кислот и щелочей необходимо использовать сапоги резиновые без подкладки. При выполнении работ на участках со значительными уровнями радиоактивного загрязнения поверхностей целесообразно использование дополнительной обуви, изготовленной из поливинилхлоридного (ПВХ) пластика (чехлы, чулки, бахилы). Для предотвращения загрязнения подошвы основной спецобуви при кратковременном посещении участков с загрязнёнными радиоактивными веществами поверхностями полов следует использовать пластиковые следы. При выборе конструкции спецодежды следует учитывать специфические условия работы. Например, при наличии опасности захвата одежды движущимися частями механизмов рабочим следует выдавать гладкий комбинезон без хлястиков, с внутренними карманами, изготовленный из непрочных тканей. В пожароопасных условиях должна применяться спецодежда, покрой которой обеспечивает возможность ее легкого снятия. На работах, связанных с выделением большого количества пыли, рекомендуется глухой комбинезон из плотной хлопчатобумажной ткани. Спецодежда, применяемая при работах с радиоактивными веществами, должна иметь минимальное количество швов, клапанов, застежек, карманов, которые являются местами скопления радиоактивных веществ и затрудняют дезактивацию всего изделия. К факторам, определяющим выбор типа СИЗ органов дыхания, относятся: характер и количественное содержание радиоактивных и других вредных веществ в воздухе (дисперсный состав и токсичность аэрозолей, наличие паровой фазы, концентрация вредных веществ); микроклиматические условия на рабочем месте (температура, относительная влажность воздуха, тепловое излучение); содержание кислорода в воздухе на участке выполнения работ; тяжесть выполняемой работы; защитные и эксплуатационные свойства отдельных образцов СИЗ органов дыхания. На АС главным образом используются следующие СИЗ органов дыхания: клапанные противоаэрозольные фильтрующие респираторы (многократного применения со сменными фильтрами); шланговые изолирующие СИЗ с принудительной подачей чистого воздуха от стационарного, переносного или автономного воздушного нагнетания; шланговые противогазы. Кроме того, при отдельных работах находят применение пневмополумаски для сварочных работ. Ответственность за обеспечение работников СИЗ и контроль за постоянным и правильным их использованием возлагаются на администрацию АС. Обеспечение персонала АС СИЗ производится с учетом вредных производственных факторов и в соответствии с нормами бесплатной выдачи их.

## **Переработка жидких радиоактивных отходов, образующихся при эксплуатации АЭС**

Студенты гр.10608113 Шевчик В. И., Некало И. А., Макаревич Д. А.  
Научный руководитель – Филянович Л. П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

На АЭС с реактором ВВЭР-1000 (аналогичные реакторы предполагается установить на белорусской АЭС) образуется большое количество жидких радиоактивных отходов (ЖРО), которые имеют сложный химический и изотопный состав. Основное количество радиоактивных сточных вод относится к жидким отходам низкого и среднего уровня активности. Кроме радиоактивных элементов сточные воды содержат активированные продукты коррозии (радионуклиды железа, хрома, кобальта, марганца, свинца и др.), а также компоненты, входящие в дезактивирующие растворы (кислоты, щелочи, соли и др.). Подбор соответствующих способов переработки ЖРО проводят с учетом концентрации присутствующих в них солей. Классификация ЖРО происходит по уровню активности, соле-содержанию и соответствующим методам переработки. В основу системы обработки ЖРО положен метод испарения, позволяющий получить достаточно высокий коэффициент очистки получаемого дистиллята и упаренный радиоактивный концентрат солей с концентрацией – 400г/л. Образующийся чистый дистиллят направляется в баки хранения, а затем на повторное использование и сброс. Концентрат солей направляется сначала в баки промежуточного хранения системы хранилища жидких отходов, а затем на отверждение и захоронение. Принцип переработки трапных вод, основанный на процессах упаривания, конденсации, механической фильтрации и ионного обмена, позволяет без нарушения требований к охране окружающей среды осуществлять сброс очищенной трапной воды со станции, а радиоактивный упаренный концентрат (кубовый остаток) отверждать и хранить. Жидкие радиоактивные среды с удельной активностью  $<3,7 \cdot 10^6$  Бк/л очищаются ионным обменом или одностадийной выпаркой. По существующим оценкам в России стоимость хранения низко- и среднеактивных отходов составляет от 60 до 100 тыс. руб/м<sup>3</sup> в год. Принимая среднюю стоимость хранения РАО 80 тыс. руб/м<sup>3</sup> в год и среднюю скорость генерации РАО 200 руб/м<sup>3</sup>, за проектное время эксплуатации одного блока АЭС на обращение с РАО потребуются нарастающим итогом 7.4 млрд. руб. Стоимость размещения РАО в приповерхностных пунктах окончательной изоляции оценивается в 230–300 тыс. руб/м<sup>3</sup>. Таким образом, суммарные затраты на обращение с РАО, образующимися при эксплуатации АЭС из двух энергоблоков мощностью 1 ГВт каждый составят более 20 млрд. руб. В настоящее время на большинстве российских АЭС жидкие радиоактивные среды собираются в специальные емкости объемом 1000–1500 м<sup>3</sup> с последующей переработкой методами дистилляции и выпаривания. Концентрирование ЖРО при упаривании обычно проводят до насыщения по солям. В современной практике ведутся поиски более эффективных путей решения проблемы отходов, которые включают минимизацию образования отходов, разделение отходов в зависимости от класса их сложности и опасности, выбор методов очистки и дезактивации, поиск и подбор методов, наиболее приемлемых для определенного вида отходов, поиск способов селективного выделения и концентрирования наиболее опасных радионуклидов, создание эффективных технологий иммобилизации отходов с учетом требований окончательного захоронения.

Самые сложные растворы образуются при дезактивации АЭС, поэтому чтобы уйти от метода испарения и использовать более дешевые методы для очистки ЖРО нужно либо применять более простые растворы при дезактивации АЭС, либо научиться разрушать комплексоны, которые прочно связывают радионуклиды в растворе и не дают им сорбироваться или

образовывать частицы. Современное состояние исследований и разработок в этом направлении показывает, что комбинация различных процессов в одной технологической цепочке – дезактивация и переработка ЖРО – может обеспечить как получение высокой эффективности дезактивации, так и значительное уменьшение объема радиоактивных отходов. При эксплуатации АЭС необходимо решать 3 научные радиохимические проблемы: дезактивация оборудования и рабочих помещений АЭС; переработка жидких радиоактивных отходов; подготовка к захоронению и захоронение радиоактивных отходов. Все эти проблемы тесно связаны. Нельзя решать проблему дезактивации, не думая о последствиях, связанных с переработкой дезактивирующих растворов. Точно так же неэффективное решение вопросов переработки ЖРО приведет к образованию больших количеств радиоактивных отходов, которые необходимо отверждать и захоранивать. Исследование форм нахождения радионуклидов в растворах различного состава является основой при разработке новых технологических решений по очистке растворов от радионуклидов.

Выделяют ряд особенностей физико-химического поведения в растворах ионов Fe, которые можно использовать для простого и эффективного решения задач по очистке растворов от радионуклидов. Для эффективного выделения радионуклидов требуется соблюдение определенных условий. Подход основан на факте, что полиядерные гидроксокомплексы многозарядных катионов способны взаимодействовать с некоторыми анионами и катионами с образованием форм, которые могут быть отделены от раствора при помощи полупроницаемой мембраны.

Повышение экономической эффективности и экологической безопасности работы АЭС возможно за счет использования современных малоотходных и экономичных технологий дезактивации и переработки отходов, образующихся при эксплуатации АЭС нового поколения. При разработке методов очистки ЖРО необходимо учитывать разнообразие форм ЖРО и многообразие радионуклидов в растворе. Для очистки радиоактивных вод следует использовать комбинированные технологические схемы, в которых результат достигается пропусканием отходов через каскад различных аппаратов, использующих физико-химические методы очистки в соответствии с физико-химическими формами радионуклидов в растворах.

УДК 620.9:658.345(075.8)

### **Защита цепей газоанализаторов ТЭЦ от импульсных перенапряжений**

Студент гр. 10604113 Драньков В. А.  
Научный руководитель – Филянович Л. П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Дымовые трубы ТЭЦ из-за своей большой высоты являются объектами постоянных разрядов молний в период летних гроз. Применяемые молниеотводы позволяют сделать разряды молний более безопасными, однако при этом возникают побочные эффекты, негативно влияющие на жизнь людей и работоспособность электронного оборудования.

Металлическая дымовая труба с параллельно проложенными контрольными кабелями представляет собой трансформатор, первичной обмоткой которого является поверхность дымовой трубы, магнитопроводом – многотонная металлическая конструкция трубы, а вторичными обмотками – жилы кабелей, проложенные параллельно поверхности трубы. При разрядах молний в ствол дымовой трубы протекающие по его поверхности токи наводят во вторичных цепях кабелей величины импульсных напряжений амплитудой порядка 1000 В относительно земли.

При нахождении обслуживающего персонала вблизи измерительного оборудования возможно поражение его электрическим током. При разряде молний также могут быть повреждены электронные компоненты устройства. Для предотвращения подобных явлений в цепях, подверженных импульсным перенапряжениям в результате разряда

молний, должны предусматриваться средства защиты в виде разрядников, обеспечивающих снижение перенапряжений до безопасных пределов для эксплуатационного персонала и электронного оборудования.

Каждая система должна предусматривать установку барьеров защиты от импульсных перенапряжений по цепям питания 220 В – 1-й категории, а по токовым цепям 4–20 мА – 2-й категории. Данное решение позволяет снизить импульсы перенапряжений по цепям 220 В до величины не более 350 В, а для цепей 4–20 мА – до величины не более 48 В относительно земли. Наиболее перспективными модулями защиты от импульсных перенапряжений являются двухуровневые модули.

Первый уровень защиты представляют искровые разрядники, обеспечивающие снижение импульса перенапряжения до безопасных значений как между жилами кабеля двухпроводной цепи, так и каждой из жил кабеля относительно земли. Второй уровень защиты от перенапряжений выполнен на двух резисторах, включенных последовательно в защищаемую цепь, и двухстороннем стабилитроне с напряжением пробоя порядка 48 В.

Дополнительным преимуществом данных модулей защиты является то обстоятельство, что при сверхсильных импульсах перенапряжений и проникновении тока молнии в саму защищаемую цепь стабилитроны сплавляются и накоротко замыкают защищаемую линию. После этого, конечно, требуется замена стабилитронов, однако защищаемая аппаратура остается неповрежденной.

Для обеспечения защиты электронной аппаратуры автоматизированных систем контроля и учета выбросов загрязняющих веществ модули защиты от импульсных перенапряжений должны устанавливаться в двух шкафах защиты. Они расположены на дымовой трубе на площадке установки первичных приборов и у основания дымовой трубы в контейнере размещения электронного оборудования. В этом случае обеспечивается полное подавление наводимых от разрядов молний импульсов перенапряжений и большей частью подавление проникающих в систему просачивающихся импульсов разрядного тока. Правда, в последнем случае чаще всего происходит сплавление разрядников и варисторов, что требует ремонта модулей защиты от импульсных перенапряжений.

Защита цепей 220 В электрообогрева шланга пробозаборного зонда выполняется модулем, который обеспечивает снижение волны перенапряжения путем ограничения амплитуды волны по цепи фазы и по цепи нейтрали. Ограничение выполняется мощными газонаполненными ограничителями, имеющими порог срабатывания 350 В и максимальный разрядный ток до 50 кА при длительности импульса 8/20 мкс.

Защита токовых цепей осуществляется модулями, которые обеспечивают снижение напряжения между проводниками цепей и между проводниками и землей на уровне 48 В при токе разряда до 2 кА.

Важным фактором надежной работы системы защиты от импульсных перенапряжений является правильное заземление модулей защиты. Наиболее предпочтительный метод заземления – прокладка плоской стальной шины заземления сечением от шкафов модулей защиты к стационарному заземлителю. Плоская стальная шина имеет очень низкую индуктивность (в 10–20 раз ниже, чем круглый проводник того же сечения). При разряде молнии возникают импульсы длительностью 8/20 мкс. При разложении в ряд Фурье полученный спектр соответствует совокупности гармонических составляющих тока с частотами от 100 кГц до 1 МГц. При высокой индуктивности заземляющего проводника высокочастотный импульс разряда не стекает на землю, а начинает растекаться по оборудованию, в результате эффект от применения защиты получается нулевой. Плоская же металлическая шина, идущая параллельно земле, представляет собой конденсатор с распределенной емкостью порядка 1000 пФ/м. Это позволяет высокочастотным составляющим тока разряда стекать на землю через распределенную емкость. Градиент напряжения резко понижается и составляет всего несколько вольт на 10 м, что обеспечивает эффективное заземление высокочастотных токов.

Таким образом, правильное построение схем защиты с учетом всех сопутствующих факторов позволяет надежно защитить электронную аппаратуру от грозových разрядов и коммутационных перенапряжений, чем обеспечивается ее длительная безотказная эксплуатация.

УДК 614.84(476)

### **Особенности выбора и эксплуатации огнетушителей**

Студентка гр. 11101412 Клещенко К. В.  
Научный руководитель – Ушакова И. Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

При выборе и эксплуатации огнетушителей необходимо руководствоваться ТКП 295-2011.

Рассмотрим вариант выбора и использования переносных и передвижных огнетушителей массой до 400 кг, предназначенные для тушения пожаров классов А, В, С, D и Е, а также стационарных, предназначенных для пожаров классов А, В, С и Е в помещениях зданий и сооружений внутренних объемов технологических установок и оборудования.

При выборе огнетушителей учитывают физико-химические и пожароопасные свойства горючих веществ, их отношение к огнетушащим веществам, а также площадь занимаемых помещений, открытых площадок и установок.

Огнетушители должны иметь предусмотренные законодательством Республики Беларусь документы об оценке соответствия.

Выбирая огнетушитель с соответствующим температурным пределом использования, необходимо учитывать также климатические условия эксплуатации зданий (сооружений).

Если на объекте возможны комбинированные очаги пожара, то предпочтение при выборе отдают более универсальному по области применения огнетушителю и предназначенному для тушения пожара более высокого ранга.

Рассмотрим особенности применения разных типов огнетушителей.

Порошковые огнетушители применяют для тушения пожаров классов: А, В, С и Е; В, С и Е; D. Запрещается тушить порошковым огнетушителем электрооборудование, находящееся под напряжением выше 1000 В.

Не следует использовать порошковые огнетушители для защиты оборудования, которое может выйти из строя при попадании порошка (некоторые виды электронного оборудования, электрические машины коллекторного типа и т. д.).

Углекислотные огнетушители применяют в тех случаях, когда для эффективного тушения пожара необходимы ОТВ, не повреждающие защищаемое оборудование и объекты (вычислительные центры, радиоэлектронная аппаратура, музейные экспонаты, архивы и т. д.). Запрещается использовать их для тушения пожаров электрооборудования, находящегося под напряжением выше 10 кВ, а также веществ, которые могут гореть без доступа воздуха.

Углекислотные огнетушители с длиной струи ОТВ менее 3 м запрещается применять для тушения электрооборудования, находящегося под напряжением выше 1000 В.

Водные, воздушно-пенные и воздушно-эмульсионные огнетушители и используют для тушения оборудования, находящегося под электрическим напряжением, и веществ сильно нагретых или расплавленных, а также вступающих с водой в химическую реакцию, которая сопровождается интенсивным выделением тепла и разбрызгиванием горючего.

Воздушно-пенные огнетушители тушат пожары классов А (как правило, со стволем пены низкой кратности), В.

Воздушно-эмульсионные огнетушители рекомендуется применять для тушения пожаров классов А и В.

Для тушения пожаров электрооборудования под напряжением до 1000 В возможно применение водных или воздушно-эмульсионных огнетушителей с тонкораспыленной струей ОТВ, прошедших испытания на электробезопасность.

Количество огнетушителей, а также ранг пожара, который может быть ими потушен, устанавливаются исходя из категории защищаемого помещения.

Для размещения огнетушителей, как и других первичных средств пожаротушения, в производственных и складских помещениях, а также на территории защищаемых объектов оборудуют пожарные щиты (пункты).

УДК 620.9:658.345(075.8)

### **Безопасность при эксплуатации активной зоны АЭС**

Студент гр. 10608113 Лисакович А. С.  
Научный руководитель – Филянович Л. П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В проекте активной зоны должны быть приведены допустимые для безопасной эксплуатации пределы повреждения (количество и степень повреждения) тепловыделяющих элементов и связанные с этим уровни радиоактивности теплоносителя первого контура по реперным нуклидам.

Активная зона и другие системы, определяющие условия ее работы должны быть спроектированы таким образом, чтобы исключалось превышение указанных выше установленных пределов повреждения ТВЭЛов на протяжении установленной для них срока использования в реакторе при условиях нормальной эксплуатации. Не допускается превышение указанных пределов также ни при одной из следующих аварийных ситуаций (с учетом действия защитных систем): неисправностях системы контроля и управления реактора; потере энергоснабжения главных циркуляционных насосов; отключении турбогенераторов и потребителей тепла и так далее. Активная зона должна быть спроектирована таким образом, чтобы при нормальной эксплуатации и проектных авариях обеспечивалась ее механическая устойчивость и отсутствие деформаций, нарушающих эффективность системы управления реактивностью и аварийной остановки реактора или препятствующих охлаждению топлива. Для каждого блока АС проектом должна быть предусмотрена система контроля и управления. Для каждого блока АС проектом должен быть предусмотрен блочный щит управления (БЩУ), с которой персоналом осуществляется управление и контроль за системами АС, в том числе за системами безопасности при нормальной эксплуатации и авариях. Проектом должны быть предусмотрены средства обеспечения живучести и обитаемости БЩУ при указанных условиях эксплуатации АС. Система контроля и управления должна иметь в своем составе средства надежной групповой и индивидуальной связи между блочным щитом управления (БЩУ), резервным щитом управления (РЩУ) и эксплуатационным персоналом АС, выполняющим работы месту. В составе системы контроля и управления блока АС должны быть предусмотрены средства, обеспечивающие сбор, документирование и хранение информации, достаточной для того, чтобы имелась возможность своевременного и однозначного установления исходных событий возникновения нарушений нормальной эксплуатации и аварии, их развития, установления фактического алгоритма работы систем безопасности и элементов и т. д. Должны быть приняты меры, направленные на сохранение указанной информации в условиях запроектных аварий. Отказы технических и программных средств и повреждения управляющих систем должны приводить к появлению сигналов на щитах управления (БЩУ, РЩУ и др.) и вызывать действия, направленные на обеспечение безопасности АС. Управляющие системы безопасности должны быть в такой мере отделены от системы контроля и управления, чтобы нарушение или вывод из работы любого элемента или канала системы контроля и управления не влияли на способность управляющей системы безопасности выполнять свои функции. Так же они должны автоматически включаться в работу при наступлении условий, требующих их действия. Должны быть предусмотрены технические меры, препятствующие вмешательству оператора в действия управляющих систем безопасности в течение 10–30

мин, возможность дистанционного приведения в действие систем безопасности и ручного – для арматуры по месту ее установки. Эффективность и быстродействие систем аварийной остановки реактора должны быть достаточны для ограничения энерговыделения уровнем, не приводящим к повреждению ТВЭЛов сверх установленных пределов для нормальной эксплуатации или для проектных аварий, и подавления положительной реактивности, возникающей в результате проявления любого эффекта реактивности или возможного сочетания эффектов реактивности при нормальной эксплуатации и проектных авариях.

Реактор и содержащие радиоактивные вещества системы и элементы АС должны размещаться в герметичных помещениях целиком для локализации выделяющихся при проектных авариях радиоактивных веществ в их границах либо так, чтобы при нормальной эксплуатации и проектных авариях не превышались соответствующие установленные дозы облучения персонала и населения, а также нормативы по выбросам и содержанию радиоактивных продуктов в окружающей среде. Необходимость и допустимость направленного выброса радиоактивных продуктов при запроектных авариях должна быть обоснована проектом. Локализирующие системы должны быть предусмотрены для каждого блока АС и выполнять заданные функции для проектных и запроектных аварий. Допускается совместное использование отдельных устройств локализирующих систем для нескольких блоков, если доказана невозможность распространения аварии с одного блока на другие. Проектом должны быть предусмотрены меры по обнаружению и предотвращению образования взрывоопасных концентраций газов в помещениях локализирующих систем.

В проекте АС должны быть предусмотрены необходимые обеспечивающие системы безопасности, выполняющие функции снабжения систем безопасности рабочей средой, энергией и создания требуемых условий их функционирования, включая передачу к конечному поглотителю. Проектом должны быть предусмотрены необходимые и достаточные средства для противопожарной защиты АС, включая средства обнаружения и тушения горения замедлителя и теплоносителя.

Проектом должен быть предусмотрен автоматизированный режим работы систем тушения пожаров с момента подачи напряжения на оборудования энергоблока при проведении предупредительных наладочных работ. На каждой АС должны быть предусмотрены хранилища свежего и отработавшего ядерного топлива, и радиоактивных отходов. Вместимость хранилищ должна быть обоснована проектом. Возможность достижения критичности в хранилищах свежего и отработавшего ядерного топлива при его размещении и движении должна физически исключаться за счет обеспечения соответствующих характеристик хранилищ. В хранилищах отработавшего ядерного топлива должны быть предусмотрены надежные системы отвода остаточного тепла и соответствующий химический состав теплоотводящей среды для предотвращения повреждения топлива, в результате которого радиоактивные продукты могли бы поступить в помещения АС или в окружающую среду сверх установленных проектом пределов.

Проектом АС должны быть предусмотрены транспортно-технологические операции и специальные устройства для транспортировки свежего и отработавшего ядерного топлива, в том числе и для вывоза отработавшего ядерного топлива с АС. В проекте АС должен содержаться анализ состава и количества твердых, жидких и газообразных радиоактивных отходов при нормальной эксплуатации и их оценка для проектных аварий. Должны быть предусмотрены средства переработки, места и способы временного и долговременного хранения отходов, системы очистки перед сбросом воздуха в атмосферу и воды в естественные водоемы, средства транспортировки отходов в пределах АС и до мест хранения.



### Подготовка к осенне-зимнему периоду

Студент гр. 10604213 Юхневич М. Ю.  
Научный руководитель – Филянович Л. П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Подготовка к осенне-зимнему периоду (ОЗП) потребителей энергии энергоснабжающих организаций, его успешное прохождение – гарантия надежного и бесперебойного тепло- и электроснабжения народного хозяйства. Качество подготовки к ОЗП – это проверка на прочность энергоснабжающих организаций и потребителей энергии и условиях продолжительного отопительного периода и особенностей белорусской зимы с перепадами температур, сильными морозами, снегопадами и оттепелями.

До начала отопительного сезона предприятиям и организациям, имеющим на своем балансе теплоисточники, необходимо выполнить комплекс мероприятий по обеспечению надежного теплоснабжения потребителей в предстоящий осенне-зимний период, а именно:

- провести работы на теплоисточнике, тепловых сетях, насосных и тепловых пунктах по профилактике, ремонту и замене оборудования, трубопроводов, систем регулирования и учета тепловой энергии;
- выполнить работы по профилактике и ремонту внешних и внутренних газо-, водо- и электрокоммуникаций и источников электро- и водоснабжения;
- произвести промывки, испытания и наладочные работы на оборудовании теплоисточника, тепловых сетях и теплопунктах;
- провести испытания тепловых сетей на гидравлическую плотность в порядке, предусмотренном требованиями технических нормативных правовых актов;
- провести ревизии запорной, дренажной, воздухопускной и регулирующей арматуры на тепловых сетях.

В числе первоочередных работ необходимо также:

- укомплектовать штат персонала, обслуживающего теплоиспользующие установки и в установленном порядке;
- подготовить полный комплект технической документации на теплоиспользующие установки и тепловые сети;
- создать необходимый запас материалов для своевременного и качественного проведения ремонта оборудования;
- выполнить работы по профилактике и ремонту теплоиспользующих установок, тепловых сетей, тепловых пунктов, внутренних систем теплоснабжения зданий;
- провести мероприятия по предупреждению повреждения оборудования и сооружений в условиях низких температур наружного воздуха;
- выполнить работы по очистке и испытаниям водоподогревателей с составлением соответствующих актов;
- провести испытания и промывки тепловых сетей, систем отопления, вентиляции с оформлением соответствующих актов;
- проверить техническое состояние контрольно-измерительных приборов и систем автоматики;
- привести в исправное техническое состояние системы регулирования потребления тепловой энергии и своевременную поверку средств расчетного учета.

При подготовке к ОЗП особое внимание уделяется социально значимым объектам потребителей тепловой энергии: учреждениям образования, лечебным учреждениям и детским дошкольным учреждениям.

Энергоснабжающие организации на основе анализа функционирования в предыдущий ОЗП систем теплоснабжения и тепловых сетей разрабатывают планы организационно-технических мероприятий по подготовке к новому ОЗП с учетом предписаний органов государственного надзора и контроля в соответствии с приказами соответствующих республиканских органов государственного управления, иных государственных организаций, подчиненных правительству.

В период подготовки к ОЗП энергоснабжающие организации обязаны:

– провести работы на теплоисточниках, магистральных тепловых сетях, насосных и центральных тепловых пунктах (по балансовой принадлежности) по профилактике, ремонту и замене оборудования, трубопроводов, систем регулирования и учета тепловой энергии, по поверке систем или приборов коммерческого учета;

– создать необходимый запас материальных ресурсов, укомплектовать ремонтные подразделения необходимыми машинами и механизмами;

– выполнить работы по профилактике и ремонту внешних и внутренних газо-, водо- и электрокоммуникаций и источников электро- и водоснабжения;

– провести промывки, испытания и наладочные работы на оборудовании теплоисточников, тепловых сетей и ЦТП в соответствии с требованиями технических нормативных правовых актов;

– уточнить у потребителей тепловой энергии тепловые нагрузки, выполнить перерасчет гидравлического режима (при необходимости), провести контроль установки расчетных сопел и диафрагм на трубопроводах тепловых сетей у потребителей тепловой энергии;

– провести ревизию запорной, дренажной, воздухопускной и регулирующей арматуры на тепловых сетях;

– разработать, согласовать и утвердить в установленном порядке рабочие программы по проведению испытаний тепловых сетей на гидравлическую плотность в порядке, предусмотренном требованиями технических нормативных правовых актов;

– провести инвентаризацию заключенных договоров на снабжение тепловой энергией с потребителями;

– проверить в установленном порядке надежность электро-, газо- и водообеспечения объектов теплоснабжения;

– заключить (продлить) договоры на газо- и водоснабжение с соответствующими организациями.

Весь комплекс пусконаладочных работ на вновь вводимых магистральных и внутриквартальных сетях должен быть выполнен строительными и наладочными организациями до начала ОЗП.

УДК 699.81

### **Противодымная защита зданий и сооружений при пожаре**

Студентка гр. 11101412 Карпук А. А.

Научный руководитель – Ушакова И. Н.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

При пожаре жертв от отравления угарным газом и другими продуктами горения значительно больше, чем непосредственно от огня. Актуальность возрастает там, где передвижение людей ограничено объективными причинами – например, в больнице, или высотных зданиях с запутанными коридорами.

Для эвакуации людей при пожаре пользоваться лифтом опасно. В задымленном помещении ни в коем случае нельзя пользоваться обычным противогазом, так как он не защищает от дыма.

В местах наибольшей опасности устанавливают принудительные, либо статичные системы дымоудаления. Согласно ТКП 45-4.0-27-2012 (02250) Противодымная защита зданий и сооружений при пожаре. Ведется проектирование систем дымоудаления. Системы противодымной вентиляции, предназначенные для защиты коридоров, холлов общих путей эвакуации, следует проектировать отдельными от систем, предназначенных для защиты помещений. Они должны быть автономными для каждого пожарного отсека, кроме системы приточной противодымной вентиляции, предназначенных для защиты лестничных клеток и лифтовых шахт, сообщающихся с различными пожарными отсеками.

Системы приточно-вытяжной противодымной вентиляции зданий следует предусматривать для блокирования и (или) ограничения распространения продуктов горения в помещения зон безопасности, по путям эвакуации людей (населения и персонала зданий) и путям следования пожарных подразделений при выполнении работ по спасению людей, обнаружению и локализации очага пожара в здании. Системы противодымной вентиляции должно быть автономными для каждого пожарного отсека.

В многоэтажных зданиях, как правило, следует предусматривать вытяжные устройства с искусственным побуждением. Допускается предусматривать отдельные для каждого изолированного помещения дымовые шахты с естественным побуждением, также для помещений последнего этажа – через открывающиеся фрамуги в окнах (на уровне 2,2 м и выше от пола до низа фрамуг) и проемы в фонарях, дымовые люки или открываемые незадуваемые фонари (в обоих случаях площадью, достаточной для удаления продуктов горения при пожаре). В библиотеках, книгохранилищах, архивах, складах бумаги следует предусматривать вытяжные устройства с искусственным побуждением.

Для защиты людей от дыма при пожаре следует проектировать подачу наружного воздуха в лифтовые шахты (при отсутствии у выхода из них тамбур-шлюзов с подпором воздуха при пожаре) в зданиях с незадымляемыми лестничными клетками всех типов.

Система дымоудаления локализует и концентрирует дым и другие продукты горения и, в то же время обеспечивает людей свежим воздухом.

УДК 620.9:658.345(075.8)

### **Безопасность при эксплуатации теплоустановок**

Студенты гр. 10606113 Семкина К. С., Винокурова А. В.  
Научный руководитель – Филянович Л. П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Каждая теплоустановка должна иметь порядковый номер, соответствующий утвержденной тепловой схеме, четко видимый с ее фронта. На электродвигатели, вентиляторы, калориферы и другое вспомогательное оборудование должен быть нанесен номер той установки, с которой они связаны технологическим процессом. При наличии у теплоустановки нескольких электродвигателей, вентиляторов и другого вспомогательного оборудования на каждом из них к номеру установки добавляется порядковый индекс. Подлежащая ремонту теплоустановка (участок трубопровода) во избежание попадания в нее пара или горячей воды должна быть отключена со стороны смежных трубопроводов и оборудования, дренажных и обводных линий. Дренажные линии и воздушники, сообщающиеся непосредственно с атмосферой, должны быть открыты. Отключать теплоустановку (трубопроводы) необходимо двумя последовательно установленными задвижками. Между ними должно быть устройство, соединенное непосредственно с атмосферой.

Перед началом ремонта теплоустановок и трубопроводов следует снизить давление и освободить их от пара и воды, с электроприводов отключающей арматуры снять напряжение, а с цепей управления электроприводами – предохранители. Вся отключающая арматура должна быть в закрытом состоянии. Запорная арматура открытых дренажей, соединенных

непосредственно с атмосферой, должна быть открыта. Запорная арматура дренажей закрытого типа после дренирования теплоустановки (трубопровода) должна быть закрыта. Между запорной арматурой и тепловой установкой должна быть арматура, непосредственно соединенная с атмосферой. Отключающая арматура и вентили дренажей должны быть заблокированы цепями или другими приспособлениями и закрыты на замки. На отключающей арматуре должны быть вывешены знаки безопасности «Не открывать – работают люди», на вентилях открытых дренажей – «Не закрывать – работают люди», на ключах управления электроприводами отключающей арматуры – «Не включать – работают люди», на месте работы – «Работать здесь!». Теплоустановки, у которых снижение или повышение параметров теплоносителя может угрожать жизни людей, должны быть оборудованы блокирующими устройствами, исключающими отклонения параметров теплоносителя и рабочей среды сверх допустимых пределов и обеспечивающими безотказную работу установок. На запорной и регулирующей арматуре, а также на прилегающих участках теплопроводов и технологических трубопроводов должно быть отчетливо указано стрелкой направление движения теплоносителя и технологических растворов, нанесены номера на арматуру по схеме, указатели направления ее открытия и закрытия.

Все части оборудования, трубопроводы, баки и другие элементы, прикосновение с которыми может вызвать ожоги, должны иметь тепловую изоляцию. Температура на поверхности изоляции при температуре окружающего воздуха 25 °С должна быть не выше 45 °С при температуре теплоносителя более 100 °С и не выше 35 °С при температуре теплоносителя 100 °С и ниже. Нагретые поверхности и оборудование трубопроводов, если они представляют опасность воспламенения соприкасающихся с ними легковоспламеняющихся, горючих, взрывоопасных веществ, должны иметь тепловую изоляцию. Элементы оборудования, арматуру и приборы, подвергающиеся периодическому осмотру, необходимо располагать в местах, удобных для обслуживания. Все пусковые устройства и арматура должны быть пронумерованы и иметь надписи в соответствии с технологической схемой. На штурвалах задвижек (вентилей) и шиберов должно быть указано направление вращения при открывании и закрывании их.

На паропроводах отработанного пара, идущего к водонагревателям, должны быть предусмотрены устройства (выхлопные трубы) для поддержания заданного противодавления у паровых машин (молотов, прессов и т. п.), а также люки для очистки паропроводов. Пуск оборудования должен производиться только после тщательной проверки исправности оборудования. Перед пуском оборудования необходимо убедиться в отсутствии в опасных зонах людей, посторонних предметов, в исправности кнопки «Стоп» путем пробного пуска. Включать теплоустановку после ее останова имеет право лишь работающий, проводивший останов или принявший по смене его обязанности и предупрежденный о положении дел. Время останова и причины, а также время включения теплоустановки отмечаются в оперативном журнале.

Обходы и осмотры теплоустановок и тепловых сетей должны производиться только с разрешения персонала, ведущего режим теплоустановок и тепловых сетей. При пуске, отключении и испытании оборудования и трубопроводов под давлением вблизи них разрешается находиться только персоналу, непосредственно выполняющему эти работы. При повышении давления до пробного при гидравлическом испытании оборудования нахождение на нем людей запрещается. Осматривать сварные швы испытываемых трубопроводов и оборудования разрешается только после снижения пробного давления до рабочего. При обнаружении свищей в паропроводах, коллекторах, корпусах арматуры необходимо срочно вывести работающих с аварийного оборудования, оградить опасную зону и вывести знак безопасности: «Осторожно! Опасная зона». Вывод людей должен осуществлять руководитель (производитель) работ. Пуск и работа теплоустановок при отсутствии или неисправном состоянии ограждающих устройств запрещаются. Уборка вблизи теплоуста-

новок без предохранительных ограждений или с плохо закрепленными ограждениями запрещается. При необходимости нахождения людей вблизи горячих частей оборудования должны быть приняты меры к их защите от ожогов и действия высокой температуры (ограждение действующего оборудования, вентиляция, спецодежда и т. п.).

Эксплуатация теплоустановок после истечения срока очередного освидетельствования или выявления дефектов, которые могут привести к нарушению надежной и безопасной работы, при отсутствии и неисправности элементов защиты и регуляторов уровня запрещается. В паспорте теплоустановки должна быть произведена запись с указанием причины запрещения. Во время эксплуатации теплоустановки ее ремонт или работы, связанные с ликвидацией неплотностей соединений отдельных элементов, находящихся под давлением, запрещаются. При обнаружении свищей в пароводяных трактах оперативный персонал обязан немедленно определить опасную зону, прекратить в ней все работы, удалить из нее людей, оградить эту зону и навесить знаки безопасности «Проход воспрещен», «Осторожно! Опасная зона». О принятых мерах необходимо сообщить административно-техническому персоналу.

УДК 331.45

### **Обеспечение безопасности при проведении работ повышенной опасности в строительстве**

Студент гр. 11202114 Рекиш К. Г.  
Научный руководитель – Батяновская И. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

К работам с повышенной опасностью относятся работы, для производства которых требуется:

- особо строгое соблюдение требований безопасности;
- высокая согласованность в действиях работников;
- осуществление специальных технических и организационных мер безопасности;
- постоянный контроль за ходом выполнения таких работ со стороны ответственных лиц.

Безопасность производства многих работ с повышенной опасностью в строительстве, как правило, обеспечивается применением системы нарядов-допусков. Наряд-допуск – это письменный документ, в котором указывается место (места) проведения работ с повышенной опасностью, их содержание, условия безопасного выполнения, время начала и окончания работ, состав бригады или лиц, выполняющих работы, ответственных лиц при выполнении этих работ. Кроме того, в наряде-допуске предусматривается оформление письменного разрешения на производство работ (допуск).

В ТКП 45-1.03-40-2006 «Безопасность труда в строительстве. Общие требования» приведен примерный перечень мест производства и видов работ, на выполнение которых необходимо выдавать наряд-допуск, а также форма наряда-допуска на производство работ повышенной опасности. К таким работам относятся:

- выполнение работ с применением грузоподъемных кранов и других строительных машин в охранных зонах воздушных линий электропередачи, газо- и нефтепродуктопроводов, складов легковоспламеняющихся или горючих жидкостей, горючих или сжиженных газов;
- выполнение любых работ в колодцах, шурфах, замкнутых и труднодоступных пространствах;
- выполнение земляных работ на участках с патогенным заражением почвы (свалки и т. п.), в охранных зонах подземных электрических сетей, газопроводов и других опасных подземных коммуникаций;
- осуществление текущего ремонта, демонтажа оборудования, а также производство ремонтных или каких-либо строительного-монтажных работ при наличии опасных факторов действующей организации;

- выполнение работ на участках, где имеется или может возникнуть опасность из смежных участков работ;
- выполнение работ в непосредственной близости к полотну или проезжей части эксплуатируемых автомобильных или железных дорог;
- выполнение газоопасных работ;
- выполнение работ на высоте с применением предохранительного пояса;
- выполнение работ с применением пороховых строительно-монтажных инструментов; выполнение монтажных работ с действующих мостовых кранов;
- демонтаж стоечных лесов высотой свыше 4 м.

На основе примерного перечня мест производства и видов работ, на выполнение которых необходимо выдавать наряд-допуск, в строительной организации, с учетом специфики выполняемых работ, должен быть составлен свой перечень мест производства и видов работ, по которым выполнение работ производится только по наряду-допуску. Данный перечень утверждается руководителем организации.

Наряд-допуск выдается ответственному исполнителю работ (прорабу, мастеру, бригадиру) лицом, уполномоченным приказом руководителя организации. Перед допуском исполнителей работ к работе ответственный руководитель работ обязан в присутствии ответственного исполнителя работ проверить выполнение мер безопасности, предусмотренных нарядом-допуском, подписать наряд-допуск о готовности к производству работ и передать его ответственному исполнителю работ.

Перед допуском к работе ответственный исполнитель работ обязан:

- ознакомить работников с мероприятиями по безопасному производству работ и провести целевой инструктаж с записью в наряде-допуск;
- в случае возникновения у ответственного исполнителя работ сомнений в правильности или достаточности мер безопасности, указанных в наряде-допуске, ответственный руководитель работ должен устранить недостатки;
- проверить соответствие состава бригады по должности (профессии) и квалификации записям в наряде-допуске;
- проверить в присутствии ответственного руководителя работ подготовку рабочих мест, наличие у членов бригады необходимых в процессе работы средств индивидуальной защиты, оснастки и инструмента;
- указать каждому исполнителю работ его рабочее место;
- постоянно находиться на месте производства работ и контролировать выполнение членами бригады мер безопасности и технологической последовательности производства работ.

При выполнении работ на территории действующей организации наряд-допуск должен быть подписан, кроме того, соответствующим должностным лицом данной организации.

При выполнении работ в охранных зонах сооружений или коммуникаций наряд-допуск выдается при наличии письменного разрешения организации – владельца этого сооружения или коммуникации.

Наряд-допуск выдается на срок, необходимый для выполнения заданного объема работ, если иное не предусмотрено действующими нормативными правовыми актами.

Наряд-допуск оформляется в двух экземплярах (первый находится у лица, выдавшего наряд, второй – у ответственного руководителя работ). При работах на территории действующей организации наряд-допуск оформляется в трех экземплярах (третий экземпляр выдается ответственному лицу действующей организации).

В случае возникновения в процессе производства работ опасных или вредных производственных факторов, не предусмотренных нарядом-допуском, а также в случае изменения условий производства работ следует прекратить работы, аннулировать наряд-допуск и только после выдачи нового наряда-допуска возобновить работы.

К производству работ с повышенной опасностью работники допускаются после прохождения обучения безопасным методам и приемам работ и получения соответствующего

удостоверения, а также признанные пригодными к выполнению соответствующих работ по состоянию здоровья.

Работники, привлекаемым к выполнению работ с повышенной опасностью, должны уметь оказывать первую (доврачебную) помощь потерпевшим при несчастных случаях, а также знать порядок локализации аварийной ситуации и правила поведения в таких ситуациях.

УДК 331.451

### **Оценка условий труда на рабочих местах, оборудованных персональными компьютерами**

Студент гр. 10306113 Безмен М. Ю.

Научный руководитель – Фасевич Ю. Н.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Внедрение компьютерных технологий обработки информации способствовало совершенствованию организации и эффективности управленческого труда. Вместе с тем, являясь источником целого ряда неблагоприятных физических факторов воздействия на функциональное состояние и здоровье пользователей, компьютерная техника при неправильной эксплуатации и расстановке ее, особенно в непригодных для этого помещениях, принципиально меняет условия и характер труда специалистов различного профиля органов исполнительной власти не в лучшую сторону. Последствия неблагоприятного воздействия физических факторов, сопровождающих работу компьютера, на здоровье пользователей описаны в многочисленных научно-исследовательских работах российских и зарубежных ученых. Анализ результатов научно-исследовательских работ позволяет выделить следующие наиболее важные возможные последствия неблагоприятного воздействия на здоровье пользователей: заболевания глаз и зрительный дискомфорт, изменения костно-мышечной системы, нарушения, связанные со стрессом, кожные заболевания, неблагоприятные исходы беременности. Установлено, что пользователи персональных компьютеров подвержены стрессам в значительно большей степени, чем работники из любых других профессиональных групп, когда-либо проходивших аналогичные обследования, включая диспетчеров воздушных линий. К другим обнаруженным жалобам на здоровье относятся «пелена перед глазами», сыпь на лице, хронические головные боли, тошнота, головокружения, легкая возбудимость и депрессии, быстрая утомляемость, невозможность долго концентрировать внимание, снижение трудоспособности и нарушения сна. Оценка условий труда пользователей персональных компьютеров, проведенная в ряде структур управления, показывает, что размещение компьютерной и оргтехники, как правило, осуществляется исходя из стремления установить максимальное количество средств механизации конторского труда и производится в зданиях и помещениях, изначально не приспособленных для этих целей. Использование компьютерной техники в таких условиях, с учетом сочетания действия комплекса производственных факторов с интеллектуальной, эмоциональной и сенсорной нагрузками, обычно ведет к нарушению санитарно-гигиенических требований и ухудшает организацию труда работающих. Согласно [1] условия труда пользователей персональных компьютеров можно отнести к 3 классу вредности 1 степени опасности.

Наибольшее число несоответствий выявлено по следующим факторам:

- аэроионная обстановка в помещении (недостаток положительных легких аэроионов в помещении, недостаток отрицательных легких аэроионов в помещении);
- недостаточная освещенность на поверхности стола пользователя в зоне размещения рабочего документа;
- повышенный уровень напряженности переменного электрического поля в диапазоне 5–2000 Гц;

- повышенный уровень плотности потока магнитной индукции в диапазонах 5–2000 Гц и 2–400 кГц;
- температура воздуха в помещении (пониженный уровень в холодное время года, повышенный уровень в теплое время года).

Мониторинг вредных и опасных производственных факторов является одним из важных механизмов отслеживания фактического состояния условий труда на производстве и составление прогноза воздействия на здоровье работающих. В систему анализа и оценки условий труда входит определение фактических значений опасных и вредных факторов на рабочих местах. В соответствии с [2] все измерения, связанные с аттестацией рабочих мест, должны выполняться в процессе работы, то есть при проведении производственных процессов в соответствии с технологическим регламентом, при исправных и эффективно действующих средствах индивидуальной и коллективной защиты. При проведении измерений используют средства измерений, указанные в соответствующих нормативных документах на методы измерений. Инструментальные измерения уровней производственных факторов оформляются соответствующими протоколами. Сроки проведения аттестации устанавливаются организацией исходя из изменения условий характера труда, но не реже одного раза в пять лет с момента проведения последних измерений.

В настоящее время в сложившихся социально-экономических условиях при общем снижении объемов производства травматизм и заболеваемость существенно не меняется.

#### **Список использованных источников**

1. Санитарные нормы и правила «Требования при работе с видеодисплейными терминалами и электронно-вычислительными машинами», Гигиенический норматив «Предельно-допустимые уровни нормируемых параметров при работе с видеодисплейными терминалами и электронно-вычислительными машинами», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28 июня 2013 г. № 59.

2. Положение о порядке проведения аттестации рабочих мест по условиям труда, утверждено постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 22.02.2008 № 253 (в ред. постановления Совета Министров Республики Беларусь от 12.01.2009 № 25, от 11.01.2014 N 15).

УДК 620.9:658.345(075.8)

#### **Безопасность выполнения огневых работ**

Студенты гр. 10603313 Гороховик И. В., Лапушинский М. И.  
Научный руководитель – Филянович Л. П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

К огневым работам относятся электросварочные, газосварочные, паяльные и все прочие работы, связанные с применением открытого огня, искрообразованием и нагреванием до температуры, способной вызвать воспламенение материалов и конструкций (электросварка, газосварка, паяльные работы, механическая обработка металла с образованием искр). Трудовая деятельность персонала протекает в местах с проведением сварочных и других огневых работ. Места проведения огневых работ бывают постоянными и временными. Постоянные места организовывают в специально оборудованных для этих целей помещениях. К проведению огневых работ допускаются лица, прошедшие соответствующую профессиональную подготовку, противопожарный инструктаж и проверку знаний по пожарной безопасности. Огневые работы на постоянных стационарных сварочных постах могут проводиться без оформления наряда-допуска. Руководители определяют постоянные места проведения огневых работ на предприятии и предъявляют к ним определенные требования. Для огневых мест отводятся отдельные помещения или выгораживаются перего-



родками часть помещений, но запрещается размещать указанные места в зданиях общественного назначения, а также во взрывоопасных помещениях. В данных помещениях необходимо предусмотреть вытяжную вентиляцию, а также устройство специального контура заземления. Помещение, отведенное для проведения постоянных огневых работ, должно быть оборудовано первичными средствами пожаротушения, обеспечено утвержденным перечнем видов разрешенных огневых работ, а также инструкцией о мерах пожарной безопасности. Необходимо знать и помнить, что организация огневых работ запрещается более чем на 10 постах, если не предусмотрено централизованное электро- и газоснабжение. Газ хранят в баллонах и не допускают организовывать постоянное хранение баллонов в местах проведения огневых работ. Баллоны должны быть защищены от действия источников тепла и располагаться на расстоянии 1 м от проходов, отопительных приборов и 5 м от источников с открытым огнем. Запрещается совместное размещение в помещении с кислородными баллонами и баллонами с ГГ карбида кальция, красок, масел и жиров. После окончания работы на постоянных местах газовое оборудование должно быть отключено, а шланги отсоединены и освобождены от ГЖ и ГГ.

Временные места огневых работ организуют, когда работы проводятся вне специально отведенных и оборудованных для этих целей помещениях. Вся ответственность за проведения огневых работ возлагается на руководителя работ или специалиста объекта, что фиксируется в наряде-допуске.

Руководитель объекта обязан назначить лицо, ответственное за подготовку и проведение огневых работ, и выдать наряд-допуск на проведение огневых работ. При проведении огневых работ следить за выполнением предусмотренных нарядом-допуском мероприятий. Для предотвращения опасных ситуаций руководитель обязан контролировать состояние воздушной среды. Лицо, ответственное за подготовку огневых работ обязано проверить полноту и качество выполнения мероприятий.

Лицо, ответственное за проведение огневых работ, обязано провести противопожарный инструктаж и обеспечить место проведения огневых работ первичными средствами пожаротушения. Так же осуществлять контроль над работой исполнителей и состоянием воздушной среды на месте проведения огневых работ.

В перерывах и после окончания огневых работ проверить рабочее место на отсутствие возможных источников возникновения огня.

Старший по смене обязан сделать запись в журнале приема смен и уведомить персонал смены о ведении огневых работ на объекте. По окончании огневых работ совместно с лицом, ответственным за их проведение, проверить и принять оборудование, а также обеспечить наблюдение в течение 3 часов за местом проведения работ. Исполнители огневых работ, имеющие при себе свидетельство о присвоении квалификационного разряда по профессии, прошедшие противопожарный инструктаж и расписавшись в наряде-допуске, могут приступать к огневым работам только по указанию лица, ответственного за их проведение. Исполнители, после окончания огневых работ обязаны также осмотреть место их проведения, устранить выявленные нарушения.

Допускается не оформлять наряд-допуск на проведение временных огневых работ в производственных не пожароопасных помещениях, на строительных площадках, где отсутствуют горючие вещества и материалы, а также при ликвидации аварий.

Строго относятся к огневым работам на действующих взрывопожароопасных объектах и допускаются в исключительных случаях, когда эти работы невозможно проводить в специально отведенных местах, как правило в дневное время суток. Состав бригады исполнителей должен быть не менее 2 человек.

Студенты гр. 10603213 Угаров М. С., Шестак В. В.  
Научный руководитель – Филянович Л. П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Изоляция – один из основных элементов электрооборудования электрических станций, электрических сетей и других электроустановок, в том числе и бытовых электроприборов. Повреждение изоляции токоведущих частей является основной причиной аварийности и многих несчастных случаев. От состояния изоляции зависит надежность работы энергосистемы, а также безопасность работающего персонала. В связи с постоянным ростом мощностей электрических машин и аппаратов, повышением напряжения линий электропередачи и электрооборудования, широким внедрением автоматизации производственных процессов перед электроизоляционной техникой и обслуживающим ее персоналом постоянно стоит ряд сложных и ответственных задач.

В первую очередь необходимо отметить повышение эксплуатационной надежности. Это требовало более детального изучения протекающих в изоляции процессов (старение изоляции, условия ее эксплуатации, температурные режимы, возникновение различных переходных процессов в энергосистеме, приводящих к резким повышениям напряжения в электросетях и развитию внутренних и частичных разрядов в оборудовании и т. д.).

Во время эксплуатации изоляция электрических машин и аппаратов под воздействием различных факторов постепенно ухудшается. В электрооборудовании изоляция бывает внешней и внутренней. Причиной старения и ухудшения характеристик внешней изоляции в основном является загрязнение ее поверхности, которое проявляется в наибольшей мере при увлажнении.

При эксплуатации электроустановок и отдельного оборудования причинами старения и ухудшения характеристик внутренней изоляции являются электрическое старение в результате частичных разрядов при рабочем напряжении и при перенапряжениях, тепловое старение и окисление изоляции, ее увлажнение. Обычно процесс старения твердой изоляции в крупных и средних электрических машинах, в зависимости от условий эксплуатации, длится от 25 до 30 лет. Таким оборудованием являются коммутационные аппараты, разрядники и др. Имеют место случаи, когда период старения длится до 40–50 лет (силовые трансформаторы, гидрогенераторы и т. д.). Что касается электродвигателей, то старение изоляции иногда приводит к их полному износу в течение 5–10 лет.

Оборудованию, особенно отработавшему нормативный срок, уделяется большое внимание. Оперативный персонал и персонал, занимающийся контролем за состоянием изоляции электрооборудования и силовых кабелей, постоянно следят за температурным режимом, то есть за нагрузкой и условиями работы, а также за чистотой и возможностями увлажнения. Именно на этом необходимо сосредоточиться при решении вопроса о продлении срока эксплуатации электрооборудования, силовых кабелей и различных электроустановок.

Например, в Гродненских электрических сетях были проведены исследования, в результате которых выяснилось, что каждый четвертый трансформатор на 110 кВ, отработав свой нормативный срок, еще находится в эксплуатации. Наличие трансформаторов, отработавших свой нормативных срок, не снижает надежность работы электрических сетей этого класса напряжения, так как:

- изоляционные характеристики трансформаторов, отработавших нормативный срок, соответствуют необходимым нормам;
- на всех ответственных подстанциях установлено не менее двух трансформаторов;
- перегрузки трансформаторов на 110 кВ не допускаются: трансформаторы недогружены;
- за работающими трансформаторами, отработавшими нормативный срок, ведется постоянный контроль со стороны оперативного персонала и персонала соответствующих служб;

– в энергосистеме имеется резерв различных мощностей: при необходимости есть возможность снять работающий трансформатор с одной из подстанций. Однако сейчас эксплуатируются трансформаторы, которые отработали 50 и более лет.

Если ухудшение изоляции наблюдается в значительной части, то эти явления называются местными дефектами. Однако развитие местных дефектов, если не предпринимать оперативных мер по их устранению, происходит довольно быстро. Многие из дефектов развиваются так быстро, что могут снизить электрическую прочность изоляции электроустановки (например, силового кабеля) и привести к аварийной ситуации.

В изоляционной технике последних лет появились новые изоляционные материалы, в основном пластмассовые. Обеспечение надежности изоляции достигается правильным выбором ее материала и геометрии (толщина, форма), обусловленным значением рабочего напряжения и конструкций оборудования, правильной оценкой условий эксплуатации, надежной профилактикой в процессе работы. Высокое качество изоляционных материалов позволяет выпускать электрооборудование повышенной изоляционной надежности, обеспечивающее электробезопасность. Значительно сократилось применение хлопчатобумажной изоляции. На смену ей пришла изоляция из синтетических материалов.

Следует отметить, что в последнее время получили широкое применение кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ и выше. Они имеют ряд преимуществ по сравнению с кабелями традиционной изоляции: высокая пропускная способность, прекрасные диэлектрические свойства, широкий температурный коридор, запас термостойкости, отсутствие ограничений по уровням прокладки, удобные механические характеристики (низкий вес, небольшой диаметр и радиус изгиба, возможность изготовления кабелей 10 кВ любой строительной длины и др.).

Начиная с 1995 года в энергосистеме полным ходом идет техническое перевооружение: пожаровзрывоопасное маслonaполненное электрооборудование заменяется на надежное безопасное и современное – вакуумные выключатели 10 кВ и элегазовые выключатели 110–330 кВ. Данное оборудование имеет улучшенные характеристики, практически не требует ремонтов, срок службы при этом значительно увеличивается. Особенности имеет наладка элегазового оборудования. Отличие электрической наладки ЭГО (элегазовое оборудование) заключается в необходимости проведения некоторых измерений на стадии монтажа, так как после монтажа к отдельным узлам практически нет доступа. По этой причине на стадии монтажа ЭГО всегда имеется специальная бригада наладчиков для производства необходимых измерений и испытаний.

Как правило, подготовка персонала наладчиков элегазового оборудования, особенно в первые годы его внедрения, производилась непосредственно на заводах-изготовителях. По окончании обучения персоналу выдавался сертификат на право выполнения соответствующих работ. В настоящее время при монтаже и наладке новейших типов оборудования персонал энергосистемы выполняет работы совместно с представителями заводов-поставщиков.

УДК 620.9:658.345(075.8)

### **Переносные электроинструмент и светильники, ручные электрические машины, разделительные трансформаторы**

Студенты гр. 10603213 Балашов Т. В., Волков А. С.  
Научный руководитель – Филянович Л. П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Переносные электроинструмент и светильники, ручные электрические машины, разделительные трансформаторы и другое вспомогательное оборудование должны соответствовать требованиям технических нормативных правовых актов в части электробезопасности.

К работе с переносным электроинструментом и ручными электрическими маши-

нами класса I в помещениях с повышенной опасностью должны допускаться работающие, имеющие II группу по электробезопасности.

Подключение вспомогательного оборудования (трансформаторов, преобразователей частоты, устройств защитного отключения и тому подобного) к электрической сети должен выполнять электротехнический персонал, имеющий III группу по электробезопасности, эксплуатирующий эту электрическую сеть.

Класс переносного электроинструмента и ручных электрических машин должен соответствовать категории помещения и условиям использования в работе ручного электрифицированного инструмента различных классов с применением в отдельных случаях электрозащитных средств.

В помещениях с повышенной опасностью переносные электрические светильники должны иметь напряжение не выше 42 В.

При работах в особо опасных условиях (колодцах, баках выключателей, отсеках КРУ, барабанах котлов, металлических резервуарах и т. п.) переносные светильники должны иметь напряжение не выше 12 В.

Перед началом работ с ручными электрическими машинами, переносными электроинструментом и светильниками следует:

- 1) определить по эксплуатационной документации класс машины или инструмента;
- 2) проверить комплектность и надежность крепления деталей;
- 3) убедиться внешним осмотром в исправности кабеля (шнура), его защитной трубки и штепсельной вилки, целости изоляционных деталей корпуса, рукоятки и крышек щеткодержателей, защитных кожухов;
- 4) проверить четкость работы выключателя;
- 5) проверить наличие инвентарного номера и бирки со сроком испытания;
- 6) выполнить (при необходимости) тестирование устройства защитного отключения;
- 7) проверить работу электроинструмента или машины на холостом ходу;
- 8) проверить у машины I класса исправность цепи заземления (корпус машины – заземляющий контакт штепсельной вилки).

Не допускается использовать в работе ручные электрические машины, переносные электроинструмент и светильники с относящимся к ним вспомогательным оборудованием, имеющие дефекты и не прошедшие периодической проверки (испытания).

При использовании электроинструмента, ручных электрических машин, переносных светильников их провода и кабели должны по возможности подвешиваться.

Непосредственное соприкосновение проводов и кабелей с горячими, влажными и масляными поверхностями или предметами не допускается.

Кабель электроинструмента должен быть защищен от случайного механического повреждения.

Не допускается натягивать, перекручивать и перегибать кабель, ставить на него груз, а также допускать пересечение его с тросами, кабелями, шлангами газосварки.

При обнаружении каких-либо неисправностей работа с ручными электрическими машинами, переносными электроинструментом и светильниками должна быть немедленно прекращена.

Выдаваемые и используемые в работе ручные электрические машины, переносные электроинструмент и светильники, вспомогательное оборудование должны проходить проверку и испытания в сроки и объемах, соответствующих требованиям технических нормативных правовых актов, эксплуатационной документации организаций-изготовителей.

Для поддержания исправного состояния, проведения периодических испытаний и проверок ручных электрических машин, переносных электроинструмента и светильников, вспомогательного оборудования приказом или распоряжением руководителя организации должно быть назначено ответственное лицо из числа электротехнического персонала с III группой по электробезопасности.

При исчезновении напряжения или перерыве в работе электроинструмент и ручные электрические машины должны отсоединяться (отключаться) от электрической сети.

Работникам, пользующимся электроинструментом и ручными электрическими машинами, запрещается:

1) передавать ручные электрические машины и электроинструмент, в том числе и на непродолжительное время, другим работникам;

2) разбирать ручные электрические машины и электроинструмент, проводить какой-либо ремонт;

3) держаться за провод ручной электрической машины или электроинструмента, касаться вращающихся частей или удалять стружку, опилки до полной остановки инструмента или машины;

4) устанавливать рабочую часть в патрон инструмента, машины и изымать ее из патрона, а также регулировать инструмент без отключения его от сети штепсельной вилкой;

5) работать с приставных лестниц. Для выполнения работ на высоте должны устраиваться прочные леса или подмости;

6) вносить внутрь барабанов, котлов, металлических резервуаров и т. п. переносные трансформаторы и преобразователи частоты.

При использовании разделительного трансформатора: от него разрешается питание только одного электроприемника; корпус трансформатора в зависимости от режима нейтрали питающей электрической сети должен быть заземлен или занулен. В этом случае заземление корпуса электроприемника, присоединенного к разделительному трансформатору, не требуется.

УДК 331.45

### **Воздействие электрического тока на организм человека**

Студенты гр. 10602113 Мороз А. С., Морозов А. Г.

Научный руководитель – Мордик Е. В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Окружающая среда (природная, производственная и бытовая) таит в себе потенциальную опасность различного вида. Среди них – поражение электрическим током.

Опасность поражения электрическим током на производстве и в быту появляется при несоблюдении мер предосторожности, а также при отказе или неисправности электрического оборудования и бытовых приборов. Человек не может обнаружить без специальных приборов напряжение на расстоянии, оно выявляется лишь тогда, когда происходит прикосновение к токоведущим частям. По сравнению с другими видами производственного травматизма, электротравматизм составляет небольшой процент, однако по числу травм с тяжелым и особенно летальным исходом занимает одно из первых мест.

Электрический ток представляет собой упорядоченное движение электрических зарядов. Сила тока в участке цепи прямо пропорциональна разности потенциалов, то есть напряжению на концах участка и обратно пропорциональна сопротивлению участка цепи.

Прикоснувшись к проводнику, находящемуся под напряжением, человек включает себя в электрическую цепь, если он плохо изолирован от земли или одновременно касается объекта с другим значением потенциала. В этом случае через тело человека проходит электрический ток. Действие электрического тока на живую ткань носит разносторонний характер. Проходя через организм человека, он производит термическое, электролитическое, механическое, биологическое и световое воздействие.

Характер и глубина воздействия электрического тока на организм человека зависит от силы и рода тока, времени его действия, пути прохождения через тело человека, физического и психологического состояния последнего. Так, сопротивление человека в

нормальных условиях при сухой неповрежденной коже составляет сотни кОм, но при неблагоприятных условиях может упасть до 1 кОм.

Ощутимым является ток около 1 мА. При большем токе человек начинает ощущать неприятные болезненные сокращения мышц, а при токе 12–15 мА уже не в состоянии управлять своей мышечной системой и не может самостоятельно оторваться от источника тока. Такой ток называется неотпускающим. Действие тока свыше 25 мА на мышечные ткани ведет к параличу дыхательных мышц и остановке дыхания. При дальнейшем увеличении тока может наступить фибрилляция сердца.

Переменный ток более опасен, чем постоянный. Для трехфазных сетей переменного тока с любым режимом нейтрали самым опасным является двухфазное прикосновение (одновременно к двум проводам исправной сети). Человек замыкает через свое тело два фазных провода и попадает под полное линейное напряжение сети. При несовпадении момента прохождения тока с фазой расслабления сердца даже токи значительной величины (до 10 А) не вызывают его паралича. Следовательно, чем короче время прохождения тока, тем меньше вероятность такого совпадения и меньше опасность поражения.

Степень опасности поражения электрическим током зависит также от того, каким образом произошло включение человека в электрическую цепь. Двухфазное прикосновение в системах трехфазного тока представляет собой одновременное присоединение человека к двум различным фазам одной и той же системы, находящейся под напряжением. Человек оказывается включенным под полное линейное напряжение сети.

Степень опасности поражения человека электрическим током во многом зависит от среды, где он работает. В связи с этим все помещения по степени опасности делят на три класса: 1) без повышенной опасности; 2) с повышенной опасностью; 3) особо опасные. Помещения без повышенной опасности – это сухие помещения с изолирующими полами, например, деревянными). Помещения с повышенной опасностью характеризуются наличием одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, высокая температура (выше +30 °С), токопроводящий пол и т. д. Особо опасные помещения — это помещения, в которых особая опасность создается тем, что потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой или это помещения с химически активной средой, разрушающей изоляцию и токоведущие части электрооборудования. К особо опасным относятся также помещения, в которых одновременно имеются два и более условий повышенной опасности.

#### **Список использованных источников**

1. Челноков А. А., Жмыхов И. Н., Цап В. Н. Охрана труда. – Минск, «Вышэйшая школа», 2010.
2. Бондаренко Л. В., Персиянов В. В., Кудрявцев В. А., Ткачев В. Г. Безопасность жизнедеятельности. – Москва, 2001.

УДК 620.9:658.345(075.8)

#### **Меры безопасности при работе с радиоактивными отходами**

Студенты гр.10608113 Огиевич Д. Ю., Шкундич Е. А.  
Научный руководитель – Филянович Л. П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Конструкция и компоновка оборудования и трубопроводов систем обращения с радиоактивными отходами (РАО) должны обеспечивать возможность проведения их осмотра, ремонта, гидравлических испытаний, контроля металла и сварных соединений после изготовления и в процессе эксплуатации, а также замены оборудования и

трубопроводов. К РАО на станции относят твердые (ТРО), жидкие (ЖРО) и газообразные радиоактивные отходы (ГРО).

Должны быть обеспечены:

1. Сбор протечек и просыпей, исключаящий распространение радиоактивности за пределы барьеров;
2. Минимально возможная протяженность трубопроводов и минимально возможное количество арматуры, сварных и разъемных соединений;
3. Отсутствие недренируемых застойных зон;
4. Обеспечение трубопроводов, транспортирующих радиоактивные высокосолевыми растворами, смолами, шламами и другие аналогичные среды, устройствами для промывки.

В проекте должна быть предусмотрена возможность дезактивации, демонтажа и удаления оборудования и трубопроводов.

Системы с РАО должны быть оснащены средствами контроля и управления, позволяющими контролировать технологические процессы, эффективно управлять ими и предотвращать неконтролируемое поступление радионуклидов в окружающую среду во всех проектных режимах эксплуатации.

Проект предусматривает:

1. Регистрацию (запись) всех параметров, необходимых для управления процессами и контроля за ними;
2. Предупредительную и аварийную сигнализацию, соответствующие блокировки и защиты;
3. Автоматизированное управление пуском, эксплуатацией и остановкой оборудования и элементов систем.

Проектом должны быть предусмотрены хранилища для безопасного и надежного хранения всех РАО и установлены обоснованные сроки хранения некондиционированных и кондиционированных РАО в хранилищах.

Конструкция хранилищ должна предотвращать при нормальных условиях эксплуатации и при проектных авариях выход радионуклидов в окружающую среду в количестве, превышающем пределы, установленные в проекте в соответствии с требованиями федеральных норм и правил в области использования атомной энергии.

В проекте должны быть предусмотрены меры, обеспечивающие безопасное транспортирование РАО по площадке атомной станции (АС), в том числе:

1. Использование подъемно-транспортного оборудования, его обслуживание, ревизию, ремонт и дезактивацию;
2. Использование радиационной защиты;
3. Радиационный контроль мощности дозы гамма-излучения и поверхностного загрязнения упаковок РАО;
4. Использование специального транспорта для транспортировки РАО.

Упаковки РАО должны иметь:

1. Знак радиационной опасности;
2. Код или наименование АС;
3. Индивидуальный номер упаковки РАО.

При проектировании систем обращения с ЖРО должны быть предусмотрены:

1. Исключение сброса дебалансных вод или сведение к обоснованному минимальному сбросу дебалансных вод путем их максимального использования для технологических нужд АС;
2. Предотвращение загрязнения технологических сред АС радиоактивными отходами;
3. Недопущение неконтролируемых сбросов радиоактивных веществ с АС в водные объекты, водоносные горизонты, колодцы, скважины, на поверхность земли;
4. Очистка всех сбросов с АС, которые могут привести к накоплению радиоактивных веществ в окружающей среде выше пределов нормы;

5. Сбор и раздельное временное хранение всех образующихся на АС ЖРО;
6. Наличие системы емкостей для хранения ЖРО;
7. Наличие систем переработки всех ЖРО с целью сокращения их объема и кондиционирования.

В помещениях емкостей для хранения ЖРО должны быть предусмотрены:

1. Сигнализация протечек из емкостей.
2. Система сбора и возврата протечек.
3. Вентиляция.
4. Возможность дезактивации.
5. Радиационный контроль.

Проект систем обращения с ТРО предусматривает:

1. Сбор ТРО в специальных помещениях.
2. Сортировка ТРО в соответствии с их классификацией.
3. Использование контейнеров, подъемно-транспортного оборудования и спецтранспорта для транспортировки ТРО.

Проектом предусмотрены хранилища для ТРО. При проектировании хранилищ должны быть предусмотрены:

1. Оборудование для извлечения из хранилищ некондиционированных ТРО.
2. Возможность осмотра, ревизии и извлечения из хранилищ упаковок кондиционированных ТРО.
3. Система дренажей для сбора протечек.
4. Возможность увеличения емкостей хранилищ или сооружения дополнительных хранилищ.
5. Раздельное размещение РАО в соответствии с классификацией.

Системы обращения с ГРО должны обеспечивать очистку газов от радиоактивных аэрозолей, инертных газов, паров йода и его соединений.

Должны быть предусмотрены:

1. Максимально возможное снижение содержания радионуклидов в ГРО.
2. Возможность организации местных систем газоочистки.
3. Периодический контроль работоспособности систем газоочистки.
4. Системы газоочистки приводимые в действие при возникновении проектных аварий на АЭС.

Средства и методы для контроля оборудования паспортным данным. Условия хранения не должны приводить к разрушению упаковок РАО и изменению формы некондиционированных и отвержденных кондиционированных РАО.

Проект должен предусматривать радиационный и технологический контроль за состоянием РАО на всех стадиях обращения с ними.

УДК 658.382.3.681.7

### **Техника безопасности при работе в физической лаборатории**

Студент гр. 11311113 Нупрейчик А. О.  
Научный руководитель – Автушко Г. Л.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Правила охраны труда определяются типом оборудования и выполняемой работой. Некоторые правила являются общими для большинства выполняемых работ.

Требования к различным помещениям оптического цеха зависят от характера выполняемых в них работ. Все финишные операции, к которым относятся нанесение покрытий химическим и физическим способами, изготовление сеток, склейка оптических деталей, контроль оптических деталей, должны выполняться в условиях высокой технологической гигиены.



Температура и влажность воздуха должны быть достаточно постоянными и соответствовать установленным нормам.

К работе в физической лаборатории допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медосмотр, инструктажи по охране труда и пожарной безопасности, обучение, стажировку и проверку знаний требований охраны труда. Допуск к самостоятельной работе оформляется письменным распоряжением руководителя цеха.

При работе в физической лаборатории опасными и вредными факторами могут быть:

- электрический ток;
- шум, ПДУ - 80 дБА;
- напряжение зрения;
- пары этилового спирта, ПДК – 1 000 мг/м .

Этиловый спирт – легковоспламеняющаяся жидкость, раздражает оболочку дыхательных путей. На кожу действует слабо.

Работникам выдается спецодежда – халат х/б.

Контрольно-измерительные приборы должны быть подвешены или установлены на прочное основание, тщательно выверены и надежно закреплены.

Контрольно-измерительные приборы, находящиеся в физической лаборатории, должны работать от сети 220 В через понижающие трансформаторы.

Все контрольно-измерительные приборы, корпуса блоков питания и переносные трансформаторы должны быть надежно заземлены, места соединения заземляющего провода – обозначены красным цветом.

Розетки должны быть исправны и промаркированы.

Хранить этиловый спирт следует в посуде из цветного металла или в стеклянных банках, с плотно закрывающимися пробками, помещенных в чехлы из цветного металла.

Нормы хранения этилового спирта, фамилии лиц, ответственных за противопожарное состояние, и инструкции по охране труда должны быть вывешены в физической лаборатории на видном месте.

В помещении должно быть приспособление для снятия статического электричества.

Необходимо соблюдать режимы труда и отдыха, правила пожарной безопасности, уметь пользоваться средствами пожаротушения.

Следует соблюдать личную гигиену. Перед приемом пищи надо вымыть руки с мылом.

Перед началом работы необходимо:

- надеть спецодежду;
- снять статическое электричество (при работе с этиловым спиртом) путем прикосновения палочкой из цветного металла к заземленным предметам;
- перед включением приборов в сеть проверить исправность шнуров, блоков питания, штепсельных вилок, убедиться в отсутствии оголенных проводов;
- бархатные салфетки перед началом работы почистить кисточкой или вытряхнуть, чистить руками запрещается;
- проверить наличие средств пожаротушения;
- о всех неисправностях (инструмента, приборов, приспособлений и пр.), обнаруженных при осмотре, сообщить своему руководителю и до их устранения к работе не приступать.

Запрещается:

- курить в помещении физической лаборатории. Курить разрешается в специально отведенных местах;
- носить одежду из синтетических материалов и шелка, способствующую электризации, а также браслеты, кольца, на которых аккумулируются заряды статического электричества;
- производить ремонт электрической части приборов;
- хранить на рабочем месте немаркированную тару.

Во время работы следует:

- выполнять только ту работу, которая поручена непосредственным руководителем, при условии, что безопасные способы ее выполнения известны;
- во время работы быть внимательным, не отвлекаться и не отвлекать других;
- содержать рабочее место в чистоте, не допуская загромождения его и проходов;
- запрещается допускать на свое рабочее место лиц, не имеющих отношения к порученной работе, отвлекаться разговорами и прочими делами;
- оправы и приспособления, используемые при проверке оптических деталей и узлов, рейтеры и другие подвижные части коллиматоров надежно закрепить;
- не оставлять открытой емкость со спиртом, не превышать суточные нормы хранения и хранить в несгораемом шкафу;
- запрещается пальцами рук проверять чистоту обрабатываемых деталей;
- уходя, не оставлять включенными приборы;
- в течение всего дня поддерживать чистоту на рабочем месте.

По окончании работы нужно:

- сдать грязные салфетки в стирку;
- отправить проверенную продукцию по назначению;
- емкость со спиртом поместить в несгораемый шкаф;
- убрать рабочее место, произвести влажную уборку стола;
- все отходы вынести в специальное место;
- отключить электроприборы от сети. Обесточить силовую и осветительную линию;
- снять спецодежду, убрать в специально отведенное место. Спецодежду хранить отдельно от личной одежды;
- вымыть руки водой с мылом;
- о всех замечаниях, обнаруженных во время работы, сообщить руководителю.

УДК 331.45

#### **Требования по охране труда при работе на диагностических ультразвуковых аппаратах**

Студенты гр. 11307113 Бабынина А. А., Литвинец А. С.  
Научный руководитель – Автушко Г. Л.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Ультразвуковое исследование (УЗИ) – неинвазивное исследование организма человека или животного с помощью ультразвуковых волн. Физическая основа УЗИ – пьезоэлектрический эффект. При деформации монокристаллов некоторых химических соединений (кварц, титанат бария) под воздействием ультразвуковых волн, на поверхности этих кристаллов возникают противоположные по знаку электрические заряды – прямой пьезоэлектрический эффект. При подаче на них переменного электрического заряда в кристаллах возникают механические колебания с излучением ультразвуковых волн.

При выполнении работ с аппаратами УЗИ на медицинских работников возможно действие следующих опасных и вредных производственных факторов:

- биологический фактор при обслуживании больных;
- контактный и воздушный ультразвук;
- электромагнитные излучения радиочастотного диапазона;
- электрические и магнитные поля;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- электростатические поля, неионизирующие излучения;
- оптическое излучение в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазоне;

- аэроионный состав воздуха;
- ответственность за функциональное качество конечного результата;
- ответственность за безопасность других лиц.

Чтобы избежать пагубного воздействия на здоровье специалиста при работе на аппаратах ультразвукового исследования необходимо следовать следующим правилам:

– к самостоятельной работе на диагностических ультразвуковых аппаратах допускаются лица, имеющие соответствующее медицинское образование и подготовку по специальности, обладающие теоретическими знаниями и профессиональными навыками в соответствии с требованиями действующих нормативных правовых актов, не имеющие противопоказаний к работе по данной специальности по состоянию здоровья, прошедшие в установленном порядке предварительный (при поступлении на работу) и периодические (во время трудовой деятельности) медицинские осмотры;

– при работе на аппаратах работники должны быть обучены безопасным методам и приемам выполнения работ, проведен им вводный инструктаж по охране труда и инструктаж по охране труда на рабочем месте, пройти стажировку на рабочем месте и проверку знаний по охране труда;

– повторный инструктаж по охране труда должен проводиться в сроки не реже одного раза в шесть месяцев;

– при работе с электрическими медицинскими аппаратами работник должен иметь I группу по электробезопасности;

– медицинские аппараты должны соответствовать требованиям ТНПА, документам организаций-изготовителей.

Все медицинские электроаппараты должны:

- иметь технический паспорт;
- быть оборудованы заземлением;
- быть в исправном состоянии.

Работники обязаны:

• соблюдать режим труда и отдыха, установленный законодательством, правилами внутреннего трудового распорядка организации, трудовую дисциплину, выполнять требования охраны труда, правил личной гигиены;

• выполнять требования пожарной безопасности, знать порядок действий при пожаре, уметь применять первичные средства пожаротушения;

• курить только в установленных для курения местах;

• знать приемы оказания первой помощи при несчастных случаях;

• о неисправности аппаратов УЗИ и других замечаний по работе с медицинским оборудованием, приборами и инструментом сообщать заведующему кабинетом или лицам, осуществляющим техническое обслуживание оборудования;

• соблюдать требования по охране труда, а также правила поведения на территории учреждения, в производственных, вспомогательных и бытовых помещениях;

• поддерживать порядок на своем рабочем месте;

• проходить в установленном законодательством порядке медицинские осмотры, подготовку (обучение), переподготовку, повышение квалификации и проверку знаний по вопросам охраны труда;

• внимательно выполнять свои служебные обязанности;

• использовать оборудование и инструменты строго в соответствии с инструкциями заводов-изготовителей;

• правильно применять средства индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с условиями характером выполняемой работы.

Студенты гр. 11309113 Позняк В. Г., Асипович А. В.  
Научный руководитель – Автушко Г. Л.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Ювелирное производство включает в себя ряд технологических процессов, которые требуют для создания безопасных условий труда при их выполнении осуществления комплекса организационно-технических и профилактических мероприятий.

В зависимости от структуры ювелирного подразделения (цех, мастерская) на предприятии должны быть разработаны конкретные инструкции по технике безопасности для работы на всех видах оборудования, а также для рабочих различных профессий, занятых в ювелирном производстве. Инструкции должны быть согласованы с месткомом профсоюза и утверждены главным инженером предприятия. Обязанность всех работников – строго выполнять требования соответствующих инструкций по технике безопасности.

Приступая к разработке мероприятий для создания безопасных условий труда, необходимо в первую очередь определить основные очаги опасности. Таковыми в ювелирном производстве являются возможные поражения электрическим током, отравления дыхательных путей, ожоги, возгорания, травмы рук в процессе выполнения слесарно-механических операций и др. В соответствии с возможными очагами опасности надо предусмотреть и осуществить такие организационно-технические мероприятия, которые при условии соблюдения работниками требований соответствующих инструкций по технике безопасности обеспечат бы полную безопасность при выполнении всех процессов ювелирного производства.

К работе на камнеобрабатывающих станках допускаются мастера, хорошо изучившие станок, обученные безопасным приемам работы на нем и знающие инструкцию по технике безопасности. Работая на станке с отдельными электромоторами, рабочий должен уметь пользоваться электроаппаратурой управления: кнопочными или магнитными пускателями, рубильниками, выключателями, розетками.

Каждое рабочее место перед началом работы должно быть осмотрено мастером или бригадиром, а в течение суток – начальником цеха или участка, которые должны запретить выполнение работ при обнаружении нарушений правил техники безопасности.

Прежде чем приступить к работе, рабочий сам должен убедиться в безопасном состоянии рабочего места, проверить исправность станка, механизма и инструментов.

Все вращающиеся и движущиеся части машин, механизмов и приводов, а также части, находящиеся под напряжением, должны быть закрыты кожухами или защищены металлическими ограждениями. Пуск в эксплуатацию станков и механизмов без ограждений запрещается. Перед пуском механизмов в работу следует предварительно давать сигнал.

Ремонт оборудования в процессе работы запрещен. Перед производством ремонтных работ оборудование должно быть обесточено.

Отходы, пыль и грязь с оборудования, около него и из опасной зоны должны убирать только те лица, которые непосредственно работают на этом оборудовании, причем только с помощью специального инвентаря (крючков, щеток, сметок). Продувка сжатым воздухом не разрешается. Очистка оборудования также должна производиться с использованием специальных приспособлений (щеток, скребков и т. п.).

Работать разрешается только в спецодежде, спецобуви и с индивидуальными защитными средствами по действующим нормам.

Во время работы необходимо внимательно следить за световыми и звуковыми сигналами и командами.

Рабочие места должны постоянно содержаться в чистоте. Следует помнить, что о разбросанные возле станка обломки камня и инструменты можно споткнуться.

Важным условием безопасной работы является опрятность и аккуратность в одежде. Нужно иметь в виду, что незастегнутые манжеты рукавов, незавязанные тесемки спецодежды и т. п. могут попасть во вращающиеся детали станка и стать причиной несчастного случая.

К несчастному случаю может привести также неосторожное обращение с заготовками при их установке и креплении перед обработкой, неисправность ручных инструментов или неправильное их применение. Так, гаечный ключ несоответствующего размера при завертывании гайки может сорваться и вызвать ушиб. Забоины на рукоятке ключа приводят к ссадинам на руках рабочего. Представляет опасность наращивание длины рукоятки ключа при помощи второго ключа или трубы. Об этом необходимо всегда помнить.

Необходимо также следить за тем, чтобы молотки и кувалды были надежно насажены на рукоятку, а сама рукоятка не имела трещин и заусенцев. Во избежание травм следует пользоваться только правильно заправленными шпунтами, скарпелями, закольниками без трещин и заусенцев. Конец отвертки должен быть правильно заточен, иначе отвертка может выскользнуть из прорези винта и причинить травму.

На рабочие места не должны допускаться лица, не связанные с выполнением данной работы.

Техника безопасности в ювелирной мастерской подразумевает работу в защитных средствах. Не стоит пренебрегать защитными очками или противопылевой маской и перчатками. Обязательно нужно одевать защитные очки при работе на полировальном станке, это сохранит глаза от случайного попадания мелких частиц. А противопылевая маска защитит легкие от вдыхания мельчайших частиц пыли или токсичной кислоты, вредной для организма.

Обязательно нужно закреплять любые изделия в соответствующих зажимах или тисках, вылетевшая деталь, пускай и очень маленькая, попав не в то место, может нанести серьезную травму.

Все производственные помещения должны быть оснащены средствами пожаротушения.

Кроме перечисленных возможны и другие условия, вызывающие различного рода опасности (работа неисправным инструментом или на неисправном оборудовании, нарушение требований техники безопасности при работе на камнерезных и шлифовальных станках и др.).

С целью предупреждения травматизма необходимо в соответствии с установленным порядком проводить инструктаж работников: вводный – при поступлении на работу, первичный – непосредственно на рабочем месте и аperiodический – в процессе всей производственной деятельности (не реже одного раза в квартал).

УДК 331.45

### **Требования по технике безопасности, предъявляемые к рентгенографии молочной железы**

Студент гр. 11307113 Плескач М. А.  
Научный руководитель – Автушко Г. Л.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Злокачественное новообразование, формирующиеся из железистой ткани молочной железы, называют раком груди. Эта патология на сегодняшний день занимает первое место в мире среди всех раковых заболеваний женщин. Проверочные обследования с применением маммографии предназначены для диагностики скрыто протекающих заболеваний молочной железы. Маммография – ведущий метод распознавания рака молочной железы в ранней стадии.

Кабинет для маммографии должен иметь документацию в соответствии с действующими стандартами и нормативами СанПиН 2.6.1.8-38-2003 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических

исследований». Врач и рентгенолаборант, допускаемые к работе в маммографическом кабинете, должны иметь сертификаты врача-рентгенолога и рентгенолаборанта, лицензию на право выполнения рентгенологического исследования молочной железы, документ об аттестации второй, первой или высшей категории. От специалиста физико-технической службы требуется сертификат на право проверки маммографических аппаратов, свидетельство об образовании по радиобиологии и радиационной безопасности. Максимальная доза для выполнения маммограммы молочной железы, состоящей на 50 % из железистой и на 50 % из жировой ткани, не должна превышать 0,2–0,5 мЗв. Маммография противопоказана беременным женщинам. Для пациента должны быть предусмотрены индивидуальные средства защиты: защитный передник, защитный воротник, а для персонала – большая защитная ширма (при отсутствии комнаты управления) и прорезиненные средства индивидуальной защиты (далее – СИЗ) (фартук, юбка, перчатки и др.) во время работы в зоне ионизирующего излучения. СИЗ работников должны использоваться со штампами и отметками, указывающими их свинцовый эквивалент и дату проверки. Проверка СИЗ должна проводиться один раз в два года службой радиационной безопасности. При нарушении целостности применение СИЗ запрещается. Работники должны носить в рентгенодиагностических кабинетах санитарную одежду (халат, шапочку), при работе в рентгеновской операционной – марлевую повязку и бахилы.

Каждая процедура должна быть адаптирована к физическим характеристикам конкретной пациентки, укладка груди под сдавливающую пластину должна производиться с учетом положения мышц грудной клетки, особенностей лимфотока и подвижности отдельных зон. Во время сеанса рентгенотерапии персонал из комнаты управления через смотровое окно наблюдает за состоянием пациента, подавая ему необходимые указания через переговорное устройство. Разрешается нахождение персонала в процедурной за защитной ширмой при работе. Не допускается нахождение в процедурной лиц, не имеющих прямого отношения к рентгенологическому отношению. Так же устанавливаются требования к составу и площади помещений рентгеновского кабинета. Для маммографов расчет стационарной защиты должен проводиться только от рассеянного излучения. Проводиться радиационный контроль на рабочих местах, т. е. на участках фактического нахождения персонала во время проведения рентгенологических процедур.

При выполнении работ с рентгеновскими аппаратами на медицинских работников возможно действие следующих опасных и вредных производственных факторов:

- биологический фактор при обслуживании больных;
- повышенная концентрация токсических компонентов защитных материалов на рабочих поверхностях и в воздухе рабочей зоны;
- повышенный уровень ионизирующего излучения в воздухе рабочей зоны;
- вредные вещества образующиеся и выделяющиеся при работе аппаратов;
- повышенная концентрация озона, окислов азота и от воздушных электрических разрядов в высоковольтных устройствах;
- повышенный уровень шума, создаваемый электрическими приводами, воздушными вентиляторами;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- ответственность за функциональное качество конечного результата;
- ответственность за безопасность других лиц.

Для обеспечения оптимальных параметров микроклимата проводится ежедневная влажная уборка помещений после окончания работы. Во время уборки электроснабжение рентгеновской установки должно быть отключено. При работе в кабинетах с установленными рентгеновскими аппаратами должен быть обеспечен доступ работников к первичным средствам пожаротушения, аптечкам первой медицинской помощи. Работник должен знать перечень медикаментов, входящих в аптечку первой медицинской помощи, знать ее местонахождение, уметь пользоваться средствами пожаротушения.

**Формирование условий труда и пути повышения производственной безопасности в современном животноводстве**

Студент гр. 11от Сенкевич И. А.  
Научный руководитель – Молош Т. В.,  
Белорусский государственный аграрный технический университет  
г. Минск

В настоящее время одной из важных отраслей агропромышленного комплекса, в которой заняты тысячи работающих, является животноводство. Особенность производственных процессов в животноводстве состоит в объединении труда человека, предмета труда и средств труда. С точки зрения безопасности рассматривается система: Человек – Машина – Животное – Среда. Исходя из этого проводится анализ опасных ситуаций в процессе ее функционирования, условий труда, что дает возможность предсказать, предупредить состояние травмоопасности и заболеваемости на производстве на основе комплекса мероприятий, обеспечивающих безопасность труда в животноводстве. Анализ материалов исследований по производственной безопасности в животноводстве показывает непосредственное влияние на состояние здоровья работающих условий их труда, которые могут не соответствовать нормативным параметрам микроклимата, запыленности, загазованности и бактериальной загрязненности производственных помещений и других факторов.

У животноводов выявлена высокая распространенность субъективных нарушений здоровья. Хронические воспалительные заболевания ЛОР органов составляют до 80,8 % всей патологии. В их генезе существенное значение имеет простудный фактор, запыленность и загазованность воздушной среды животноводческих помещений, а также загрязнение их микроорганизмами. Распространенность поражения слизистой оболочки верхних дыхательных путей у животноводов можно объяснить особенностями труда, работой в условиях загрязнения воздушной среды аммиаком, сероводородом, углекислым газом, микробами, грибами.

Патология органов зрения у животноводов встречается значительно чаще, чем у других сельскохозяйственных рабочих. Значительно распространены среди животноводов, особенно среди доярок и свинок, грибковые заболевания кожи.

Труд животноводов бывает опасным из-за контакта людей с заразными животными, их продуктами, трупам и навозом. Профилактические мероприятия сводятся прежде всего к тщательному ветеринарному осмотру, своевременной ветеринарно-санитарной обработке животных, дезинфекции помещений и навоза, а также соблюдению обслуживающим персоналом мер личной гигиены.

Микроклимат в животноводческих помещениях колеблется в значительных пределах. Он зависит от типа зданий, теплопроводности его конструкций, системы отопления и вентиляции, климатических условий, сезона года, численности, видовых и половозрастных особенностей животных. В основе своей микроклимат животноводческих помещений определяется зоогигиеническими нормативами, которые в отдельных случаях не совпадают с санитарно-гигиеническими требованиями. Резким отрицательным колебаниям подвержен микроклимат в тех животноводческих помещениях, где применяется мобильный способ кормления, что вызывает необходимость частого открывания ворот. При высокой влажности воздуха проникновение больших масс холодного воздуха в помещение приводит к образованию тумана и выпадению конденсата водяных паров на ограждениях здания.

Воздушная среда животноводческих помещений постоянно загрязнена газообразными примесями, обусловленными жизнедеятельностью животных, а также продуктами разложения экскрементов, остатков кормов. К ним относятся аммиак, сероводород и др., нередко имеет место повышенное содержание углекислоты.

Концентрации газообразных примесей в воздухе производственных помещений непостоянны и находятся в зависимости от архитектурно – планировочных решений, способа содержания скота, типа кормления, способа навозоудаления, системы вентиляции и др. В холодный период года, во время уборки помещений, при неисправности систем вентиляции и несвоевременном навозоудалении концентрации вредных газообразных веществ могут повышаться.

Пыль в помещениях животноводческих комплексов имеет чрезвычайно сложный состав, включающий минеральные и органические компоненты. Преобладающим является органический компонент, который и определяет гигиенические особенности пыли животноводческих помещений.

В состав пыли также входят кормовые антибиотики, стимулирующие рост животных, а также антибиотики, применяемые для профилактики и лечения различных заболеваний животных. Состав пыли современных животноводческих комплексов определяет ее патогенные свойства – фиброгенные, аллергизирующие, сенсибилизирующие и токсические, установленные в зависимости от специализации и технологий животноводческого производства причины и закономерности формирования комплекса вредных производственных факторов, могут являться основой для разработки мер по оптимизации условий труда животноводов.

Одним из важных неблагоприятных факторов производственной среды в животноводстве является неприятный специфический запах, обусловленный присутствием газообразных и летучих соединений в воздухе (меркаптаны, амины, кетоны, альдегиды, дисульфиды, спирты, индол, скатол, сернистый газ и др.). Химические компоненты, обуславливающие запах, содержатся в незначительных концентрациях, однако они весьма стойки и способны легко адсорбироваться одеждой, кожным и волосным покровом человека. При возрастании концентрации газообразных химических соединений источников запаха у работающих появляется раздражение слизистых, спазм дыхательных путей.

Причинами вредных производственных факторов в животноводстве являются высокая плотность содержания сельскохозяйственных животных на ограниченных площадях при недостаточно эффективных системах отопления и механической вентиляции; несовершенство используемых технологий и оборудования откорма, приготовления и раздачи кормов, особенно в цехах выращивания и содержания молодняка, схем и способов уборки и дезинфекционных мероприятий, «старение» конструкций и износ оборудования и др., что следует учитывать при разработке требований и мероприятий по оптимизации условий труда животноводов.

Работа по улучшению условий труда предполагает в первую очередь совершенствование техники, технологии, а также совершенствование производственных процессов с учетом комплекса санитарных норм, стандартов и требований. Улучшение условий труда, профилактика заболеваний животноводов представляет собой научно-техническую проблему, имеющую важное народнохозяйственное значение.

УДК 620.9:658.345(075.8)

### **Пожарная безопасность энергетических объектов**

Студенты гр. 10603213 Оразгылыджов Ю. Я., гр. 10603113 Ахундова Ю.

Научный руководитель – Филянович Л. П.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

При пожаре в силовых, измерительных маслonaполненных трансформаторах, дугогасящих и шунтирующих реакторах необходимо немедленно отключить их коммутационными аппаратами от шин распределительных устройств. Если они не отключились устройствами релейной защиты, отключить соответствующие выключатели и разъединители, заземлить ошиновку присоединений, отключить системы воздушного и масляного



охлаждения вышеуказанного оборудования. При необходимости отключить и заземлить близкорасположенные токоведущие части других присоединений.

После снятия напряжения с трансформатора необходимо приступить к тушению пожара на нем с использованием распыленной воды, углекислотных, порошковых огнетушителей или воздушно-механической пены.

Тушение разлившегося трансформаторного масла следует проводить тонко распыленной водой, песком, воздушно-механической пеной или порошковыми составами.

При эксплуатации маслonaполненных трансформаторов по периметру гравийной засыпки маслоприемных устройств должны устраиваться бортовые ограждения из негорючих материалов, рассчитанные на удержание полного объема масла. В бортовых ограждениях маслоприемных устройств не должно быть разрывов. Стенки кабельных каналов в качестве бортового ограждения маслоприемников трансформаторов и масляных реакторов использовать (приспосабливать) запрещается.

Гравий в пределах бортовых ограждений маслоприемника должен быть чистым без растительности и не реже одного раза в год промываться. При образовании гравийной засыпки твердых отложений от нефтепродуктов толщиной 3 мм и более в случае невозможности ее промывки, появление растительности должна осуществляться полная или частичная замена гравия с фракцией от 30 до 70 мм.

Аварийные емкости для приема масла от трансформаторов, масляных реакторов и выключателей должны проверяться после обильных дождей, таяния снега или тушения пожара, но не реже двух раз в год, и при необходимости освободиться от имеющейся воды.

Вводы кабельных линий в шкафы управления, защиты и автоматики, а также в разветвительные (соединительные) коробки на трансформаторах должны быть уплотнены водостойким негорючим материалом.

Эксплуатация трансформаторов и масляных реакторов с неисправными стационарными установками пожаротушения запрещается.

В распределительных устройствах не должны применяться конструкции из горючих материалов.

Места подвода кабелей к ячейкам закрытых распределительных устройств и другим сооружениям, места прохода кабелей из кабельных сооружений в лотки открытых распределительных устройств должны уплотняться негорючими материалами, не снижающими требуемые предел огнестойкости конструкции сооружения.

В кабельных лотках и каналах допускается применять пояса из просеянного песка или другого негорючего материала длиной не менее 30 см. При прохождении каналов под маслonaполненным оборудованием всю зону прохождения в канале необходимо засыпать просеянным песком.

Места уплотнения кабельных линий, проложенных в металлических коробках и лотках всех типов, должны быть обозначены красными полосами на наружных стенках коробов и плит перекрытия лотков (при необходимости могут делаться поясняющие надписи).

В местах установки на открытых распределительных устройствах пожарной аварийно-спасательной техники (в соответствии с оперативным планом тушения пожара) должны быть обозначены и оборудованы места заземления.

В зимнее время кабельные лотки, колодцы и резервуары аварийного слива масла из маслonaполненного должны регулярно очищаться от снега.

Тушение пожаров в кабельных сооружениях (туннелях, каналах, этажах и полуэтажах в кабельных сооружениях (туннелях, каналах, этажах и полуэтажах, шахтах и др.) проводится в порядке, указанном в соответствующих оперативных карточках по тушению, с помощью стационарной системы водяного или пенного пожаротушения, а также путем применения других огнетушащих средств: углекислотных, порошковых, аэро-

зольных составов, воды, песка, асбестового полотна и т. п. Способ тушения пожара выбирается в зависимости от места возникновения, площади, объема и распространения пожара с соблюдением требований правил техники безопасности.

При наличии в кабельных сооружениях автоматической системы тушения пожара проверяется ее включение и эффективность работы. Если она автоматически не включилась или сработала только сигнализация о пожаре, то система пожаротушения приводится в действие ручным пуском.

Для тушения пожара на открытых кабельных сооружениях (в лотках, на стенах, эстакадах и т. п.) следует применять струи распыленной воды от пожарных стволов или порошковые составы. Для предупреждения распространения пожара в кабельном сооружении должны приниматься меры по созданию водяных завес или по вводу пеногенераторов через люки для заполнения объема кабельного помещения воздушно-механической пеной от передвижной пожарной техники с соблюдением требований правил электробезопасности.

Также должно проводиться отделение отсеков, в которых возник пожар, от смежных помещений путем закрытия дверей в секционных перегородках, отключения вентиляции и применения средств пожаротушения. В исключительных случаях возможно заполнение пеной соседних кабельных помещений. При тушении пожаров в кабельных сооружениях электроустановок должны использоваться индивидуальные средства защиты органов дыхания работников. Способы тушения пожара в кабельных этажах и полуэтажах аналогичны тушению пожаров в кабельных каналах, туннелях и шахтах.

Во время тушения водой горящих электрических кабелей в туннелях и шахтах работники предприятия или ВПС должны применять электроизолирующих боты и перчатки. При этом пожарный ствол и насос пожарного автомобиля должны быть надежно заземлены.

Одновременно с тушением пожара дежурный персонал предприятия (энергообъекта) должен принять меры по немедленному отключению коммутационными аппаратами электрических кабелей, находящихся в зоне пожара, в первую очередь кабелей более высокого напряжения (110, 35, 10 кВ и ниже).

Тушение пожаров ручными средствами пожаротушения в кабельных сооружениях и помещениях при сильном задымлении (видимость менее 5 м) без снятия напряжения с токоведущих частей электроустановок и нахождения в них работников запрещается для предотвращения травмирования электротоком.

УДК 004.715

### **Вредное воздействие WI-FI излучений на здоровье человека**

Студент гр. 11305213 Яцевич Д. Е.  
Научный руководитель – Науменко А. М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Сейчас трудно себе представить жизнь, лишенную беспроводных технологий. Практически в каждом кафе, доме, парке есть возможность использовать доступ в интернет при помощи WI-FI. Но вопрос стоит в том, насколько вредно для здоровья находиться постоянно в окружении устройств, которые обмениваются данными по воздуху.

Беспроводные точки доступа работают на волнах одной длины с обычными микроволновками – 2,4 ГГц. Но при этом кухонный бытовой прибор выделяет радиоизлучения, которые в 100 тысяч раз превышает излучение от WI-FI роутера. Это было доказано ученым Малькомом Сперрином во время проведения исследований. Однако известно, что даже микроволновки, при условии качественной сборки (хорошая герметичность), не несут опасности здоровью.

Первым делом нам нужна некоторая техническая информация о WI-FI.

– Частота излучения – 2,4 ГГц.

Для сравнения: частота излучения микроволновой печи составляет 2,45 ГГц, из-за чего они «печки» могут создавать помехи для роутера.

– Мощность излучения – в пределах 63 мВт.

Для сравнения: мощность излучения мобильного телефона – около 1 Вт.

– Время воздействия на человека – постоянно (если роутер включен).

– Расстояние до источника – от 0 до 70 метров (в условиях помещений).

– Согласно норм ППЭ (плотность потока электромагнитного излучения) от базовых станций сотовой связи в местах проживания населения не должна превышать 10 мкВт/см<sup>2</sup>.

Фактические значения плотности потока энергии у ротора составили от 0,5 до 8 мкВт/см<sup>2</sup> в зависимости от расстояния (0,5–10 м).

Плотность потока электромагнитного излучения характеризует количество энергии, переносимой электромагнитной волной в единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярной направлению распространения волны.

В ходе проведения исследований, связанных с воздействием ЭМП (электромагнитного потока) на человека, были определены некоторые правила пользования электромагнитными приборами. Так, для населения применяются более жесткие ограничения по сравнению с профессиональными работниками. Это связано с тем, что население состоит из людей различного возраста и состояния здоровья, которые, во многих случаях, не знают о воздействии ЭМП, а также могут подвергаться облучению до 24 часов в день.

Используя эти данные, нам предстоит сделать вывод о вредности WI-FI излучения. Говоря о WI-FI, мы имеем в виду электромагнитное излучение, а оно оказывает раздражающее влияние в первую очередь на мозг и центральную нервную систему. Поэтому дальнейшие рассуждения следует вести о влиянии WI-FI именно на эти важнейшие центры человеческого организма.

Следует помнить о том, что вокруг нас присутствуют и другие источники излучения – телевизор, компьютер, мобильный телефон, электробритва, фен и т. д. В случае, если вы беспокоитесь о вредности WI-FI, вам нужно ограничить себя от всех прочих, порой более вредных, источников излучения (таких как смартфон или ноутбук).

Мы каждую секунду находимся под влиянием электромагнитных волн. Полностью уберечь себя от них невозможно, но реально снизить их воздействие до безвредного уровня.

Нет точных доказательств того, что WI-FI вредно. Нет доказательств и обратному.

УДК 331.45

### **Физиологические аспекты причин глазного утомления и защитных мер**

Студентка гр. 10701113 Якутина А. В.

Научный руководитель – Журавков Н. М.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Глазные причины утомления крайне многочисленны и в них доминирует не только оптический характер, но и факторы внешней среды.

Глаз – это нервный аппарат, воспринимающий свет, способный выявлять целую гамму световых качеств, ни один физический прибор не обладает подобным размахом чувствительности. Кроме этого, он обладает автоматической способностью длительной адаптации к различным предлагаемым ему уровням освещенности. Очевидно, что существует утомление этого механизма, не выявленное и не изученное еще с достаточной точностью.

Акт зрения является вместе с тем функцией головного мозга, которая имеет доминирующий характер в сознательной жизни человека. Он зависит от самой сложной и наиболее дифференцируемой нервной структуры и находится под контролем тончайшего нервно-мышечного аппарата. Утомление является результатом одновременного избытка зрительной, умственной и физической работы.

Утомление нервного аппарата глаза указывает на наличие общих предрасполагающих условий и не является исключительно местным нарушением. К зрительному утомлению склоны наиболее чувствительны лица с повышенной нервной возбудимостью. Физические способности глаза во многом зависят от уровня освещенности, при нормировании которой определяют характеристики видимости данного объекта, выраженные в величине остроты зрения и различительной чувствительности, определяющие световой уровень, обеспечивающие глазу оптимальные условия зрительной работы.

Во время работы глаза подвергаются воздействию ряда вредных и опасных факторов, что вызывает необходимость в наличии средств защиты, основывающиеся на физиологических принципах. К ним относятся:

- защита от воздействия: разлетающихся твердых и раскаленных частиц (абразивные и др. работы с выделением пылей);
- от воздействия агрессивных жидкостей (едкие щелочи, кислоты и др.)
- от излучений: ультрафиолетового, инфракрасного и ионизирующего (электрогазосварки, плазменная резка, рентгеновская и гамма-дефектоскопия).

Применяемые средства защиты глаз должны отвечать соответствующим физиологическим требованиям.

Защитные экраны электрогазосварщика должны задерживать ИК и УФ-излучения и понижать яркость источника видимого света (электродуги), которые могут вызывать тяжелую фототравму сетчатой оболочки. Это вызывает необходимость применения очень темных экранов, исключающих всякую видимость в поле зрения за пределами места сварки. Оптическая плотность экрана должна рассчитываться исходя из яркости источника и яркости, переносимой глазом (при всех условиях ее значение составляет не ниже 3 единиц). При этом возникают проблемы избирательности и плотности.

Защитные очки рабочих литейных и термических производств должны избирательно отфильтровывать лучи инфракрасной области, но иметь не слишком высокую оптическую плотность, уменьшающую прозрачность для лучей видимого спектра.

Для работающих при дневном или искусственном освещении есть необходимость только в дымчатых очках, для защиты от отражений солнечных лучей различных поверхностей (обеспечивающих проникновение 10–15 % общей части лучей видимого спектра).

Для обеспечения видимости при работе чрезвычайной сложности, необходимо учитывать элементарные сенсорные физические характеристики органа зрения, чтобы приспособить условия производственной среды и выполняемое задание к человеческим возможностям предохранив глаз от вредных воздействий.

К сожалению, процесс зрения не может быть сведен к простым схемам. Недостаточно измерить и дать оценки четырем разновидностям дискриминации: световой, цветовой, морфоскопической и пространственной. Зрительное восприятие, является результатом бесчисленных видов интегрированной деятельности в общем функционировании головного мозга и требует усилий медицинского и инженерного направлений.

## Защита персонала в случае аварии на атомной станции

Студенты гр. 10608113 Мухин А. Д, Куликовский П. В., Дюхов Д. И.

Научный руководитель – Филянович Л. П.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Для планирования мероприятия по защите персонала необходимы следующие сведения:

- 1) краткое описание АС;
- 2) краткое описание города;
- 3) краткое описание организации контроля экологически опасных веществ в местах выброса (сброса) на промплощадке АС, в пределах санитарно-защитной зоны и 30-километровой зоны; расположение постов контроля объектов окружающей среды;

Основными признаками аварии на АС являются нарушения пределов и (или) условий безопасной эксплуатации, установленных технологическим регламентом по эксплуатации блока, и сопровождающиеся превышением показателей радиационной обстановки.

Из нерадиационных факторов, влияющих на безопасность АС, при объявлении на АС состояния «Аварийная готовность» или «Аварийная обстановка» учитываются: пожары и возможности их ликвидации силами МЧС; состояние оборудования во время воздействия неблагоприятных природных факторов и по их окончании; залповый сброс (выброс) сильно действующих ядовитых веществ (СДЯВ) в результате разрыва наибольшего количества технологических емкостей на площадке АС и (или) при воздействии потенциально опасных объектов (складов горючих смазочных материалов, СДЯВ), находящихся в санитарно-защитной зоне.

Порядок объявления на АС состояния «Аварийная готовность» «Аварийная обстановка» и введения в действие Плана мероприятий по защите персонала в случае аварии на атомной станции устанавливают первоочередные действия эксплуатационного персонала и администрации АС при возникновении нарушения режима нормальной эксплуатации станции.

При этом сообщают об обстановке должностному лицу в порядке подчиненности, принимаются необходимые и доступные меры по оказанию помощи при несчастных случаях, угрозе жизни или переоблучении персонала, по устранению обнаруженного нарушения либо уменьшению его последствий. А далее применяются следующие виды защит и мероприятий:

– инженерная защита. Предусматривает организацию укрытия в защитных сооружениях персонала на территории, укрытия персонала и членов их семей в городе при и в районе эвакуации.

На территории АС подлежат укрытию в убежищах персонал АС, рабочие и служащие предприятий и организаций (включая личный состав воинских и пожарных частей), обеспечивающих функционирование и жизнедеятельность АС. Убежища должны обеспечивать защиту укрываемых от радиоактивных продуктов разрушения ядерных энергоустановок и жизнедеятельность укрываемых в течение 5 суток.

– эвакуационные мероприятия. Предусматривает организацию и проведение эвакуации персонала АС в места постоянного проживания или, минуя город при АС, непосредственно в район эвакуации, а также эвакуацию персонала АС и членов их семей в установленные районы эвакуации всеми возможными видами транспорта.

– организация помощи АС в случае ЧС. Если масштабы ЧС серьезны, то руководство АС обращается за помощью в комиссию по ЧС города (района), области, на территории которых расположена АС.

Централизованная помощь в случае ЧС на АС осуществляется в рамках отраслевой системы оказания экстренной помощи атомным станциям в чрезвычайных ситуациях, являющейся в свою очередь функциональной подсистемой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и группой оказания экстренной помощи АС.

– при возникновении пожара персонал АС и подразделения охраны АС действуют в соответствии с планом пожаротушения и опертивными карточками действий персонала.

Выброс (сброс) СДЯВ. В случае разрыва (разрушения) емкостей с СДЯВ в расчет принимается общее число имеющихся емкостей на АС при их совместном размещении, наибольшая единичная емкость – при раздельном размещении указанных емкостей. Расчет зон поражения проводится по Методике прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах.

Комплекс мероприятий по ликвидации последствий химически опасных аварий включает:

- применение СИЗ;
- проведение охранных и организационных мероприятий;
- прогнозирование, выявление и оценку последствий химической аварии;
- локализацию очагов химической аварии;
- санитарную обработку людей, обеззараживание одежды и транспортных средств, контроль их полноты;
- ликвидацию химического заражения на местности;
- оказание всесторонней помощи пострадавшим;
- соблюдение мер безопасности при выполнении работ по ликвидации последствий химической аварии.

УДК 620.9:658.345(075.8)

### **Меры предосторожности при обслуживании стационарных электроприводов**

Студенты гр. 10603313 Кондратьев Е. В., Мильто А. В.  
Научный руководитель – Филянович Л. П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Все энергетические установки предприятия (насосы, вентиляторы, кондиционеры, компрессоры, калориферы, грузоподъемные машины, транспортные средства и др.) работают на основе использования электрической энергии, т. е. оборудованы электрическими приводами.

Электрический привод – это электромеханическое устройство, посредством которого осуществляется движение рабочих органов производственной машины. Основным элементом электропривода является один или несколько приводных двигателей. Управление электроприводом осуществляется различными аппаратами; оно может быть ручное (ножное), дистанционное или автоматическое, программное.

Электродвигатели и аппаратура управления должны быть установлены в соответствии с ПУЭ таким образом, чтобы они не представляли опасности электропоражения обслуживающего персонала, а также механического травмирования.

Эксплуатация электротехнологических установок, в том числе и электроприводов (пуск, регулирование и др.), может быть поручена производственным рабочим, которым после соответствующего инструктажа и проверки знаний основ электробезопасности присваивается I квалификационная группа.

Электромонтер по обслуживанию электродвигателей в установках до 1000 В должен иметь III квалификационную группу, а в установках выше 1000 В – IV группу. Согласно ПТЭ выключатели, контакторы, рубильники и другие пускорегулирующие устройства должны иметь четкие надписи, указывающие, к какому двигателю они относятся. Выводы от обмоток электродвигателей и их вращающиеся части должны быть закрыты ограждениями.

Если с места, где установлен аппарат управления электродвигателем, не виден приводимый им механизм и если этот механизм имеет постоянный обслуживающий персонал, то необходимо во избежание несчастных случаев предусматривать следующие меры безопасности: кнопка пуска устанавливается непосредственно у приводимого механизма; устраивается сигнализация, оповещающая о пуске механизма; установка вблизи электродвигателя и приводимого механизма аппарата для аварийного отключения электродвигателя, исключающая возможность дистанционного пуска.

Для контроля наличия напряжения на групповых щитках сборках электродвигателей должны быть установлены вольтметры или сигнальные лампы.

Электродвигатель немедленно (аварийно) отключает от сети в следующих случаях: несчастный случай с человеком, требующий немедленной остановки электродвигателя; появления дуга или огня из электродвигателя или его пускорегулирующей аппаратуры; недопустимая вибрация или поломка приводимого механизма, недопустимый перегрев подшипников; резкое снижение частоты вращения, сопровождающееся быстрым нагревом электродвигателя. Отключение и включение электродвигателей напряжением выше 1000 В аппаратурой ручного управления следует производить с применением диэлектрических перчаток, стоя при этом на изолирующем основании или в галошах.

ТКП разрешает производить уход за щетками (включая их замену) у работающего электродвигателя одному специально обученному работнику, имеющему квалификационную группу не ниже III.

Как правило, все работы на электродвигателе или на приводимом им механизме производятся с отключением двигателя выключателем и разъединителем, на приводы которых вывешивается плакат «НЕ ВКЛЮЧАТЬ! РАБОТАЮТ ЛЮДИ». Двигатель до 1000 В отключается рубильником, автоматическим выключателем или магнитным пускателем, на которых также следует поместить запрещающие плакаты. Если двигатель на напряжение выше 1000 В питается от КРУ, то после отключения его выключателем тележка с ним выкатывается из шкафа.

Если питающий кабель отсоединен от зажимов ремонтируемого электродвигателя, то концы его следует соединить накоротко заземленным проводником. В этом случае ремонт электродвигателя может производиться без наряда.

Перед пуском электродвигателя главного привода производственных агрегатов больших габаритных размеров во избежание травмирования обслуживающих рабочих необходимо давать предупреждающий звуковой сигнал. Это же относится и к электроприводу, имеющему дистанционное управление из разных мест.

В процессе эксплуатации возможен осмотр пусковых устройств электродвигателей напряжением выше 1000 В (3–10 кВ), смонтированных в ящиках. Открывать эти ящики для наружного осмотра, если устройство находится под напряжением, разрешается электромонтерам с квалификационной группой не ниже IV. Для выполнения каких-либо работ в пусковых устройствах требуется полностью снять напряжение.

В процессе текущего ремонта отключенного электродвигателя может потребоваться пробный его пуск. Подача рабочего напряжения на ремонтируемый двигатель до полного окончания работ разрешается только возвращением производителем работ оперативному персоналу наряда, выданного для проведения работ на данном электродвигателе.

О подаче напряжения на двигатель производитель работ должен известить своих рабочих.

Студент гр. 11307113 Солодка Н. В.  
Научный руководитель – Автушко Г. Л.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Лазеротерапия (лазерная терапия) сегодня занимает особое место среди нелекарственных методов лечения. В основе воздействия лазерной терапии на организм человека лежит влияние направленного светового потока (лазера) на живую ткань. Соблюдение охраны труда при таком методе лечения, является важным условием проведения успешного лечения, и позволяет не навредить здоровью пациента и человека, проводящего процедуру.

К работе на аппаратах допускаются лица не моложе 18 лет, имеющие соответствующее медицинское образование и подготовку по специальности, обладающие теоретическими знаниями и профессиональными навыками. Также работник должен иметь 1 группу по электробезопасности. При работе с источниками лазерного излучения повреждающими факторами могут явиться как прямое (из самой установки), так и рассеянное, а также отраженное излучения. Короткие импульсы излучения, генерируемые лазером, вызывают сильное поражение сетчатки, роговицы, радужной оболочки и хрусталика глаза. Персонал должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты, такими как: фартук ПВХ с нагрудником, нарукавники ПВХ, перчатки медицинские, очки защитные или щиток защитный лицевой, респиратор, маска медицинская. После выполнения каждого вида работ и после посещения каждого пациента работник должен мыть руки теплой водой с мылом, тщательно просушивать кожу рук после мытья сухим полотенцем.

Рабочее место следует организовать таким образом, чтобы исключалась возможность воздействия лазерного излучения на работающего, зеркальные поверхности лазера должны быть покрыты неотражающими материалами, стены помещения не должны давать зеркального отражения (быть матовыми). Глаза работающего и пациента должны быть защищены очками, соответствующими виду лазерного излучения – его длине волны. Включать лазер необходимо только после установки излучателя на место облучения. С внешней стороны помещения, где установлен лазер, должен быть предупредительный знак лазерной опасности. Должна быть предусмотрена принудительная приточно-вытяжная система вентиляции, обеспечивающая снижение содержания озона, окислов азота или других вредных газов, паров и аэрозолей в воздухе до концентрации, допустимой санитарными нормами, правилами и гигиеническими нормами;

Работающим на аппаратах лазерной терапии запрещается:

- покидать рабочее место и оставлять пациентов без присмотра;
- отключать кабель, соединяющий оптический блок и источник питания;
- открывать кожухи лазерного аппарата;
- работать без диэлектрических кожухов;
- работать без защитного заземления.

По окончании работы работающий на аппаратах лазерной терапии должен:

- отключить электрические аппараты через питающий кабель от сети;
- убрать инструменты, приспособления и материалы в места их хранения;
- привести в порядок рабочее место.
- выключить освещение и вентиляцию;
- вымыть руки теплой водой с мылом.



## Анализ информационных характеристик человеческого фактора

Студентка гр. 10306113 Детко А. В.  
Научный руководитель – Фасевич Ю. Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Известно, что отсутствие необходимых знаний, умений (навыков) и несоответствие психофизиологических особенностей работников условиям и характеру выполняемой работы нередко приводят к различным ошибкам и неадекватным действиям, которые, в конечном счете, являются главными источниками опасных ситуаций, аварий и несчастных случаев, при этом травмируются как неопытные работники, так и работники со стажем, адаптировавшиеся к опасностям и переставшие их «бояться». Среди множества причин выделяют «человеческие ошибки» [1], которые связаны с незнанием, неверной оценкой или недооценкой персоналом потенциальных опасностей на рабочих местах, неумением их избегать или защищаться от них, стремлением получить определенную выгоду, использованием недостоверной или неполной информации при принятии решений, отсутствием на предприятии порядка в организации безопасного производства работ, контроля за их выполнением, незнанием или игнорированием правил безопасности без выяснения возможных последствий их нарушения, низким уровнем трудовой и производственной дисциплины, неудовлетворительным психофизическим состоянием работников. Недобросовестным и небрежным исполнением ими обязанностей, самоуверенностью, суетливостью, то есть человеческим фактором. Человеческие ошибки», которые проявляются в производственной деятельности и оказывают существенное влияние на организацию процессов охраны труда, являются предметом изучения теории «домино» [1]. Один из основоположников выше упомянутой теории Хайнрих утверждал, что важно исследовать не только ошибочные действия людей, но и совокупность тех условий, в которых эти действия совершаются. Эти условия, по оценкам Хайнриха, ответственны за каждую пятую аварию (он предложил пользоваться «правилом 80:20», по которому 80 % причин аварийных ситуаций связаны с опасными действиями персонала, а 20 % – с опасными условиями производства). Производственная деятельность и организация охраны труда предусматривают нештатные ситуации. Согласно теории «домино», в развитии нештатной ситуации можно выделить пять стадий. Первая стадия обусловлена наследственностью человека и той социальной средой, в которой он находится, совершая действия, необходимые для данного производственного процесса. На второй стадии оказываются личные недостатки человека и характерные для него ошибки (например, плохая память или замедленная реакция – что является психофизиологическими характеристиками человека). Третья стадия охватывает непосредственно опасные действия, которые может совершать человек. Четвертая стадия представляет саму аварию, а пятая – связанный с ней ущерб, включая несчастные случаи [1]. Современные разработки в области охраны труда, связанные с проблемами определения роли и степени влияния человеческого фактора на уровень производственного травматизма и вопросы связанные с построением системы управления охраной труда, определяются как «совокупность приемов в области воздействия людей на показатели работы человека, при помощи которых определяется влияние ошибок человека на надежность», где выявляется необходимость улучшения знаний, умений и компетентности служащего в области охраны труда. Современный уровень информационных и технических средств позволяет решать аналогичные задачи на высоком уровне автоматизации.

### Список использованных источников

1. Егоров, В. С., Пашков, П. И. Использование международного стандарта OHSAS 18000 Текст / В. С. Егоров, П. И. Пашков // Справочник специалиста по охране труда. – 2007. №2.

УДК 620.9:658.345(075.8)

### Обслуживание средств тепловой автоматики и измерений

Студенты гр. 10606113 Жаврид А. В., Кель О. В.  
Научный руководитель – Филянович Л. П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Средства тепловой автоматики и измерения обеспечивают правильность и экономичность ведения технологического режима, безопасную эксплуатацию теплоустановок и тепловых сетей, контроль и учет расхода тепловой энергии. Все устройства, относящиеся к средствам тепловой автоматики и предназначенные для автоматического регулирования, дистанционного и автоматического управления запорными и регулирующими органами, защиты, блокировки, а также средства измерений теплотехнических параметров должны содержаться в исправности и постоянно находиться в эксплуатации при работе теплоустановок и тепловых сетей.

Средства измерений, применяемые на теплоустановках и в тепловых сетях, должны быть зарегистрированы в Государственном реестре средств измерений Республики Беларусь или пройти метрологическую аттестацию в установленном порядке, а также иметь действующие поверительные клейма и (или) свидетельства о поверке.

Состояние регулирующих и запорных устройств, используемых в схемах тепловой автоматики, должно удовлетворять техническим требованиям по плотности, расходным характеристикам.

Прокладка кабеля по теплоизлучающим поверхностям и в непосредственной близости от них запрещается.

Импульсные линии к манометрам и расходомерам должны выполняться из материала, стойкого к коррозирующему действию среды. Они должны быть удобными для монтажа, разборки, чистки, герметичными и рассчитанными на рабочее давление. Плюсовая и минусовая линии расходомерного устройства должны находиться в одинаковых температурных условиях с уклоном в одну сторону не менее 1:10.

Внутренние диаметры импульсных линий от сужающих устройств до сосудов уравнительных должны быть не менее 12 мм, от сосудов до дифманометров – не менее 8 мм. Продувка импульсных линий должна производиться не реже одного раза в месяц.

Автоматические регуляторы и устройства дистанционного управления должны быть оснащены устройством автоматического включения резервного электропитания. Для контроля напряжения должна быть предусмотрена световая и звуковая сигнализация. Исправность средств автоматического включения резервного электропитания должна периодически проверяться по графику, утвержденному техническим руководителем. Маслонасосные и компрессорные установки, предназначенные для питания систем дистанционного управления, должны иметь автоматически включающийся резерв.

На все теплоизмерительные приборы должны быть составлены паспорта с отметкой о периодических поверках и произведенных ремонтах.

Кроме того, должны вестись журналы записи результатов поверок и ремонтов приборов и автоматических регуляторов.

Ответственность за сохранность КИПиА несет персонал структурных подразделений, в которых они установлены.

Термометры на трубопроводах должны быть установлены в гильзах, а выступающая часть термометра должна быть защищена оправой. На трубопроводах с диаметром условного прохода до 40 мм включительно в месте установки термометров следует предусматривать расширитель диаметром не менее 50 мм.

Ремонт автоматических регуляторов и устройств дистанционного управления должен производиться во время ремонта основного оборудования.

Задачи автоматизации систем диспетчерского и технологического управления теплоустановками и тепловыми сетями должны решаться в комплексе работ по автоматизации технологического процесса организации.

УДК 331.45

### **Действие вибрации на организм человека. Вибрационная болезнь от локальной вибрации, ее профилактика**

Студенты гр. 10602213 Спода А. Е., Дашковский А. А.  
Научный руководитель – Мордик Е. В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Локальной вибрации подвержены работающие с ручным механизированным инструментом. Общую вибрацию рабочий ощущает, находясь непосредственно на вибрирующем объекте. Часть работающих подвергается одновременному воздействию как общей, так и локальной вибрации.

Чем больше время воздействия вибраций, тем более значительные физиологические изменения происходят в организме. Человек ощущает вибрации с частотой колебаний от долей герца до 5–8 кГц.

Вибрации по частоте могут быть разделены на низко – (до 30 Гц), средне – (30–100 Гц) и высокочастотные (выше 100 Гц). Низкочастотные колебания могут вызывать укачивание; среднечастотные – приводить к костно-суставным изменениям, вибрационной болезни и спазмам сосудов; высокочастотные – вызывать вибрационную болезнь и спазмы сосудов.

Наиболее вредные воздействия на организм оказывают вибраций, частоты которых совпадают с собственными частотами колебания частей тела человека. Для всего тела человека резонанс наступает при частоте 6 Гц, для внутренних органов – 8 Гц, для головы – 25 Гц, для центральной нервной системы – 250 Гц.

Чем больше время воздействия вибрации, тем выше опасность развития вибрационной болезни. *Вибрационная болезнь* имеет три стадии, причем только на первой и второй стадиях она излечима. Симптомы первой стадии вибрационной болезни:

- головные боли;
- снижение порога вибрационной чувствительности;
- раздражительность;
- слабость;
- нарушение сна.

По мере развития болезни усиливаются приступы головокружения, возникают быстрое утомление и общая слабость, отмечается плохой аппетит. На второй стадии все эти признаки постепенно усиливаются. Условно выделяют три типа вибрационной болезни:

- от воздействия локальной вибрации;
- от воздействия общей вибрации;
- от воздействия обоих видов вибрации.

Вибрационная болезнь от локальной вибрации встречается среди людей, трудящихся с ручным механизированным инструментом. Больные предъявляют жалобы на ноющие и тянущие боли в кистях, преимущественно в ночное время и во время отдыха. Боли могут сопровождаться чувством ползания мурашек, покалывания, онемения. Характерна зябкость

конечностей. Боли прекращаются при возобновлении работы с вибрирующим инструментом через 10–15 минут. Периодически возникают приступы побеления пальцев кистей. Приступы побеления могут возникать как самостоятельно, так и при воздействии холода (мытьё рук холодной водой, общее переохлаждение).

Наблюдается ухудшение самочувствия: общее недомогание, головные боли без четкой локализации, плохой сон, головокружение, сердцебиение, повышенная раздражительность.

Сосудистые нарушения проявляются в изменении цвета кожных покровов (кисти рук бледные или багровые), изменении показателей кровообращения. Со временем пальцы рук становятся отечными, приобретают вид «барабанных палочек» – с утолщениями на концах, деформируются суставы, уменьшается объем движений в них, сглаживается рисунок на фалангах пальцев, ногти утолщаются, становятся мутными. Часто наблюдаются множественные трещины на ладонях. При далеко зашедшем процессе трофические нарушения захватывают и глубже лежащие ткани: подкожно-жировую клетчатку, мышцы и сухожилия, что проявляется в виде миозитов, тендинитов, тендомиозитов. Рентгенологически в костях определяются очаги остеопороза, кистевидные образования. Отмечается похолодание конечностей на ощупь, возможна либо сухость кожи рук, либо повышенная потливость.

Особую роль в профилактике вибрационной болезни играет рациональная организация труда. Необходимо соблюдать санитарно-гигиенические нормы на производстве, следить, чтобы уровень вибрации не превышал ПДУ. При работе с вибрирующим инструментом не допустимы переработки. Рекомендуются после работы такие профилактические мероприятия, как сухое тепло на область кистей, самомассаж длительностью 5–10 минут, теплые ванны для рук. Два раза в год возможно проведение профилактического курса ультрафиолетовой терапии. Желательно санаторно-курортное оздоровление.

При приеме на работу, связанную с вибрацией, необходимо учитывать противопоказания. Обязателен периодический медицинский осмотр для выявления скрытых форм и начальных симптомов болезни.

К мерам профилактики относят модернизацию и технологический прогресс. Необходимо создание и внедрение новых инструментов и технологий, позволяющих минимизировать контакт человека с вибрацией.

Соблюдение санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий позволяет предотвратить развитие вибрационной болезни.

Вибрационная болезнь излечима при вовремя поставленном диагнозе, правильно назначенном лечении и соблюдении гигиены труда. Если же игнорировать появившиеся симптомы, заболевание может привести к потере трудоспособности.

УДК 331.015.11./14.

### **Организация рабочего места с учетом требований эргономики**

Студенты гр. 10604113 Каждан М., Клевец К.

Научный руководитель – Яганова А. А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Промышленное предприятие ныне рассматривается как организованная система производственных участков (цехов), каждый из которых имеет строго определенные функции.

Производственный цех состоит из самостоятельных производственно-хозяйственных единиц, выполняющих отдельные фазы производственного процесса. Эти производственно-хозяйственные единицы должны быть оборудованы и организованы таким образом, чтобы работник мог достигнуть наилучших технико-экономических результатов.

Эргономика рассматривает рабочее место как наименьшую производственную единицу и определяет его как систему «человек – средства производства».

Производственные процессы, протекающие на рабочем месте – это процессы целенаправленного воздействия человека на материал при использовании соответствующих машин (инструментов) в соответствии с заранее предусмотренными способами обработки. Это определение включает понятие организации рабочего места: человек, машина и материалы должны быть соответствующим образом подобраны, находиться в соответствующем месте, оснащены соответствующими средствами обработки, средствами транспорта и т. д.

Выбор материала имеет решающее значение при определении технологии производственного процесса, его трудоемкости, времени обработки и стоимости. Анализ производственного процесса на рабочем месте с целью его рационализации следует начинать именно с анализа используемого материала или даже с изучения его физико-химических свойств.

Машина, инструмент и организация труда на рабочем месте используются для переработки материала в конечный продукт. В случае, если разрабатывается проект замены старых станков на новые, либо проект оснащения станками новых предприятий, следует выбирать новейшие виды оборудования. При этом на выбор соответствующих машин и агрегатов оказывают влияние объем и стабильность производства, межремонтный ресурс и т. д.

Человек целенаправленно воздействует на материал с помощью машин и инструмента, создавая готовые изделия. От отношения человека к средствам производства зависят не только результаты его трудовой деятельности, но и обратный процесс: воздействие производственного процесса на человека, на развитие его сознания и психики.

До недавнего времени основное внимание уделялось подготовке людей к выполнению работы на определенном рабочем месте, сегодня происходит «приспособление труда к человеку» с целью полного ограждения человека от отрицательных последствий труда. При этом необходимо учитывать:

- приспособление машины к человеку. Конструкция машины должна облегчать ее обслуживание и контроль, повышать эстетику рабочего места и т. п.;
- наиболее рациональный метод обработки материала;
- условия труда, при которых снижается расход энергии работника и сводится к минимуму его утомления.

Организация рабочего места – это не только сфера деятельности инженера. В этой области работают врачи, психологи, физиологи, социологи, специалисты по охране труда, архитекторы и т. п.

УДК 614.84(476)

### **Особенности труда программистов**

Студент гр. 10701116 Мордик А. В.

Научный руководитель – Журавков Н. М.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

По роду своей деятельности программист должен не менее 8 часов в сутки смотреть на монитор. Зрительный анализатор напряженно работает на всех уровнях: сенсорном (сетчатка глаза), мышечном (глазные мышцы), центральном (головной мозг). Вследствие этого появляется тенденция к развитию близорукости, снижается зрение, развивается синдром «сухого глаза». С напряженной работой зрительной системы также связано появление головных болей, расстройство сна, повышенная утомляемость, нарастание стресса.

Работая за компьютером, программист активно трудиться мышкой и пальцами на клавиатуре. При этом предплечья всегда расположены в одной плоскости, а плечи фиксированы, скованны. К подобной монотонной длительной работе организм человека не приспособлен. Поэтому через какое-то время у программиста развивается плече-лопаточный остеоартроз и «туннельный» синдром – заболевание, проявляющееся длительной болью и онемением пальцев кисти. Если вовремя не принять меры, то заболевание будет прогрессировать и может привести к полной потере трудоспособности.

Даже если рабочее место оборудовано качественной и комфортной мебелью, разработанной с учетом требований эргономики, сидеть в одной позе, пусть и правильной, в течение всего рабочего дня невозможно. Поэтому программист сутулится, поднимает плечи, изгибается. Мышцы спины и шеи долгое время находятся в статическом напряжении. Другие же мышцы туловища остаются недогруженными, ослабевают. В итоге мышечный корсет не может удержать корпус тела в нормальном положении. Все это приводит к развитию искривлений позвоночника, остеохондрозу. Усугубляет ситуацию неправильно расположенный монитор.

От малоподвижного образа жизни программиста слабеют мышцы, кровеносные сосуды теряют свою эластичность, нарушаются обменные процессы. К тканям организма поступает недостаточное количество кислорода из-за ухудшившегося кровоснабжения. Кислородное голодание органов и тканей приводит к развитию различных хронических заболеваний. В первую очередь, заболеваний сердечно-сосудистой системы. Появляется атеросклероз, артериальная гипертензия, ишемическая болезнь сердца, варикозное расширение подкожных вен ног, ожирение. Значительно возрастает риск развития инфаркта миокарда и мозгового инсульта.

Пыль на аппаратуре накапливается даже в чистых, хорошо вентилируемых помещениях. Накопившаяся пыль способствует возникновению аллергического насморка. У людей с уже имеющимися аллергическими заболеваниями вызывает обострения этих болезней.

Подводя итог, можно сделать вывод, что основными профессиональными заболеваниями программистов являются близорукость, синдром «сухого глаза», остеохондроз позвоночника, диссомния, «туннельный» синдром, сколиоз, варикозное расширение подкожных вен ног, язвенная болезнь, гипертоническая болезнь, высокий риск развития инфаркта миокарда и мозгового инсульта. Чтобы избежать появления профессиональных заболеваний программист должен делать зарядку, правильно питаться, больше спать и отдыхать и ограничивать стрессовые факторы, а на рабочих местах IT-специалистов должны соблюдаться Санитарные нормы и правила «Требования при работе с видеодисплейными терминалами и электронно-вычислительными машинами».

УДК 636.3

### **Улучшение охраны труда при выполнении технологических процессов раздачи кормов в животноводстве**

Студент гр. 10 от Самок О. А.

Научный руководитель – Молош Т. В.,

Белорусский государственный аграрный технический университет  
г. Минск

В оздоровлении условий труда работников животноводства и повышения производительности работ исключительное значение приобретает механизация трудоемких процессов на фермах (приготовление и раздача кормов, автопоение, электродойка, уборка навоза и др.).

Эффективность производства продукции животноводства зависят не только качества и полноценности кормления, но и в значительной степени от своевременности выдачи кормов. Нарушение обслуживающим персоналом технологической дисциплины, распорядка дня и временных передержек раздачи кормов приводят к нарушению биологического ритма у животных и к снижению их продуктивности. Поэтому правильная организация раздачи кормов животным имеет важное значение в повышении их продуктивности.

Применяются различные способы доставки и раздачи кормов:

- 1) мобильными машинами – самоходными или агрегатируемыми с трактором;
- 2) стационарными установками, т. е. системой транспортеров различных типов;
- 3) комбинированным способом, когда доставка кормов к помещению для животных производится мобильными машинами, а распределение по фронту кормления – стационарными установками;

4) передвижными техническими средствами, т. е. машинами с ограниченной степенью свободы перемещения.

Преимущество кормораздатчика в том, что он снижает трудозатраты, экономит время общего ухода за животными, оптимизирует движение животных и осуществляет их эффективное кормление. Выбор раздатчика предопределяется видом корма и способом содержания животных.

В последнее время для раздачи полнорационных кормосмесей крупному рогатому скоту широкое применение находят мобильные измельчители-смесители-раздатчики.

Практическое применение мобильных раздатчиков может быть с наибольшей эффективностью при наличии на территории фермы кормовых площадок и подъездных путей с твердым покрытием. Это позволяет обеспечить удобный подъезд трактора с кормораздатчиком к местам хранения кормов, животноводческим помещениям, непосредственно к кормушкам и исключить возможность загрязнения колесами агрегата кормовых проходов в помещении. Кормовые проходы должны иметь ширину не менее 2 м, а кормушки – высоту задней стенки не более 0,75 м.

При раздаче корма мобильными кормораздатчиками на работающих возможно воздействие опасных и вредных производственных факторов, по отношению к которым необходимо соблюдать меры предосторожности: движущиеся тракторные агрегаты, незащищенные подвижные элементы кормораздатчиков, повышенный уровень шума, повышенная влажность воздуха, недостаточная освещенность рабочей зоны, скользкие полы.

Во время работы на кормораздатчиках происходят несчастные случаи в связи с нарушением работающими требований по охране труда. В основном это связано с устранением забивания транспортирующего канала, заклинивания шнека и неравномерности смешивания кормов. Забивание может возникать между шнеком и корпусом днища измельчителя. Мобильные кормораздатчики наиболее эффективны при скармливании силоса или сенажа, поскольку исключаются затраты труда на перевалочные операции. Мобильные раздатчики доставляют корма в помещение и сами же раздают их. Они приводятся в действие от двигателей внутреннего сгорания или электродвигателей. В отличие от стационарных, мобильные кормораздатчики обеспечивают более высокую надежность технологического процесса, проще в эксплуатации и обслуживании, особенно раздатчики-смесители кормов.

Стационарные установки в противоположность мобильным машинам легче поддаются автоматизации. Они могут размещаться непосредственно в кормушках или над ними, вследствие чего площадь помещений используется более рационально, чем при применении мобильных машин. Отпадает необходимость открывания ворот для въезда кормораздатчика в помещения, что способствует снижению теплопотерь и поддержанию параметров микроклимата. Однако технологические линии с использованием стационарных установок обычно состоят из цепочки последовательно расположенных транспортеров. Это резко снижает надежность технологического процесса, поскольку выход из строя одного из звеньев влечет за собой остановку всей линии, а их резервирование в условиях фермы практически невозможно. Низкая надежность – главный недостаток способа доставки и раздачи кормов стационарными установками, вследствие чего они используются значительно реже, чем мобильные кормораздатчики.

Таким образом, следует разрабатывать комплекс профилактических мероприятий по охране труда при эксплуатации технических средств для приготовления и раздачи кормов на фермах крупного рогатого скота позволяющих улучшить условия труда в отрасли и снизить риск производственного травматизма.

Студент гр. 10604113 Павлюкова А.  
Научный руководитель – Яганова А. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Организация противопожарной безопасности зданий банков является на сегодняшний день важным элементом системы безопасности. От того насколько грамотно будет организована противопожарная безопасность и насколько добросовестно будут выполняться все правила по противопожарной безопасности, зависит сохранность граждан и их материальных ценностей.

Согласно ТКП 45-2.02-142-2011, здания банков имеют класс функциональной пожарной опасности Ф 4.3. Мероприятия по предотвращению распространения пожара в зданиях должны соответствовать требованиям ТКП-45-3.02-55

ТКП 45-3.02-55-2006 устанавливает требования к объёмно-планировочным решениям банков. На первом (цокольном) этаже зданий банков следует предусматривать помещения с естественным освещением для размещения пожарного поста. Помещение пожарного поста допускается размещать в блоке с помещением поста охраны. Приёмно-контрольные приборы систем охранной, пожарной и тревожной сигнализации рекомендуется размещать в общем помещении, площадь которого определяется заданием на проектирование здания банка. В помещении архивов, хранения бланков, оружия и боеприпасов должны устанавливаться противопожарные двери 2 типа по ТКП 45-2.02-142-2011.

Правила проектирования эвакуационных путей и выходов для зданий банков установлены ТКП 45-2.02-22-2006 и являются обязательными. В разделах ТКП описаны общие требования к эвакуационным путям и выходам, объёмно-планировочные решения по обеспечению эвакуации людей, конструктивные решения по обеспечению эвакуации людей, лестницы и лестничные клетки, особенности незадымляемых лестничных клеток, проходы, коридоры, вестибюли, выходы из подвальных и цокольных этажей, размещение эвакуационных выходов, а также оповещение о пожаре и управление эвакуацией людских потоков.

Служебные и вспомогательные помещения зданий банков, за исключением санитарных узлов и помещений, подлежащие защите автоматическими установками пожаротушения, должны оборудоваться системами пожарной сигнализации с дымовыми пожарными извещателями согласно требованиям СНБ 2.02.05, СТБ 11.16.01, других действующих ТНПА.

Кладовые ценности, оснащаемые автоматическими штабелерами-укладчиками, архивы с фондом хранения 500 000 единиц и более, помещения, предназначенные для размещения серверных центров, встроенные боксы, а также кладовые ценности объёмом более 150 м<sup>3</sup> должны оборудоваться установками автоматического пожаротушения в соответствии с требованиями СНБ 2.02.05.

Если хранение ценностей организовано в металлических сейфах, то в кладовых ценностей, независимо от их объёма, установки пожаротушения допускается не применять.

Применение аэрозольных огнетушащих составов для пожаротушения и установок порошкового пожаротушения в помещениях серверных центров, а также в помещениях для хранения сложной кассовой, электронно-вычислительной техники, оборудования технических средств обеспечения безопасности и связи не допускаются. Не допускается применение установок порошкового пожаротушения в архивах документов на магнитных и оптических носителях.



Каждый работающий в помещениях, защищаемых установками автоматического газового пожаротушения на основе применения двуокиси углерода или азота, а также каждый сотрудник дежурной смены пожарного поста и постов охраны, расположенных в непосредственной близости от указанных помещений, должен обеспечиваться ИСЗОД (кислородно-изолирующими противогазами). ИСЗОД следует хранить в специальных шкафах (подобных шкафам для хранения пожарных рукавов), устанавливаемых непосредственно в этих помещениях. ИСЗОД для лиц, работающих в оборудованных кладовых ценностях, хранятся в предкладовой.

На путях эвакуации ИСЗОД устанавливаются в следующих случаях:

- при расположении помещений, оборудованных системами автоматического газового пожаротушения, в подвальных, цокольных и полуподвальных помещениях;
- в эвакуационных коридорах, имеющих протяженность более 25 м и не имеющих естественного освещения от окон или световых карманов, расположенных в потенциально опасной близости от защищенных помещений.

На путях эвакуации ИСЗОД следует располагать в шкафах, установленных на расстоянии не более 25 м (не менее одного шкафа на каждые 25 м). Количество ИСЗОД в каждом шкафу определяется в зависимости от расчётного количества эвакуируемого персонала.

# **Химические технологии**

**Способ переработки хромсодержащего катализатора**

Студент гр.10405416 Хоронеко И. А.  
Научный руководитель – Слепнева Л. М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Утилизация отходов металлургического и химического производства может, хотя бы частично, решить проблему дефицита цветных металлов. Таким образом, извлечение и переработка отходов является важной народнохозяйственной задачей. Известен способ выделения хромсодержащих соединений из осадков сточных вод, образующихся в процессе чистовой обработки металлов, заключающийся в том, что содержащийся в них хроматбария переводят в водную суспензию, добавляя серную кислоту. Нерастворившуюся часть отделяют фильтрованием. К полученному фильтрату добавляют карбонат одного из следующих металлов:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$  и  $\text{Pb}^{2+}$ , в результате чего происходит осаждение значительной части сульфат-ионов. В растворе остается  $\text{CrO}_3$ .

В технологических циклах ряда химических производств Беларуси используются разнообразные катализаторы, одним из которых является катализатор на основе оксидов цинка и хрома. По мере выработки своего рабочего ресурса катализаторы нуждаются в переработке и дальнейшем использовании.

Хромцинковый катализатор, содержащий 55,5 %  $\text{ZnO}$  и около 34 %  $\text{CrO}_3$ , растворяли в разбавленной (1:1) азотной кислоте. Полученный раствор отфильтровывали для удаления присадок. К фильтрату добавляли раствор гидроксида натрия до  $\text{pH} = 6-7$ . Осадившийся при этом гидроксид цинка отфильтровывали, после чего добавлением гидроксида натрия раствор доводили до  $\text{pH} 8,2$ . При этом значении  $\text{pH}$  в осадок выпадал хромат цинка, который затем отфильтровывали и высушивали. Выделенный хромат цинка использовали в качестве пигмента, который вводили в количестве 5 % по массе в состав глазури. Полученная глазурь характеризовалась хорошей кроющей способностью, высокими адгезионными свойствами к керамической подложке.

В процессе разработки технологии утилизации хромсодержащего катализатора необходимо было проводить анализ содержания хрома и цинка – основных компонентов катализатора. Ионы цинка и хрома (III) относятся к третьей аналитической группе катионов. Качественные реакции на ионы цинка и хрома (III) проводились после полного растворения мелкозернистого катализатора в концентрированной азотной кислоте. Катион цинка определялся при взаимодействии определяемого раствора с раствором гексацианоферрата (II) калия  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  при  $\text{pH} \leq 7$ . Смесь нагревали до кипения, при этом образовывался белый осадок. Ионы алюминия и хрома не мешают определению цинка по данной реакции.

Для ионов хрома характерны реакции окисления-восстановления. Одной из важнейших реакций окисления в щелочной среде является взаимодействие  $\text{Cr}^{3+}$  с пероксидом водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$ . При этом ион трехвалентного хрома окисляется до шестивалентного состояния. С полученным раствором проводили опыт, подтверждающий образование  $\text{CrO}_4^{2-}$ .

Для обнаружения ионов хрома (III) использовали также реакцию с висмутатом натрия  $\text{NaBiO}_3$ . Реакция проводилась в азотнокислой или сернокислой среде, но не серноокислой, поскольку в присутствии восстановителей, в том числе и  $\text{HCl}$ , происходит восстановление окислителей. При действии висмутата натрия соединения трехвалентного хрома окислялись в соединения шестивалентного хрома, окрашенные в оранжевый цвет ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ). Количественное определение хрома в виде бихромата калия проводилось методом замещения в растворе. Принцип метода состоит в том, что бихромат калия сначала обрабатывают иодидом калия ( $\text{KI}$ ) в кислом растворе; при этом выделяется иод ( $\text{I}_2$ )

в количестве, эквивалентном количеству бихромата калия. Выделившийся йод титруют рабочим раствором тиосульфата натрия.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности проведения дальнейших исследований по использованию отработанных катализаторов в производстве керамических глазурей.

УДК 542.06

### **Прогнозирование возможности применения полиэтилена как вяжущего нетрадиционных композитов ямочного ремонта дорог**

Студент гр. 10405416 Михеев И. В.  
Научный руководитель – Кречко Н. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Автомобильная дорога, как инженерное сооружение, рассчитана на определенный срок службы. В период эксплуатации она подвергается воздействиям транспорта, погодно-климатических факторов и различных химических реагентов. Наиболее изнашиваемым элементом дороги является асфальтобетонное покрытие.

Вследствие нагрузок и перегрузок материалы дорожного покрытия изнашиваются и стареют. Деградация дорожного покрытия происходит также по причинам невысокого качества материалов, нетехнологичного выполнения дорожно-строительных операций. Распространенной технологической ошибкой является недостаточное уплотнение дорожного полотна, что приводит к образованию неровностей, деформаций, шелушения, выкрашивания, трещин, сколов, выбоин, ям.

Установлено, что ежегодно локальный текущий ремонт покрытия требуется для 2–3 % общей площади дороги. При серьезных повреждениях и дефектах до 12–15 %, общепринято ставить на ремонт все 100 % этой площади. Постоянный ремонт дорожного покрытия осуществляют разными методами, средствами и материалами, что в совокупности определяет качество, срок службы и стоимость, т. е. эффективность ремонтных работ, главная цель которых – обеспечить на дороге безопасное движение автотранспорта с разрешенной Правилами дорожного движения скоростью.

Целью данной работы является изучение возможности применения первичного полиэтилена как вяжущего компонента композиционного материала, применяемого при ремонте дорог с использованием в качестве армирующего наполнителя гранитного отсева.

Композиционный материал получали смешением гранитного отсева с первичным полиэтиленом в количествах 3, 5, 7 и 10 % с последующей выдержкой в течение 30 мин при температуре 115 °С. Установлено, что первичный полиэтилен в данных композиционных материалах работает как качественное вяжущее; при этом оптимальное его количество для равномерного распределения вяжущего по всему объему образца с образованием монолита составляет 10 %. Также наблюдается сильное взаимодействие с поверхностью формы, что может быть использовано для качественного и долговечного ямочного ремонта дорожного полотна.

Также для упрочнения композиционного материала и получения возможности эффективного перераспределения нагрузок при предполагаемой эксплуатации, в указанный состав был добавлен шлам в количестве 5 % с последующей полимеризацией по указанной технологии. Полученные композиты представляют собой монолитные образцы с равномерным распределением полимера, однородной структурой и хорошим взаимодействием с поверхностью нанесения.

Таким образом, первичный полиэтилен можно рассматривать в качестве вяжущего нетрадиционных композиционных материалов, применяемых при ямочном ремонте дорог.

Также полученные данные позволяют предположить возможность использования вторичного полиэтилена как вяжущего нетрадиционных композитов ямочного ремонта дорог, что в свою очередь может помочь решению проблемы утилизации полимерных отходов.

УДК 628.5:621.311.22

### Рациональные способы водоподготовки и утилизации шламов ВПУ

Студенты гр. 10405316 Болотова П. А., гр. 10405315 Качина В. Ю.  
Научный руководитель – Бурак Г. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Проблема утилизации и переработки шламов стоит сегодня особенно остро. На ТЭЦ при производстве электрической и тепловой энергии в результате подготовки больших объемов воды образуется от 6,5 до 7 тысяч тонн шлама. Шламы образуются в процессе снижения жесткости воды на стадии предварительной очистки на тепловых электроцентралях и в котельных. Водоподготовительные установки (ВПУ) электрических станций включают две стадии обработки воды: предварительную обработку воды (предочистку) и ионитную обработку воды (умягчение или обессоливание).

Предочистка проводится методами осаждения. К процессам осаждения относятся: коагуляция, известкование и магниезиальное обескремнивание.

Для умягчения в воду добавляют известковое молоко, которое переводит растворимые бикарбонаты кальция и магния в нерастворимые карбонаты. Затем воду обрабатывают  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (или  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , или  $\text{FeSO}_4$ ), который, являясь коагулянтом, осаждает все взвеси и примеси в виде коллоидной массы. В процессе коагуляции двухвалентное железо окисляется и образует гидроксид железа (III) на поверхности которого адсорбируются коллоидные примеси воды. В результате сорбции гидроксидом железа (III) коллоидных частиц примесей воды формируются хлопья. Укрупнившиеся хлопья оседают под действием силы тяжести, увлекая за собой взвешенные частицы. Шлам, содержащий 97–99 % влаги, обезвоживают.

Химический состав шлама (%):  $\text{SiO}_2$  – 0–4,9;  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  – 5,8–7,1;  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 3–9,5;  $\text{CaCO}_3$  – 62,8–68,2;  $\text{CaSO}_4$  – 3,9–6,6; органические вещества – 5,2–8,9.

Фазовый состав шлама: органика – 10 %,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  – 10 %,  $\text{CaCO}_3$  – 70 %,  $\text{SiO}_2$  – 2 %,  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Fe}(\text{OH})_2$  – 3 %,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 3 %.

Так как шлам содержит в своем составе большое количество карбоната кальция, то на основе такого сырья производят воздушную известь путем обжига при 1000–1200 °С.

Другим вяжущим, при производстве которого используется большое количество карбонатного компонента (до 25 %), является портландцемент (температура обжига достигает 1450 °С). В основе технологии производства вяжущих веществ, таких как цемент, строительная известь, лежит высокотемпературный обжиг сырья от 1000 °С и более, который сопровождается выделением большого количества  $\text{CO}_2$ .

Вяжущим веществом, содержащим  $\text{Ca}^{2+}$ , является также гипсовое вяжущее. Производство гипсовых вяжущих веществ осуществляется при более низких температурах, что значительно снижает выделение  $\text{CO}_2$  за счет сжигания топлива. Однако, при данном фазовом составе не получается гипс из-за незначительного содержания сульфата кальция. Было предложено имеющийся в составе шлама  $\text{CaO}$  и  $\text{CaCO}_3$  перевести в сульфатную фазу ( $\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) нейтрализацией шлама раствором серной кислоты. Раствор серной кислоты с концентрацией до 30 % является общедоступным отходом большинства химических производств.

Установлено, что получение гипса на основе шлама ХВО должно проводиться в автоклавных условиях: температура – 139 °С, давление – 0,25 МПа, время обработки –

2,0–2,5 часа. По предлагаемой технологии шлам ХВО после нейтрализации серной кислотой подвергается автоклавной обработке по установленным выше режимам, после чего обезвоживается механическим способом и досушивается в сушилке.

Способ утилизации шлама определяется экономикой технологического процесса, т. е. наличием необходимого сырья вблизи электростанции. Утилизацию, по нашему мнению, лучше проводить непосредственно на ТЭЦ, что снижает транспортные расходы и повышает экономику технологического процесса.

УДК 628.5:621.311.22

### **Известь на основе шлама водоочистки ТЭС**

Студент гр. 10401116 Моисеева А. Ю.  
Научный руководитель – Глушонок Г. К.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Проблема защиты окружающей среды – одна из важнейших задач современности. Выбросы промышленных предприятий, энергетических систем и транспорта в атмосферу, водоемы и недра на современном этапе развития науки и техники достигли таких размеров, что в ряде районов, особенно в крупных промышленных центрах, уровни загрязнений в несколько раз превышают допустимые санитарные нормы.

В современном мире энергетика является основой для развития базовых отраслей промышленности, определяющих прогресс общественного развития. По мере развития экономики прирост масштабов энергопотребления происходит все быстрее. Каждое из направлений развития энергетике своеобразно отражается на экологической обстановке региона.

Десятки тысяч тонн шламов образуются в процессе снижения жесткости воды на стадии предварительной очистки на тепловых электростанциях (ТЭС). Основным компонентом шламов является карбонат кальция. Колебания состава шламов водоочистки находятся в узком диапазоне и позволяют сделать вывод о достаточной стабильности соотношений слагающих его компонентов. Проблема утилизации и переработки этих отходов стоит сегодня особенно остро.

В настоящее время не существует универсального метода обработки и утилизации шлама химводоочистки (ХВО). Шлам ХВО – это продукт известкования и коагуляции природной воды, сырые и устойчивые смеси следующего химического состава (в расчете на оксиды): CaO (84 %), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (8 %), MgO (4 %), SiO<sub>2</sub> (3 %), – это отход 5 класса (практически не опасен).

Одним из способов последующей утилизации шлама является традиционный способ получения вяжущих веществ в строительных материалах. Наиболее близким по технической сущности является способ производства вяжущих на базе карбонатного сырья, в основном карбоната кальция CaCO<sub>3</sub>, основанный на технологии обжига при 1000–1200 °С. По данной технологии получают строительную известку. В задачу настоящего исследования входит изучение возможности получения известки из шламов водоочистки ТЭС.

Были изучены кинетики образования свободного CaO при прокаливании образцов сухого высокодисперсного шлама при температурах 800 °С, 900 °С, 1000 °С, а также образцов известки при температурах 800 °С и 900 °С. Из этих данных следует, что разложение низко дисперсных образцов шлама ХВО при температурах 800 °С и 900 °С протекает незначительно и за 3 часа достигает соответственно около 16 и 22 % свободного CaO. При температуре 1000 °С уже через 1 час наблюдается 71 % образовавшегося CaO, а к 3 часам прогрева количество CaO достигает 83 %, что практически, по-видимому соответствует полному переходу CaCO<sub>3</sub> шлама в CaO.

Были проведены рентгеноструктурные исследования образцов исходного шлама и шлама, прогретого при 1000 °С 3 часа, а также образца известки, прогретой при 900 °С 3 часа.

Исходный шлак идентифицируется на рентгенограмме в виде  $\text{CaCO}_3$  в кристаллической модификации кальцит. Рентгенограмма шлама, прогретого при  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  3 часа не содержит сигналов кальцита, а заменяется рентгенограммой с сильными сигналами от  $\text{CaO}$  в кристаллической модификации лайм, совершенно совпадающей с рентгенограммой образца извести, прогретой при температуре  $900\text{ }^\circ\text{C}$  3 часа.

Таким образом, из шлама ХВО при прокаливании его при температуре  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  может быть получена известь по качеству соответствующая по ГОСТу 2-му сорту произведённого продукта. (1-ый сорт содержание  $\text{CaO}$  не ниже 90 %, 2-ой 80 %, 3-ий 70 %).

УДК 541.45:541.135

### **Синтез композиционного материала на основе оксидов РЗЭ**

Студенты гр.10405316 Борковский Н. И., гр. 10405315 Бычик А. В.

Научный руководитель – Горбунова В. А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Сложные оксиды редкоземельных и 3d-элементов со структурой перовскита ( $\text{ABO}_3$ ), например, манганиты, хромиты и кобальтиты, широко применяются в современных технологиях в качестве электропроводящих, магнитных, конструкционных и каталитических материалов. Так, сложные оксиды редкоземельных элементов (РЗЭ) и переходных металлов со структурами перовскита и флюорита находят применение в различных областях катализа, например, при окислении газов во вредных выбросах от сжигания топлив.

Для материалов данного класса характерна сильная взаимосвязь между химическим составом, способами их получения и их структурными и транспортными характеристиками. Наиболее распространенным методом синтеза полиоксидных порошков является взаимодействие перемешанных порошкообразных исходных компонентов (оксидов или солей) при нагревании, т. е. керамический (твердофазный) метод. Однако, твердофазные методы имеют ряд недостатков (высокие температуры, низкая скорость реакций в гетерогенных смесях). Более эффективными являются «мокрые» методы химического (молекулярного) смешивания компонентов – выпаривание растворов солей с последующим обжигом сухой смеси солей, распылительная сушка, золь-гель, криохимический и др. Благодаря гомогенизации на молекулярном уровне эти методы позволяют снизить температуру синтеза, продолжительность процесса, получить оксидные порошки с улучшенными физико-химическими характеристиками. В настоящее время для традиционного синтеза манганитов, кобальтитов и хромитов РЗЭ чаще используют химически чистые и даже высокочистые оксиды редкоземельных элементов, стоимость которых достаточно высока. Замена этих дорогих чистых соединений РЗЭ при синтезе сложнооксидных систем со структурой перовскита на недорогие полилантаноидные концентраты (промышленного гидрометаллургического или отходного происхождения) позволит снизить стоимость этих композитов и получить, по-видимому, ряд новых материалов с набором интересных физико-химических свойств.

Целью работы являлось – на основе базовой перовскитной структуры манганита лантана  $\text{LaMnO}_3$  путем замены соединений чистого лантана на доступный полилантаноидный концентрат, ранее полученный из стеклополировальных отходов белорусских предприятий, термохимическим методом получить сложный манганит состава  $\text{LnMnO}_3$ , где Ln – смесь металлов цериевой группы: La, Nd, Ce, Pr, и определить фазовый состав полученного композиционного оксидного материала. В качестве исходного сырья применялись растворы нитрата марганца (II) и отходный азотнокислый полилантаноидный концентрат. Процесс получения полилантаноидного манганита осуществляли терморазложением ( $1170\text{--}1270\text{ K}$ ) смеси азотнокислых солей, что приводило к росту парциального давления кислорода в зоне реакции и тем самым способствовало более эффективному

синтезу перовскитной оксидной структуры. Синтезированный полилантаноидный манганит был исследован методом рентгенофазового анализа. Результаты показали формирование после спекания двухфазной кристаллической структуры: кубической перовскитной фазы  $\text{LnMnO}_3$  (75–80 % от массы всего материала) и кубической флюоритной структуры на основе  $\text{CeO}_2$  (15–20 %). Причем, флюоритная фаза представляет собой твердый раствор  $\text{CeO}_2\text{-Ln}_2\text{O}_3$  с содержанием в нем оксида церия 50–80%.

Полученный двухфазный сложнооксидный материал может быть рекомендован в первую очередь для изучения его каталитической активности в реакциях окисления. Известно, что одним из способов оптимизации каталитической активности в реакциях глубокого окисления является разработка смешанных микрогетерогенных катализаторов на основе перовскитной и флюоритной фаз, обладающих высокой термической стабильностью.

УДК 621.745

### **Модифицирование чугуна и литейных сплавов Ti-B-Si наноматериалами**

Студент гр.10405516 Миковоз М. В.

Научный руководитель – Зык Н. В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Комплексные научные исследования показали, что модифицирующая обработка расплава чугуна различными наноструктурными элементами (НЭ) и их комбинациями открывает новые аспекты воздействия на наноструктуру расплава чугуна и управление через это воздействие процессами структурообразования в графитизированных чугунах. В процессе модифицирования в расплаве образуются искусственные эндодральные наносоединения на основе фуллеренов и НЭ, которые активно изменяют характер кристаллизации железоуглеродистых расплавов. Такой метод воздействия на структуру железоуглеродистых расплавов получил название «наномодифицирование».

Модифицирование алюминиевых литейных сплавов, бронз и латуней ликвидировало полностью усадочные явления в отливках и повысило качество механообработки за счет повышения и стабилизации твердости при существенном измельчении структуры сплавов. Проведены эксперименты по модифицированию литейной стали.

Выбор тугоплавких наночастиц для наномодифицирования чугуна и литейных сплавов осуществляли на базе имеющихся литературных сведений с учетом основных свойств матрицы и вводимых соединений. Опробованы наночастицы трех соединений: нитрида титана ( $\text{TiN}$ ), карбида бора ( $\text{B}_4\text{C}$ ) и карбида кремния ( $\text{Si}_4\text{C}$ ), которые получены и предоставлены для исследований НИЛ механико-технологического факультета БНТУ. 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 ЭМБ).



В ходе проведенных исследований установлено, что частицы порошков образованы первичными структурными элементами, имеющими преимущественно пластинчатую (для карбида кремния и бора) и содержащую равноосные включения форму (для нитрида титана) и размер (после дробления) около 50–200 нм, которые объединяются в агрегаты различной формы с размером до 900 нм. Химический состав синтезированных образцов однороден: образцы содержат 98,0–99,5 % масс. основного вещества.

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 стрелчатой формы. На поверхности *карбидов кремния и бора* 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 дорастивании сростков 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. В местах же выхода поверхности контакта кристаллов на внешнюю поверхность агрегата должны сформироваться активные центры роста, обеспечивающие достраивание агрегата до тела правильной формы.

УДК 628.5

### **Разработка рациональных способов использования шлама водоподготовительных установок электростанций**

Студент гр. 10405416 Янчик Э. А.

Научный руководитель – Меженцев А. А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

К настоящему времени вопросы о минимизации и нейтрализации сточных вод водоподготовительных установок (ВПУ) электростанций проработаны достаточно полно, однако существующие технологические схемы, как в отечественной, так и зарубежной энергетике не реализуют на практике принцип полной утилизации отходов ВПУ.

Проведение исследований технологических характеристик шлама ВПУ электростанций показало, что он может использоваться в качестве сырьевой добавки при производстве строительных материалов.

Исследование гранулометрического состава шламов показало, что 74,2 % состоит из частиц 10–25 мкм, 24,7 % частиц 5–10 мкм и только 1,1 % – 25–100 мкм. В состав шламов входят в основном карбонаты CaCO<sub>3</sub> и MgCO<sub>3</sub>, а также их гидрокарбонаты.

Изучение технологических свойств исходных масс на основе шламов ХВО проводилось по таким показателям как пластичность, формовочная влажность и связующая способность. Определялись также водопоглощение, прочность образцов вяжущих материалов.

Результаты комплексных исследований физико-химического и гранулометрического состава шламов ХВО показали, что его использование как вторичного сырья представляет несомненный практический интерес.

Целесообразность использования шламов ХВО электростанций в сырьевых массах исследовалась путем определения пластичности смесей (глины и шламов), формовочной

влажности и механической прочности смесей (песка и шламов) при различных их соотношениях при сухом прессовании и пластическом формировании.

В результате проведенных исследований установлено, что значительное увеличение предела прочности при сжатии наблюдается в первые семь суток. При последующем выдерживании образцов до 28 суток прочность образцов увеличивалась незначительно.

Изучение влияния шлама ХВО электростанций на спекание, усадку и механическую прочность керамики проводилась с помощью образцов-кирпичиков. Установлено, что оптимальной температурой спекания является 870–930 °С.

При этом количество шлама в массе не должно превышать 30 %. Эти данные полностью согласуются с результатами работ других авторов.

Так как основной кристаллической фазой шлама, как и природных материалов (известняков) является  $\text{CaCO}_3$ , то исследование возможности использования шлама ХВО электростанций в качестве сырьевого материала для получения извести выполнялось параллельно с исследованием процессов, происходящих при аналогичной термообработке природных материалов. Установлено, что разложение  $\text{CaCO}_3$  и образование  $\text{CaO}$  из шлама происходит при более низких температурах, чем у природных материалов. Высокая активность шламовых отходов, обусловленная его дисперсностью и дефектностью кристаллической решетки, позволила осуществить получение извести из шламовых отходов.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что разложение  $\text{CaCO}_3$  и образования  $\text{CaO}$  из шламов происходят при более низких температурах, чем у природных материалов.

Таким образом, шламы ХВО электростанций обладают более интенсивной реакционной способностью, чем некоторые природные материалы. Благодаря тонкодисперсному и однородному составу шлам ХВО естественно вписывается в технологические процессы производства строительных изделий на его основе.

УДК 666.914

### Способ утилизации гипсовых изделий

Студент гр.10401116 Лешок В. А.

Научный руководитель – Яглов В. Н.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Одной из актуальных задач современного строительства является увеличения производства экологически чистых строительных материалов, обеспечивающих снижение материалоёмкости, энергоёмкости, трудоёмкости строительства, а также стоимости зданий и сооружений. Среди строительных материалов, отвечающих этим требованиям следует отметить гипсовые вяжущие и изделия на их основе, которые характеризуются хорошей огнестойкостью, звукоизолирующей способностью, гигиеничностью, широким диапазоном прочностных характеристик и малой теплопроводностью.

Однако за последние десятилетия производство гипсовых строительных материалов и изделий развивается низкими темпами и, несмотря на некоторый рост потребления гипсовых отделочных материалов в последние годы эта негативная тенденция продолжает действовать. Вместе с тем в производстве гипса и изделий на его основе существует ряд нерешенных проблем. Главная проблема состоит в том, что удельный расход вяжущего в объеме сырьевой смеси для производства строительных изделий и гипсовых форм при используемой на подавляющем большинстве заводов литейной технологии и составляет 70 % и более. Для сравнения на технологических линиях по производству вибропрессованных бетонных изделий на цементной основе этот показатель равен 15–20 %. Поэтому актуальной задачей является также разработка новых, более эффективных технологических схем, обеспечивающих сокращение расхода гипсового вяжущего.

В связи с этим была поставлена задача по изучению возможности получения гипсовых изделий на основе двухводного гипса с использованием и учетом сырья отработанных гипсовых форм. С точки зрения эффективности изучаемой технологии интерес представляет способ прессования полусухих смесей на основе дигидрата и полугидрата сульфата кальция.

Установлено оптимальное содержание гипсового вяжущего полугидрата в составе композиции (8–10 %) в диапазоне давления прессования 5–20 Мпа. В этом случае возможно расширение сырьевой базы производства гипсовых строительных материалов и изделий за счет использования отработанного дигидрата гипсовых форм и разработке технологии получения гипсовых изделий по упрощенной энергосберегающей технологии.

Обзор литературы показал, что получение изделий на основе двухводного гипса и гипса полугидрата возможно, в основном, при использовании давления прессования в сочетании с различными способами активации дигидрата (измельчение, введение химических добавок и др.). Прочность получаемых материалов, по данным экспериментальных исследований А. Ф. Полака, В. В. Бабкова, Р. А. Анварова, И. М. Ляшкевича др., достигает 10–15 МПа.

Выполненные экспериментальные исследования показали, что возникновение кристаллизационной структуры может происходить при выполнении следующих условий. Во-первых, частицы дисперсной фазы должны находиться на достаточно малом расстоянии, при котором возможно образование кристаллизационных контактов между ними. Во-вторых, концентрация растворенного полугидрата в воде должна быть больше растворимости дигидрата, т. е., чем выше пересыщение раствора, тем больше может быть расстояние между срастающимися частицами дигидрата, при котором возможно образование кристаллизационной структуры

Предлагаемая технология производства изделий, получаемых методом полусухого прессования дисперсных гипсовых композиций, позволит снизить удельный расход вяжущих материалов в общем объеме сырьевой смеси и существенно повысить ее технико-экономическую эффективность по сравнению с традиционной технологией производства гипсовых изделий литьевым способом.

УДК 669.15

### **Разработка лабораторной технологии получения раскислительно-модифицирующих композиций для стали**

Студент гр.10405416 Дылевский И. В.  
Научный руководитель – Проворова И. Б.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Одним из условий эффективного модифицирования железоуглеродистых сплавов является обязательная регламентация минимального размера используемых модификаторов. Установлено, что для обработки железоуглеродистых сплавов используются модификаторы с размером частиц более 1 мм. Поэтому в качестве объекта исследований выбраны отсеvy модификаторов с размером частиц до 1 мм. Из всего многообразия модификаторов, используемых для обработки железоуглеродистых сплавов, наибольший интерес (как наиболее распространенные и доступные) представляют модификаторы, содержащие щелочноземельные металлы, карбонаты щелочноземельных металлов, а также модификаторы, в состав которых входят редкоземельные металлы.

Исследование химического состава отсеvов модификаторов проводили с использованием рентгенофлуоресцентного микроанализатора INCA 350 сканирующего электронного микроскопа Vega II LMU и детектора сканирующего электронного микроскопа – BSE. Как показали результаты анализов, отсеvy модификаторов имеют однородный химический состав, с размерами частиц в зависимости от вида модификатора от 150 до 800

мкм. Таким образом, отсе́вы модификаторов можно использовать в качестве компонента раскислительно-модифицирующих композиций для сталей.

Предлагается создать на базе отсе́вов модификаторов компактные раскислительно-модифицирующие композиции, где алюминий является одновременно раскислителем и связующим между отдельными частицами отсе́вов модификатора. В расплав раскислителя, в качестве которого используется вторичный алюминий (стружка, лом, загрязненные железом и т. д.) замешиваются дешевые отсе́вы модификаторов. При замешивании отсе́вов модификаторов в расплаве вторичного алюминия, можно получить раскислительно-модифицирующие композиции, содержащие 25–35 % алюминия и 65–75 % модификатора. Из исследованных отсе́вов модификаторов наибольший интерес для получения раскислительно-модифицирующих композиций представляют отсе́вы, содержащие карбонаты щелочноземельных металлов (модификатор L-cast) и щелочноземельные металлы (РС-7).

Лабораторная технология получения раскислительно-модифицирующих композиций заключалась в следующем:

- 1) в графитосодержащий тигель АТ-5 помещали вторичный алюминий массой 1 кг, который расплавляли в лабораторной силитовой печи при температуре 780 – 800 °С;
- 2) после расплавления в тигель помещали отсе́вы модификатора массой 1,8 кг;
- 3) после выдержки в печи в течение 5 минут, тигель извлекали и устанавливали на термостойкую подставку;
- 4) после чего смесь перемешивали стальной лопаткой;
- 5) после охлаждения системы до температуры 640–600 °С (близкой к ликвидусу) происходило замешивание отсе́вов модификатора в расплавленный вторичный алюминий (силумин, с содержанием кремния 6–8 %);
- 6) в процессе перемешивания получили сыпучую композицию.

Следует отметить, что при получении раскислительно-модифицирующей композиции на базе отсе́вов модификатора РС-7, процесс замешивания проходил более эффективно. Это обусловлено тем, что основу модификатора составляет кремний. Таким образом, разработанная технология позволила получить раскислительно-модифицирующие композиции на базе отсе́вов модификаторов, содержащих щелочноземельные металлы и карбонаты щелочноземельных металлов.

УДК 628.5

### **Модификация цементных бетонов шламами водоподготовки ТЭС**

Студент гр. 10403116 Назаров Д. А.

Научный руководитель - Шагойко Ю. В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Проблема утилизации и переработки отходов стоит сегодня особенно остро. По официальным данным не более 2 % извлекаемых из недр сырья превращается в конечный продукт, оставшиеся 98 % – это отход. Поэтому необходимо как можно быстрее научиться перерабатывать их и использовать.

В настоящее время не существует универсального метода обработки и утилизации шлама химводоочистки (ХВО). Шлам ХВО – это продукт известкования и коагуляции природной воды, сырые и устойчивые смеси следующего химического состава:  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{SiO}_2$  – отход 5 класса (практически не опасен).

В данный момент шла́м ХВО утилизируется как отход. Однако способы хранения шламовых отходов наиболее практикуемые в настоящее время, имеет ряд недостатков. Шламовые отходы захороняются в поверхностных хранилищах, не оборудованных средствами защиты окружающей среды от фильтрационных вод. Несмотря на то, что в дан-

ных шламах не содержатся высокотоксичные вещества, остаются проблемы с их складированием, при этом происходит отчуждение больших площадей, создается угроза их засоления, минерализации подземных вод прилегающих территорий и ухудшения гидрохимического режима близлежащих водоемов. Все это влечет за собой изменение устойчивости геологической среды и снижение эстетического потенциала.

Портландцемент является одним из более распространенных материалов, который используется в строительстве. Существуют различные методы повышения активности цемента (механическое измельчение, введение минеральных добавок, поверхностно-активных веществ и т.д.) Поскольку в последнее время остро стоит проблема утилизации техногенного сырья большое внимание уделяется использованию отходов производства. Такие шламы могут быть использованы не только как наполнители цементных систем, но и как активаторные минеральные добавки.

Применение шламов в строительном производстве позволяет не только получить высококачественные добавки, но и значительно снизить экологический ущерб окружающей среде, снизить расход цемента, повысить качество строительных материалов.

Исходными материалом для проведения работы служили цемент марки ПЦ500ДО, молотый песок ( $< 40$  мкм), шлам ТЭС, содержащий около 85%  $\text{CaCO}_3$ .

При введении дисперсных добавок очень важно их равномерное распределение по объему. Для повышения однородности смесь тщательно перемешивалась в сухом состоянии.  $\text{CaCO}_3$  имеет малую твердость. Влияние его будет проявлять в большей мере на контактной зоне системы. Оптимальное содержание добавки будет определяться так же её воздействием на процесс гидратации цемента, формирование контактной зоны между частицами добавки и цементного камня, т.е. протекание химического взаимодействия.

Определение прочности образцов производилось следующим образом. Образцы  $R = 2,5\text{см}^3$  и  $h = 1,2$  см изготавливались из смеси следующего (таблица 1). Для изготовления образцов использовался пресс с усилием прессования 5 т, с последующей допрессовкой 10, 15, 20 т.

Образцы после уплотнения твердели 24 часа на воздухе в естественных условиях. Дальнейшее твердение в течении 27 суток происходило под водой. Часть образцов подвергалась 6-часовой пропарке.

Состав смесей для прессования приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав смесей

№ п/п	Шлам, г	Цемент, г	Песок, г
1	100	40	150
2	150	40	100
3	200	40	50

Анализ результатов исследований показал, что для данных соотношений Ц\П\Ш оптимальным является состав 2, о чём свидетельствует относительная прочность испытываемых образцов, водопоглощение и плотность. Наиболее стабильные результаты были получены прессованием с нагружением 5 тонн с последующей допрессовкой 15 и 20 тонн.

## СОДЕРЖАНИЕ

### **Литейное производство черных и цветных металлов**

Кулик М.А., Позняк О.А., Жук К.А., Самута С.В. Покровные утеплительные экзотермические смеси.....	5
Кулик М.А., Позняк О.А., Самусева А.И., Скируха А.С., Горбель И.А. Исследование состава рафинировочных шлаков при обработке стали 80К на установке «печь-ковш».....	6
Мурашко И.А. Форма экзотермических вставок и способы их установки в литейную форму.....	12
Матюшенко С.А. Оптимизации технологии изготовления отливки «Корпус насоса» с использованием имитационного моделирования литейных процессов.....	13
Бичан А.Н. Разделительные покрытия пресс-форм литья под давлением алюминиевых сплавов.....	16
Семенец И.Б., Горленко Е.С., Вавилов Н.А., Прокопчук Д.А. К проблеме комплексной переработки сталеплавильных шлаков.....	16
Ковалев А.А. Особенности использования программ моделирования тепло-технологических процессов при непрерывной разливке стали.....	17
Горленко Е.С., Григорьев П.Е., Дорохович Д.А. Технологии извлечения цинка из техногенных отходов.....	19
Жук К.А. Технологические процессы получения литейных композиционных сплавов на основе алюминия.....	21
Семенец И.Б., Мурашко И.А., Красовский А.Л., Самусева А.И., Кулик М.А. Анализ колебаний состава печных шлаков при выплавке стали 80К в электродуговых печах большой мощности.....	23
Кулинич И.Л., Шевчук В.Ю., Совершенствование технологии получения чугуна с шаровидным графитом повышенной прочности.....	27
Пиго А.С. Экзотермические смеси для обогрева питающих прибылей чугунных и стальных отливок.....	31

### **Материаловедение в машиностроении**

Астрашаб Е.В. Получение заданной толщины диффузионных слоев при однофазном борировании металлических порошков.....	36
Веремеюк С.Р. Актуальность радиационного материаловедения.....	38
Иванов А.И. Технология хромирования деталей машин гальваническим методом.....	39
Иванов А.И. Кинетика диффузионного хромирования сталей.....	41
Иванов А.И. Технология диффузионного хромирования сталей в порошковых смесях.....	43

Колбун И.В., Пилли Д.А. Выбор температурно-временных параметров изосклерного отпуска при ТО быстрорежущих сталей.....	44
Казначеева Д.А., Дершен А.В. Обработка деталей с использованием технологии закалки в инертных газах.....	45
Казначеева Д.А., Дершен А.В. Влияние закалки под газом высокого давления в среде инертных газов на коробление и деформации обрабатываемых деталей.....	47
Одарченко В.Ю. Закалочные среды.....	48
Костюкевич П.А. Современные материалы в автомобилестроении.....	49
Капусто П.М. Борирование сталей.....	51
Миковоз М.В. Применение полимеров в автомобилестроении.....	52
Октысюк Д.Н., Абрамович А.Ю. Выбор температурно-временных параметров ступенчатой закалки для высоколегированных сталей.....	54
Мышковец С.А. Международная маркировка алюминиевых сплавов .....	55
Синкевич А.П. Вакуумная цементация.....	58
Сможевский И.И. Термодиффузионное упрочнение элементов холодильников стекольного производства и повышение их жаростойкости.....	59
Тышкевич Д.С. Исследование триботехнических свойств литейного силумина АК15МЗ с целью замены антифрикционных бронз.....	60
Судников М.А. Шостыр А.И. Влияние предварительного гальванического меднения на морфологию термодиффузионного боридного слоя .....	62
Шостыр А.И. Исследование влияния знакопеременных нагрузок на эксплуатационные свойства металлических элементов с цинковыми интерметаллидными диффузионными слоями, сформированными в порошковых насыщающих средах .....	63
Куделько Е.В. Жаростойкие защитные покрытие на сталях и сплавах .....	66
Колбун И.В., Пилли Д.А. Выбор температуры самоотпуска при термической обработке с нагревом ТВЧ .....	66

### **Машины и технология литейного производства**

Павлович В.С. Построение многомерных моделей для исследования взаимосвязей свойства сплава и параметры технологии .....	70
Мелешко Г.А., Русевич О.А. Современные перспективные методы повышения качества жидкостекольных стержневых смесей .....	71
Клинцов К.С. Абразивный и ударно-абразивный износ чугунов.....	75
Мелешко Г.А. Дегтяренко И.Д. Особенности литья под давлением .....	76
Буйневич Ф. А., Воронин Р.И. Особенности плавки быстрорежущей стали.....	77
Скворцов А.А., Михайлов И. Проектирование моделей для разовых форм.....	78

Дубицкий А.А. Использование техногенных отходов в качестве огнеупорных наполнителей противопожарных покрытиях для литейных форм и стержней.....	80
Радионов М.В., Русевич О.А. Использование программы КОМПАС-3D LT для кинематического анализа рычажного механизма графическим способом.....	81

### **Машины и технология обработки металлов давлением**

Журо М.Н., Язевич И.Н., Грищук О.А. Технология и оборудование для накатывания профильных элементов .....	85
Легенькая М.С., Ясюкович Е.В. Разработка специализированного прокатного оборудования для формообразования рабочих деталей сельскохозяйственной техники	86
Кубасов С.А., Пилипцевич Д.В. Деформация заготовок из металлических порошков под действием магнитного поля импульсного тока .....	87
Манцевич И.О., Шенец А.Л. Прессование тонких пластин из металлокерамических порошковых материалов.....	89
Бахтин А.С., Стецко В.В. Влияние давления прессования на структуру порошкового материала при электроимпульсной обработке .....	90
Фролов А.В., Крук Д.С. Технологические возможности процесса сферодвижной штамповки.....	92
Кубасов С.А., Дыдик П.И., Азохов Д.Л., Пилипцевич Д.В. Изготовление биметаллического штампового инструмента с высокими скоростями деформирования	94
Хведчук Н.С. Особенности пластического формоизменения заготовки при комбинированном способе получения трубок малого диаметра из ленты.....	97
Высечко В.А., Колядко С.Д., Кисель И.С. Интенсификация процесса разделения пруткового материала на мерные заготовки клиновидными ножами .....	99
Подлипский Д.М., Камера Д.С. Технология получения валов с удлиненной осью методом поперечно-клиновой прокатки .....	100
Леонов Р.А., Пономарев Т.С., Дубенец С.С. Стан реверсивной поперечной прокатки.....	102
Леонов Р.А., Осадчий М.С. Получение детали «Палец цилиндра» методом поперечно-клиновой прокатки .....	104
Денисов Д.Г., Бахтин А.С. Исследование влияния термообработки на покрытия, сформированные деформационным плакированием гибким инструментом.....	105

### **Металлургические технологии**

Сильченко А.А., Храменков Д.В. Применение регенеративных горелок в металлургических нагревательных печах .....	109
Городник П.А., Менчицкая Т.Н. Снижение энергопотребления в металлургических печах .....	110
Ярошевич И.А., Мурашко А.Ю. Производство высокопрочного чугуна.....	111



Давыденко А.А., Ярошевич П.В. Сравнительный анализ дуговых сталеплавильных печей постоянного и переменного тока.....	112
Балмаков А.Д., Крисеева Н.А. Алюминий: свойства, производство, использование .....	114
Аверин В.А., Роскач А.Н. Снижение себестоимости металлопродукции .....	115

### **Порошковые и композиционные материалы, покрытия и сварка**

Фигурин Ф.К. Влияние времени сварки на параметры соединения при контактной точечной сварке разнородных материалов.....	118
Жизневский А.В. Изготовление и подготовка деталей бака к сварке, сборка и сварка бака трансформатора, контроль качества.....	119
Березин Н.А. Получение механоактивированных порошков для магнитно-абразивной обработки .....	121
Гайдучёнок А.П. Получение поликристаллических сверхтвёрдых материалов инструментального назначения на основе алмазных порошков термобарическим спеканием .....	122
Демьянчик Г.А. Технология получения высокоплотных деталей из порошковых низколегированных сталей.....	124
Жук В.А. Комбинированная технология получения пористых порошковых материалов .....	126
Мельничук Д.И. Изучение некоторых технологических особенностей и их оптимизации при сварке плавлением стали 09Г2С на примере кронштейна трактора Беларус 1525.5.....	128
Жук В.А. Особенности технологии получения композиционного материала алмаз-карбид кремния .....	128
Сильченко А.А. Упрочнение инструментальной стали нетрадиционным методом порошковой металлургии .....	130
Бычек А.Б., Мазолевский К.А. Установление статистических связей между механическими свойствами сварных соединений сплава 01915 .....	131
Специан И.В. Исследование структуры материалов на основе карбида кремния.....	133
Середа В.Ю., Миклуш Е.А., Яркевич Е.В. Исследование возможности применения ультра и нанодисперсных частиц, содержащихся во вторичных материалах и отсевах модификаторов, в покрытиях электродов .....	135
Сень Е.А. Сварочные технологии в производстве современных трамвайных вагонов.....	137

## Охрана труда и промышленная безопасность

Кожевников Д.А., Астраух А.Н. Соблюдение требований охраны труда на рабочих местах в оптических исследовательских лабораториях при работе с лазерами.....	139
Горбань И.Н., Дудинская Ю.В., Иваненко А.Н., Рогов А.О. Оценка параметров микроклимата рабочих мест литейных цехов .....	141
Володько Е. Э. Техника безопасности при работе на шлифовально-полировальных (ШП) станках .....	143
Шандроха А.Р. Безопасность при эксплуатации тепловых сетей и тепловых пунктов.....	144
Манько Д.Н. Требования безопасности при погрузочно-разгрузочных работах, выполняемым вручную .....	146
Дроздова В.С., Емельянова А.С. Требования по технике безопасности, предъявляемые к магнитно-резонансной томографии .....	148
Ковалев В.М. Безопасность эксплуатации систем теплоснабжения .....	150
Максимович А.А. Обеспечение работников предприятия спецпитанием за вредность на производстве.....	151
Брига Д.Г. Как работать в офисе, при этом не вредить здоровью.....	153
Макаренков Д.В., Новицкий А.А., Телешова Е.В. Влияние шума на работающих в литейных цехах .....	154
Казанский В.Д. Опасные и вредные производственные факторы при эксплуатации радаров .....	155
Лазакович А.Л. Охрана труда при применении нанотехнологий.....	158
Черкас Н.Н. Охрана труда при работе с пневматическим инструментом .....	159
Гушляк А.Н., Свирида Я.С. Меры безопасности при использовании газа в быту	160
Струй Е.В., Войтенкова Д.А., Карпович А.С. Требования к персоналу, обслуживающему атомные станции .....	161
Ковальчук К.А. Меры безопасности при проведении строительно-монтажных работ в зимних условиях .....	163
Стрижёва Е.М. Средства индивидуальной защиты персонала атомных станций .	165
Шевчик В.И. Некало И.А. Макаревич Д.А. Переработка жидких радиоактивных отходов, образующихся при эксплуатации АЭС .....	167
Драньков В.А. Защита цепей газоанализаторов ТЭЦ от импульсных перенапряжений.....	163
Клещенок К.В. Особенности выбора и эксплуатации огнетушителей .....	170
Лисакович А.С. Безопасность при эксплуатации активной зоны АЭС.....	171
Юхневич М.Ю. Подготовка к осенне-зимнему периоду .....	173
Карпук А.А. Противодымная защита зданий и сооружений при пожаре .....	174

Семкина К. С., Винокурова А. В. Безопасность при эксплуатации теплоустановок.....	175
Рекиш К.Г. Обеспечение безопасности при проведении работ повышенной опасности в строительстве .....	177
Безмен М.Ю. Оценка условий труда на рабочих местах, оборудованных персональными компьютерами.....	179
Гороховик И.В., Лапушинский М.И. Безопасность выполнения огневых работ ..	180
Угаров М.С., Шестак В.В. Электроизоляция и безопасность электроустановок ..	182
Балашов Т.В., Волков А.С. Переносные электроинструмент и светильники, ручные электрические машины, разделительные трансформаторы .....	183
Мороз А.С., Морозов А.Г. Воздействие электрического тока на организм человека .....	185
Огиевич Д.Ю., Шкундич Е.А. Меры безопасности при работе с радиоактивными отходами .....	186
Нупрейчик А. О. Техника безопасности при работе в физической лаборатории ..	188
Бабынина А.А., Литвинец А.С. Требования по охране труда при работе на диагностических ультразвуковых аппаратах.....	190
Позняк В.Г., Асипович А.В. Техника безопасности в ювелирных мастерских .....	192
Плескач М.А. Требования по технике безопасности, предъявляемые к рентгенографии молочной железы.....	193
Сенкевич И.А. Формирование условий труда и пути повышения производственной безопасности в современном животноводстве.....	195
Оразгылыджов Ю.Я., Ахундова Ю. Пожарная безопасность энергетических объектов .....	196
Яцевич Д.Е. Вредное воздействие WI-FI излучений на здоровье человека.....	198
Якутина А.В. Физиологические аспекты причин глазного утомления и защитных мер .....	199
Мухин А.Д, Куликовский П.В., Дюхов Д.И. Защита персонала в случае аварии на атомной станции .....	201
Кондратьев Е. В., Мильто А. В. Меры предосторожности при обслуживании стационарных электроприводов .....	202
Солодкая Н.В. Техника безопасности при работе на аппаратах лазерной терапии.....	204
Детко А.В. Анализ информационных характеристик человеческого фактора .....	205
Жаврид А.В., Кель О.В. Обслуживание средств тепловой автоматики и измерений .....	206
Спода А. Е., Дашковский А. А. Действие вибрации на организм человека. Вибрационная болезнь от локальной вибрации, ее профилактика .....	207

Каждан М., Клевец К. Организация рабочего места с учетом требований эргономики.....	208
Мордик А.В. Особенности труда программистов .....	209
Самок О.А. Улучшение охраны труда при выполнении технологических процессов раздачи кормов в животноводстве .....	210
Павлюкова А. Пожарная безопасность при проектировании и эксплуатации банков	212

### **Химические технологии**

Хоронко И.А. Способ переработки хромсодержащего катализатора.....	215
Михеев И.В. Прогнозирование возможности применения полиэтилена как вяжущего нетрадиционных композитов ямочного ремонта дорог.....	216
Болотова П.А., Качина В.Ю. Рациональные способы водоподготовки и утилизации шламов ВПУ .....	217
Моисеева А.Ю. Известь на основе шлама водоочистки ТЭС .....	218
Борковский Н.И., Бычик А.В. Синтез композиционного материала на основе оксидов РЗЭ .....	219
Миковоз М.В. Модифицирование чугуна и литейных сплавов Ti-B-Si наноматериалами .....	220
Янчик Э.А. Разработка рациональных способов использования шлама водоподготовительных установок электростанций .....	221
Лешок В.А. Способ утилизации гипсовых изделий.....	222
Дылевский И.В. Разработка лабораторной технологии получения раскислительно-модифицирующих композиций для стали.....	223
Назаров Д.А. Модификация цементных бетонов шламами водоподготовки ТЭС..	224

Научное издание

## НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ОБРАБОТКИ

Сборник научных работ  
XVIII Республиканской студенческой научно-технической конференции

19–20 апреля 2017 года

Технический редактор *Ю.В. Ходочинская*

Подписано в печать 30.10.2017. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. Уч.-изд. л. Тираж 50. Заказ 713.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск