

Министерство образования Республики Беларусь



Белорусский национальный технический университет



Механико-технологический факультет

**Сборник научных работ
Республиканской научно-технической
конференции профессорско-
преподавательского состава, научных
работников, докторантов и аспирантов
МТФ БНТУ**

Современные технологии для заготовительного производства

(проводится в рамках 73-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ)



16 апреля 2020 года

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Механико-технологический факультет

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сборник научных работ

Республиканской научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов МТФ БНТУ (проводится в рамках 73-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ)

16 апреля 2020 года

Минск
БНТУ
2021

ОРГКОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ:

Николайчик Ю.А., проректор по учебной работе, к.т.н., доцент

СОПРЕДСЕДАТЕЛЬ:

Иванов И.А., декан механико-технологического факультета, д.т.н., профессор

ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:

Пантелеенко Ф.И., член-корр. НАНБ, Заслуженный деятель науки РБ, д.т.н., профессор;

Константинов В.М., д.т.н., профессор;

Лазаренков А.М., д.т.н., профессор;

Немененок Б.М., д.т.н., профессор;

Ровин С.Л., д.т.н., доцент;

Томило В.А., д.т.н., профессор;

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ:

Бежок А.П., к.т.н., доцент;

СОСТАВИТЕЛЬ: Бежок А.П.

В настоящий сборник включены материалы докладов Республиканской научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов МТФ БНТУ (проводится в рамках 73-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ) «Современные технологии для заготовительного производства», участники которой выступали по следующим направлениям: «Современные проблемы материаловедения и новые материалы», «Машины и технология литейного производства», «Обработка металлов давлением. Теория, технология, оснастка и оборудование», «Металлургические процессы и промышленная экология», «Порошковые и композиционные материалы, покрытия и сварка», «Охрана труда и промышленная безопасность».

УДК 621.365.6

Исследование максимальной скорости нагрева и плавления материалов в топливных и электрических печах

Корнеев С.В.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В работе рассмотрены ограничения скорости нагрева и плавления материалов в топливных и электрических печах, а также приемы по увеличению скорости нагрева при использовании комбинированных источников нагрева и за счет конструктивных параметров печей.

Текст доклада:

На первом этапе исследований были проанализированы удельные показатели мощности печей для плавки чугуна и стали. Было определено, что для современных сверхмощных электродуговых печей удельная мощность трансформаторов достигла 1100 кВ·А/т. Кроме того доля электрической энергии в современных металлургических электродуговых печах в настоящее время составляет 55-65%, а остальная энергия вносится посредством сжигания топлива и экзотермических реакций в ванне расплава. Для индукционных тигельных печей удельная активная мощность достигла 1000 кВт/т. Анализ характеристик печей показал, что за последние 60 лет удельная мощность источников энергии увеличилась более чем в 2 раза.

Исследование максимальной скорости нагрева и плавления материалов в печах различных типов показало:

- ограничением скорости нагрева в топливных печах является мощность источника теплоты (расход топлива) в сочетании с конечной температурой нагрева, так как топливный нагрев имеет низкий КПД в области высоких температур;
- при высокотемпературном нагреве ограничением скорости нагрева является адиабатическая температура горения топлива;
- при электродуговом нагреве обеспечивается высокая скорость нагрева поверхности вплоть до температур плавления, однако, как для завалки, так и для жидкого металла большое значение приобретает объемный теплоперенос за счет конвективной составляющей, в противном случае без интенсификации теплообмена при увеличении мощности источника может наблюдаться интенсивный угар и испарение металла;
- высокую скорость нагрева можно получить при индукционном способе нагрева, ограничением скорости в данном варианте может являться

ограничение мощности источника питания, высота мениска в индукционных тигельных печах, выдавливание металла из канала в индукционных канальных печах и более интенсивный износ тигля при циркуляции металла;

- для индукционных печей скорость нагрева также зависит от правильного подбора размерных параметров печи и ее частоты в зависимости от применяемой металлошихты;

- при нагреве и плавлении металла в печах сопротивления скорость нагрева зависит от начальной температуры печи во время посадки металла, от мощности нагревателей и их температуры, при этом существенным ограничением является температура нагревателей и, следовательно, доступный для изготовления нагревателей сплав.

Повысить скорость и экономичность нагрева и плавления возможно при использовании комбинации различных источников нагрева, что в настоящее время используют на практике, применяя например отдельные внешние установки предварительного нагрева и дуплекс процессы, либо в одном агрегате, например в высокоомощной электродуговой печи.

В процессе выполнения работы были проведены расчеты скорости нагрева при различных способах нагрева, а именно газовом, электродуговом, индукционном и комбинацией этих способов.

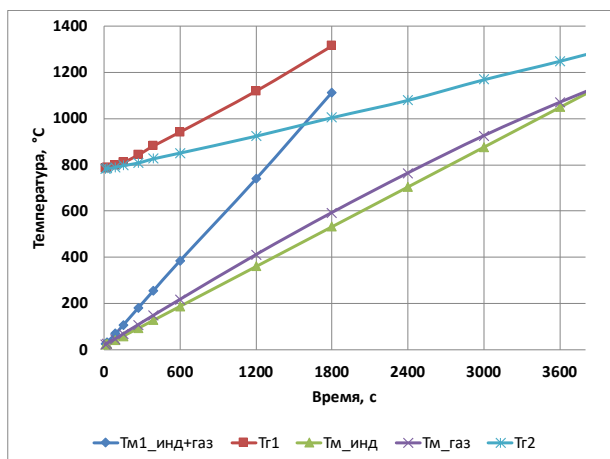
Рассмотрим нагрев медной пластины толщиной 100 мм до температуры плавления меди в тоннеле с идеальной теплоизоляцией.

В первом случае нагрев осуществляется проходящими продуктами сгорания газа от горелки мощностью 100 кВт, за счет конвекции и излучения. Во втором случае нагрев осуществляется индуктором мощностью 100 кВт с КПД 60 % во всем интервале нагрева, т.е. активная мощность, идущая на нагрев, составляет 60 кВт. В третьем случае нагрев осуществляется одновременно потоком газа и за счет индукционного нагрева.

Коэффициент конвективной теплоотдачи рассчитывался с использованием теории подобия при заданном расходе продуктов сгорания и геометрических размеров тоннеля. Приведенный коэффициент излучения определяли исходя из степени черноты продуктов сгорания и эффективной длины луча для заданной геометрии.

Далее проводился расчет нагрева пластины решением задачи нестационарной теплопроводности при изменяющейся температуре газа в зависимости от теплового потока, падающего на поверхность металла. Индукционный нагрев моделировали, рассчитав глубину проникновения тока в медь и задавая в этом слое тепловыделение.

Результаты расчетов сведены вместе и представлены на рисунке 1.



$T_{m_инд}$ – температура металла при индукционном нагреве; $T_{m_газ}$ – температура металла при газовом нагреве; $T_{m1_инд+газ}$ – температура металла при одновременном индукционном и газовом нагреве; T_{r1} – температура продуктов сгорания газа при индукционно-газовом нагреве; T_{r2} – температура продуктов сгорания газа при газовом нагреве

Рисунок 1 – Результаты расчета зависимости температур от времени нагрева при индукционном, газовом и одновременном газовом и индукционном способе

Из рисунка 1 следует, что при выбранной мощности газовый нагрев обеспечивает более быстрый подъем температуры металла, но по мере увеличения температуры металла, растет температура уходящих продуктов сгорания, что снижает мощность, передаваемую металлу, и скорость нагрева падает. При мощности горелки 100 кВт и полезной мощности индуктора 60 кВт получаем в итоге практически равное время нагрева до температуры равной температуре плавления меди. Из полученных результатов также следует, что для данных условий время нагрева при одновременном газовом и индукционном нагреве сократилось в два раза.

Также в процессе выполнения работы были рассмотрены случаи нагрева и плавления алюминиевых сплавов в печах сопротивления.

На основе анализа результатов предложен подход увеличения скорости нагрева, заключающийся в разогреве тонкого слоя рабочего слоя кладки высокой огнеупорности за которым располагается толстый слой волокнистой теплоизоляции во время технологических пауз и отдаче тепла от этого слоя нагреваемому металлу. Аккумуляцию теплоты футеровкой с даль-

нейшей ее отдачей можно также использовать при недостаточных мощностях питающих электрических сетей.

Иллюстрация данного подхода представлена ниже.

Моделирование проводили, считая начальным тепловым состоянием камеры квадратного сечения (в первом случае 500x500 мм, а во втором 1400x1400 мм), ее состояние после разогрева в течение 4 часов при температуре внутренней поверхности 1000 °С. Далее нагрев алюминия сечением 150x150 мм проводили только за счет излучения от разогретой камеры.

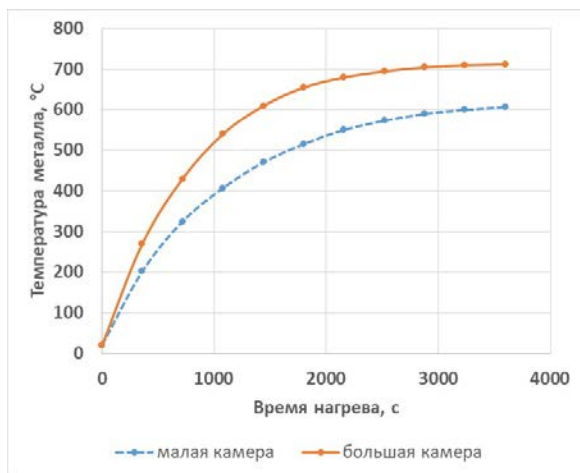


Рисунок 2 –Зависимость температуры нагреваемого металла от времени нагрева в камерах, различающихся по линейным размерам в 2,8 раза

Как следует из рисунка 2 температура 600 °С в случае камеры с большими размерами достигается в 2,3 раза быстрее.

Исследование тепловой работы футеровки топливных и электрических печей при ее разогреве и охлаждении

Корнеев С.В.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В работе рассмотрена тепловая работа футеровки печей периодического действия. Определены тепловые потери на аккумуляцию теплоты футеровкой печей различных типов.

Текст доклада:

При запуске печей для установления стационарного теплового баланса необходимо определенное время. Тепловой баланс может изменяться по причине прекращения выдачи металла, перехода печей на дежурный режим и полного их выключения. Автором ранее с использованием моделирования и опытных замеров определены тепловые потери на аккумуляцию теплоты футеровкой основных и кислых электродуговых печей [1].

Особенностью индукционных тигельных печей является, то, что при увеличении толщины тигля увеличивается тепловой КПД и снижается электрический КПД печи, поэтому существует оптимальная толщина тигля, которая определяется в зависимости от емкости печи.

Проведено моделирование нагрева стенки тигля и определено теплопоглощение, связанное с аккумуляцией теплоты материалами тигля печи емкостью 6 тонн для плавки чугуна. Стенка тигля состоит из кислой набивки на основе кварцита толщиной 120 мм и слоя изоляции 7 мм. В модели также присутствует стенка трубки индуктора, на которой задано граничное условие теплоотдачи к охлаждающей воде с температурой 40 °С.

Коэффициент конвективной теплоотдачи α находили из обобщенных уравнений.

При охлаждении гладкой трубы в условиях турбулентного режима течения ($Re > 10^4$):

$$Nu_x = 0,021 \cdot Re_x^{0,8} \cdot Pr_x^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_x}{Pr_c} \right)^{0,25} \varepsilon_l,$$

где $Nu_x = \frac{\alpha \cdot d_\delta}{\lambda_x}$ – число Нуссельта; α – коэффициент конвективной теплоотдачи; d_δ – внутренний диаметр трубки; λ_x – коэффициент тепло-

проводности жидкости; ε_l – коэффициент, зависящий от соотношения диаметра и длины труб; Re_x – число Рейнольдса; Pr_x/Pr_n – отношение чисел Прандтля при T_x (температура жидкости) и $T_{ст}$ (температура стенки).

Максимальные тепловые потери теплопроводностью через стенку будут наблюдаться в стационарном режиме при наличии в тигле перегретого металла. Приближение к такому состоянию будет происходить по мере постепенного разогрева тигля с момента начала первой плавки без перерывов между плавками. Расчеты показали, что выход на квазистационарный режим будет происходить за время равное около 6 часов.

Моделировали различные случаи разогрева тигля. На рисунке 1 например представлены результаты расчета температурного поля стенки тигля в течение 30 минут после заливки расплава с температурой 1500 °С при работе печи в дуплекс процессе вторым агрегатом.

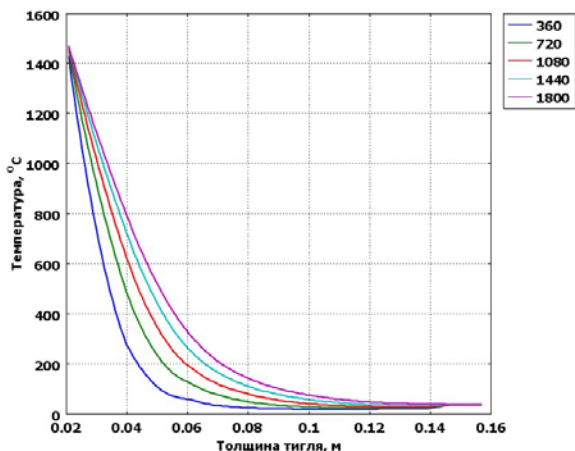


Рисунок 1 – Температурное поле по толщине тигля за 30 минут с шагом 6 минут

Для определения тепловых потерь теплопроводностью и на аккумуляцию материалом тигля были определены удельные и полные тепловые потоки. На рисунке 2 представлены результаты расчета удельного теплового потока по толщине тигля за 60 минут второго часа нагрева с шагом по времени равным 12 минутам.

Учитывая площадь внутренней поверхности тигля печи емкостью 6 тонн чугуна, равную $4,313 \text{ м}^2$ получили зависимость полного теплового потока от времени разогрева тигля приведенную на рисунке 3.

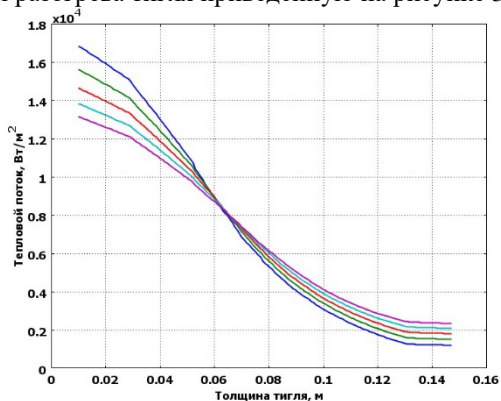


Рисунок 2 – Удельный тепловой поток по толщине тигля за 60 минут второго часа нагрева с шагом 12 минут

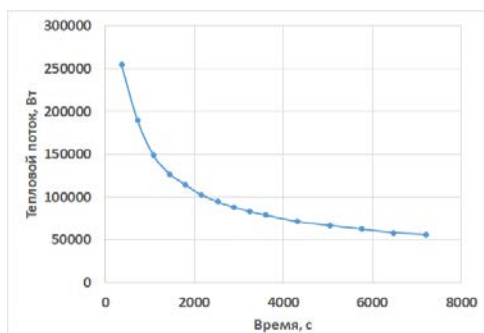


Рисунок 3 – Полный тепловой поток через стенку тигля в зависимости от времени разогрева печи

Тепловой поток в стационарном режиме определяется только теплопроводностью и составляет 31,5 кВт.

Аналогичные исследования были проведены в отношении вагранок.

Толщина стенки шахты в зоне подогрева вагранки производительностью 18 т/ч, представлена двумя слоями шамотных кирпичей толщиной 125 и 113 мм, шамотной засыпкой 40 мм и кожухом 12 мм. Диаметр шахты зоны подогрева 1800 мм, высота зоны – 5 метров.

На рисунке 4 представлена зависимость удельного теплового потока на внутренней поверхности от координаты по высоте шахты в зоне подогрева при нагреве в течение часа.

Приняв средний удельный тепловой поток в начале разогрева равным 3100 Вт/м^2 получим тепловые потери в зоне подогрева с учетом площади внутренней поверхности шахты в зоне подогрева равной $F=3,1416 \cdot 1,8 \cdot 5=28,27 \text{ м}^2$. Тепловые потери: $Q_1=3100 \cdot 28,27=87,65 \text{ кВт}$

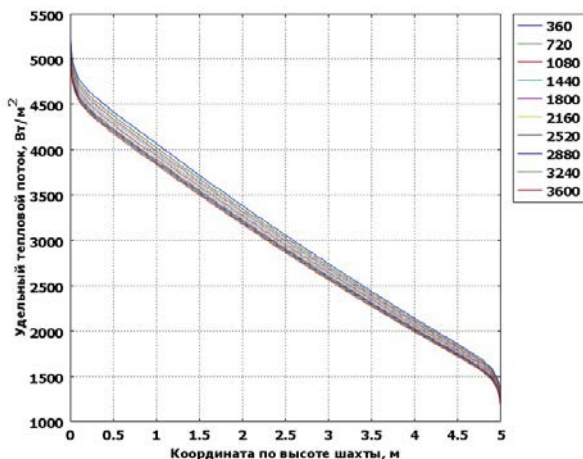


Рисунок 4 – Зависимость удельного теплового потока от координаты по высоте шахты в зоне подогрева при нагреве в течение часа с интервалом в 6 минут

После непрерывной работы в течение 8 часов удельный тепловой поток снижается до величины 2750 Вт/м^2 , а тепловые потери составляют: $Q_2=2750 \cdot 28,27=77,75 \text{ кВт}$

Многочисленные литературные источники показывают, что расход кокса при непрерывном ваграночном процессе составляет от 10 до 12% от массы металлошихты и при необходимости обеспечения более высокого перегрева чугуна и более высокой производительности повышается до 14-16%. Однако анализ данных по расходу кокса на действующих в Республике Беларусь предприятиях показывает, что расход кокса достигает величин 25-28%. Одной из основных причин является нестабильность режима работы и работа с длительными перерывами, что отражается на более высоких тепловых потерях на разогрев футеровки печи. В этой связи улучшение ритмичности работы существенно сказывается как на технико-

экономических показателях работы, так и на экологических (выбросы пропорциональны расходу кокса).

Литература

1. Корнеев, С.В. Энергопотребление электродуговых печей при использовании футеровки различных типов // *Металлургическая теплотехника. Сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины.* – Днепропетровск: НМетАУ. – 2013. – Вып.5(20). – С. 10-20

**Использование ванадийсодержащих отходов
для легирования сплавов на основе железа**

Слущкий А.Г., Немененок Б.М., Шейнерт В.А., Румянцева Г.А.
Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В работе рассмотрена технология легирования чугуна ванадием, содержащимся в продуктах дробеочистки котлов ТЭЦ.

Текст доклада:

В целях повышения эксплуатационных характеристик гильз цилиндров, корпусов двигателей внутреннего сгорания, деталей тормозных систем, поршневых колец и других изделий ответственного назначения широко используют легирование расплава чугуна ванадием. Ванадий достаточно широко распространен в природе и на его долю приходится около 0,02 % массы земной коры, что эквивалентно содержанию цинка и никеля. Однако ванадий является более рассеянным элементом и присутствует в виде следов во многих рудах, а месторождения, собственно, ванадиевых руд в природе встречаются довольно редко. Учитывая его высокую стоимость, представляет научный и практический интерес исследовать возможность использования для легирования железоуглеродистых сплавов ванадийсодержащих отходов. Ванадий является неотъемлемым компонентом химической промышленности, сельскохозяйственной деятельности, а также текстильной, лакокрасочной, резиновой, керамической и стекольной. Известны технологии извлечения ванадия из летучей угольной золы, отходов уранового производства, битуминозных сланцев и нефти, некоторых асфальтов. Для условий Республики Беларусь наибольший интерес представляют продукты дробеочистки котлов ТЭЦ.

Для борьбы с золовыми отложениями на поверхности нагрева котлов тепловых электростанций, работающих на мазуте, используют водную обмывку и последующую дробеструйную очистку. В составе золы мазута содержится до 18 % пятиоксида ванадия, а также такие элементы как никель, марганец и титан. Результаты химического анализа отходов дробеочистки котлов показали, что в них содержится значительное количество железа (50 %), порядка 11 % ванадия, около 2 % никеля, более 5 % кремния, до 1,5 % алюминия и 0,5 % меди. При этом все элементы находятся в виде соединений с кислородом.

Ванадий присутствует в отходах в виде оксидов V_2O_3 , VO_2 , которые входят в состав сложных шпинелидов. Термодинамический анализ пока-

зал, что косвенное восстановление ванадия из оксидной фазы проблематично, поскольку невозможно создать условия для получения равновесного состава газовой фазы, содержащей 100 % CO. Для восстановления твердым углеродом температура должна составлять 2800 К. Поэтому наиболее реальным способом восстановления ванадия является алюмотермический, так как термичность восстановительной смеси на основе оксида ванадия и алюминия достаточно высокая и составляет 4500 Дж/г, что позволяет эффективно вести восстановительную плавку без внешнего подогрева смеси. Эксперименты по алюмотермическому восстановлению ванадия проводили в лабораторных условиях по методике, описанной в работе [1].

На первом этапе исследовали особенности получения лигатуры с использованием в составе смеси чистых компонентов (порошки оксидов ванадия, железа, кальция и в качестве восстановителя порошок алюминия). Установлено, что степень восстановления ванадия достаточно высокая и составляет 92-96 %, при этом реакция протекает активно без существенных выбросов продуктов за пределы тигля. Были получены образцы компактных слитков лигатуры с содержанием в них ванадия 50-55 %.

В лабораторных условиях провели эксперименты по легированию чугуна за счет дисперсной фракции отходов дробеочистки котлов. Плавку осуществляли на высокоскоростной индукционной установке. В графито-шамотный тигель загружали 500 г чугуна в виде прутков диаметром 15 мм предварительно сплавленного в печи ИСТ-006. На дно тигля засыпали навеску дисперсной фракции ванадийсодержащих отходов. После расплавления и перегрева чугуна отливали образцы для исследования химического состава и свойств полученного сплава. Результаты химического анализа полученного чугуна приведены в таблице.

Таблица - Влияние добавок дисперсной фракции отходов дробеочистки котлов на химический состав чугуна

Величина добавки, %	C	Si	Mn	S	P	V
Исходная	3,42	1,94	0,61	0,062	0,051	-
10	3,36	1,90	0,59	0,070	0,053	0,092
20	3,32	1,86	0,56	0,073	0,054	0,174

Анализ показал, что использование в шихте добавок дисперсной фракции отходов дробеочистки позволяет за счет эффективного восстановления осуществлять легирование чугуна ванадием. При этом степень его извлечения высокая и составляет 92 %.

Литература

1. Слущкий, А. Г. Энергосберегающая технология получения лигатур на основе молибдена / А.Г. Слущкий, А.С. Калиниченко, В.А. Шейнерт // Литье и металлургия. - 2014. - № 2. - С. 91-94.

УДК 621.791.12; 621.791.4;
669.017.3; 669.017.3:620.18

Получение неразъемных соединений сплавов на основе алюминия и титана

Рафальский И.В., Немененок Б.М., Луцкич П.И.
Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

Представлены представлены данные аналитического характера на основе имеющихся в открытой печати материалов, содержащих результаты экспериментальных исследований процессов сварки трением с перемешиванием разнородных материалов на основе алюминия и титана. Обсуждаются особенности эволюции микроструктуры соединений разнородных материалов на основе сплавов алюминия и титана, полученных в процессе сварки трением с перемешиванием (СТП) разнородных материалов на основе алюминия и титана.

Текст доклада:

За последние несколько лет развитие производственных технологий привели к широкому использованию инновационных материалов в различных отраслях промышленности. Наиболее используемыми материалами являются легкие сплавы, применяемые в автомобильной и аэрокосмической областях, благодаря высоким относительным показателям механических и эксплуатационных свойств. Такие материалы, как алюминиевые и титановые сплавы, позволяют создавать легкие и прочные конструкции, что в транспортной отрасли приводит к значительному снижению расхода топлива и благоприятному воздействию на окружающую среду. Однако такие сплавы, как правило, менее пригодны для обработки по сравнению с традиционно используемыми сталями, в том числе из-за трудностей получения неразъемных соединений методами сварки или пайки [1].

Для получения соединений разнородных материалов на основе алюминия и титана в последние годы активно исследуются возможности твердофазных методов сварки, прежде всего, сварки трением с перемешиванием (СТП). Соединение листов из титанового сплава TiAl6V4 и алюминия AA2024-T3 этим методом было исследовано в работе [2]. Исследования микроструктуры стыкового соединения показали, что в структуре сварного шва рядом с поверхностью раздела титан-алюминий (на стороне титана) наблюдалась смесь мелких рекристаллизованных зерен алюминиевого сплава и частиц титана. Было также установлено резкое снижение твердости на границе раздела титан/алюминий (на стороне алюминия), что сви-

детельствует о существенных микроструктурных изменениях после СТП. Предел прочности соединения при растяжении при этом достиг 73% прочности от базового материала (алюминиевого сплава), с разрывом на границе раздела титана и алюминия.

Результаты исследований микроструктуры и характеристик границы раздела соединений из титана (использовались чистый титан и сплав Ti-6Al-4V) и алюминиевых сплавов на основе систем Al-Cu-Mg, Al-Mg-Cu-Zn (использовались алюминиевые пластины 2024-T3 и 7075-T651) представлены в работе [3]. Основной задачей исследования являлось изучение твердофазных реакций легирующих элементов сплавов при стыковом соединении СТП материалов. Средняя прочность на растяжение соединения Ti/2024 составила 311 МПа, при этом прочность на разрыв соединения Ti/2024 была выше, чем прочность соединения Ti/7075 при аналогичных параметрах СТП-процесса. Выполненные исследования показали, что при испытаниях на прочность разрушение соединений, в основном, наблюдались в той области, где имелся слой интерметаллического соединения TiAl₃. Например, дефекты структуры были обнаружены в сварном соединении Ti-6Al-4V/7075, полученном при скорости перемещения рабочего инструмента 300 мм/мин.

Результаты механических испытаний показали, что средняя прочность на растяжение соединений сплавов Ti-6Al-4V с алюминиевыми сплавами ниже, чем прочность соединений Ti/Al, полученных при одних и тех же параметрах СТП. Средняя прочность на растяжение соединений сплавов Ti-6Al-4V/2024 выше, чем прочность соединений сплавов Ti-6Al-4V/7075. Во всех соединениях из сплавов на основе Ti и Al разрушение соединений наблюдалось вблизи границы раздела. Средняя прочность на разрыв соединения Ti/2024 составила 311 МПа, а прочность на разрыв соединения Ti/7075 составляла 201 МПа при скорости движения рабочего инструмента 300 мм/мин. Средняя прочность на разрыв соединения Ti/7075 ниже, чем прочность соединения Ti/2024 при всех исследованных параметрах сварки трением с перемешиванием. При увеличении скорости движения инструмента предел прочности соединений увеличивался.

Исследования микроструктуры и свойств сварных швов соединений, полученных с использованием технически чистого титана и алюминиевого сплава ADC12 на основе системы Al-Si-Cu с использованием технологии СТП, показали, что на границе раздела разнородных металлов образовалась интерметаллическая фаза TiAl₃ [4]. Основными использованными материалами являлись листы из алюминиевого сплава ADC12 (толщиной 4 мм) и технически чистого титана (толщиной 2 мм). При скорости сварки 60 мм/мин штифт внедряется в нижний лист титана, так как происходит

существенное размягчение верхнего алюминиевого листа в процессе сварки, при этом металлический Ti частично захватывался в зону перемешивания. При извлечении штифта металлический Ti частично деформировался и захватывался в сторону листа алюминиевого сплава по краям штифта. При увеличении скорости перемещения инструмента до 90 мм/мин штифт не касался поверхности нижнего листа титана, поскольку предотвращалось существенное размягчение алюминиевого листа. Листы титана и алюминиевого сплава были плотно соединены, характеристики микроструктуры сварного шва на стороне алюминиевого сплава аналогичны характеристикам самого алюминиевого сплава.

Ключевым фактором, обеспечивающим качество сварного шва в процессе СТП материалов на основе алюминия и титана, является образование интерметаллических фаз. Анализ фазовой диаграммы Al-Ti показывает, что в этой системе могут образовываться несколько интерметаллических соединений, в том числе Ti_3Al , $TiAl$, $TiAl_2$, Ti_2Al_5 и $TiAl_3$. Однако результаты рентгеноструктурного анализа показали, что фаза $TiAl_3$ являлась единственным интерметаллическим продуктом реакции в проведенном эксперименте. Как указывается в работе [4], эти результаты хорошо согласуются с термодинамическими расчетами, которые показывают, что $TiAl_3$ имеет самую низкую свободную энергию образования среди соединений $TiAl_3$, $TiAl$ и Ti_3Al . Образование $TiAl_2$ и Ti_2Al_5 осуществляется в результате протекания серии твердофазных и/или твердо-жидкофазных реакций, в которых соединение $TiAl$ является одной из исходных фаз. Более того, фаза $TiAl_3$ является единственной интерметаллической фазой, образующейся при температуре реакции ниже температуры плавления алюминия. При этом было установлено, что образование $TiAl_3$ сильно зависит от скорости перемещения инструмента (тепловыделения) в процессе СТП и, следовательно, существенно влияет на механические свойства соединений. Максимальная разрушающая нагрузка исследованных соединений достигала 62% алюминиевого сплава с образованием трещин на границе раздела сплавов.

Выполнены исследования микроструктуры и свойств (твердость) соединений технически чистого титана и алюминиевого сплава 5083 (на основе системы Al-Mg-Mn), полученных в конфигурации стыкового соединения сваркой трением с перемешиванием при скорости вращения рабочего инструмента 1120 об/мин и скорости перемещения 50 мм/мин [5]. Полученные результаты показали, что в зоне перемешивания существуют три структурные области: основного алюминиевого сплава, основного металла титана и область, состоящая из интерметаллических соединений алюминия и титана. При этом область соединения на стороне алюминиевого сплава

состоит из зоны перемешивания, зоны термомеханического воздействия и зоны термического влияния, в то время как область соединения на стороне титана включает зону перемешивания и зону термического влияния. Самая высокая твердость (480 HV) была получена в зоне перемешивания, что связано с чрезмерной пластической деформацией и образованием интерметаллических соединений.

Оценка твердости и исследования микроструктуры методом сканирующей электронной микроскопии соединений коммерчески чистого титана и алюминиевого сплава 7075, полученных сваркой трением с перемешиванием встык при скорости вращения рабочего инструмента 1120 об/мин и скорости перемещения 50 мм/мин проводилась в работе [6]. Фазы в области сварного шва идентифицированы с использованием методов дифракции рентгеновских лучей и дисперсионной рентгеновской спектроскопии. Установлено, что зона сварки имела коническую форму и состояла из частиц алюминия и титана, состав и структура которых определяла твердость и прочность на разрыв сварного шва. В области сварного шва наблюдали три зоны, а именно зону основного металла титана, зону основного металла алюминия и зону смешанного соединения интерметаллидов с титаном и алюминием. Также было отмечено, что область соединения на стороне алюминиевого сплава включала зону перемешивания, зону термомеханического воздействия и зону термического влияния, в то время как область соединения на стороне титана содержит зону перемешивания и зону термического влияния. Значение твердости области сварного шва составляло около 360 HV, что означало, что в области сварного шва, по сравнению с основным металлом из титана и алюминия, твердость увеличилась на 6% и 20%, соответственно, в результате пластической деформации и образования интерметаллических соединений титана и алюминия.

Результаты исследований микроструктуры сварных швов соединений, полученных в СТП-процессах сплавов на основе алюминиевого сплава Al6060 и сплава на основе титана Ti-6Al-4V (Ti64) при сварке листовых материалов внахлест, показали, что структура и свойства в области сварного шва существенно зависят от параметров расположения рабочего инструмента, связанных с позиционированием штифта [7].

Выполнено исследование влияния параметров СТП, в том числе положения штифта, скорости вращения и скорости перемещения инструмента, на образование дефектов и свойства соединений (проведены испытания на растяжение) из титанового сплава TC4 и алюминиевого сплава 6061 [8]. Установлено, что при оптимальных параметрах СТП прочность соединений могла достигать 68% от прочности основного алюминиевого сплава.

Исследование соединений, полученных из листовых материалов толщиной 3,5 мм на основе алюминиевого сплава Al6061-T6 и сплава титана Ti-6%Al-4%V, сваркой трением с перемешиванием выполнено в работе [9]. Параметры СТП-процесса: диаметр плеча инструмента 18 мм, диаметр штифта 5 мм, длина штифта инструмента 3,3 мм, скорость вращения инструмента 300–450 об/мин, скорость перемещения инструмента 1,0–1,4 мм/с, угол наклона инструмента 3°. Установлено, что предел прочности при растяжении сварных швов составлял приблизительно 91% от прочности основного металла из алюминиевого сплава, что было на 24% выше, чем у сварных швов из наплавленного сплава (GTAW) при тех же параметрах соединений. Пластичное разрушение было основным видом разрушения при испытании на растяжение сварных швов.

При исследовании СТП-процессов соединения разнородных материалов на основе алюминия и титана (сплав титана TC1 и алюминиевый сплав LF6) установлено, что с увеличением скорости перемещения инструмента или с уменьшением его скорости вращения количество частиц сплава Ti, замешиваемых в зону сварного шва, уменьшается [10]. При этом с увеличением скорости перемещения разрушающие нагрузки на стыковые соединения уменьшаются, а наибольшее значение достигается при скорости сварки 60 мм/мин и скорости вращения инструмента 1500 об/мин.

Из анализа публикаций по сварке СТП можно сделать вывод, что прочность сварных швов из разнородных металлов, в основном, определяется природой и распределением интерметаллидов. Для улучшения механических характеристик шва толщина слоя интерметаллических соединений должна быть ограничена размером около 1 мкм, которая возрастает с увеличением количества подводимой теплоты. Наибольшее влияние на количество подводимой теплоты оказывает скорость вращения инструмента [11].

Таким образом, в настоящее время СТП является наиболее актуальным и востребованным процессом при создании изделий из разнородных конструкционных материалов на основе алюминия и титана, ограниченно свариваемых или не свариваемых сваркой плавлением. Основное внимание исследователей направлено на изучение процесса СТП, обеспечивающего минимизацию возможных дефектов, вызванных неправильными параметрами процесса сварки. Изучены различные параметры процесса, такие как скорость подачи, скорость вращения инструмента, угол наклона, глубина погружения и относительное положение инструмента и кромок свариваемых материалов, исследовано влияние геометрии инструмента. Установлено, что геометрия инструмента имеет решающее значение для правиль-

ного формирования потока пластифицированного материала и увеличения прочности на растяжение сварного соединения.

Выводы

1. Алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu, Al-Si-Cu, Al-Mg-Mn, Al-Cu-Mg, Al-Mg-Cu-Zn можно успешно сваривать встык и внахлест, используя технологию сварки трением с перемешиванием. Максимальная разрушающая нагрузка на стыковые соединения может достигать 62% и выше по сравнению с основным металлом из сплава алюминиевого сплава.

2. Интерметаллическая фаза $TiAl_3$ может образовываться на границе раздела в результате диффузионной реакции Al-Ti при определенных условиях СТП-процесса.

3. В СТП-процессе между алюминиевым сплавом и титаном область соединения на стороне алюминия состоит из зоны перемешивания, зоны термомеханического воздействия и зоны термического влияния, а область соединения на стороне титана включает зону перемешивания и зону термического влияния. Отсутствие зоны термомеханического воздействия обусловлено низкой теплопроводностью титана.

4. В зоне перемешивания микроструктура сварного шва состоит из трех областей: области основного алюминиевого сплава, области основного металла титана и области, состоящей из интерметаллидов алюминия и титана.

5. Скорости перемещения (подачи) и вращения рабочего инструмента, а также параметры его позиционирования в СТП-процессах существенно влияют на структуру и механические свойства (прочность, твердость, относительное удлинений) соединений, полученных из разнородных сплавов на основе алюминия и титана. Изменение механических свойств сварного шва связано с пластической деформации в зоне перемешивания и образованием интерметаллических соединений алюминия и титана, которые, в основном, представляют собой фазы $AlTi_3$, $AlTi_2$ и Al_2Ti .

Работа выполнена при поддержке Белорусского Республиканского фонда фундаментальных исследований, проект Т19ИНДГ-007 «Исследование межфазного взаимодействия и формирования структуры зерна в швах, полученных сваркой трением, для различных соединений высокопрочных алюминиевых сплавов с титановыми сплавами».

Литература

1. Fabrizio Micari. Friction Stir Welding as an effective alternative technique for light structural alloys mixed joints / Fabrizio Micari, Gianluca Buffa,

S. Pellegrino, Livan Fratini // 11th International Conference on Technology of Plasticity, ICTP 2014, 19-24 October 2014, Nagoya Congress Center, Nagoya, Japan. – *Procedia Engineering* 81 (2014). – pp. 74 – 83.

2. Ulrike Dressler. Friction stir welding of titanium alloy TiAl6V4 to aluminium alloy AA2024-T3 / Ulrike Dressler, Gerhard Biallas, Ulises Alfaro Mercado // *Materials Science and Engineering: A*. – 2009. – Vol. 526, Issue 1–2, 25. – pp. 113–117.

3. Masayuki Aonuma. Dissimilar Metal Joining of 2024 and 7075 Aluminium Alloys to Titanium Alloys by Friction Stir Welding / Masayuki Aonuma, Kazuhiro Nakata // *Materials Transactions*. – 2011. – Vol. 52, No. 5. – pp. 948–952.

4. Chen, Y.C. Microstructural characterization and mechanical properties in friction stir welding of aluminum and titanium dissimilar alloys / Y.C. Chen, K. Nakata // *Materials and Design*. – 2009. – Vol. 30. – pp. 469–474.

5. Sadeghi-Ghogheri, M. Friction stir welding of dissimilar joint of aluminium alloy 5083 and commercially pure titanium / M. Sadeghi-Ghogheri, M. Kasiri-Asgarani, K. Amini // *Kovove Mater*. – 2016. – Vol. 54 – pp. 71–75.

6. Sadeghi-Ghogheri, M. Friction stir welding of dissimilar joints between commercially pure titanium alloy and 7075 aluminium alloy / M. Sadeghi-Ghogheri, M. Kasiri-Asgarani, K. Amini // *Transactions of Famena*. – 2017. – Vol. XLI-1. – pp. 81–90.

7. Z.W.Chen. Microstructures in interface region and mechanical behaviours of friction stir lap Al6060 to Ti–6Al–4V welds / Z.W.Chen, S.Yazdanian // *Materials Science and Engineering: A*. – 2015. – Vol. 634. – pp. 37–45.

8. A.P.Wu. Defects and the properties of the dissimilar materials FSW joints of titanium alloy TC4 with aluminum alloy 6061 / A.P.Wu, Z.H.Song, K.Nakata, J.S.Liao // *Proceedings of the 1st International Joint Symposium on Joining and Welding*. – Osaka, Japan, 6–8 November 2013. – pp. 243–248.

9. HanSur Bang. Joint properties of dissimilar Al6061-T6 aluminum alloy/Ti–6%Al–4%V titanium alloy by gas tungsten arc welding assisted hybrid friction stir welding / HanSur Bang, HeeSeon Bang, HyunJong Song, SungMin Joo // *Materials and Design*. – 2013. – Vol. 51. – pp. 544–551.

10. Yu-hua Chen. Interface characteristic of friction stir welding lap joints of Ti/Al dissimilar alloys / Yu-hua Chen, Quan NI, Li-ming KE // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. – 2012. – Vol. 22, Issue 2. – pp. 299–304.

11. Buffa, G. Dissimilar titanium/aluminum friction stir welding lap joints by experiments and numerical simulation / G. Buffa, M. De Lisi, E. Sciortino, L. Fratini // *Advances in Manufacturing*. – 2016. - Issue 4. – pp. 287– 295.

**Информационные системы и технологии в литейном
и металлургическом производствах**

Рафальский И.В., Бежок А.П., Лущик П.Э.
Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В работе рассмотрены организационные вопросы и техническая сторона проблемы применения специализированных программных пакетов компьютерного моделирования и инженерного анализа литейных и металлургических процессов.

Текст доклада:

Создание и применение информационных систем (ИС) и технологий (ИТ) является ключевым фактором автоматизации производственных процессов, в том числе литейной и металлургической отраслей. Основной причиной активного развития ИС/ИТ является то, что автоматизация литейных и металлургических процессов служит основой качественного изменения процессов управления технических объектов, обеспечивающих эффективное ресурсосбережение и эффективность производства. Разрабатываемые автоматизированные системы контроля и управления производственных процессов с использованием ИС/ИТ направлены, прежде всего, на решение следующих основных задач:

- автоматизация сбора и обработки информации, обеспечивающей контроль и управление технологическим оборудованием, литейными и металлургическими процессами (АСУТП);
- автоматизация планирования, учета и управления производственной деятельности предприятия (АСУП);
- автоматизация проектных работ, предпроектной подготовки и анализа производственных процессов (САПР).

Основной задачей литейного и металлургического производств является создание конкурентоспособных изделий, обладающих низкой металлоемкостью, высоким качеством и минимальной себестоимостью изготовления. Решение этой задачи обеспечивается в значительной степени на стадии проектирования и подготовки технологических процессов производства литых изделий. Интенсивное развитие CAD/CAM/CAE технологий, накопленный опыт использования методов и средств компьютерного 3D-моделирования позволяет говорить о реальной экономии времени и материальных ресурсов при использовании специализированных программ моделирования литейных и металлургических процессов.

С целью разработки технологии производства литых изделий за рубежом широко используются средства компьютерного моделирования литейных процессов. Для этих целей используются известные компьютерные программы ProCAST (ESI Group, Франция), QuikCAST (ESI Group, Франция), MAGMASOFT (MAGMA Giessereitechnologie GmbH, Германия), СКМ ЛП «ПолигонСофт» (ООО «Полигон» Россия), LVMFlow (НПО МКМ, Россия) и др., позволяющие моделировать процесс заполнения расплавом формы, определять изменение температуры расплава в ходе его затвердевания, устанавливать места образования усадочных дефектов, рассчитывать внутренние напряжения, которые могут быть причиной образования горячих трещин.

Несмотря на качественные изменения общей концепции развития промышленного производства, связанные с доминированием высокотехнологичной (hi-tech) составляющей, уровень автоматизации производственных процессов отечественных предприятий литейного и металлургического производств, в большинстве случаев, все еще является недостаточным для решения задач получения высококонкурентоспособной продукции. Прежде всего, это связано с проблемами недостаточной оснащенности предприятий CAD/CAM/CAE технологиями и дефицитом инженерных кадров, обеспечивающих эффективное использование систем автоматизированного проектирования, технического анализа конструкций, изделий, оборудования и технологических процессов.

Проблема дефицита высококвалифицированных инженерных кадров, обеспечивающих автоматизированное проектирование и анализ технологических процессов, объясняется недостаточным уровнем оснащения технических вузов учебными версиями специализированных пакетов программ, используемых для инженерных расчетов и моделирования производственных процессов, а также отсутствием специальностей, обеспечивающих подготовку специалистов в области автоматизированного управления и информационных технологий в литейном и металлургическом производствах. Промышленные предприятия, по имеющимся в открытых источниках информации данным, за редким исключением, также пока не демонстрируют большой заинтересованности как в специалистах в области современных ИС/ИТ, со знанием CAD/CAM/CAE технологий и навыков 3D-проектирования, так и в приобретении такого рода систем.

Техническая сторона проблемы применения специализированных программных пакетов компьютерного моделирования и инженерного анализа литейных и металлургических процессов состоит в следующем. Существующие программы, как правило, содержат обширные базы теплофизических свойств различных материалов, в том числе черных и цветных

сплавов, которые приведены лишь для усредненных составов, полученных, как правило, при равновесных условиях кристаллизации без учета влияния примесей и технологии выплавки сплава. При отсутствии точных, экспериментально установленных свойств используемых материалов такие данные служат приближенной, но необходимой альтернативой, однако получаемые результаты компьютерного моделирования в ряде случаев могут расходиться с реальностью.

Значительно повысить точность моделирования процессов формирования изделий из различных сплавов позволяет использование данных компьютерного термического анализа пробы расплава (Computer-Aided Cooling Curve Analysis, или СА-ССА-методы), обеспечивающие возможность определения функциональной зависимости содержания твердой фазы, выделяющейся при затвердевании расплава, от температуры или времени. Это объясняется тем, что решение задач охлаждения и затвердевания литых изделий в системах компьютерного моделирования реализуется, как правило, на основе нестационарного уравнения теплопроводности с учетом выделения теплоты кристаллизации:

$$c(T)\rho(T)\frac{\partial T}{\partial \tau} = \operatorname{div}(\lambda(T)\operatorname{grad}T) + \rho L \frac{\partial f_s}{\partial \tau},$$

где T – температура, К; λ – теплопроводность, Вт/(м·К); c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ – плотность, кг/м³; τ – время, с; L – удельная теплота кристаллизации, Дж/кг; f_s – содержание твердой фазы в расплаве, о.е.

Сотрудниками кафедры «Металлургия черных и цветных сплавов» БНТУ, совместно с предприятием «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник» созданы микропроцессорные и программные средства для определения содержания твердой фазы, выделяющейся при затвердевании расплава, от температуры и времени, на базе усовершенствованных алгоритмов с учетом изменения теплофизических параметров сплава в интервале кристаллизации.

Информацию, полученную с использованием разработанного программно-аппаратного комплекса для термического анализа, можно передавать в системы моделирования литейных и металлургических процессов, имеющие возможность ввода пользовательских данных для уточнения расчета. Это способствует при наличии квалифицированного инженерного пер-

сонала получению точных, адекватных результатов моделирования при разработке и оптимизации технологий получения литых изделий.

Разработанный программно-аппаратный комплекс успешно зарекомендовал себя при разработке технологий получения отливок сложной конфигурации при литье в кокиль из алюминиевых сплавов АК7, АК9ч, АК5М4, АК5М7, АК12М2МгН и других сплавов, что является подтверждение того, что техническая сторона проблемы применения систем компьютерного моделирования и анализа литейных и металлургических процессов на предприятиях, в настоящее время может быть успешно решена.

УДК 621.762

Повышение эффективности диффузионного легирования порошков на железной и медной основах из дискретных отходов

Константинов В.М., Щербаков В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В работе рассмотрены особенности термодиффузионного насыщения бором и цинком металлических отходов производства в виде чугунной дроби и медного волокна во вращающейся электрической печи. Установлено, что при диффузионном насыщении во вращающемся контейнере из нержавеющей стали бором и цинком формируются диффузионные слои, с толщиной и твердостью зависящими от температурного режима насыщения, концентрации насыщающей смеси и времени обработки.

Текст доклада:

За более чем 25 лет белорусскими учеными (работы Ф.И. Пантелеенко, С.Н. Любецкого, В.М. Константинова, А.Л. Лисовского, А.С. Снарского, О.П. Штемпеля, В.И. Сороговца, С.Н. Жабуренка, А.М. Авсиевича, В.Г. Дашкевича, Е.Ф. Пантелеенко и др.) созданы диффузионно-легированные сплавы из стальных, чугунных порошков и дисперсных отходов производства для упрочнения и восстановления [1–3]. Активно используются отходы цветных металлов и сплавов для изготовления пористых фильтрующих материалов спеканием (П.А. Витязь, В.М. Капцевич, В.К. Шелег, А.Ф. Ильющенко и др.) [4–5]. Использование диффузионно-легированных сплавов для наплавки обеспечивает формирование износостойких покрытий с необходимыми технологическими и эксплуатационными характеристиками взамен дорогостоящих импортных сплавов, а переработанные дисперсные медные отходы используют в качестве исходного сырья для производства пористых фильтрующих материалов.

Однако, из-за малых размеров металлических отходов производства диффузионное насыщение в порошковых средах является нерациональным, затратным и требующим наличие специального оборудования и инструмента. Отдельного внимания заслуживают работы по интенсификации диффузионного насыщения микрообъектов [6–7]. Авторами доказана интенсифицирующее воздействие микропластических деформаций в процессе насыщения, что позволяет сократить время обработки в 2...4 раза, по сравнению с традиционным насыщением в стационарной порошковой насыщающей среде с использованием плавкого затвора. Таким образом, целью данной работы являлось исследование повышения эффективности

диффузионного легирования дискретных материалов в подвижной порошковой насыщающей среде.

Материалы и методики. В качестве материалов для исследований использовали отходы чугунной дроби ДЧЛ 08 ГОСТ 11964-81, образующиеся при дробеструйной обработке деталей из конструкционных и инструментальных сталей, подвергнутых предварительной или окончательной термической обработке и отходы медных волокон, образующиеся при изготовлении кабельной продукции различного назначения.

В качестве насыщающих сред при ДЛ использовали порошок карбида бора (B_4C) и порошок цинка. В качестве активатора использовали порошки хлористого аммония (NH_4Cl) и фтористого алюминия (AlF_3). ДЛ проводили во вращающемся герметичном контейнере из нержавеющей стали на модернизированной и запатентованной электрической вращающейся печи для ХТО порошковых материалов [8]. Соотношение количества насыщающей смеси к насыщаемому материалу при борировании составляла 1:10 масс. При термодиффузионном цинковании медных волокон в порошке цинка, концентрацию порошка цинка изменяли от 1:9 масс. до 1:1 масс. Температуру ДЛ чугунной дроби изменяли в интервале 850...1000 °С, продолжительность обработки составляла, в среднем, 60 мин. Температура ДЛ медных волокон составляла 400...420 °С, продолжительность обработки – 30 мин.

Установлено, что при увеличении продолжительности ДЛ от 60 до 120 мин, с постоянной температурой обработки, увеличение толщины диффузионного слоя составляет 10...15 %, что при получении ДЛ сплавов является нерациональным. Повышение температуры ДЛ до 1000 °С, с сохранением заданного времени обработки, способствует росту диффузионного слоя на 15...25 %, однако энергетические затраты при производстве ДЛ сплавов возрастают и становятся экономически нецелесообразными.

Микротвердость в ДЛ сплавах из дроби после обработки составляет 13 000...14 000 МПа, толщина диффузионного слоя составляет 60...100 мкм.

Установлено, что при обработке металлических отходов в виде чугунной дроби, размером 400...630 мкм, в подвижной насыщающей среде карбида бора для получения концентрации легирующего элемента в области 2...5 %масс в дроби необходимо обработку осуществлять при температурах не выше 950 ± 20 °С и времени обработки не более $1 \pm 0,2$ часа.

Так как на разработанной установке реализована возможность обработки нескольких контейнеров, то дальнейшие исследования были связаны с повторяемостью результатов при формировании диффузионных слоев в процессе ДЛ чугунной дроби. Анализировали получаемую микроструктуру

ру, микротвердость и толщину диффузионного слоя при циклической обработке в трех и четырех контейнерах.

Установлено, что при ДЛ чугушной дроби во вращающихся контейнерах на установке с использованием непрерывно-последовательного режима насыщения с рекомендованными температурно-временными параметрами обработки ($t = 900 \pm 20^\circ\text{C}$, $\tau = 60 \pm 5$ мин) формируются диффузионные слои толщиной 80...120 мкм и микротвердостью равной 12 000...14 000 МПа. Циклический режим ДЛ позволяет обеспечить гарантированную повторяемость результатов в процессе получения ДЛ сплавов из металлических отходов чугушной дроби для индукционной наплавки размером 400...630 мкм и концентрацией в ДЛ сплаве бора 2...4 % масс.

Существующая производительность разработанной установки для ДЛ металлических порошков составляет 0,8...1,0 кг/час, что является недостаточной для промышленного выпуска наплавочных сплавов. Исследовано использование технологических приемов для повышения производительности установки для ДЛ сплавов.

Замена теплоизолирующих элементов на дополнительные контейнеры, выполняющие двойную задачу – теплоизоляцию по зонам нагрева при ДЛ и повышение количества обрабатываемого материала. Также исследовали влияние изменения времени между периодами перемещения вращающихся контейнеров при ДЛ и повышения производительности оборудования без ухудшения технологических свойств ДЛ сплава.

Установлено, что производительность модернизированной установки для ДЛ можно повысить за счет использования дополнительных контейнеров вместо теплоизолирующих элементов и сократив темп толкания при обработке. Использование пяти контейнеров вместо трех и сокращение темпа толкания контейнеров в рабочем пространстве печи до 35...40 мин сохраняет необходимую толщину диффузионного слоя и концентрацию ЛЭ в сплаве, а производительность установки возрастает в 1,2...1,7 раза.

При диффузионном легировании цинком медного волокна формируется диффузионный слой различной толщины. Толщина сформированного на поверхности каждого отдельного медного волокна диффузионного слоя практически линейно зависит от концентрации цинка при насыщении. Диффузионный слой толщиной 17...20 мкм формируется при насыщении с концентрацией цинка равной 5 % масс. При повышении концентрации цинка толщина слоя растет и после диффузионного цинкования в смеси, содержащей 50 % масс цинка слой составляет 90...96 мкм.

Диффузионный слой неоднороден и состоит из двух прослоек в соотношении 2/3. Первый слой, сформированный на поверхности волокна с микротвердостью 1510...2730 МПа и с концентрацией цинка

58,75...62,31 % масс является фазой γ -твердого раствора цинка в меди (Cu_5Zn_8). Образование данной фазы на поверхности медных волокон при насыщении цинком во вращающемся контейнере обуславливается градиентом концентраций цинка и микропластическими деформациями при термодиффузионной обработке. Второй слой, расположенный между медным ядром и первым слоем с микротвердостью 1020...1220 МПа и с концентрацией цинка 36,05...48,31 % масс. является смесью $\alpha+\beta$ -фаз ($\text{Cu}_3\text{Zn}+\text{CuZn}$). Микротвердость медной основы составляет 790...820 МПа.

Литература

1. Пантелеенко, Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия на них / Ф.И. Пантелеенко. – Минск: УП Технопринт, 2001. – 300 с.
2. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф.И. Пантелеенко [и др.]; под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
3. Ворошнин, Л.Г. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО / Л.Г. Ворошнин, Ф.И. Пантелеенко, В.М. Константинов. – Изд. 2-е. – Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 2001. – 148 с.
4. Очистка и регенерация смазочных материалов в условиях сельскохозяйственного производства: монография / В. М. Капцевич [и др.]. – Минск, БГАТУ, 2007. – 232 с.
5. Новые фильтрующие материалы и перспективы их применения / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск, БГАТУ, 2008. – 232 с.
6. Штемпель, О.П. Интенсификация диффузионного легирования металлических порошков для защитных покрытий в подвижных порошковых смесях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / О.П. Штемпель; ПГУ. – Новополоцк, 2003. – 23 с.
7. Жабуренко, С.Н. Повышение долговечности плужных лемехов наплавкой диффузионно-легированными сплавами из чугуновой стружки и последующей термической обработкой: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / С.Н. Жабуренко; ПГУ. – Новополоцк, 2004. – 20 с.
8. Вращающаяся электрическая печь для химико-термической обработки сыпучего материала: пат. ВУ 15412 / В.М. Константинов, О.П. Штемпель, В.Г. Щербаков. – Оpubл. 28.02.12.

**Микромеханические характеристики
диффузионно-легированной цинком меди**

Щербаков В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В работе рассмотрены некоторые механические характеристики диффузионных цинковых слоев, сформированных на медном волокне методом диффузионного насыщения в подвижной порошковой насыщающей среде. Установлено, что при всех режимах термодиффузионного цинкования на медном волокне формируется диффузионный слой, состоящий из высокоцинковой и низкоцинковой фазы с различной твердостью и пластичностью.

Текст доклада:

Уже более 10 лет активно используют отходы цветных металлов и сплавов для изготовления пористых фильтрующих материалов (ПФМ) предварительным прессованием и последующим спеканием [1–3]. Однако, несмотря на широкое распространение в порошковой металлургии металлических материалов в виде порошков и стружки для получения ПФМ, использование медных волокон находит лишь ограниченное применение. Целесообразность использования отходов медного волокна для создания ПФМ не вызывает сомнения. Однако, при прессовании и спекании, в процессе изготовления ПФМ, из-за низкой пластичности и высокой температуры процесса, необходимо использование специального оборудования, что существенно повышает ресурсо- и энергозатраты при производстве. Одним из возможных методов повышения пластичности и снижения температуры спекания медного волокна, при создании ПФМ, является предварительное диффузионное цинкование [4–6], позволяющее формировать высокоцинковые слои на поверхности каждого отдельного волокна. Однако, в литературе, точных данных по изменению механических свойств медного волокна при формировании диффузионно-цинковых слоёв не обнаружено. Таким образом, целью данной работы являлось исследование некоторых механических характеристик диффузионно-легированных цинком медных волокон.

Материалы и методики. Термодиффузионное цинкование медных отходов, сечением 315...400 мкм и длиной 5...15 мм, проводили на установке для ХТО металлических порошков [7]. При термодиффузионном цинковании медных волокон в порошке цинка, концентрация цинка изменя-

лась от 1:9 %масс. до 1:1 %масс., а температура обработки составляла 400...420 °С. Продолжительность обработки - 30 мин. Были проведены металлографические и микродюрOMETрические исследования по общепринятым методикам. Дополнительно измерения твердости образцов производились методом наноиндентирования по методике Оливера и Фарра [8–10]. Был использован прибор Nano Hardness Tester (ННТ 2), фирмы CSM Instruments (Швейцария) с алмазным трехгранным индентором Берковича. Измерения и построения кривых нагрузки-разгрузки осуществлялись при максимальной нагрузке на индентор 50-100 мН.

Химический состав определяли микрорентгеноспектральным анализом (VEGA II LMU). Исследование структурно-фазового состояния проводили на дифрактометре ДРОН-2.0 в монохроматизированном кобальтовом (CoK_α) излучении.

После всех режимов термодиффузионного цинкования на медном волокне формируются диффузионные слои различной толщины. Толщина сформированного на поверхности каждого отдельного медного волокна диффузионного слоя практически линейно зависит от концентрации цинка при насыщении. Диффузионный слой толщиной 17...20 мкм формируется при насыщении с концентрацией цинка равной 5 % масс. При повышении концентрации цинка толщина слоя растет и после диффузионного цинкования в смеси, содержащей 50 % масс. цинка формируется слой толщиной 90...96 мкм.

Диффузионный слой неоднороден и состоит из двух прослоек. Первый слой, сформированный на поверхности волокна с микротвердостью 1510...2730 МПа и с концентрацией цинка 58,75...62,31 % масс является фазой γ -твердого раствора цинка в меди (Cu_5Zn_8). Образование данной фазы на поверхности медных волокон при насыщении цинком во вращающемся контейнере обуславливается градиентом концентраций цинка и микропластическими деформациями при термодиффузионной обработке. Второй слой, расположенный между медным ядром и первым слоем с микротвердостью 1020...1220 МПа и с концентрацией цинка 36,05...48,31 % масс. является смесью α + β -фаз ($\text{Cu}_3\text{Zn}+\text{CuZn}$). Микротвердость медной основы составляет 790...820 МПа, что согласуется с данными по микротвердости отожженной меди.

При исследовании твердости диффузионных слоев на медном волокне с использованием твердомера DuraScan 20 при нагрузках на индентор 25 г установлено, что твердость медного ядра составляет 87...109 HV 0,025, тонкой прослойки толщиной 10...20 мкм – 155...169 HV 0,025, а твердость верхнего диффузионного цинкового слоя толщиной 70...80 мкм, составляет 430...480 HV 0,025.

При измерении твердости диффузионных слоев методом наноиндентирования по методике Оливера и Фарра с нагрузками 0,03 и 0,05 Н, установлено отличие механических свойств сформированных диффузионных слоев на медном волокне.

Нанотвердость (НГТ) медного ядра после термидиффузионного цинкования составляет 1,1821...1.3973 ГПа или 109,48...129,41 НV, показатель упругого восстановления (H^2/E^*) находится в диапазоне 0,014...0,017, а упругое восстановление (пГТ) для медного ядра составляет 6,58...7,78 %.

Также определено, что нанотвердость (НГТ) подслоя, состоящего из α - и β -латуни составляет 1,8638...4,3837 ГПа или 172,61...405,98 НV, показатель упругого восстановления (H^2/E^*) находится в диапазоне 0,039...0,14, а упругое восстановление (пГТ) для данного слоя составляет 14,34...17,86 %.

Нанотвердость (НГТ) поверхностного слоя, состоящего из γ -латуни составляет 4,5773...7,2221 ГПа или 423,91...668,85 НV, показатель упругого восстановления (H^2/E^*) находится в диапазоне 0,143...0,305, а упругое восстановление (пГТ) для слоя равняется 23,18...25,34 %.

Установлено, что во всех обработанных медных волокнах диффузионный слой состоит из двух зон с соотношением толщин 2/3. Нижний диффузионный слой, сформированный на поверхности медной основы, с концентрацией цинка 36,05...48,31 % масс, является смесью α + β -фаз. Данный слой обладает прочностью 200...300 МПа и пластичностью равной 40...60 %. Верхняя зона диффузионного слоя, на поверхности медного волокна, за счет высокой концентрации цинка равной 58,75...62,21 % масс, является твердым раствором на базе электронного соединения γ (Cu_5Zn). Образование данной фазы на поверхности медного волокна при ДЛ цинком, приводит к снижению прочности волокна до 70...120 МПа и пластичности до 5...10 %. Пористость диффузионных слоев при ДЛ с минимальной концентрацией цинка составляет 1...2 % и постепенно возрастает до 4...7 % с увеличением концентрации цинка. Высокая пористость в образовавшихся слоях с концентрацией цинка 30...50 % масс, объясняется высокой концентрацией насыщающего элемента и одновременной микропластической деформацией отдельных поверхностных участков медного волокна во время насыщения.

Литература

1. Очистка и регенерация смазочных материалов в условиях сельскохозяйственного производства: монография / В. М. Капцевич [и др.]. – Минск, БГАТУ, 2007. – 232 с.
2. Новые фильтрующие материалы и перспективы их применения / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск, БГАТУ, 2008. – 232 с.

3. Капцевич В.М., Кусин Р.А., Корнеева В.К., Кривальцевич Д.И., Заревский И.В., Чугаев П.С., Самкевич В.В. Взаимосвязь структурных и гидродинамических свойств пористых волоконных материалов из медных отходов // Материалы докладов Междунар. симп. Инженерия поверхности. Новые порошковые композиционные материалы. Сварка. 23-25 марта 2011 г. / Под ред. П.А. Витязя. Минск, 2011, Ч. 1, с. 141–145.

4. Константинов В.М., Капцевич В.М., Щербаков В.Г., Корнеева В.К., Чугаев П.С. Опыт использования диффузионно-легированных отходов медных волокон при изготовлении пористых спеченных фильтрующих материалов // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: материалы 13-й Междунар. науч.- техн. конф., Минск, 16-18 мая 2018 г. / Под ред. А.Ф. Ильюшенко и др. Минск, Беларусь. наука, 2018, с. 116–117.

5. Щербаков, В.Г. Исследование диффузионных процессов при спекании оцинкованных медных волокон / В.Г. Щербаков, В.М. Константинов, Б.Б. Хина // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 1. Материаловедение / редколлегия: А.В. Белый (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2018. – С. 274–287.

6. Щербаков, В.Г. Особенности структурообразования при спекании диффузионно-легированных медных волокон цинком / В.Г. Щербаков // Литье и металлургия. – 2018. – № 4 (93). – С. 127 – 132.

7. Вращающаяся электрическая печь для химико-термической обработки сыпучего материала: пат. ВУ 15412 / В.М. Константинов, О.П. Штемпель, В.Г. Щербаков. – Опубл. 28.02.12.

8. Oliver, W.C. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments / W. C. Oliver, G. M. Pharr. – Journal of Materials Research. – 1992. – Vol. 7, № 6. – p. 1564–1583.

9. Oliver, W.C. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology / W. C. Oliver, G. M. Pharr. – Journal of Materials Research. – 2004 – Vol. 19, № 1. – p. 3-20.

10. Головин, Ю.И. Наноиндентирование и механические свойства твердых тел в субмикроразмерах, тонких приповерхностных слоях и пленках (Обзор) / Ю.И. Головин. – Физика твердого тела. – 2008 – том 50, вып. 12. С. 2113–2142.

**Износостойкость газотермических покрытий из псевдосплавов
«08Г2С+БрКМц3-1» и «40Х13+БрКМц3-1»**

Григорчик А.Н., Асташаб Е.В.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Аннотация:

Проведено исследование структурно-фазового состояния и триботехнических характеристик в условиях трения в смазочном материале И-20А газотермических покрытий из псевдосплавов «08Г2С+БрКМц3-1» и «40Х13+БрКМц3-1». Показано, что газотермическое напыление псевдосплавов приводит к формированию покрытий с пониженным содержанием оксидов FeO и Fe₃O₄. Кроме этого, покрытия из псевдосплавов содержат «08Г2С+БрКМц3-1» и «40Х13+БрКМц3-1» интерметаллидные фазы CuZn и Cu_{0,64}Zn_{0,36}. Установлено, что газотермические покрытия из псевдосплавов обладают более высокой износостойкостью в условиях граничного трения по сравнению с покрытиями напыленными с использованием сталей 08Г2С и 40Х13. В частности, износостойкость покрытий из псевдосплавов ≈ 2 раза выше износостойкости покрытий из одной проволоки.

Текст доклада:

Введение. Использование технологии высокоскоростного газотермического напыления проволочных материалов позволяет получать относительно дешевые и многофункциональные покрытия. Метод высокоскоростного газотермического напыления характеризуется высокой производительностью, хорошим коэффициентом использования материала, а также позволяет формировать покрытия из различных токопроводящих материалов. В частности, комбинированное напыление различных проволочных материалов (сталь – цветной сплав) позволяет получать газотермические покрытия с уникальными свойствами, например, повышенной износостойкостью и пониженным коэффициентом трения, низким коэффициентом линейного расширения, высокой коррозионной стойкостью и т.д. Вместе с тем, ввиду большого многообразия материалов для напыления, свойства многих псевдосплавов, полученных методом высокоскоростной металлизации не изучены. В частности, отсутствуют данные о триботехнических свойствах псевдосплавов «08Г2С+БрКМц3-1» и «40Х13+БрКМц3-1», полученных методом высокоскоростной металлизации. В связи с этим, целью данной работы являлось изучение структурно-фазового состояния и триботехнических свойств газотермических покрытий из псевдосплавов «08Г2С+БрКМц3-1» и «40Х13+БрКМц3-1», полученных методом высокоскоростной металлизации.

Получение образцов и методики экспериментов. В качестве объектов исследований были выбраны газотермические покрытия из сталей 08Г2С, 40Х13 и покрытия из псевдосплавов «08Г2С+БрКМц3-1», «40Х13+БрКМц3-1», напыленные методом высокоскоростной металлизации с использованием установки АДМ-10. Комбинированные покрытия из стали и бронзы, напылялись на пластины из стали 35 с размерами 100×50×6 мм. Для исследований структуры, фазового состава и трибомеханических свойств из предварительно отшлифованных пластин с напыленными покрытиями вырезались образцы с размерами 8×6×5 мм.

Металлографические исследования газотермических покрытий проводились на оптическом микроскопе АЛЬТАМИ МЕТ 1МТ. Исследование фазового состояния газотермических покрытий, проводилось на дифрактометре ДРОН-3.0 в монохроматизированном кобальтовом (CoK_α) излучении при напряжении 28 кВ и анодном токе 14 мА. Расшифровка рентгенограмм осуществлялось при помощи программного обеспечения Crystallographica Search-Match с картотекой PDF-2.

Триботехнические испытания образцов напыленного сплава проводились на трибометре АТВП. Испытания осуществлялись по схеме возвратно-поступательного движения контактирующих тел при средней скорости взаимного перемещения $\approx 0,1$ м/с в режиме трения в смазочном материале И-20А. Удельная нагрузка испытаний составляла $p=10$ МПа. При испытаниях использовалось контртело, изготовленное из закаленной стали У10 (800 HV10). Путь трения составлял ≈ 1200 м.

Результаты исследований и их обсуждение. В результате газотермического напыления были сформированы покрытия из псевдосплавов «08Г2С+БрКМц3-1» и «40Х13+БрКМц3-1», которые состоят из стальных прослоек, прослоек цветного металла, а также оксидов. Характерные микроструктуры псевдосплавов, полученных методом высокоскоростной металлизации, представлены на рисунке 1. Пористость напыленных покрытий не превышала 5 об. %.

Результаты рентгеноструктурного анализа представлены в таблице 1. Можно видеть, что газотермическое покрытие из стали 40Х13 в фазовом составе содержит α -Fe, γ -Fe и оксиды железа FeO, Fe₃O₄, а покрытие из низколегированной стали 08Г2С включает в себя α -Fe, FeO, Fe₃O₄ (таблица 1). В покрытиях из псевдосплавов «08Г2С+БрКМц3-1» и «40Х13+БрКМц3-1» регистрируется, помимо вышеуказанных фаз, медь и интерметаллидные фазы CuZn, Cu_{0,64}Zn_{0,36} (таблица 1). Также необходимо отметить, что во всех псевдосплавах регистрируется пониженное количество оксидов железа FeO, Fe₃O₄. Это связано с тем, что в процессе газотермического напыления более легкоплавкие распыляемые частицы мед-

ных сплавов оболочивают частицы железа, тем самым препятствуя их интенсивному окислению. Кроме этого химически активная медь при напылении восстанавливает оксиды железа FeO и Fe₃O₄ в процессе напыления. Твердость газотермических покрытий из псевдосплавов в ≈ 2 раза ниже твердости покрытий, полученных из аналогичных сталей. Пониженная твердость покрытий из псевдосплавов связана с тем, что в них содержатся прослойки относительно мягкой бронзы БрКМц3-1.

Таблица 1 – Фазовый состав, твердость и интенсивность линейного изнашивания (на стадии установившегося трения $L > 600$ м) газотермических покрытий из псевдосплавов и сталей

Материал покрытия	Фазовый состав	Твердость, HV 30	Интенсивность линейного изнашивания $I_n \times 10^{-10}$
08Г2С	α -Fe, FeO, Fe ₃ O ₄	280	5,1
08Г2С+БрКМц3-1	Cu, α -Fe, FeO, Fe ₃ O ₄	145	2,5
40Х13	α -Fe, γ -Fe, Fe ₃ O ₄ , FeO	400	3,5
40Х13+БрКМц3-1	Cu, α -Fe, γ -Fe, Fe ₃ O ₄ , FeO	180	1,7

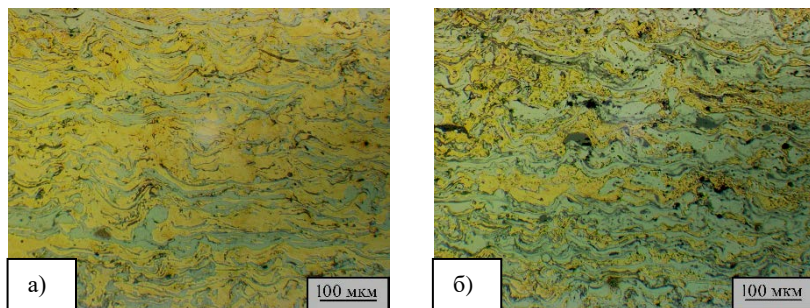


Рисунок 1 – Характерные микроструктуры газотермических покрытий из псевдосплавов: а – «08Г2С+БрКМц3-1»; б – «40Х13+ БрКМц3-1»

Результаты триботехнических испытаний представлены на рисунке 2 и таблице 1. Можно видеть, что газотермические покрытия из псевдосплавов «08Г2С+БрКМц3-1» и «40Х13+БрКМц3-1» характеризуются более высокой износостойкостью по сравнению с покрытиями из сталей 08Г2С и 40Х13, соответственно (рисунок 2). В частности, износостойкость псевдосплавов в ≈ 2 раза превышает износостойкость моносталльных покрытий (таблица 1). Повышенная износостойкость покрытий из псевдосплавов в условиях трения в смазочном материале связана с пониженным содержанием оксидов в псевдосплавах «08Г2С+БрКМц3-1» и «40Х13+БрКМц3-1»

по сравнению с покрытиями из сталей, а также высокими триботехническими свойствами бронз. В свою очередь оксиды, содержащиеся в газотермических покрытиях, являются местами зарождения и распространения трещин при трении.

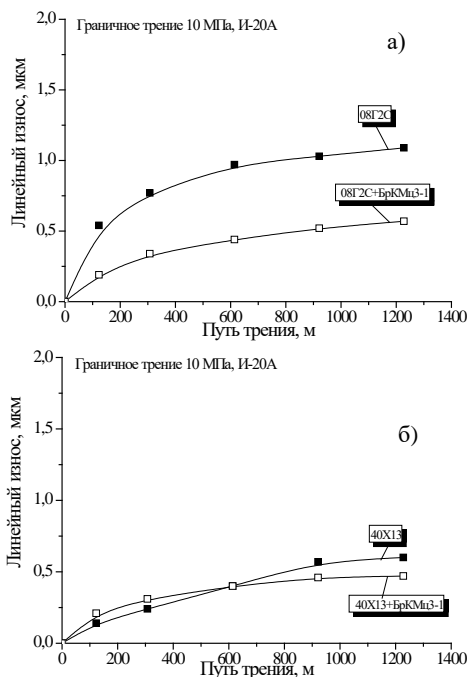


Рисунок 2 – Зависимости линейного износа от пути трения для покрытий из сталей и псевдосплавов

Таким образом, можно сделать вывод, что газотермические покрытия из псевдосплавов «08Г2С+BrKMц3-1» и «40Х13+BrKMц3-1», благодаря низкому содержанию оксидов железа и высокими триботехническими свойствами бронз, обладают более высокой износостойкостью по сравнению с покрытиями из стали 08Г2С и 40Х13.

Заключение. Исследовано структурно-фазовое состояние и триботехнические характеристики газотермических покрытий из сталей 08Г2С, 40Х13 и псевдосплавов «08Г2С+BrKMц3-1» и «40Х13+BrKMц3-1». Установлено, что газотермические покрытия из псевдосплавов содержат пони-

женное количество оксидов железа FeO и Fe₃O₄ по сравнению со стальными покрытиями. Показано, что покрытия из псевдосплавов имеют износостойкость в условиях трения в смазочном материале И-20А в ≈ 2 раза выше, чем газотермические покрытия из сталей. Повышенная износостойкость покрытий связана с низким содержанием в них оксидов, а также высокими триботехническими свойствами бронз.

УДК 621.793

Структурно-фазовое состояние газотермических покрытий из псевдосплавов «X20H80+65Г», подвергнутых закалке

Григорчик А.Н., Асташаб Е.В.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Аннотация:

Проведено исследование структурно-фазового состояния и дюрометрических свойств газотермического покрытия из псевдосплавов «X20H80+65Г», полученного методом высокоскоростного газотермического напыления в исходном состоянии и после закалки с различных температур. Показано, что выдержка газотермических покрытий из псевдосплавов «X20H80+65Г» при температурах 650, 820 и 920°C в течение 10 минут с последующим охлаждением в воду приводит к существенному изменению фазового состава покрытий и их твердости/микротвердости. В частности, твердость и микротвердость покрытия снижаются до $\approx 1,6$ раза по сравнению со значениями в исходном состоянии. Понижение дюрометрических свойств покрытий связано со снижением количества в их фазовом составе интерметаллида Ni_3Fe и увеличением содержания фазы $NiFe$.

Текст доклада:

Введение. Покрытия из псевдосплавов, полученные методом высокоскоростного газотермического напыления [1], обладают уникальным сочетанием триботехнических и физико-механических характеристик [2]. Кроме этого, одним из перспективных способов увеличения прочностных и триботехнических свойств покрытий из псевдосплавов является выделение в них при термической обработке твердых интерметаллидных фаз [2]. В частности, напыленные псевдосплавы на основе никель-хромового сплава X20H80 в сочетании с железом должны обеспечивать выделение при напылении и термической обработке целого ряда интерметаллидов на основе Ni-Fe, обладающих уникальными характеристиками прочности, коррозионной стойкости, магнитными свойствами, а также такие покрытия должны иметь пониженный коэффициент линейного расширения. Невысокий коэффициент расширения материала газотермического покрытия из псевдосплавов на основе Ni-Fe может позволить проводить их термическую обработку при повышенных температурах без снижения прочности сцепления покрытия с подложкой, что может существенно расширить область применения напыления газотермических покрытий. Вместе с тем, до настоящего времени остаются не исследованными структура и свойства напыленных псевдосплавов на основе никель-хромовых сплавов с железом, как в исходном состоянии (после напыления), так и после их термиче-

ской обработки. В связи с этим, целью данной работы являлось исследование влияния термической обработки (закалки) газотермических покрытий из псевдосплава «X20H80+65Г» на их структурно-фазовое состояние и дюрометрические свойства.

Получение образцов и методики экспериментов. В качестве объектов исследований были выбраны газотермические покрытия из псевдосплава «X20H80+65Г». Напыление газотермических покрытий выполнялось методом высокоскоростной металлизации с использованием установки АДМ-10 [1], на пластины (60×60×5 мм) из стали 35.

Термическая обработка напыленных покрытий из псевдосплавов проводилась путем их нагрева до температур 650, 820 и 920°C, выдержкой в течение 10 минут и последующим охлаждением в воде.

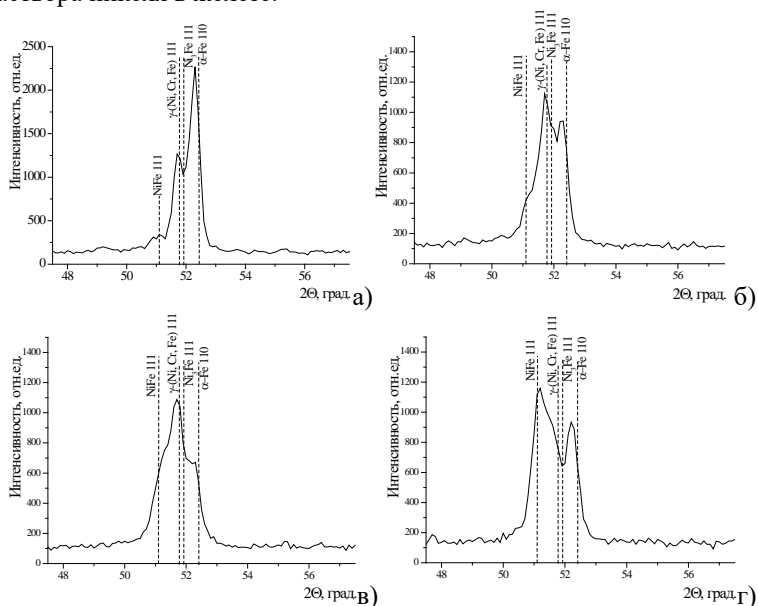
Исследование фазового состава покрытий осуществлялось на дифрактометре ДРОН-3.0 в монохроматизированном кобальтовом (CoK_{α}) излучении при напряжении 28 кВ и анодном токе 14 мА. Металлографические исследования проводились на оптическом микроскопе АЛЬТАМИ МЕТ 1МТ с использованием программного обеспечения AltamiStudio 3.3. Измерения твердости и микротвердости по Виккерсу проводились на твердомере DuraScan 20 при нагрузке на индентор $P = 10$ кг и 25 г, соответственно.

Результаты исследований и их обсуждение. В результате напыления псевдосплава «X20H80+65Г» формируется покрытие, имеющее слоистую структуру и невысокую пористость. В частности, пористость покрытия не превышала $\approx 3-5$ об. %. В фазовом составе псевдосплава после напыления регистрируются фазы α -Fe, γ -(Ni, Cr, Fe), а также интерметаллидные соединения Ni_3Fe , NiFe (рисунок 1, а). Твердость покрытия из псевдосплава «X20H80+65Г» после напыления составляет 360 HV10, а его микротвердость 585 HV0,025 (таблица 1).

Таблица 1 – Дюрометрические свойства газотермических покрытий после различных режимов термической обработки

Материал покрытия и обработка	Твердость, HV10	Твердость, HV0,025
X20H80+65Г	360	585
X20H80+65Г выдержка 10 мин при 650°C и охлаждение в воде	270	450
X20H80+65Г выдержка 10 мин при 820°C и охлаждение в воде	260	425
X20H80+65Г выдержка 10 мин при 920°C и охлаждение в воде	220	360

В результате нагрева газотермических покрытий из «X20H80+65Г» до температур 650, 820 и 920°C и последующим быстрым охлаждением в воде отслоений покрытий от подложки не регистрируется (рисунок 2). Отсутствие участков отслоения газотермического покрытия от подложки после ускоренного охлаждения с высокой температуры может свидетельствовать о высокой прочности сцепления покрытия с подложкой. Повышение прочности сцепления покрытия с подложкой в результате термической обработки при высоких температурах может происходить за счет диффузии атомов никеля из покрытия в подложку с образованием твердого раствора никеля в железе.



а – исходное состояние; б – нагрев до 650°C (выдержка 10 мин) с последующим охлаждением в воде; в – то же с 820°C; г – то же с 920°C

Рисунок 1 – Фрагменты рентгеновских дифрактограмм от поверхностных слоев газотермического покрытия из псевдосплава «X20H80+65Г» после термической обработки по различным режимам

Из представленных результатов в таблице 1 можно видеть, что с увеличением температуры термической обработки твердость и микротвердость газотермических покрытий из псевдосплавов снижается. В частности, закалка покрытий с температур 820°C и 920°C приводит к снижению их твердости/микротвердости в $\approx 1,4$ и $\approx 1,6$ раз, соответственно (таблица 1).

Понижение значений твердости и микротвердости покрытий после термической обработки связано с уменьшением количества прочного интерметаллида Ni_3Fe и образованием большого количества менее прочной фазы $NiFe$ (рисунок 1, б, в, г). Также необходимо отметить, что при охлаждении покрытия из «X20H80+65Г» в воду с температур 820°C и 920°C стальные частицы не калятся, что связано, по нашему мнению, со снижением точки начала мартенситного превращения M_n частиц из стали 65Г за счет их диффузионного насыщения никелем из частиц X20H80 при выдержке.

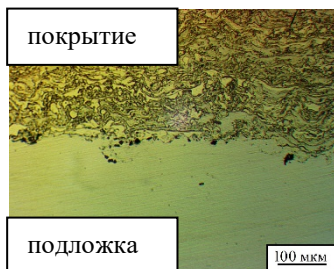


Рисунок 2 – Характерная микроструктура газотермического покрытия из псевдосплава «X20H80+65Г», прошедшего термическую обработку при 920°C (выдержка 10 минут) с последующим охлаждением в воде

Таким образом, можно сделать вывод, что возможно проведение закалки газотермических покрытий на основе $Ni-Fe$ без снижения прочности сцепления покрытия с подложкой. Вместе с тем, выдержка покрытий, содержащих никелевые сплавы и сталь, при высоких температурах приводит к понижению их дюрометрических свойств.

Заключение. Проведено исследование структурно-фазового состояния и дюрометрических свойств газотермических покрытий из псевдосплава «X20H80+65Г» в исходном состоянии и после закалки с различных температур. Показано, что ускоренное охлаждение газотермического покрытия из «X20H80+65Г» с повышенных температур не приводит к его растрескиванию и отслаиванию. Установлено, что выдержка покрытий на базе $Ni-Fe$ при повышенных температурах приводит к снижению его твердости и микротвердости до $\approx 1,6$ раза по сравнению со значениями в исходном состоянии. Понижение дюрометрических свойств покрытий связано с уменьшением в нем содержания прочного интерметаллида Ni_3Fe и образовании большого количества менее прочной фазы $NiFe$.

Литература

1. Белоцерковский М.А. Технологии активированного газопламенного напыления антифрикционных покрытий. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 200 с.
2. Кукареко В.А., Белоцерковский М.А. Влияние отжига на структурно-фазовое состояние и износостойкость газотермических покрытий из железо-алюминиевых псевдосплавов / В.А. Кукареко, М.А. Белоцерковский и др. // Актуальные вопросы машиноведения. –2019. – Вып.8. – 49-53.

Обобщенная структура доступа и управления данными при проектировании термодиффузионных слоев и покрытий

Дашкевич В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

Проанализирована область создания баз данных, программных продуктов применительно к задачам синтеза термодиффузионных слоев и покрытий, полученных химико-термической обработкой. Выполнены этапы программирования, создающие пользовательский интерфейс и архитектуру системы доступа и управления данным в режиме проектирования термодиффузионных слоев (покрытий).

Текст доклада:

Современный уровень развития техники характеризуется широким использованием упрочняющих технологий при производстве деталей машин, в частности распространение получила термодиффузионная обработка и создание азот-, углерод-, борсодержащих слоев и покрытий по причине обеспечения, прежде всего, высоких показателей твердости и, соответственно, износостойкости. Разработанные технологические процессы поверхностного упрочнения (борирование, азотирование, карбонитрация и др.) прошли многократное опробование в различных отраслях народного хозяйства Республики Беларусь и успешно используются на ряде предприятий. Тем не менее, необходимо их постоянное совершенствование, например, в направлении применения их в составе комплексных технологий, включающих разнообразную предварительную обработку и термодиффузионное насыщение, в этом случае можно достичь более высоких показателей физико-механических свойств упрочненных поверхностей [1]. Подтверждение этому – зарубежные производители, которые постоянно совершенствуют технологическую базу процессов термодиффузионной обработки, повышают степень автоматизации, применяют методы статистики, компьютерной обработки данных по заранее определенным алгоритмам с целью быстрой адаптации технологии под конкретную деталь, ее материальное исполнение и условия эксплуатации [2].

Коллективом кафедры «Материаловедение в машиностроении» БНТУ и научно-исследовательской лаборатории упрочнения стальных изделий филиала БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт» за многие годы исследований накоплен значительный объем экспериментальных данных по формированию упрочняющих слоев и покрытий тер-

модиффузионным способом, что дает предпосылки формализации этих данных в алгоритмах, различных математических описаниях процесса нанесения и обработки, базах данных [3].

К настоящему времени экспериментальные данные по химико-термической обработке, в частности, в порошковых средах недостаточно систематизированы. Поэтому актуальным представляется задача создания системы доступа и управления данными, аналогичной по некоторым признакам стандартной базе данных (MS SQL Server, Oracle, MySQL и др.), но которая позволяет не только использовать базу данных традиционно, т.е. транслировать готовые, апробированные решения на новые объекты различного функционального назначения, но и реализующие, в случае необходимости, элементы проектирования покрытий и слоев диффузионного типа.

Эффективные примеры применения математического моделирования в отдельных направлениях химико-термической обработки только появляются [4]. Сдерживающим фактором является сложность математического описания процессов, «размытость» факторов и как результат адекватность модели, точность, иногда, вычислительная мощность, хотя общие теоретические и методологические аспекты математического описания процессов формирования покрытий, необходимых для полноценного или частичного проектирования исследуются достаточно давно и рассмотрены в научных трудах многих ученых ближнего и дальнего зарубежья. Отметим, что в основном исследователи реализуют математические модели, определяющие взаимосвязь «состав–технология–свойства», это самый очевидный путь.

Реализация элементов проектирования может осуществляться на базе известных программных комплексов для инженерного применения, такие как ANSYS, Matlab и др. Они позволяют моделировать, например, процесс формирования покрытия или их элементов и поведение при действии нагрузок. При этом используются стандартные подходы в моделировании, которые, в основном, не акцентируют внимание на материаловедческих аспектах, а нацелены лишь на механику взаимодействий.

При проектировании целесообразно использовать систему, которая реализуется через программный пакет, обеспечивающий широкий комплекс действий с существующими данными, в частности о слоях и покрытиях с различными свойствами. Язык программирования пользовательского интерфейса нами выбран объектно-ориентированный C#, среда разработки программного обеспечения, включающая множество инструментальных средств, с поддержкой баз данных – Microsoft Visual Studio.NET.

Алгоритм взаимодействия компонентов и их участие в проектировании отражены на рисунке 1.

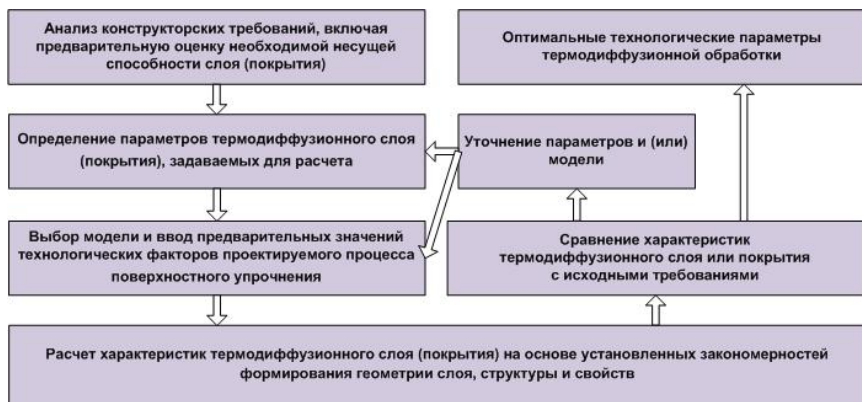


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма взаимодействия компонентов реализующих этап проектирования

Для работы компонентов в режиме проектирования требуется подготовка справочной информации как общетехнической, так и специальной. Наиболее важной информацией в системе являются механические свойства термодиффузионных слоев (покрытий). В системе идет взаимодействие с базой данных по уже имеющимся параметрам слоев (покрытий) диффузионного типа, а при отсутствии данных предполагается их вводить вручную, интерполируя данные подходящим способом. Безусловно, результат будет завесить, прежде всего, от адекватности той математической модели, посредством которой будут определяться параметры.

Реализуемый интерфейс проектируемой системы достаточно большой и включает вкладки, заполненные не только технической информации, но и, например, описанием микроструктуры, что позволяет оценить влияние отдельных структурных составляющих в общей структуре слоя (рисунок 2).

Систему предполагается применять для инженеров занимающихся упрочнением различных деталей машин способом химико-термической обработки. В режиме проектирования она предназначена для подготовленных пользователей, поскольку необходимы соответствующие знания в области материаловедения.

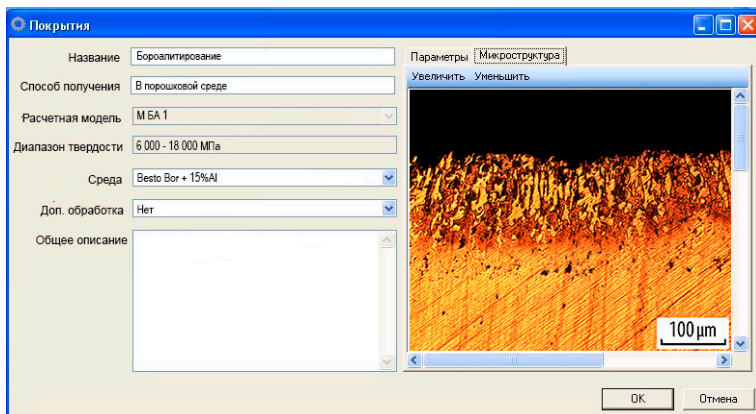


Рисунок 2 – Интерфейс вкладки покрытие и пример ее заполнения

Таким образом, в работе отмечается актуальность создания для процессов химико-термической обработки системы хранения и управления данными. Это необходимо как в разрезе консервации уже наработанных вариантов обработки, полученных результатов, так и в разрезе дальнейшего совершенствования каждого процесса. В работе выполнены этапы программирования, создающие пользовательский интерфейс и архитектуру системы доступа и управления данными в режиме проектирования термодиффузионных слоев и покрытий.

Литература

1. Свойства двухслойных износостойких покрытий «Термодиффузионный слой -TiAlN» на сталях / В.М. Константинов, А.В. Ковальчук, В.Г. Дашкевич // Журнал физики и инженерии поверхности. — 2016. — Т. 1, № 2. — С. 213-224.
2. Modelling and simulation of nitriding process in SCM420 steel / Xiaohu Deng, Dongying Ju // International Journal of Microstructure and Materials Properties, 12(5/6). – 2017. – P. 415 – 427.
3. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник/ под ред. Л.С. Ляховича. – М.: Металлургия, 1981. – 424 с.
4. Семенов, М.Ю. Методология разработки технологий химико-термической обработки на основе моделирования диффузионных процессов и анализа эксплуатационных свойств зубчатых передач : автореф. ... дис. докт. техн. наук: 05.16.01 / М.Ю. Семенов; ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина». – М., 2015. – 47 с.

Упрочнение конструкционных сталей комбинированными методами обработки, включающими термодиффузионное борирование

Дашкевич В.Г., Ушеренко Ю.С.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

Определены особенности структурообразования диффузионных слоев полученных по комплексной технологии, включающей предварительную активацию сверхглубоким проникновением порошковых частиц в стальную матрицу из стали У8 и последующее термодиффузионное низкотемпературное борирование в порошковых средах. Проведена оценка фактора хрупкости и адгезионных свойств.

Текст доклада:

Износ, в разных его проявлениях, является важным обстоятельством обеспечивающим необходимость проведения дополнительных обработок с целью защиты широкого спектра материалов. Химико-термическая обработка (ХТО) в этом занимает центральное место и, совершенно точно, в настоящее время, не утратила своей привлекательности в вопросах повышения износостойкости, коррозионной стойкости и т.д.

Уже больше века ученые и инженеры разных стран применяют различные способы борирования, как разновидность ХТО для защиты стальных изделий от механического изнашивания. Даже в современных реалиях, когда перечень всевозможных высокотвердых покрытий и слоев огромен, боридные слои, имеющие чрезвычайно высокую твердость (по некоторым данным до 22 000 МПа) и износостойкость показывают свою эффективность [1].

Термодиффузионное борирование в порошковых средах менее распространенный процесс, но имеющий ряд преимуществ по сравнению с другими способами, такими как электролизное, в растворах электролитов. Выбор способа проводится с учетом характера обрабатываемых изделий, условий их работы, массовости изготовления и т. д. В большинстве случаев наиболее выигрышным является борирование в жидких средах. Но если рассматривать борирование в рамках комплексной технологии, то акценты могут смещаться, например, если проводится предварительная обработка поверхности, ее модификация способами пластической деформации, активацией сверхглубоким проникновением порошковых частиц в металлическое тело, электроискровой обработкой.

В работе рассматривается процесс предварительной активации сверхглубоким проникновением порошковых частиц в стальную матрицу из стали У8 и последующее термодиффузионное низкотемпературное борирование в порошковых средах, а также оценка фактора хрупкости и адгезионных свойств полученных слоев. Углеродистая инструментальная сталь, упрочненная борированием, представляет интерес для изготовления, например, деталей золотниковой группы гидрораспределителей. Повышенная хрупкость и опасность скалывания диффузионного слоя на таких сталях, наиболее острая проблема, сдерживающая активное применение такого рода упрочнения.

Повышение адгезионной связи и снижение хрупкости ключевые задачи повышения функциональных возможностей диффузионных боридных слоев на углеродистых сталях, в нашем случае марки У8. Известно, что борированные слои могут самопроизвольно «шелушиться» под действием термических напряжений, отделяясь фрагментарно, чешуйками по межфазной границе (рисунок 1, а) или полностью всем диффузионным слоем.

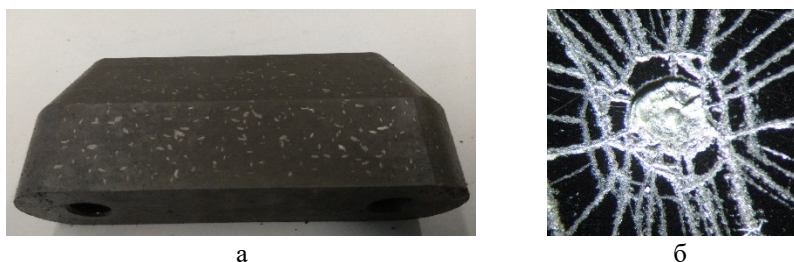


Рисунок 1 – Внешний вид участков разрушения борированных изделий (а – разрушение за счет термических и структурных напряжений; б – отпечаток поверхности при испытании на твердоме Роквелла)

В общем случае адгезия может быть оценена механическими методами, такими как испытание при вдавливании индентером на твердоме Роквелла (шкала С), склерометрией, микроиндентированием, испытанием на ударную вязкость, склонностью к отслаиванию при определении относительного удлинения. Хрупкость боридных слоев исследуется часто тоже на основе измерения микротвердости и твердости по методу Виккерса алмазной пирамидой, по бальной шкале. Наиболее распространённой и достоверной методикой определения хрупкости боридных диффузионных слоев является методика, основанная на определении напряжения скола, т.е. минимального напряжения в образце, вызывающем скол диффузионного слоя [2].

Исследование адгезии с использованием твердомера вызывает повреждение слоя, прилегающего к месту отпечатка (рисунок 1, б). По площади разрушения, плотности трещин, характеризуют хрупкость слоя и, косвенно, адгезионную составляющую.

Термодиффузионное борирование проводили в порошковой среде при печном нагреве в герметичном контейнере с плавким затвором. Режим обработки: температура 650 °С, время 4 ч. Для проведения процесса использована шахтная электрическая печь с селитовыми нагревателями.

Активацию проводили динамической обработкой в режиме сверхглубокого проникновения на специальном пушечном ускорителе, позволяющем обрабатывать образцы цилиндрической формы. Обработка проводилась порошковой композицией состоящей из SiC+Al+ПГ10Н04 при скорости частиц порядка 300-1000 м /с.

В качестве насыщающей смеси использовали порошковую среду разработки сотрудников научно-исследовательской лаборатории упрочнения стальных изделий БНТУ, полученную металлотермическим способом (торговая марка «Besto-Bor»). В состав смеси в качестве основного компонента входил оксид бора, восстановитель – порошок алюминия. Восстановленную смесь размалывали, просеивали, обеспечивая требуемый granulometric состав (0,3 – 0,5 мм), и для дальнейшего использования при термодиффузионном насыщении добавляли активатор AlF_3 .

Известно, что при борировании реализуется, прежде всего, зернограничная диффузия, т.е. бор выступает как горофильный элемент. Структура слоя иглоподобная, состоящая из зон низкобористой (Fe_2B) и высокобористой (FeB) фаз. В таком слое характерным является присутствие пористости, как правило, на межфазной границе, что способствует описанной ранее высокой хрупкости и низкой адгезии (рисунок 2, а). Природа этой пористости это вакансионный механизм диффузии и затруднительная встречная диффузия железа [2, 3].

Формирующиеся при процессах активации каналы зоны в результате процесса активации являются ничем иным как дефектом кристаллической структуры, которые способны интенсифицировать диффузию по телу зерна, т.е. развить объемную диффузию, что приводит к формированию более компактного слоя (рисунок 2, б). Кроме снижения пористости, было установлено снижение и хрупкости. Площадь зоны трещинообразования при формировании отпечатка от вдавливания на твердомере Роквелла снижается на 25...40%. Как уже отмечалось ранее, такие показатели косвенно свидетельствуют об увеличении адгезионных сил. Если предполагать, что полученные активацией каналы в стальной матрице имеют глубину проникновения больше чем толщина слоя, то формирующиеся в про-

цессе термодиффузионного борирования в этих каналах кристаллы обес­печивают более высокую адгезию слоя, поскольку фрагментарно входят в матричный материал на значительно большую глубину, чем основной слой.

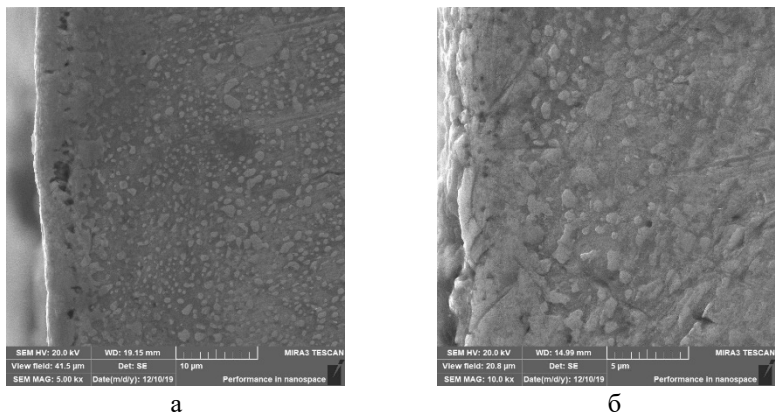


Рисунок 2 – Микроструктура образцов стали У8 после низкотемпературного борирования в порошковой среде Besto-Bor (а – без активации; б – с активацией)

В результате выполненной работы исследованы особенности структу­рообразования диффузионных слоев полученных по комплексной техно­логии, включающей термодиффузионное низкотемпературное борирова­ние с предварительной обработкой, заключающаяся в динамической про­шивке порошковой композицией поверхности образца. С такой обработ­кой диффузионный слой получился более компактный, снижается хруп­кость и повышается адгезия, определенная по отпечатку от вдавливания алмазного наконечника твердомера.

Литература

1. Eric J. Mittemeijer. Thermochemical surface engineering of steels / Eric J. Mittemeijer, Marcel A. J. Somers // Woodhead publishing series in metals and surface engineering: Number 62. – Elsevier. 2015. – 792 p.
2. Крукович, М.Г. Пластичность борированных слоев / М.Г. Крукович, Б.А. Прусаков, И.Г. Сизов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 384 с.
3. M. Kulka, Current trends in boriding: Techniques: Springer Nature, Switzerland, 2019. – 282 с.

Развитие абстрактного мышления у студентов младших курсов путем углубленного изучения программирования на языке Object Pascal

Мельниченко В.В.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

Учитывая особенности образования на современном уровне, требуется развитие логики и умственной инициативы инженеров. Попыткой такого развития и служит развитие абстрактного мышления на основе программирования на языке типа Object Pascal с использованием преобразований данных и отображения их.

Текст доклада:

Многие молодые преподаватели могут сказать, зачем изучать программирование. Тем более на таком древнем языке, как Pascal. Этот язык постоянно трансформируется и остаётся необходимым инструментом правильного начального ориентирования на технологию программирования. Структурированность его позволила изобрести объектно-ориентированное программирование (ООП), что было подхвачено рядом самых востребованных в прошлом языков (C, C++).

Сам Pascal также развивается и преобразовался в Object Pascal, Delphi. Знание технологии программирования на языке Object Pascal позволяет легко писать программы и производить расчеты в MathCAD.

Простейшие задания работы с матрицами позволяют видеть информацию как многомерную. Обработка этой информации является частью современного требования Industry 4.0 (рис. 1). Big Data и есть необходимость активного понимания и анализа многомерной информации.

Симуляция работы сложных организмов – это представление любых действий как набор последовательных простых движений. Поэтому решение задач графического отображения траекторий от простых одномерных до двухмерных, например:

- 1) нарисовать 10 квадратов, имеющих общий угол;
- 2) нарисовать несколько вписанных друг в друга n-угольников.

Это задачи простых действий роботов (на рисунке область автономные роботы и симуляция).

Будущие выпускники инженеры-материаловеды – это специалисты, которые должны получить очень широкий спектр знаний. Кроме показанных на рисунке 9-ти основных прорывных направлений развития постиндустриального общества, остается множество стыковых областей, в которых

и происходит незаметная работа где нужны специалисты с междисциплинарными знаниями.

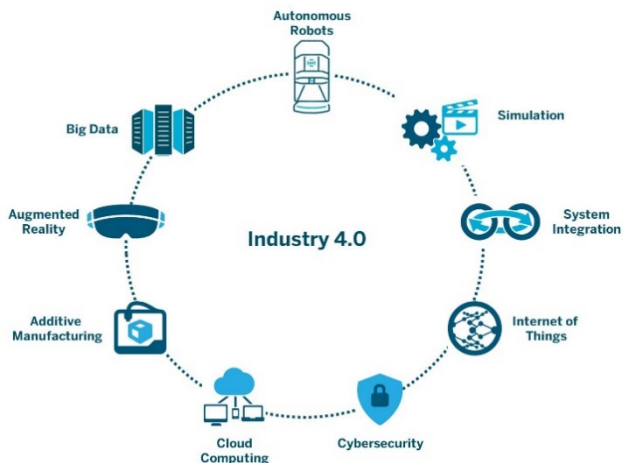


Рисунок 1 - Основные области развития постиндустриального общества

Обучение основам визуального программирования, используя оболочку Delphi дает возможность создавать вполне работоспособные приложения моделирования основных технологических процессов.

Как показал опыт преподавания, студенты с интересом создают простые приложения, работающие под управлением ОС Windows. Приложения имеют основные объекты управления, и поля ввода информации, области отображения результатов вычислений, в том числе и в виде графиков, что обеспечивает интерактивность. При необходимости можно создать и межплатформенное приложение.

Даже моделирование задачи теплопередачи через стенку, может быть представлено всеми вариантами граничных условий и строением самой стенки путем создания простой базы свойств материалов.

Многообразие модельных задач дает возможность специальной подготовки части способных студентов именно применению компьютерных технологий в материаловедении. А это, в свою очередь, стимулирует создание на производстве творческих коллективов из специалистов разных направлений (программистов, математиков, химиков и т.д.) для решения сложных технических задач.

Использование специализированных программных продуктов в подготовке инженеров-материаловедов

Мельниченко В.В., Стефанович В.А.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

Подготовка квалифицированного инженера-материаловеда требует прохождения им двух ступеней образования. На первой ступени необходима глубокая интеграция классического преподавания специальных дисциплин и применения современных программных продуктов (Delphi, Mathcad и др.) для уверенной работы в различных областях промышленности.

Текст доклада:

Современная четырехлетняя подготовка инженеров-материаловедов очной формы обучения содержит модуль общенаучных дисциплин, в который входят математика, физика, химия и информатика, что вполне оправдано, так как материаловедение является междисциплинарной наукой.

Поговорим о необходимости актуализации преподавания дисциплин, подготавливающих изучение специальных дисциплин в соответствии с требованиями к компетенциям инженера-материаловеда в постиндустриальном обществе. В качестве примера приведем схему приложения знаний материаловеда (рисунок 1). Как видим современное предприятие (Smart Factory) практически может быть связано с целым рядом технологий.

Все современные технологии основаны на получении новых материалов, которые должны обладать заданными физическими, механическими свойствами. Создание таких материалов возможно, только при активном управлении технологическими процессами. Модуль «Информационно-математическое обеспечение технологических процессов» предусматривает по усмотрению кафедры наполнение специальными знаниями в курсах «Прикладная информатика» и «Математическое моделирование технологических процессов». Именно ближний круг связей рисунка 1 и отображает информационные технологии, которые будут внедрены и обеспечат нормальное функционирование объектов внешнего круга.

Таким образом возникает возможность выбора инструмента связи современного предприятия с первым и вторым кругом технологий. Обучение уверенной работе на компьютере, знакомство с простыми базами типа MS Access, освоение языка программирования — это базовый уровень подготовки на первом курсе.



Рисунок 2 - Схема приложений знаний металловеда

На втором курсе при знакомстве с методами решения простейших задач целесообразно обучение с привлечением оболочки Delphi, чтобы была продемонстрирована и возможность создания программ, работающих под управлением OS Windows, которые будут соответствовать простейшим стандартам и иметь управляющие элементы типа, кнопки, области ввода-вывода текстовой информации, графического отображения обрабатываемой информации.

Следующая ступень сближения знаний студента и интерактивной работы в интернете. Программой, с нашей точки зрения, наиболее подходящей для решения практически любых задач, записанных в таком виде, как отображаются на бумаге – это MathCAD (рисунок 2).

Задачи решаются интерактивно, подобно, как в MS Excel, и не только численно, но и в ряде случаев аналитически. Исходные данные могут иметь размерность, что является дополнительным контролем правильности самого исходного уравнения. Программа хорошо обеспечена справочным материалом, который содержит и ряд специальных электронных справочников по материалам (рисунок 3). Дополнительный бонус применения программы MathCAD состоит в том, что можно не устанавливать программу на собственный компьютер, а воспользоваться Веб-узлом и на нем выполнить нужные расчеты.

На сайте имеется обширная библиотека, которая открывается через пункт Электронные книги. По мере обновления версий пакета MathCAD возможно интерактивное обучение работе с программой. Специальный

форум пользователей в ряде случаев также помогает решить нестандартную задачу.

нужно записать так

$$2^x + a = 42$$

$$\frac{x^2 + y^{0.3}}{\ln(a)} \cdot a + 2 = 116.612$$

$$\sqrt{(x+y)} \cdot \frac{2}{a} - 8 = -7.434$$

зачем нажимать пробелы

$$2^{x+a} = 3.277 \times 10^4$$

$$x^{2+y} \frac{0.3}{\ln(a) \cdot a + 2} = 127.696$$

$$\sqrt{x+y} \cdot \frac{2}{a-8} = 2.828$$

+

вычислить самостоятельно

$$24 + 6^{0.12}$$

$$b^a$$

$$\frac{(a+b) \cdot (a-b)}{a \cdot (c-b)} + 2 \cdot \frac{a \cdot b^2}{c^3 + 2}$$

$$\sqrt{12} + \frac{32 \cdot 0.12}{\sqrt{26 - 3^2}}$$

$$\int_0^c e^a \cdot a^b da$$

$$\frac{d}{da} a^b$$

Рисунок 3 - Вид рабочего окна MathCAD

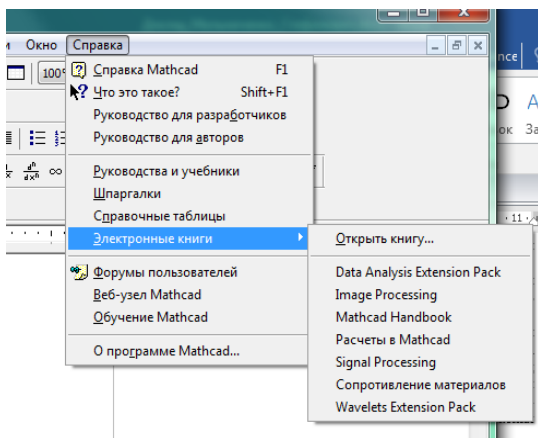


Рисунок 4 - Ресурсы MathCAD

В дальнейшем в рамках модуля «Производственные цеха» возможно применение вышеназванных программ для проектирования теплотехнического оборудования. Используя различные режимы теплопереноса через плоские, цилиндрические и шарообразные многослойные стенки возможно не только численное моделирование.

Определение параметров кинетики формирования цинковых диффузионных слоев при цинковании в атмосфере аммиака с использованием хлорида аммония

Константинов В.М., Булойчик И.А.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

Определены кинетические параметры формирования цинковых диффузионных слоев при использовании технологий цинкования в порошковых насыщающих средах из газовой фазы. Произведен анализ характера протекания химических реакций, отвечающих за начальные стадии формирования цинковых диффузионных слоев при реализации низкотемпературных процессов диффузионного цинкования.

Текст доклада:

С учетом того, что в большинстве случаев в технологиях термодиффузионного цинкования в порошковых насыщающих средах в качестве активирующей добавки используют NH_4Cl , в качестве модели для анализа кинетики формирования цинковых диффузионных слоев выбрали случай формирования цинкового диффузионного слоя из газовой фазы со следующим составом насыщающей смеси: цинковый порошок марки ПРЦ 0 (98 % масс.) и 2 % активатора NH_4Cl [1, 2].

Основной целью данного исследования является определение температурного интервала начала протекания первых двух стадий ХТО, связанных с реакциями в реакционной среде, образованием компоненты, осуществляющей массоперенос диффундирующего элемента, а так же диффузией в реакционной среде и подводом насыщающего элемента цинка к поверхности металла. Снятие показаний производили методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) в диапазоне температур 300-350 °С с временным интервалом 0,5, 1, 5 и 10 часов при каждой температуре. На основании результатов ДСК, представленных на рисунке 1 [3]. Следует полагать, что перед началом процесса формирования диффузионного слоя на основе цинка, как минимум протекает еще ряд процессов связанных с изменением состояния активатора и реакциями в газовой насыщающей среде. На основании анализа данных ДСК для NH_4Cl 100 % масс, можно сделать вывод о том, что в насыщающем пространстве идет превращение α - NH_4Cl в β NH_4Cl . Данное превращение происходит в твердой фазе, на что указывает соответствующий пик “Г” эндотермической реакции на кривой б ДСК. На кривой “а” аналогичный пик, связанный с изменением

твердофазной формы активатора NH_4Cl , отмечен буквой “А”. Пик “Б” связан с рядом реакций, приводящих к формированию летучих хлоридов цинка. К данным реакциям так же относятся реакции распада NH_4Cl с образованием газовых компонентов насыщающей среды в виде NH_3 и HCl . В свою очередь, HCl реагирует с Zn формируя твердофазную составляющую ZnCl_2 , а так же ряд комплексных хлоридов и солей хлористого аммония на основе цинка типа $(\text{Zn}(\text{NH}_4)_x\text{Cl}_{2+x}, x \geq 1)$.

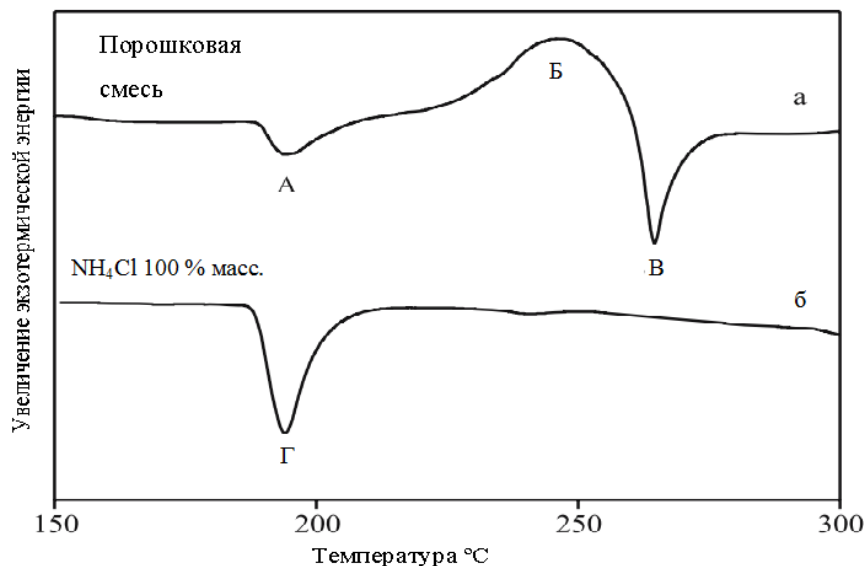
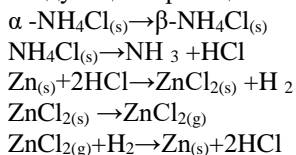


Рисунок 1 – Характер кривых ДСК при неизотермическом нагреве [3]. Кривая а: Данные ДСК при нагреве для порошковой насыщающей смеси (Zn 98 % масс. и 2 % NH_4Cl) Пик А связан с превращением NH_4Cl , пик Б связан с реакциями формирования хлоридов цинка ZnCl_2 , пик В связан с распадом хлоридов и формированием активных ионов цинка, участвующих в диффузионных процессах формирования интерметаллидного слоя. Кривая б: Данные ДСК при неизотермическом нагреве для NH_4Cl 100 % масс. И его распада в таком же температурном интервале (пик Г), как и для насыщающей смеси.

Вероятность протекания такого типа реакций также подтверждена в источнике [4]. Образовавшиеся комплексные хлориды и соли хлористого аммония возгоняются и принимают участие в ряде химических реакций в газовой фазе, связанных с восстановлением либо распадом хлоридов цинка.

ка, а также с реакциями замещения при образовании интерметаллидов цинка и железа. Вместе с этими реакциями происходит восстановление хлористых соединений HCl и цикл вышеописанных реакций повторяется. Протекание всех указанных реакций характеризуется двумя пиками “Б” и “В” на кривой “а” ДСК.

С учетом того, что цинк является достаточно активным металлом, нельзя исключать вероятность взаимодействия хлористых соединений HCl с уже частично сформированным цинковым покрытием. Принимая данный факт во внимание, наряду с увеличением общей толщины цинкового диффузионного слоя, так же возможно протекание обратного процесса, связанного с образованием летучих хлоридов цинка с участием атомов цинка из уже сформированного покрытия, что может в некоторой степени тормозить общую скорость формирования диффузионного слоя. Однако учитывая общую тенденцию к увеличению общей толщины цинкового диффузионного слоя, активность протекания процесса взаимодействия HCl с атомами цинкового покрытия сильно лимитирована и влиянием данного процесса на характер кривой ДСК можно пренебречь. В итоге, весь механизм формирования цинкового диффузионного слоя можно ориентировочно описать следующими реакциями:



Если просчитать изменение энергии Гиббса для данных реакций в интервале температур 300-350 °С при давлении в 1 атм., то для каждой реакции оно будет меньше “0” (кроме случая возгонки, где $\Delta G=0$). Отрицательное значение изменения энергии Гиббса (ΔG), свидетельствует о термодинамической возможности протекания данных реакций в указанных условиях. Однако в реальных условиях, механизм и характер протекания реакций (и их тип) будут несколько сложнее, так как указанные реакции могут протекать параллельно, что приведет к формированию “сложных/комплексных” продуктов химических реакций. Также, на протекание этих реакций следует учитывать влияние парциального давления исследуемой системы. В связи с чем, вышеописанные реакции могут служить только в качестве обобщенной модели реального процесса.

Таким, образом, с учетом данных авторов [3], формирование цинкового диффузионного слоя с использованием порошковых насыщающих смесей протекает в условиях реализации ряда химических реакций, которые, согласно данным ДСК, имеют место в температурном интервале от 150 до

300 °С. Выше этих температур на основании результатов ДСК не наблюдается никаких реакций вплоть до 419 °С, что обусловлено плавлением порошка цинка. Следует, однако, принять во внимание тот факт, что с точки зрения исследования кинетики формирования цинкового слоя, наиболее длительной стадией является взаимное диффузионное взаимодействие атомов цинка и насыщаемой поверхности (железа), в результате чего и происходит формирование окончательного фазового состава диффузионного слоя. В связи с этим, практический интерес представляет определение оптимальных температурно-временных режимов формирования слоя определенной толщины, необходимой для обеспечения требуемого уровня антикоррозионных свойств защитного покрытия. Для решения данной задачи были проанализированы данные изменения толщины цинкового диффузионного слоя в диапазоне 300 – 350 °С при длительности выдержки в течение 0,5, 1, 5 и 10 часов. Данный температурный интервал представляет перспективу для исследований в области формирования термодиффузионных покрытий на основе цинка так как указанные температуры ниже температур реализации стандартных технологий ТДЦ, составляющих 400-450 °С и позволит повысить энергоэффективность указанных технологий за счет снижения температуры реализации процесса. В дополнение к этому, на основании данных ДСК подтверждено, что в пределах данного температурного интервала химически завершаются все необходимые реакции в насыщающей смеси, позволяющие активировать взаимодействие атомов насыщающего элемента цинка со стальной поверхностью обрабатываемого изделия.

Литература

1. Сотсков, Н.И. Исследование физико-химических и технологических процессов при термодиффузионном цинковании / Н.И. Сотсков, Б.М. Жуков // Промышленное и гражданское строительство. – 2009.- №5.- С. 28-31.
2. Проскуркин, Е.В. Диффузионные цинковые покрытия / Е.В. Проскуркин, Н.С. Горбунов. – Москва: Металлургия, 1972.- 248с.
3. G. Vourlias, N. Pistofidis, K. Chrissafis, E. Pavlidou, G. Stergioudis / Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 91 (2008) 2, 497–501
4. G. Vourlias, N. Pistofidis, D. Chaliampalias, K. Chrissafis, E. Pavlidou, G. Stergioudis / Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 87 (2007) 401.

УДК 66.087.7

Влияние частоты тока на физико-механические свойства оксидных пленок, сформированных на деформируемых сплавах алюминия в серной кислоте

Паршуто А.А., Степанова-Паршуто Е.А., Климова Е.А., Кохнюк В.Н.
Физико-технический институт НАН Беларуси

Аннотация:

Переменный ток различной формы и частоты широко используется как для изучения механизмов электродных процессов, так и в прикладных целях (интенсификация заряда аккумуляторов, электрохимическая подготовка поверхности деталей, получение металлических покрытий из чистых металлов и их сплавов, композиционных материалов, порошков оксидов металлов, органических и металлоорганических соединений) [1]. Как известно, применение периодических токов в гальванотехнике вызывает существенные изменения кинетических закономерностей осаждения тонкопленочных материалов и позволяет расширить границы их эксплуатационных свойств: улучшить адгезионную прочность покрытий с основой, уменьшить размер зерна, пористость и наводороживаемость, повысить микротвердость и износостойкость, снизить контактное сопротивление и увеличить коррозионную стойкость [2].

Текст доклада:

В настоящей работе мы рассмотрим применение нестационарного электрохимического процесса получения оксидных пленок на деформируемых сплавах алюминия в серной кислоте.

В качестве образцов для исследований использовали сплавы алюминия АД1 и Д16 (ГОСТ 4784-97), размерами 20×20×2 мм (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав алюминиевых сплавов АД1 и Д16

Марка сплава	Массовая доля элементов, масс%									
	Al	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Si	Примеси
АД1	99,3	0,3	0,05	0,025	0,05	0,1	-	0,15	0,3	> 0,05; Всего 0,15
Д16	90,9 – 94,7	0,5	3,8- 4,9	0,3- 0,9	1,2- 1,8	0,25	0,1	0,15	0,5	Всего 0,15

Предварительная химическая подготовка поверхности образцов осуществлялась в различных растворах и состояла из следующих стадий: обезжиривание, травление, осветление. Обезжиривание проводили в вод-

ном растворе тринатрийфосфата и карбоната натрия при концентрации компонентов 4% и температуре процесса 50-60 °С. Травление проводили в водном 10% растворе гидроксида натрия и температуре 20-25 °С, в течении 10 мин. Последующее осветление осуществляли в растворе азотной кислоты 40 мас.%, в течении 30-40 с. После каждой стадии подготовки осуществлялась промывка в проточной воде.

Микротвердость образцов измеряли на автоматическом моторизованном микротвердомере AFFRI-DM8 (AFFRI, Италия) по ГОСТ 9450-76 (с. 46). Точность измерения HV - 0,1. Микротвердость образцов определялась алмазным индентором с пирамидой Виккерса, выдержка определения отпечатка составляла 11 с для получения точного размера отпечатка.

Процесс анодного оксидирования проводили на источнике питания R-SPS3010 с частотным генератором. Рабочее напряжение 20 В в потенциостатическом режиме. Оксидирование осуществляли в электролите следующего состава: 20 мас.%, серная кислота, остальное вода. Время обработки 30 мин, температура электролита 20±1 °С.

В результате проведения электрохимического оксидирования сплава АД1 получили равномерные оксидные пленки толщиной 10-15 мкм независимо от выбранного режима обработки. На сплаве алюминия Д16 толщина оксидной пленки варьируется от 5 до 15 мкм в зависимости от частоты тока в процессе формирования оксидной плёнки.

Варьируемым параметром была выбрана частота импульсов, представленных в таблицах 2 и 3. На рисунке 1 представлена форма импульсов тока и напряжения в ходе оксидирования при частоте импульса 500 Гц. Определяющим фактором характеристики оксидных пленок является микротвердость. На рисунках 2 и 3 показаны графики зависимости микротвердости образцов полученных при различной частоте импульсов и при постоянном токе.



Рисунок 1 – Форма импульсов тока и напряжения при частоте 500 Гц для сплава АД1

Таблица 2 – Зависимость твердости сплава АД1 от частоты импульса

№ образца	1	2	3	4	5	6
Частота	10000	1000	500	333	250	200
№ образца	7	8	9	10	11	12
Частота	167	143	125	111	100	91
№ образца	13	14	15	16	17	18
Частота	83	77	71	67	63	59
№ образца	19	20	21	22		
Частота	56	53	50	Постоянный ток		

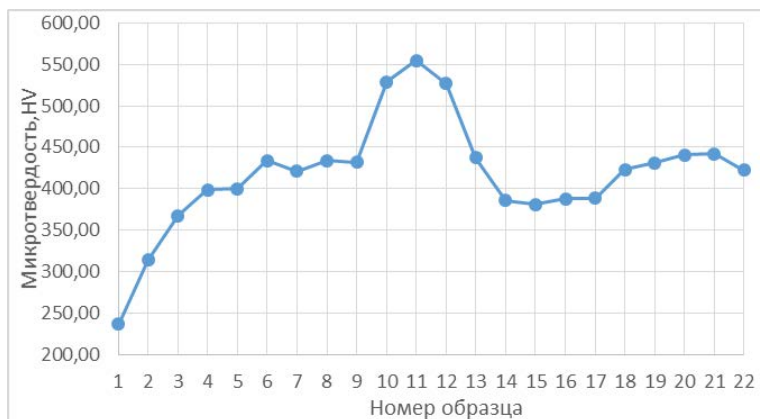


Рисунок 2- График зависимости микротвердости при различной частоте импульсов и при постоянном токе для сплава АД1

Из графика (рисунок 2) видно, что при частоте импульсов от 100 до 129 Гц (образцы 9-11) наблюдается характерный рост микротвердости на ~25% по сравнению с режимом обработки при постоянном токе (образец 22) на сплаве алюминия АД1. Для сплава Д16 (рисунок 3) повышение микротвердости с частотой 200 Гц (образец 5) и в диапазоне от 100 Гц до 125 Гц (образцы 8-10) наблюдается повышение на 60% и 30% соответственно по сравнению с постоянным током (образец 11).

Таблица 3 – Изменение твердости сплава Д16 от частоты импульса

№ образца	1	2	3	4	5	6
Частота	1000	500	333	250	200	167
№ образца	7	8	9	10	11	
Частота	143	125	111	100	постоянный ток	

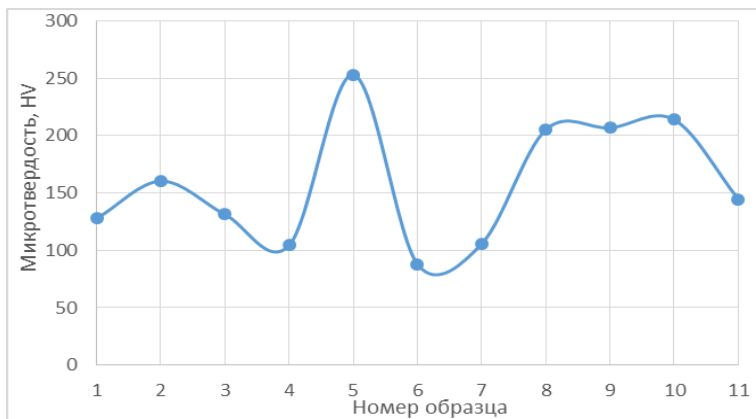


Рисунок 3- График зависимости микротвердости при различной частоте импульсов и при постоянном токе для сплава Д16

Таким образом, применение импульсной подачи тока в процессе анодного оксидирования деформируемых сплавов алюминия АД1 и Д16 положительно сказывается на микротвердости оксидного слоя. Возможность изменения частоты и скважности тока позволяет влиять на скорость протекания лимитирующих стадий электрохимических процессов за счет изменения концентрации компонентов вблизи поверхности обрабатываемого материала и смещения скоростей различных видов поляризаций при оксидировании. Возможность регулирования частоты и формы импульсов тока позволяет подобрать оптимальные режимы для получения оксидных слоев на деформируемых сплавах с заданными параметрами.

Литература

1. Килимник, А.Б. Электрохимические процессы на переменном токе / А.Б. Килимник, Е.Э. Дегтярев // Вестник ГГТУ. – 2006. – Том 12. №1А. – С. 92-106.
2. Хмыль, А.А. Гальванические покрытия в изделиях электроники / А.А. Хмыль, В.Л.Ланин, В.А. Емельянов.- Минск : Интегралполиграф, 2017. - 480 с.

Исследование свойств оксидных пленок силуминов, полученных в нестационарных режимах

Паршуто А.А., Степанова-Паршуто Е.А., Климова Е.А., Кохнюк В.Н.
Физико-технический институт НАН Беларуси

Аннотация:

Благодаря высокому комплексу физико-механических свойств литейные алюминиевые сплавы широко используются в качестве конструкционных материалов в различных отраслях промышленности. Усовершенствование структуры и механических свойств алюминия и его сплавов, создание новых материалов с расширенными функциональными возможностями способствуют развитию современного машиностроения [1].

Текст доклада:

Развитием методов оксидирования в растворах электролитов является использование специальных методик и оборудования, позволяющее проводить оксидирование с использованием импульсной подачи энергии.

Использование импульсной подачи тока в процессе роста оксидной пленки позволяет увеличить скорость роста оксидной пленки и снизить потребление электроэнергии [2, 3].

В работах [4–5] приводятся преимущества применения импульсной подачи энергии при формировании оксидной пленки на сплавах алюминия, по сравнению с обычными процессами анодирования. Это позволяет значительно повысить скорость роста оксидной пленки и, меняя технологические параметры, такие как концентрация электролита или его температура, влиять на размеры пор.

Данная работа посвящена исследованию физико-механических свойств оксидных пленок, полученных при использовании импульсных режимов оксидирования алюминиевого сплава с содержанием кремния.

В качестве образцов использовались круглые полированные пластины из сплава силумина АК12 (4007) диаметром 30 мм и толщиной 8 мм. Элементный состав сплава АК12 (4007) представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав алюминиевого сплава АК12 (4007) масс. %(ГОСТ 4784-97).

Fe	Si	Mn	Ti	Al	Cu	Zr	Mg	Zn	Примесей
до 1,5	10 -13	до 0,5	до 0,1	84,3 - 90	до 0,6	до 0,1	до 0,1	до 0,3	всего 2,7

Микротвердость образцов измеряли на автоматическом моторизованном микротвердомере AFFRI-DM8 (AFFRI, Италия) по ГОСТ 9450-76

(с 46). Точность измерения HV - 0,1. Микротвердость образцов определялась алмазным индентором - пирамидой Виккерса, выдержка определения отпечатка составляла 11 с для получения точного размера отпечатка.

Толщина оксидного слоя на поверхности образца определялась наблюдением микрошлифа на оптическом микроскопе МИ-1 с CCD камерой. Измерения шероховатости проводились на профилометре-профилографе Surtronic 25 (TaylorHobson). Для каждого образца проводилось не менее 5 измерений, результаты которых усреднялись.

Процесс анодного оксидирования проводили на источнике питания R-SPS3010 с частотным генератором. Рабочее напряжение 20 В для серной кислоты и 30 В для сульфосалициловой кислоты в потенциостатическом режиме. Оксидирование осуществляли в электролитах следующего состава: электролит 1 - 20 мас.%, серная кислота, остальное вода; электролит 2 - 10 мас.%, сульфосалициловая кислота, остальное вода. Время обработки 30 мин, температура электролита $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

Для каждого электролита были выбраны параметры частоты тока, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Выбранные параметры частоты тока для исследования

№ образца	1	2	3	4	5
Частота	250	200	167	143	125
№ образца	6	7	8	9	10
Частота	111	100	91	83	постоянный ток(ПТ)

Исследование толщины оксидных слоев, полученных в электролитах 1 и 2 при любых режимах, показали, что толщина находится в диапазоне от 12 до 15 мкм.

На рисунке 1 показано, что значения микротвердости оксидных пленок, полученных при импульсном оксидировании в серной кислоте при любом значении выбранной частоты тока выше в сравнении с микротвердостью оксидной пленки, полученной в стационарном режиме (220 HV). Максимальное значение достигнуто при частоте 91 Гц со значением микротвердости 590 HV.

В случае использования электролита на основе сульфосалициловой кислоты максимальное значение микротвердости оксидного слоя, сформированного при импульсном оксидировании с частотой 91 Гц достигает значения 380 HV, что незначительно отличается от значения твердости оксидной пленки при стационарном режиме (314 HV).

Оксидирование сплава АК12 в сульфосалициловой кислоте при импульсной подаче тока показала схожее влияние частоты тока на микро-

твердость оксидной пленки. Однако, для полной картины влияния частоты тока на свойства оксидных слоев необходимо повышать энергию импульса за счет повышения пикового значения напряжения. Например, применение высоковольтного электрохимического оксидирования [6] в сульфосалициловой кислоте для сплава АК12 при частоте 150 Гц и максимальным значением напряжения в импульсе 520 В показало значение микротвердости достигает значение 520 НВ.

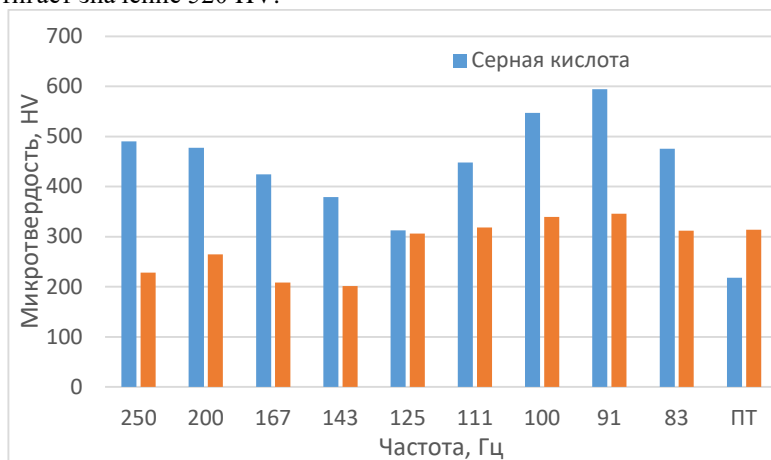


Рисунок 1 –Микротвердость оксидной пленки на сплаве алюминия АК12 полученной при импульсном электролизе

На рисунке 2 приведена шероховатость оксидной пленки силуминов. Видно, что в случае использования в качестве электролита серной кислоты при импульсном оксидировании значения шероховатости значительно не отличаются от данной величины при использовании стационарного режима. В случае использования сульфосалициловой кислоты шероховатость оксидной пленки, полученной при импульсном оксидировании при частоте 143 Гц в 1,7 раза больше чем в случае использования стационарного режима.

Таким образом, применение нестационарного электролиза алюминиевого сплава с содержанием кремния (АК12) положительно сказывается на повышение эксплуатационных свойств. Однако, для поиска наиболее оптимальных параметров необходимо учитывать такие факторы как: температура и состав электролита, амплитуда и частота тока, длительность импульса и длительность бестоковой паузы.

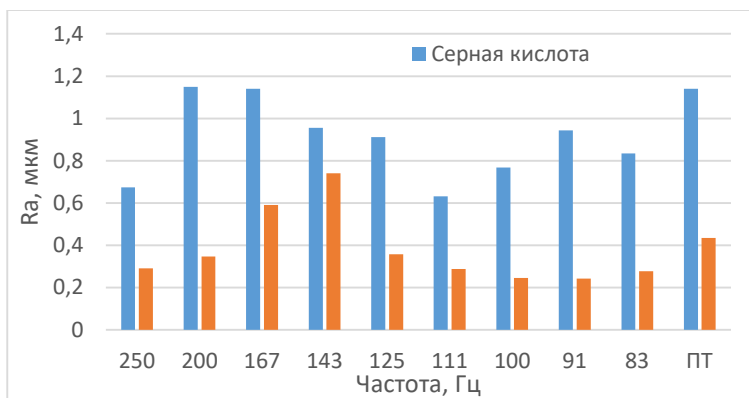


Рисунок 2 – Параметр шероховатости Ra оксидной пленки сформированной на сплаве алюминия АК12 при импульсном электролизе

Литература

1. Структурообразование доэвтектических силуминов после воздействия на расплав электрического тока / С. С. Петров, А. Г. Пригунова, С. В. Пригунов // МТОМ. – 2006. – № 4. – С. 43-52.
2. Лукашук, Т. С. Формирование наноструктурированных анодных оксидов алюминия в щавелевой кислоте / Т. С. Лукашук, В. И. Ларин, С. В. Пшеничная // ВісникХарківськогонаціональногоуніверситету. – 2010. – № 932. – Хімія. Вип. 19(42). – С. 112–118.
3. Juhl, A. A New Approach to Pulse Anodizing. Decreasing energy Consumption/ A. Juhl // Increasing Productivity World Congress; 6th, Aluminium two thousand, Italy, – 2007.
4. Chung, C. K. Effect of oxalic acid concentration on the formation of anodic aluminum oxide using pulse anodization at room temperature / C.K. Chung, T.Y. Liu, W.T. Chang //Microsystem Technologies. – 2010. – Vol. 16. – № 8. – P. 1451-1456.
5. Lee, W. A continuous process for structurally well-defined Al₂O₃ nanotubes based on pulse anodization of aluminum / W. Lee, R. Scholz, U. Gosele //Nano letters. – 2008. – Vol. 8. – №. 8. – P. 2155-2160.
6. Степанова-Паршута, Е.А. Применение углеродных частиц в качестве добавок в электролит при высоковольтном электрохимическом оксидировании алюминийско-кремниевых сплавов / Е.А. Степанова-Паршута, А.А. Изюмов, А.А. Паршута, И.П. Смягликов // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. научных трудов / редколлегия: В. Г. Залесский (гл. ред.) [и др.].-Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2019.- С.304-310.

Расчет температур плавления высококремнистых сплавов систем Ni-Cr-Si и Ni-Cr-La-Si

Зеленин В.А., Гладинов А.Д.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В работе приведены методики расчета температур плавления высококремнистых сплавов систем Ni-Cr-Si и Ni-Cr-La-Si.

Текст доклада:

Температуры плавления и химический состав резистивных сплавов системы Ni-Cr-Si марок РС3710, РС4206 и РС5406Н приведены в таблице 1. Предварительное заключение о их литейных свойствах можно сделать на основании их условного расположения на диаграмме состояния системы Ni – Si (рисунок 1).

Таблица 1 – Температуры плавления (кристаллизации) и химический состав резистивных сплавов системы Ni–Cr–Si

Марка сплава	Температура плавления, $\pm 15^\circ\text{C}$	Содержание компонентов, мас.% / ат. %		
		Ni	Cr	Si
РС 3710	1250	10,0 / 8,4	37,0 / 35,2	53,0 / 56,4
РС 4206	1450	6,0 / 4,3	42,0 / 26,5	52,0 / 69,2
РС 5406 Н	1400	6,0 / 4,7	54,0 / 37,2	40,0 / 58,1

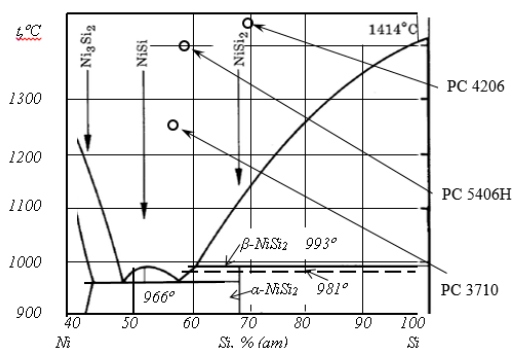


Рисунок 1 – Условное расположение сплавов РС на диаграмме состояний системы Ni – Si (по концентрации Si и температуре плавления)

Поскольку в сплавах серии РС отношение атомов Si/Ni >> 2, то, как следует из рисунка 1, при охлаждении их расплавов до температуры 993 °С кристаллизуется высокотемпературная модификация β -NiSi₂, которая при 981 °С превращается в низкотемпературную β NiSi₂ → α NiSi₂, что повышает уровень остаточных напряжений в отливках и приводит к их растрескиванию. В связи с этим, для изготовления мишеней из сплавов с дисилицидами никеля температуры их плавления должны быть не выше 980 °С.

В работе [1] предложен метод расчета температур плавления и концентраций эвтектик в различных двух и многокомпонентных системах. При этом температуру плавления эвтектики $T_{эвт}$ в двухкомпонентной системе определяют по формуле

$$T_{эвт} = K_{эт} (T_1 + T_2), \quad (1)$$

где T_1 и T_2 – температуры плавления образующих эвтектику компонентов; $K_{эт}$ – коэффициент эвтектической температуры, определяемый по формулам, полученным путем статистической обработки известных диаграмм состояния.

Для случая сочетания переходных металлов с боридами величину $K_{эт}$ предложено определять по следующему экспоненциальному уравнению:

$$K_{эт} = 0,497 \exp(-0,2657X), \quad (2)$$

где X – масштабный температурный параметр, определяемый по формуле

$$X = (T_1 - T_2) / (T_1 + T_2)^{0,74}. \quad (3)$$

Расчет концентрации элементов в эвтектике (в % по массе) проводят по вычисленным значениям эвтектической температуры по формулам:

$$C_1 = [(T_2 - T_{эвт}) / (T_1 + T_2 - 2T_{эвт})] \times 100 \%, \quad (4)$$

$$C_2 = [(T_1 - T_{эвт}) / (T_1 + T_2 - 2T_{эвт})] \times 100 \%. \quad (5)$$

Расчет температур плавления тройных эвтектик в системе Ni–Cr–Si сводим, в соответствии с [1], к расчету двойной системы Ni–(CrSi₂-Si)_{эвт} с температурами плавления $T_1 = 1455$ °С и $T_2 = 1305$ °С.

Используя для расчета системы Ni–(CrSi₂-Si)_{эвт} формулы (1–5), предложенные для боридов, получаем

$$X = ((1455 - 1305) / (1455 + 1305))^{0,74} = 150 / 351,8 = 0,4264.$$

$$K_{эт} = 0,497 \exp(-0,2657 \times 0,4264) = 0,4438;$$

$$T_{эвт} = 0,4438 \times (1455 + 1305) = 1225 \text{ °С.}$$

Температура плавления $T_{пл}$ высококремнистой эвтектики в системе Ni–Cr–Si выше 980 °С. Для снижения $T_{пл}$ и повышения трещиностойкости мишеней из резистивных сплавов целесообразно введение в них РЗМ, особенностью которых является разнообразие типов взаимодействия между ними и кремнием [2]. Так, в системе Ni–La образуется семь бинарных соединений и четыре эвтектики с температурами плавления от 517 до 1270 °С, рисунок 2 [3].

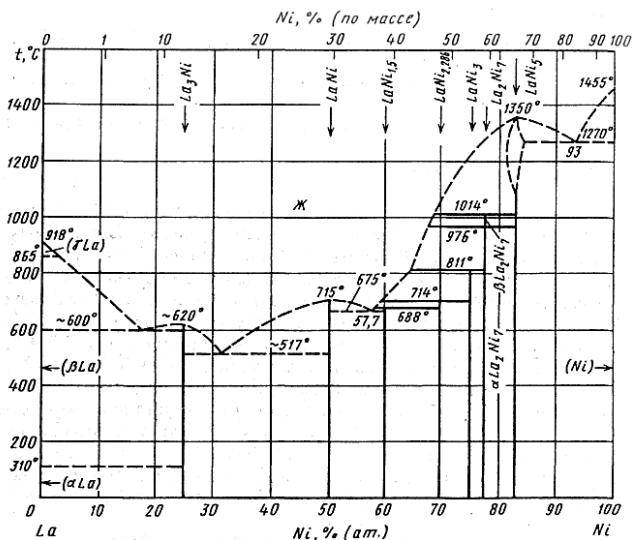


Рисунок 2 – Диаграмма состояний системы La – Ni

Для расчета температур плавления четверных эвтектик в системе Ni–Cr–La–Si рассматриваем ее как состоящую из двойных систем Cr–Si и Ni–La. Из четырех имеющихся в системе Ni–La эвтектик внимания заслуживают три: La_3Ni – LaNi с содержанием 32 ат. % Ni и $T_{пл} = 517$ °С, LaNi – $\text{LaNi}_{1,5}$ с 57,7 ат. % Ni и $T_{пл} = 675$ °С и LaNi_5 –Ni с 93 % Ni и $T_{пл} = 1270$ °С.

Следовательно, расчет четверных эвтектик сводится к рассмотрению двойных систем: $(\text{CrSi}_2\text{-Si})_{эвт}$ – $(\text{LaNi}_5\text{-Ni})_{эвт}$, $(\text{CrSi}_2\text{-Si})_{эвт}$ – $(\text{LaNi-LaNi}_{1,5})_{эвт}$ и, $(\text{CrSi}_2\text{-Si})_{эвт}$ – $(\text{La}_3\text{Ni-LaNi})_{эвт}$

Для системы $(\text{CrSi}_2\text{-Si})_{эвт}$ – $(\text{LaNi}_5\text{-Ni})_{эвт}$

$$X_1 = (1305 - 1270) / (1305 + 1270)^{0,74} = 35/334,2 = 0,1047.$$

$$K_{эвт1} = 0,497 \exp(-0,2657 \times 0,1047) = 0,497 / 1,0282 = 0,483.$$

$$T_{эвт1} = K_{эвт}(T_1 + T_2) = 0,483 \times (1305 + 1270) = 1244 \text{ °С}.$$

Для системы $(\text{CrSi}_2\text{-Si})_{\text{ЭВТ}}\text{-}(\text{LaNi-LaNi}_{1,5})_{\text{ЭВТ}}$.

$$X_2 = (1305 - 675) / (1305 + 675)^{0,74} = 630/275,13 = 2,29.$$

$$K_{\text{ЭТ}2} = 0,497 \exp(-0,2657 \times 2,29) = 0,497 / 1,8375 = 0,2705.$$

$$T_{\text{ЭВТ}2} = K_{\text{ЭТ}}(T_1 + T_2) = 0,2705 \times (1305 + 675) = 536 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Для системы $(\text{CrSi}_2\text{-Si})_{\text{ЭВТ}}\text{-}(\text{La}_3\text{Ni-LaNi})_{\text{ЭВТ}}$

$$X_3 = (1305 - 517) / (1305 + 517)^{0,74} = 788/258,7 = 3,046.$$

$$K_{\text{ЭТ}3} = 0,497 \exp(-0,2657 \times 3,046) = 0,497 / 1,8375 = 0,2213.$$

$$T_{\text{ЭВТ}3} = K_{\text{ЭТ}}(T_1 + T_2) = 0,2213 \times (1305 + 517) = 403,2 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Определяем концентрации элементов в четверной эвтектике по формуле (4).

Поскольку $T_{\text{ЭВТ}1} = 1244 \text{ }^\circ\text{C} > T_{\text{max}} = 980 \text{ }^\circ\text{C}$, то вариант 1 не рассматриваем.

Для варианта 2, принимая $T_{\text{ЭВТ}2} = 540 \text{ }^\circ\text{C}$, получаем

$$C_{\text{ЭВТ}2}^1 = (675 - 540) / (1305 + 675 - 1080) \times 100 = (135 / 900) \times 100 = 15,0 \text{ мас. \%}.$$

Концентрация $(\text{CrSi}_2\text{-Si})_{\text{ЭВТ}}$ в четверной эвтектике составляет 15 мас. %. В 15 мас. % $(\text{CrSi}_2\text{-Si})_{\text{ЭВТ}}$ состава 29 мас. % Cr и 71 мас. % Si содержится 4,4 мас. % Cr и 10,1 мас. % Si. В 85 мас. % $(\text{LaNi-LaNi}_{1,5})_{\text{ЭВТ}}$ состава 36,5 мас. % Ni и 63,5 мас. % La содержится 31,0 мас. % Ni и 54,0 мас. % La.

Принимая $T_{\text{ЭВТ}3} = 405 \text{ }^\circ\text{C}$, получаем

$$C_{\text{ЭВТ}3}^1 = (517 - 405) / (1305 + 517 - 810) \times 100 = (112 / 1012) \times 100 = 11,1 \text{ мас. \%}.$$

Концентрация $(\text{CrSi}_2\text{-Si})_{\text{ЭВТ}}$ в четверной эвтектике составляет 11,1 мас. %. В 11,1 мас. % $(\text{CrSi}_2\text{-Si})_{\text{ЭВТ}}$ состава 29 мас. % Cr и 71 мас. % Si содержится 3,3 мас. % Cr и 7,8 мас. % Si. В 88,9 мас. % $(\text{LaNi-LaNi}_{1,5})_{\text{ЭВТ}}$ состава 36,5 мас. % Ni и 63,5 мас. % La содержится 32,5 мас. % Ni и 56,4 мас. % La.

Поскольку допустимая температура плавления/кристаллизации сплавов составляет $980 \text{ }^\circ\text{C}$, то из рассмотрения сечения диаграммы состояний четверной системы, проходящего через четверную и две двойных эвтектики $(\text{CrSi}_2\text{-Si})_{\text{ЭВТ}}$ и $(\text{LaNi-LaNi}_{1,5})_{\text{ЭВТ}}$ (рисунок 3), получено уравнение для определения максимальной концентрации Si в сплаве.

$$C_{\text{max}}^{\text{Si}} = C_{\text{ЭВТ}}^{\text{Si}} + \left[\frac{(C_1^{\text{Si}} - C_{\text{ЭВТ}}^{\text{Si}})(T_{\text{max}} - T_{\text{ЭВТ}})}{(T_1 - T_{\text{ЭВТ}})} \right]. \quad (6)$$

Второе слагаемое в уравнении (6) соответствует длине отрезка DE , которая вследствие подобия треугольников ABC и CDE равна

$$DE = AB \times CD / AC,$$

где $AB = C_{1Si} - C_{эвтSi}$, $CD = T_{max} - T_{эвт}$ и $AC = T_1 - T_{эвт}$.

$$C_{max}^{Si} = 10,1 + (71 - 10,1) \times (980 - 540) / (1305 - 540) = 45,1 \text{ (мас. \% Si)}.$$

Следовательно, содержание эвтектики $(CrSi_2-Si)_{эвт}$ в четверных сплавах может быть увеличено в 4,5 раза, т.е. до 65 % по массе при соответствующем снижении содержания эвтектики $(LaNi-LaNi_{1,5})_{эвт}$ до 35 %. Содержание элементов в сплаве при этом составит, в мас. %: Cr – 20, Si – 45, Ni – 13 и La – 22.

Таким образом, установлено, что введение в сплавы системы Ni–Cr–Si 22-54 мас. % La позволяет снизить температуру их плавления с 1250-1450 °С до 980-540 °С, что свидетельствует о перспективности использования сплавов системы Ni–Cr–La–Si для изготовления мишеней методом литья.

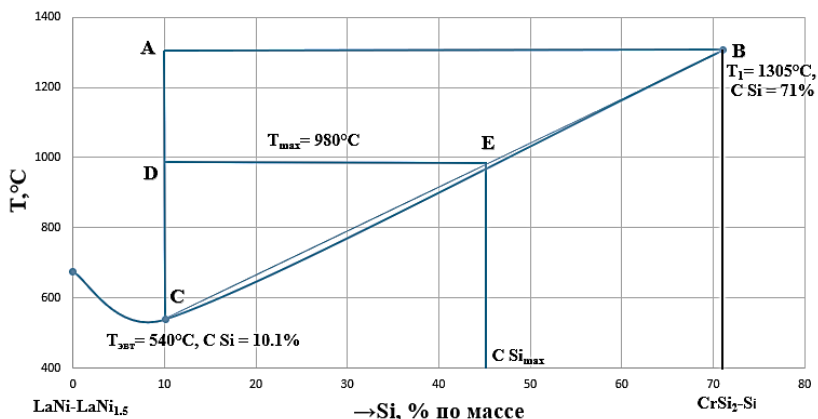


Рисунок 3 – Сечение диаграммы состояний системы Ni–Cr–La–Si, проходящего через четверную и двойные эвтектики $(CrSi_2-Si)_{эвт}$ и $(LaNi-LaNi_{1,5})_{эвт}$

Литература

1. Крукович, М.Г. Расчет эвтектических концентраций и температуры в двух- и многокомпонентных системах / М.Г. Крукович // *Материаловедение и термическая обработка металлов*. 2005. № 10. С. 9–17.
2. Бодяк, О.И. Тройные системы, содержащие редкоземельные элементы / О.И. Бодяк, Е.И.Гладышевский. - Львов. Изд-во при Львовском университете «Вища школа», 1985. – 328 с.
3. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: В 3 т. Под общ. ред. Н.П.Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.

Исследование распределения твердости по толщине цементованного слоя на низколегированных сталях

Стефанович В.А., Мельниченко В.В., Стефанович А.В., Борисов С.В.
Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В работе разработан карбюризатор для цементации низколегированных сталей и оптимизирован его состав методом математического симплекс планирования.

Текст доклада:

Для повышения стойкости инструмента работающего в условиях абразивного износа, изготовленного из высоколегированных сталей X12M, 20X13, P6M5 и др. применяют процесс цементации. Структура диффузионного слоя на данных сталях после насыщения углеродом, закалки и низкого отпуска состоит из мартенсита, аустенита остаточного с включениями карбидов хрома. Твердость диффузионного слоя составляет 66...68 HRC. Уменьшение содержания хрома в стали снижает количество карбидов в структуре, что приводит к снижению твердости диффузионного слоя. На стали 4X5MФС после цементации закалки и низкого отпуска твердость составляет 64...65 HRC, на стали 18ХГТ - 58...60 HRC.

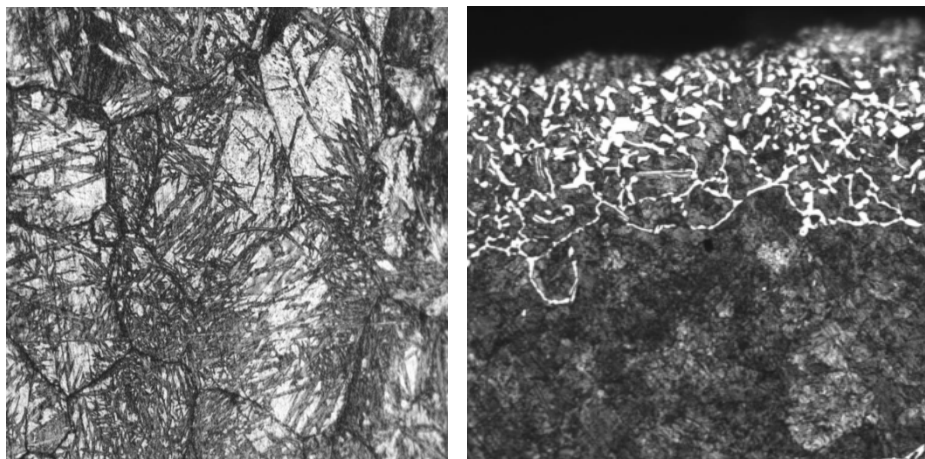
Целью данной работы является разработка карбюризатора для цементации низколегированных сталей для формирования структуры цементованного слоя с зоной карбидов.

Основными компонентами при разработке насыщающих смесей являлись: бондюжский карбюризатор, ацетат натрия, порошковая смесь для хромирования. Оптимизация состава карбюризатора осуществлялась методом математического симплекс планирования. Насыщение проводилось на образцах из стали 18ХГТ содержащей 1.0...1.3 % хрома.

Насыщение проводилось в герметичных контейнерах с плавким затвором при температурах 1030°C и времени выдержки 8 часов, затем проводилась закалка с низким отпуском 180°C в течение 1 часа. Температура закалки составляла 780, 800 950°C. Распределение микротвердости по толщине диффузионного слоя исследовалось на твердомере ПМТ-3 с нагрузкой 2 Н.

Насыщение из карбюризатора оптимального состава позволило получить на стали 18ХГТ структуру цементованного слоя, состоящего из двух зон: первая зона с включениями карбидов толщиной 0,16...0,3 мм и вторая

зона толщиной 2,0...2,2 мм, имеющая эвтектоидную структуру (рисунок 1б).



а)

б)

Рисунок 1 – Микроструктуры цементованного слоя после цементации, закалки с 950°C и низкого отпуска (а), цементации (б), x500

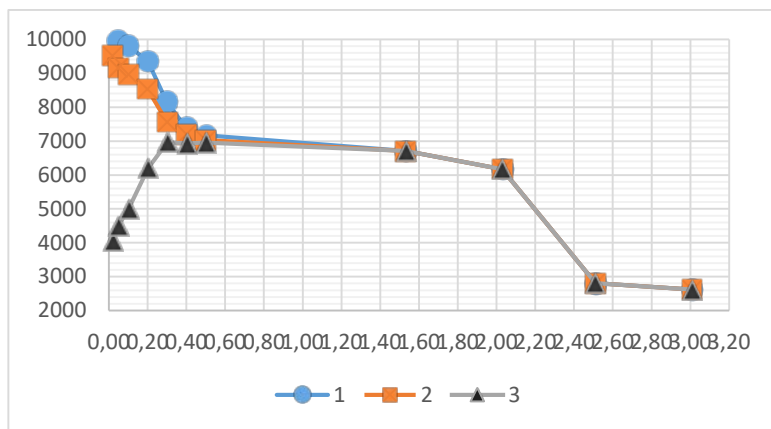


Рисунок 2 – Распределение микротвердости по толщине цементованного слоя в зависимости от температуры закалки: 1 - 780; 2 -800; 3 - 950°C

Распределение микротвердости по толщине цементованного слоя зависит от температуры закалки (рисунок 2). После закалки с $t=780^{\circ}\text{C}$ и низкого отпуска микротвердость в зоне с карбидными включениями изменяется от 10800 до 9400 МПа (68...65 HRC) и далее уменьшается до 7000...7200 МПа (58...59 HRC). Сердцевина имеет микротвердость 2800...3000 МПа. Повышение температуры закалки до 800°C снижает микротвердость в зоне карбидных включений до 9400...9000 МПа, что связано с уменьшением количества карбидов в структуре из-за их частичного растворения при нагреве под закалку. Закалка с 950°C приводит к полному растворению карбидов в аустените и снижению линии Mn, что приводит к увеличению количества аустенита остаточного в структуре (рисунок 1а) и снижению твердости до 4000 МПа.

Таким образом применение разработанного карбюризатора для поверхностного упрочнения стали 18ХГТ позволяет формировать высокую твердость поверхности 9400...10800 МПа на толщину ~ 2 мм, что обеспечит высокую стойкость изделий в условиях абразивного износа.

УДК 621.74; 669.53.01.99; 621.88

Особенности получения склеенных деревянно-пластиковых композиций для создания модельных комплектов мелкосерийного литейного производства

Калиниченко М.Л.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В работе рассмотрены актуальные подходы применяемые при создании модельных комплектов для мелкосерийного производства. Проведен анализ современных материалов и связующих для их крепления используемых для создания модельных комплектов. Показаны свойства склеенных комбинаций для соединения пластиковых компонентов модельных комплектов с деревянными составляющими.

Текст доклада:

В настоящее время, для создания мелкосерийных формовочных комплектов для мелкого и среднесерийного производства деталей, применяются различные типы разнородных материалов на основе древесины, МДФ, пластических масс, металлов и т.д., которые после обработки монтируются на модельной плите различными способами (штифтование, соединения типа гайка-винт, склейка и т.д.). Материалы, используемые для модельных комплектов, имеют различную плотность, твердость, влагонасыщаемость и склеиваемость и, как следствие, различные характеристики готового изделия по таким показателям как прочность на сжатие, изгиб и т.д., что определяет общие свойства комплекта в целом. Для их монтажа и ремонта существует широкий диапазон крепежа, при этом штифтовые и винтовые соединения имеют возможность разбалтывания в процессе эксплуатации. Поэтому для повышения надежности предлагаются долговременные и временные клеевые составы, ремонтные пасты, предназначенные для различных условий эксплуатации.

В литейном производстве все больше завоевывают место модельные комплекты и стержни, изготовленные из современных пластополимерных материалов [1-3]. В Европе, США, Китае, Японии комплекты из высокопрочных эпоксидных и полиуретановых смол уже сегодня составляют около 50% парка модельной оснастки. В настоящее время на рынке предлагается широкая гамма модельных блоков для изготовления модельной оснастки и стержневых ящиков. Предлагаемые блоки имеют широкий диапазон технологических характеристик: плотность - от 0,09 до 1,7 г/см³, твердость по Шору - до 90D и рабочие температуры до 120°С. Пластико-

вые плиты легко обрабатываются (практически так же как древесина), обладают малой адгезией с формовочной смесью, имеют неограниченный срок хранения, обработанная поверхность гидрофобная, инертна к большинству растворителей и кислот, обладает прочностью и стойкостью к истиранию, сравнимой с металлической оснасткой [4].

В условиях мелкосерийного производства жизненный цикл модельного комплекта состоит из этапов использования, хранения и профилактики ремонта. Для деревянных моделей, из-за их влагонасыщения либо рассыхания (в период хранения), увеличивается время обслуживания, т.к. модельные комплекты получают значительные повреждения, вплоть до капитального ремонта или списания комплекта. Пластиковые комплекты, имеющие более гидроотрицательные свойства, что уменьшает период обслуживания в несколько раз. Кроме того, необходимо отметить более высокую износостойкость по трению с формовочной смесью у пластика, по сравнению с МДФ и деревом. Но стоимостное соотношение у этих материалов значительно различается. Таким образом, подход к производству модельных комплектов целесообразно делать комплексным, а именно, исходя из экономических приоритетов, не ущемляя качественные показатели процесса. Таким образом, целесообразно разделить изготовление модельного комплекта или его части, в зависимости от оказываемых нагрузок, на различные по износостойкости материалы соответственно. Например, совместить пластичные материалы с древесными [3,5].

Для выяснения надежности монтажа модельного комплекта объектом исследования были выбраны следующие клеевые составы: DP 8005 (3M), UR 3569 (Sika Advanced Resins) и EPO-LAM-2002 (Sika Advanced Resins). Все эти клеи являются двухкомпонентными. При этом только DP 8005 имеет акриловую основу, UR 3569 – полиуретановый клей, EPO-LAM-2002 имеет эпоксидную основу. Были подготовлены экспериментальные образцы из различных видов модельного пластика с одинаковым типоразмером, а также образцы двух видов древесины: ольха и дуб. Образцы были склеены вышеназванными клеевыми составами, с последующим проведением разрывных испытаний соединений пластик/древесина, результаты испытаний представлены в табл.1 и табл.2. Как видно из рис.1 незначительный смешанный отрыв произошел только в соединении PRO LAB-65/дуб при использовании клеев UR 3569 и EPO-LAM 2002. На всех остальных образцах наблюдался когезионный отрыв по клею. Однако, незначительный смешанный отрыв наблюдался в соединении PRO LAB-65/ольха, при использовании клеев DP 8005 (3M) и UR 3569. Видно, что в соединении пластик/дуб все клеи показали приблизительно одинаковые удовлетворительные результаты. Несколько выше дали показатели соединения LAB

850/дуб и PRO LAB-75/дуб при использовании клея DP 8005. Соединение PRO LAB-65/дуб и Obo-Werke 1000/дуб при использовании клея UR 3569, а самые высокие показатели дали соединения дуба с WB-1404, особенно при использовании клея EPOLAM 2002.

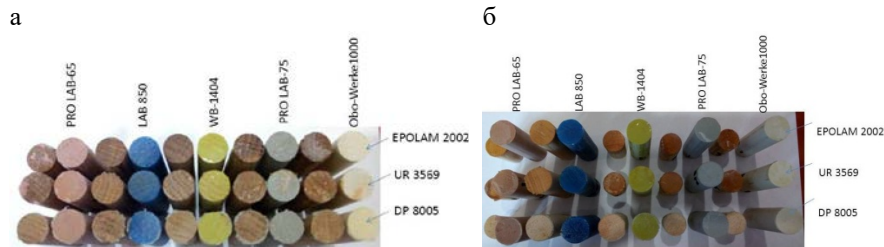


Рисунок 1 - Образцы на основе пластика и древесины (а - пластик/дуб; б - пластик/ольха)

Таблица 1 - Разрывная прочность склеенных композиций на основе пластик/дуб, МПа

Вид соединения	Вид адгезива		
	DP 8005	UR 3569	EPOLAM 2002
PRO LAB-65/дуб	16,26	18,51	14,35
LAB 850/дуб	18,63	17,90	12,56
WB-1404/дуб	19,27	18,59	19,98
PRO LAB-75/дуб	17,59	15,81	10,86
Obo-Werke 1000/дуб	16,67	17,77	17,71
дуб/дуб	13,15	12,80	12,78

Таблица 2 - Разрывная прочность склеенных композиций на основе пластик/ольха, МПа

Вид пластика/ольха	Вид адгезива		
	DP 8005	UR 3569	EPOLAM 2002
PRO LAB-65/ольха	16,29	14,08	10,39
LAB 850/ольха	17,63	16,08	11,40
WB-1404/ольха	15,40	13,84	8,42
PRO LAB-75/ольха	12,91	11,47	9,80
Obo-Werke1000/ольха	16,37	12,33	10,55
ольха/ольха	15,55	15,19	10,57

По результатам анализа полученных данных и оптической макроскопии зоны разрушения испытываемых образцов, доказано, что испытанные адгезионные составы в соединениях типа пластик/древесина показывают приемлемые результаты для данного типа соединений. При этом необходимо отметить, что для мягких пород древесины наилучшие результаты были продемонстрированы универсальными клеями типа DP 8005. Однако, окончательный выбор клея должен исходить не только из свойств склеиваемых материалов, но и из условий технического процесса эксплуатации неразъемного соединения и экономической эффективности рассматриваемого соединения.

Литература

1. Технология машиностроения. Штамповое и литейное производство: учебник для СПО / В.А. Рогов, Г.Г. Позняк. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 330 с.
2. Граблев, А.Н. Машины и технология литейного производства. Введение в специальность: учеб. пособие / А.Н. Граблев, А.Н. Болдин. – М.: МГИУ, 2010 – 228 с.
3. Нелюб, И.А. Особенности и преимущества применения, современных пластополимерных материалов для изготовления модельной оснастки / И.А. Нелюб, П.А. Кушель, С.Л. Ровин // Литье и металлургия. 2010. Т. 58. № 4. С. 36-39.
4. Калиниченко, М.Л. Современные технологии изготовления оснастки для мелкосерийного литейного производства / М.Л. Калиниченко, Л.П. Долгий, В.А. Калиниченко // Сб. материалов 27-й МНТК «Литейное производство и металлургия 2019. Беларусь», г. Жлобин, 16-17 октября 2019 г. С. 132-136.
5. Калиниченко, М.Л. Современные способы создания модельных комплектов для литья/М.Л. Калиниченко, Л.П. Долгий, С.Л. Ровин, В.А. Кукареко, В.А. Калиниченко//Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 3. С. 125-130.

УДК 621.742.52, 621.742.59

**Анализ эффективности процесса вакуумирования
литейных жидкостекольных смесей**

Гуминский Ю.Ю., Одиночко В.Ф., Арабей А.В.
Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В статье рассмотрены предположения о влиянии вакуума на процесс отверждения жидкостекольных смесей. Описана лабораторная установка для исследования влияния вакуума на жидкостекольные смеси. Представлены результаты предварительных экспериментов и сформулированы основные выводы по ним.

Текст доклада:

Использование вакуума в технологических процессах литейного производства расширяется с каждым днем все более и более. Широко применяется вакуум при формовке (вакуумно-пленочный процесс), изготовлении стержней, для плавки и даже при выпечной обработке расплава (для обезуглероживания металла).

Несомненный интерес представляет применение вакуума при изготовлении литейных стержней из жидкостекольной смеси, ведь известно, что жидкостекольные смеси отверждаются на воздухе. Это связано с содержанием в воздухе газа CO_2 . Но это отверждение происходит очень медленно. И существует предположение, что будет происходить интенсификация отверждения смеси за счёт движения воздуха при удалении его из вакуумной камеры. К тому же при создании разряжения в вакуумной камере должно происходить удаление воздуха и влаги из смеси, а последующая дополнительная продувка CO_2 может способствовать быстрому заполнению капилляров углекислым газом.

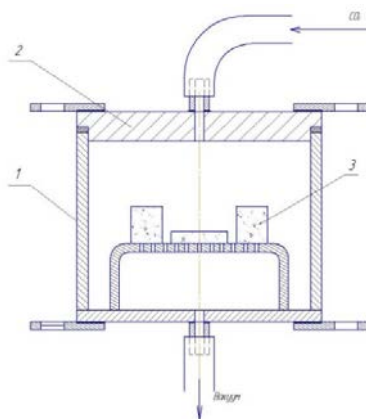
Для изучения процесса влияния вакуума на жидкостекольные смеси и проверку адекватности предположения о интенсификации процесса отверждения была изготовлена лабораторная установка. Её фотография и принципиальная схема представлены на рисунке 1.

Принцип работы следующий: в цилиндрическую вакуумную камеру (1) помещается стандартная оснастка (3) для получения образцов смеси цилиндров или «восьмерок» и заформованная жидкостекольная смесь. Затем сверху, герметично устанавливается крышка (2) со штуцером для соединения вакуумной камеры с редуктором баллона с углекислым газом. В нижней части вакуумной камеры установлен штуцер, соединяющий вакуумную камеру с насосом, с помощью которого из нее откачивается воздух.

Для создания разряжения используется форвакуумный насос. Между вакуумной камерой и вакуумным насосом устанавливается углеродная ловушка, для улавливания влаги и избегания ее попадания в масло.



а)



б)

а – внешний вид; б – схема

Рисунок 1 – Лабораторная установка для исследования влияния вакуума на свойства жидкостекольных смесей: 1 – корпус установки; 2 – крышка; 3 – оснастка с образцами

Изначально при помощи вакуумного насоса в вакуумной камере создается разряжение до заданного значения, после насос отключается и подается углекислый газ.

Была проведена серия экспериментов, при выполнении которых меняли последовательность подачи вакуума и углекислого газа и проверяли раздельное влияние этих факторов на прочность образцов при растяжении. Также испытывали газопроницаемость, осыпаемость и работу выбивки образцов. Варианты совмещения процессов вакуумирования и продувки углекислым газом представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Последовательность проведения экспериментов

№ эксперимента	Последовательность действий
1	Образцы помещались в камеру и выдерживались 10 мин при непрерывной работе вакуумного насоса, после чего, не

	выключая насос, образцы продувались CO_2 в течении 3 секунд под давлением 0,2 МПа.
2	В вакуумную камеру помещались образцы, и продувались углекислым газом (в течении 3 секунд под давлением 0,2 МПа), после чего включался вакуумный насос на 10 мин.
3	Образцы помещались в вакуумную камеру и выдерживались там 10 мин при постоянной работе вакуумного насоса, CO_2 не продувались.
4	Образцы продувались только углекислым газом в течении 3 секунд под давлением 0,2 МПа и вакуумированию не подвергались.
5	Образцы помещались в камеру и одновременно с включением вакуумного насоса продувались углекислым газом. Через 3 секунды подачу газа перекрывали и образцы выдерживались в вакууме 10 мин.

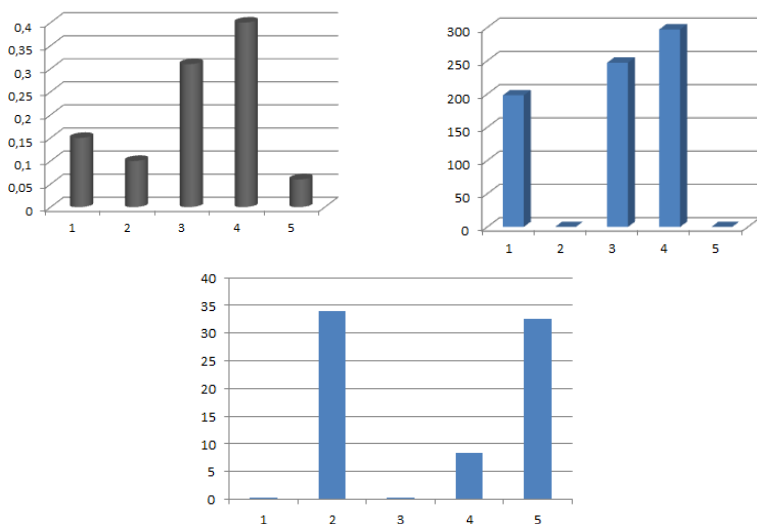
Полученные результаты проведенных экспериментов представлены в таблице 2 и на рисунке 2.

Таблица 2 – Результаты экспериментов

№ эксперимента	Прочность, МПа	Газопроницаемость, ед	Осыпаемость, %
1.	0,15	198	0,3
2.	0,10	Разрушились	34
3.	0,31	247	0,4
4.	0,4	297	8,4
5.	0,06	Разрушились	32,5

Наибольшей прочностью и наилучшей газопроницаемостью обладали образцы, или только обработанные вакуумом (эксперимент 3), или только с продувкой газом CO_2 (эксперимент 4). Однако осыпаемость была на порядок меньше, когда образцы выдерживали только под вакуумом. Приблизительно на том же уровне были показатели и у образцов, которые сначала выдерживали в вакууме, а после продували газом CO_2 .

Опыты показали, что при создании разряжения в камере воздух, содержащий в своем составе углекислый газ, интенсивно проходит через образцы смеси и упрочняет их. При этом избыточное количество углекислого газа для продувки образцов приводит к разупрочнению смеси (эксперименты 2 и 5).



а – прочность на растяжение; б – газопроницаемость, в – осыпаемость
Рисунок 2 – Диаграммы сравнения свойств образцов:

Невысокие показатели свойств смеси при совместном использовании вакуума и CO_2 газа, так же возможно, связаны с тем, что при обработке CO_2 образуется гель кремниевой кислоты - Na_2CO_3 , а процесс вакуумного воздействия схож с тепловой сушкой, где карбонат не образуется, а отверждение происходит за счет удаления влаги из жидкого стекла.

Таким образом, результаты данных экспериментальных исследований показали, что вакуумная обработка оказывает явное влияние на формирование прочности жидкостекольных смесей. Определенный интерес представляет замена классических процессов отверждения жидкостекольных смесей (тепловая сушка, CO_2 -процесс) на отверждение в вакууме, возможно с дополнительным «доупрочнением» газом CO_2 . Вакуумирование позволит существенно уменьшить осыпаемость форм и стержней и сократить расходы на их изготовление.

**Рециклинг отходов, образующихся
при производстве свинца из аккумуляторного лома**

Ровин С.Л., Григорьев С.В.
Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

Статья посвящена вопросам образования и переработки отходов пирометаллургического производства свинца из аккумуляторного лома. В статье представлены результаты исследования структуры и состава характерных свинцесодержащих отходов производства – аспирационных пылей, шлака, съемов. На основании результатов исследования предлагается оптимизировать способы и технологические режимы переработки указанных отходов.

Текст доклада:

Мировое производство и потребление свинца и его сплавов сегодня составляет около 10,5 млн. тонн в год. По объему производства свинец занимает 4-ое место среди цветных металлов, уступая только алюминиевым, медным и цинковым сплавам. При этом более 60% свинцовых сплавов производится из вторичного сырья, в первую очередь из отработавших свинцово-кислотных аккумуляторов [1]. В Беларуси по объемам производства свинец занимает второе место среди цветных сплавов, уступая только алюминиевым сплавам, и на 95% производится из аккумуляторного лома [2].

Среднестатистический автомобильный аккумулятор содержит: 10-15% электролита, до 10-15% органических материалов (корпус и сепараторы из полипропилена, эбонита, полиэтилена и т.п.) и около 70-75% свинцесодержащего лома и отходов, в том числе, около 20% – металлическая фракция (решетки, полюса, переключки и т.д.) и не менее 50% оксидно-сульфатная паста – шлам. Разделанный аккумуляторный лом, освобожденный от электролита и органики, представляет собой основное исходное сырье для производства вторичного свинца. При этом металлическая фракция (свинцово-сурьмянистый сплав) содержит около 85-90% свинца и до 5-7% сурьмы, а паста состоит из оксидов (25-30%), сульфатов (50-60%) и сульфидов (7-10%) свинца, влажность пасты – 8-10%. Общее содержание свинца в пасте составляет примерно 60% [3].

Использование аккумуляторного лома для производства свинца не только на порядок снижает затраты на его получение, по сравнению с использованием рудного сырья, но и позволяет решить важную природо-

охранную задачу – утилизации и обезвреживания содержащих свинец отходов, которые относятся к токсичным веществам 1-го класса опасности. В европейских странах, в США, Японии, Южной Корее и других экономически развитых странах сбор и переработка аккумуляторного лома доведены до 96-99% от их образования. В настоящее время аналогичный уровень достигнут и в Беларуси.

Однако помимо переработки отходов, связанных с эксплуатацией или обработкой изделий, большое экономическое и экологическое значение имеет рециклинг отходов, образующихся при производстве свинца. Задача глубокой переработки отходов производства – возвращения в материальный оборот содержащихся в них ценных компонентов, и минимизации экологической опасности при выбросах в атмосферу и захоронении является важнейшим требованием Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» [4].

Традиционный процесс производства свинца из лома аккумуляторных батарей (АКБ), включает в себя следующие технологические операции [2]:

- разделка отработанных АКБ;
- сортировка, складирование, взвешивание (дозирование) исходных шихтовых материалов;
- восстановительная плавка свинецсодержащих отходов в роторных наклоняющихся печах (РНП) с получением чернового свинца;
- слив и выдержка (отстаивание) чернового свинца в обогреваемых изложницах (проливных ковшах) на стенде;
- отделение шлака и передача жидкого свинца в рафинировочные котлы;
- рафинирование и легирование чернового свинца в рафинировочных котлах с получением свинца С1, С2 и марочных свинцовых сплавов;
- разливка свинца и марочных сплавов в изложницы на разливочном конвейере и получение слитков (чушки);
- контроль качества, маркировка, упаковка, складирование.

В процессе плавки чернового свинца, при последующем его рафинировании и получении мягкого свинца или свинцовых сплавов образуется большое количество свинецсодержащих отходов (побочных продуктов), в том числе: аспирационная пыль и шлак восстановительной плавки чернового свинца в роторных печах; аспирационная пыль, а также желтые и черные съемы в процессе рафинирования и легирования свинца.

Для определения наиболее рационального способа переработки и утилизации перечисленных продуктов были проведены исследования их элементного и фазового составов. Исследования элементного состава проводились с помощью энергодисперсионного спектрометра INCA-350 (Таблица 1), фазовый состав анализировался с помощью рентгеновского ди-

фрактометра Дрон-3. Как показал анализ все эти материалы в том или ином количестве содержат остаточный свинец и/или его соединения, и, соответственно, с целью более глубокого извлечения свинца и получения дополнительной

прибыли, а также снижения токсичности, должны подвергаться повторной обработке.

Таблица 1 - Составы побочных продуктов, образующихся при производстве свинца

Наименование продукта	Элементный состав, %											
	C	O	Na	Si	S	Cl	Fe	Cu	Ca	Sn	Sb	Pb
Асп. пыль РНП	7.14	10.21	1.71	0.68	8.37	0.48	0.68	-	-	-	-	70.52
Шлак РНП	9.10	25.61	17.3	2.56	5.3	0.12	32.3	-	1.62	0.45	0.32	5.32
Аспир. пыль раф. котлов	0.73	11.98	1.90	0.33	5.12	-	1.89	-	-	6.76	4.53	62.26
Черные съемы	-	15.38	-	0.76	9.65	-	2.06	0.36	-	7.81	2.78	60.20
Желтые съемы	0.19	11.49	4.69	-	1.67	0.51	-	-	0.56	0.55	8.17	71.93

Основными компонентами аспирационной пыли роторных печей и пыли рафкотлов являются оксид (PbO) и сульфид (PbS) свинца. Общее содержание свинца в пыли, аспирируемой от ротационной печи в процессе восстановительной плавки, составляет около 70 %. Помимо соединений свинца в этой пыли содержится сажистый углерод (до 7%) и значительное количество оксидов, карбидов, карбонатов, сульфидов и хлоридов, а также более сложных соединений натрия и железа, таких как фаялит ($2\text{FeO} \times \text{SiO}_2$) или феррит натрия (NaFeO_2). Общее содержание свинца в пыли, аспирируемой от рафкотлов в процессе рафинирования, составляет, в среднем, ~ 62 %. Помимо соединений свинца в пыли содержатся: оксиды, карбиды, карбонаты и сульфиды олова, сурьмы, натрия и железа, а также более сложные соединения, в том числе интерметаллиды натрия, свинца, олова, сурьмы.

Основными компонентами в составе черных съемов являются PbO и PbS, общее содержание свинца в соединениях составляет около 60 %. Помимо соединений свинца в съемах содержатся: оксиды, сульфиды олова, сурьмы, железа, меди, кремния, силикаты и другие соединения. Количество включений металлического свинца в съемах составляет до 10-15%.

Основными компонентами в составе желтых съемов также являются оксид и сульфид свинца, общее содержание свинца в желтых съемах составляет 70-72%, из этого количества до 10% – Pb металлический. Кроме того в них содержатся оксиды, хлориды, сульфиды, сульфаты и другие соединения олова, сурьмы, натрия и кальция.

Суммарное количество пыли, аспирируемой от роторных печей и рафкотлов, составляет около 2,2-2,5%, количество желтых и черных съемов, образующихся в процессе рафинирования, – до 10-20 % от массы получаемого свинца и сплавов.

По общему содержанию свинца перечисленные материалы практически не уступают аккумуляторной пасте, и учитывая их фазовый и дисперсный состав (размеры частиц пыли – 0,1-30 мкм, черных и желтых съемов – от 1мкм до 2мм) для их переработки вполне может быть использована технология, аналогичная применяемой при переработке пасты, т.е. восстановительная плавка в роторных печах. При этом, однако, целесообразно дифференцированно подходить к составу и количеству применяемых флюсов и выбору режимов плавки. Так, например, значительное содержание натрия при относительно небольших количествах серы в желтых съемах и аспирационной пыли рафкотлов позволяют в двое снизить удельный расход кальцинированной соды и на 15-20% сократить время восстановления указанных материалов по сравнению с аккумуляторной пастой.

Самым бедным по содержанию свинца из перечисленных отходов, но самым крупнотоннажным (до 30-40% от массы выплавляемого чернового свинца) является шлак роторных печей. Усредненный фазовый состав шлака включает в себя (масс. %): 15,3 – FeO, 17,0 – Fe₂O₃, 5,4 – FeS, 5,2 – NaFeO₂, 1,1 – Fe(SH)₂, 14,7 – Na₂O, 8,8 – NaFeS₂, 5,2 – Na₂SO₄, 2,3 – FeSiO₃, 9,1 – C, 4,8 – SiO₂, 2,3 – CaO, оксиды и другие соединения олова, сурьмы, мышьяка, суммарно – около 1,5%. Общее содержание свинца в шлаке колеблется от 4 до 7,5%, но более половины этого количества составляют металлические включения с размерами от 1 до 100 мм. При таком содержании свинца повторная пирометаллургическая обработка материала экономически нецелесообразна. Учитывая, что шлак роторных печей является хрупким материалом и легко гидратируется, наиболее рациональным способом его переработки является: дробление, первичная сепарация металлических включений размером более 15-20 мм путем отсева (грохочения), увлажнение и повторное просеивание через плоскодековое или барабанное сито с ячей 1-2 мм. Увлажнение шлака приводит к его активной гидратации и разрушению агломератов и крупных частиц – образованию золы, при этом происходит частичная фазовая перестройка, изменение кислотности (снижение щелочности) и цвета материала с серо-черного до красно-коричневого. Последующее просеивание золы позволяет дополнительно извлечь около 1-1,5% свинца и практически исключить остатки металлического свинца в материале. Описанный способ обработки шлака позволяет сократить остаточное содержание свинца до 2-2,5% и, что не менее важно, снизить токсичность и экотоксичность (уровня опасного воздей-

ствия на животных и растения, соответственно) шлака до 4-го и 3-го класса.

Литература

1. Электронный ресурс: <http://www.cmmarket.ru/> мировые товарные рынки.
2. Ровин, С.Л. Решение проблемы утилизации аккумуляторного лома и производства свинца в Беларуси / С.Л. Ровин, С.С. Охремчук // *Литье и металлургия*. – 2013. – № 3., Спецвыпуск. – С.87–89.
3. Тарасов, А.В. Металлургическая переработка вторичного свинцового сырья / А.В. Тарасов, А.Д. Бессер, В.И. Мальцев, В.С. Сорокина. – М.: Гинцветмет, 2003. – 224 с.
4. Закон Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» от 26.11.1992г. № 1982-ХП

Особенности состава некоторых металлосодержащих отходов литейного передела и перспективы их рециклинга

Рудницкий Ф.И., Куликов С.А.¹, Шумигай В.А.¹
Белорусский национальный технический университет
ОАО «Минский тракторный завод»¹

Аннотация:

В работе приведены результаты анализа металлосодержащих отходов, образующихся в литейном производстве ОАО «МТЗ» на различных переделах. Путем магнитной сепарации установлено содержание в них металлической составляющей. Определен химический и фракционный состав отходов.

Текст доклада:

В настоящее время в литейном производстве технология получения отливок основывается на принципах бережливости и экономии. В поисках путей снижения себестоимости продукции проводятся работы по использованию отходов собственного производства как источника сырья или как самостоятельной продукции. В литейных цехах образуется ряд отходов, который представляет определенный интерес как источник дорогостоящих легирующих элементов: хрома, молибдена, меди, никеля и др. Особый вид отходов – это тонкие металлоабразивные шламы, представляющие собой пылевидную массу, такие отходы зачастую и называют металлосодержащей пылью. Данная работа представляет собой исследование некоторых видов таких отходов и анализ перспектив их использования путем создания на их базе комплексов для модифицирования металлических расплавов [1-3] и тем самым частичного рециклинга.

В литейных цехах ОАО «МТЗ» были отобраны пробы пылевидных отходов: пыль дробебетных камер; шлам металлоабразивный с участка обнаждачивания крупногабаритного литья; шлам вентустановки дуговой печи; шлам металлоабразивный с участка шлифования специального инструмента.

С целью определения перспективности использования указанных отходов для модифицирования расплавов металлов и сплавов путем магнитной сепарации была определена доля магнитной (железосодержащей) фракции. Данные сведены в таблицу 1.

Из таблицы 1 следует, что составы металлоабразивных шламов могут варьироваться в самых широких пределах и зависят, в первую очередь, от вида операций, при которых они образовались. Так, состав металлоабразивного шлама участка специнструмента соответствует предположению

[4], что составы дисперсных смесей, состоящие из двух видов частиц, должны содержать примерно одинаковое количество разнородных частиц.

Таблица 1 - Количество магнитной фракции в различных видах пылевидных отходов

Вид отходов	Магнитная фракция, %		Немагнитная фракция, %
	В том числе крупных частиц	Пылевидная фракция	
Пыль дробебетных камер	14,5	5,5	79
Шлам металлоабразивный (участок крупного литья)	72,75	1,5	27,75
Шлам дуговой печи	49	нет	51
Шлам металлоабразивный (участок специнструмента)	50	нет	50

Однако металлоабразивный шлам участка крупного литья содержит более 70% магнитной фракции. Стоит отметить, что пылевидные шламы, на первый взгляд весьма однородные, могут содержать в своем составе крупные частицы, отличающиеся по размерам на порядок от основной массы частиц и в значительной степени исказить результаты исследований. Поэтому магнитная сепарация дает лишь общие сведения о наличии металлических магнитных частиц в составе шламов.

Для точного определения фракционного состава шламов, содержания химических элементов необходимо применение тонких методов исследований. На рис.1 представлены результаты исследования отобранных проб на электронном сканирующем микроскопе.

Пыль дробебетных камер состоит в большей части из осколков зерен песка, образовавшихся при удалении пригара с тела отливки, а также металлических частиц – остатков дробы, сколов с отливок и т.п. Фракционный состав определяет и содержание химических элементов: данный вид отходов содержит кремний, железо, кислород и углерод, содержание остальных элементов ничтожно мало.

Шлам металлоабразивный с участка обнаждачивания крупного литья представляет собой механическую смесь, состоящую из металлических частиц, образовавшихся при обработке отливки и осколков абразива. Химический состав представлен железом, кислородом, алюминием и углеродом.

Фракционный состав шлама дуговой печи представляет собой смесь окисленных металлических частиц и силикатов. По химическому составу этот шлам кроме железа, кислорода и кремния, также содержит хром и никель. Шлам металлоабразивный с участка шлифовки специнструмента, как и второй образец, состоит из смеси металлических частиц, образовав-

Результаты исследований образцов на электронном микроскопе позволяют сделать вывод, что определяющим состав и свойства шламов фактором является процесс, при котором они образуются. Этот фактор влияет не только на фракционный и химический состав шламов, но также на форму металлических частиц. Так, шлам металлообразивный с участка крупного литья содержит крупные ленточные и сферические частицы. Шлам участка специнструмента, напротив, содержит тонкие ленточные частицы. Факто формы определяет свойства шлама при отделении металлических частиц, к примеру, магнитной сепарацией. Как было отмечено [1], для отделения тонких частиц потребовалась многократная сепарация (до 10 операций). В то время как для отделения магнитной фракции из второго образца хватило трех операций.

Наиболее перспективными для использования в качестве модификаторов для расплавов нам представляются металлообразивные шламы. Данный вывод сделан по ряду причин: содержание металлической фракции в них значительно выше, магнитной сепарации поддаются легче. Наиболее перспективны шламы участков, где происходит обработка специального инструмента. Металлсодержащие отходы литейных производств – перспективный материал, рециклинг которого различными способами (сепарация, восстановление, брикетирование, переплав), в том числе и использование в качестве базы для создания модифицирующих комплексов позволит обеспечить снижение себестоимости литья.

Литература

1. Рудницкий, Ф. И. Энергия поверхности ультрадисперсных частиц как инструмент создания наномодифицирующих комплексов = Surfaceenergyofultrafineparticlesas a toolforcreatingnanomodifierscomplexes / Ф. И. Рудницкий, С. А. Куликов, В. А. Шумигай // Литье и металлургия. – 2019. – № 3. – С. 46-53.
2. Рудницкий, Ф. И. Использование энергии поверхности ультрадисперсных частиц при разработке наномодифицирующих комплексов / Ф. И. Рудницкий, С. А. Куликов, В. А. Шумигай // Металлургия Машиностроения. – 2019. – № 6. – С. 9-13.
3. Рудницкий, Ф.И. Повышение качества моторных отливок модифицированием чугуна ультрадисперсными добавками / Ф. И. Рудницкий, С. А. Куликов, В. А. Шумигай // Литейное производство. – 2020. – № 2. – С. 2-5.
4. Дорожкин, Н.Н. «Упрочнение и восстановление деталей машин металлическими порошками», -Мн.: «Наука и техника», 1975, 152с.

Возможности изготовления литой технологической оснастки и инструмента из быстрорежущей стали с использованием операции закалки из жидкого состояния

Рудницкий Ф.И., Скворцов А.А.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В работе приведены результаты исследований структуры и свойств стали P18, предназначенной для изготовления литых резцов горнодобывающих машин в различном состоянии: после литья, отжига, закалки и отпуска. Значения твердости образцов позволяют сделать вывод о возможности исключения из технологического цикла изготовления резцов операции закалки при выбранном методе литья.

Текст доклада:

Важнейшим фактором, определяющим стойкость инструмента, является его структура. Анализ поведения литого режущего инструмента в условиях эксплуатации показывает, что зачастую основными причинами выхода из строя являются поломки, особенно при неправильном выборе номенклатуры для изготовления в литом варианте, обусловленные повышенной хрупкостью стали вследствие сильной неоднородности структуры и наличием карбидной сетки по границам зерен (сохраняющейся после термической обработки).

Формирование структуры литого инструмента происходит в первую очередь при кристаллизации стали, а так и при последующей термической обработке, режимы которой должны назначаться с учетом структуры литой стали. Поскольку структура быстрорежущей стали, сформированная на стадии кристаллизации, наследуется и сохраняется при последующих традиционных режимах закалки и отпуска, при разработке технологического процесса режущего инструмента конкретного назначения для конкретных условий эксплуатации первоочередной задачей является выбор метода литья, определяющий условия формирования структуры (скорость охлаждения, последовательность и длительность протекания основных фазовых превращений).

В связи с изложенным, рациональному выбору метода литья для получения литых заготовок режущих вставок резцов горнодобывающих машин в данной работе уделено первостепенное внимание. Среди ряда оцениваемых факторов учитывали структурные, экономические, технологические и др. На основании тщательного анализа всех факторов в качестве основного

метода получения заготовок выбрано литье в кокиль, в формы из химически-твердеющих смесей и литье в керамические формы (Шоу-процесс).

На первом этапе работы исследовали структуру образцов стали P18Л, модифицированной наноструктурированным диборидом титана. Выбор этого соединения в качестве модификатор обусловлен положительными результатами исследований при модифицировании быстрорежущей стали P6M5Л [1,2]

При оптимизации структуры режущего инструмента и технологической оснастки из высоколегированной стали важно оценить основные структурные факторы, среди которых следует отметить следующие:

- размер первичного зерна;
- разорванность ледебуритной сетки;
- балл карбидной неоднородности;
- морфология эвтектики;
- размер действительного зерна аустенита;
- количество остаточного аустенита.

В качестве базовой в исследовании выбрана сталь P18. В период кристаллизации исследуемой стали происходят перитектическое, эвтектическое и эвтектоидное превращения.

Микроструктура стали P18 характеризуется наличием ледебуритной эвтектики в виде сетки по границам зерен и матричной составляющей, большей частью разорванной.

Микроструктуры исследуемых образцов, приведенные на рисунках 1 - 4, свидетельствуют о том, что в результате наномодифицирования измельчается первичное зерно, сетка ледебуритной эвтектики разрывается, эвтектика приобретает тонкое строение и располагается в виде изолированных колоний.

Судя по микроструктурам, фиксирующимся в результате операций термической обработки отжига (рисунок 3), закалки (рисунок 2), трехкратного отпуска (рисунок 4) по сравнению со структурой стали в литом состоянии (рисунок 1) происходят определенные изменения в ледебуритной эвтектике, определяющей ударную вязкость стали (частичная колесценция и коагуляция карбидных частиц), она становится тоньше, более разорванной, хотя наследственное расположение первичных карбидов сохраняется. Этот факт дополнительно подтверждает важность влияния модифицирования на стадии кристаллизации сталей ледебуритного класса. В остальном трансформация структуры происходит по классическому образцу: при отжиге δ – феррит и аустенит распадаются на перлит, после закалки образуется мартенсит и остаточный аустенит, при отпуске фиксируются мартенсит отпуска и дисперсные карбиды.

Результаты дюрOMETрических испытаний экспериментальных образцов представлены в таблице (таблица 1).

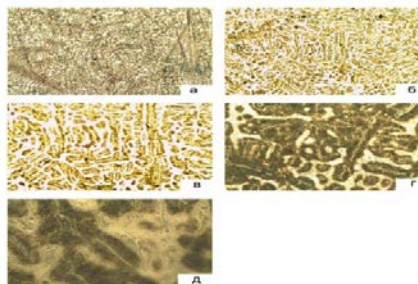


Рисунок 1 - Микроструктура стали P18 в литом состоянии: а - x50; б - x100; в - x200; г - x500; д - x1000

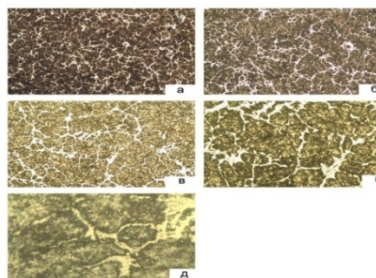


Рисунок 2 - Микроструктура стали P18 в отожжённом состоянии: а - x50; б - x100; в - x200; г - x500; д - x1000

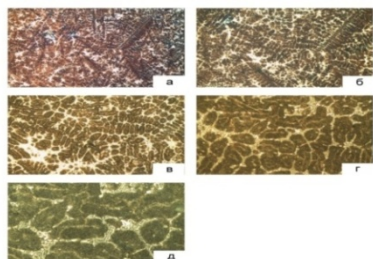


Рисунок 3 - Микроструктура стали P18 в закаленном состоянии: а - x50; б - x100; в - x200; г - x500; д - x1000

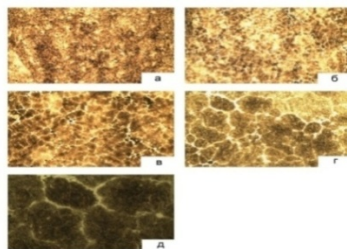


Рисунок 4 - Микроструктура стали P18 в отпущенном состоянии: а - x50; б - x100; в - x200; г - x500; д - x1000

Таблица 1 - Значения твердости экспериментальных образцов

Экспериментальный образец	Твёрдость	
	по Бринеллю, НВ	по Роквеллу, HRC
В литом состоянии	-	60
После 1 отпуска литого образца		61
После 2 отпуска литого образца		62
После 3 отпуска литого образца		62
В отожженном состоянии	270	-
В закаленном состоянии	-	61
В состоянии после закалки и трехкратного отпуска	-	64

Значения твердости соответствуют структурным изменениям, более высокая твердость после отпуска подтверждает факт прохождения процесса дисперсионного твердения.

Весьма важным результатом является то, что дисперсионное твердение фиксируется при отпуске литых образцов. В этом случае условия охлаждения соответствуют условиям закалки металла из жидкого состояния, учитывая способность быстрорежущих сталей закаливаться на воздухе.

Учитывая полученные результаты, имеется реальная возможность создания технологии изготовления цельнолитых резцов горнодобывающих машин, исключающая необходимость использования операции закалки.

При условии изготовления цельнолитых резцов, учитывая возможность использования при переплаве отходов инструментальных сталей, значительно сокращается количество операций механической обработки самих режущих вставок, корпусов, операций их термической обработки, трудоемких операций крепления вставки в корпус и др.

Литература

5. Рудницкий, Ф.И. О возможности избирательного модифицирования быстрорежущей стали/ Ф.И.Рудницкий, Ю.А.Николайчик, А.Н.Ермак// Литье и металлургия. – 2014. – № 1. – С. 50-55.

6. A.S. Chaus, F.I.Rudnitskii, M. Bogachik, P. Uradnik. Special features of microstructure of W–Mo high-speed steel modified with titanium diboride. Metal Science and Heat Treatment. – 2011. - № 11-12. – p. 575-580

Механизация технологии литья в кокиль

Садоха М.А.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

Представлены преимущества технологии получения отливок методом литья в кокиль. Рассмотрены варианты использования различных типов кокильного оборудования для механизации и автоматизации процесса литья, эффективная область применения данного оборудования.

Текст доклада:

Технология литья в кокиль является одним из универсальных способов получения сложных фасонных отливок из различных металлов и сплавов.

Значительная доля алюминиевых отливок, потребляемых современным машиностроением, производится методом литья в кокиль с заполнением кокиля различными способами (гравитационное литье вручную и дозаторами; низкое давление; самозаполнение и т.п.) [1]. Для примера в США и Канаде литьем в кокиль производится около 30% от массы всех выпускаемых алюминиевых отливок, что в год составляет более 370,0 тыс. тонн [2]. Причем около 70% алюминиевого литья предназначено для автомобильной промышленности, и такое производство, как правило, носит массовый характер.

При производстве отливок из медных сплавов и чугуна в процентном отношении меньшая доля приходится на литье в кокиль. Однако в силу больших объемов выпускаемого литья (особенно из чугуна) совокупный объем отливок, производимый по технологии литья в кокиль, значительный.

Технология литья в кокиль позволяет получать как небольшие, так и крупногабаритные отливки различной степени сложности и имеет ряд преимуществ по сравнению с литьем в разовые формы:

1. Отливки, обладают более высоким классом точности, что позволяет значительно уменьшить величину припусков на механическую обработку и повысить выход годного литья.
2. Чистота поверхности у кокильных отливок более высокая;
3. Отливки имеют лучшие физико-механические свойства за счет особенностей процессов кристаллизации и охлаждения.
4. Литье в кокиль позволяет полностью исключить использование формовочных и в значительной степени уменьшить применение стержневых смесей.

5. Повышается съём литья с квадратного метра производственной площади за счет повышения производительности труда и сокращения потребности в производственных площадях.

6. Процесс производства кокильных отливок поддается активному контролю на протяжении всего технологического цикла и может быть полностью механизирован и автоматизирован.

Вопросы механизации и автоматизации процессов литья в кокиль являются актуальными как для обеспечения стабильности качества производимых отливок, так и для повышения производительности процесса литья и снижения производственных затрат.

Применяемая степень механизации и автоматизации процесса литья в кокиль на конкретном производстве зависит, прежде всего, от серийности производства, вида сплава, сложности отливки, наличия песчаных стержней и др. (таблица 1).

Таблица 1 - Операции механизация и автоматизация при литье в кокиль

№	Операции	Вид производства			
		Едини- ное	Мелкосе- рийное	Серий- ное	Массо- вое
1.	Сборка-разборка кокиля	+	+	+	+
2.	Извлечение и удаление отливки		+	+	+
3.	Контроль времени операций, температуры кокиля и других параметров			+	+
4.	Дозированная заливка расплава			+	+

В качестве оборудования для реализации технологии литья в кокиль используют различные кокильные машины и технологические комплексы на их основе (таблица 2).

В единичном производстве наиболее часто применяют однопозиционные машины, обеспечивающие только минимальный набор наиболее трудоемких операций. Например, только сборку-разборку кокильной оснастки. Все остальные операции выполняются вручную заливщиком.

В условиях мелкосерийного производства в дополнение к операции сборки-разборки кокиля добавляется механизация удаления отливки из рабочей зоны кокиля.

При серийном производстве отливок наряду с операциями сборки-разборки кокиля и удаления отливки из рабочей зоны, как правило, осуществляется автоматический контроль времени выполнения отдельных операций с выдачей соответствующих команд и контроль температуры кокиля. Иногда выполняется и автоматическая дозированная заливка расплава.

При массовом производстве в отличие от единичного и серийного в большинстве случаев присутствует автоматическая дозированная заливка расплава.

Установлено, что в зависимости от характера и условий производства наиболее эффективные варианты применения того либо иного оборудования существенно различаются.

Таблица 2 - Применение кокильного оборудования

№	Тип оборудования	Вид производства			
		Единичное	Мелкосерийное	Серийное	Массовое
1.	Однопозиционная кокильная машина	+	+	+	
2.	Двухпозиционная (челночная) кокильная машина		+	+	
3.	Кокильный комплекс на основе ряда однопозиционных кокильных машин			+	+
4.	Многопозиционная (карусельная) кокильная машина				+

Наиболее востребованным типом оборудования для литья в кокиль являются однопозиционные машины, как наиболее универсальные агрегаты, которые могут без дополнительного оснащения эффективно эксплуатироваться как в единичном производстве, так и в составе сложных технологических автоматизированных комплексов обеспечивать массовое производство отливок. Основное преимущество таких машин – универсальность, технологическая гибкость и возможность быстрой переналадки на другую номенклатуру.

Двухпозиционные кокильные машины челночного типа не нашли широкого применения в производстве по причине, прежде всего, ограниченности универсальности их использования.

Многопозиционные кокильные машины достаточно широко используются на крупных предприятиях с массовым характером производства. Их основное преимущество в возможности рациональной организации всех технологических операций с привязкой их к конкретной зоне. Благодаря применению вращающейся платформы (карусели) для размещения кокилей удастся оптимально организовать транспортные потоки и работу вспомогательных агрегатов.

Литература

1. Волочко, А.Т. Алюминий: технологии и оборудование для получения литых изделий. / А.Т. Волочко, М.А. Садоха.- Минск: Беларус. навука, 2011.- 387с.
2. www.aluminum.org

Причины дефектов литья при использовании стержней, изготовленных по cold-box-amine процессу

Коренюгин С.В., Ровин С.Л.¹, Гацуро В.М.²

УП «Технолит», Белорусский национальный технический университет¹, ОАО «Минский тракторный завод»²

Аннотация:

Представлен анализ причин возникновения литейных дефектов в отливках изготовленных с применением стержней по cold-box-amine процессу. Определены основные направления проведения исследований и решения данной проблемы.

Текст доклада:

Широкое внедрение в практику литейного производства стержней, изготовленных по cold-box-amine процессу, позволило практически полностью исключить дефекты отливок, связанные с недостаточной прочностью стержней, низким качеством их поверхности или несоответствием по геометрии, значительно сократить газовые дефекты, а также снизить удельные энергозатраты на изготовление стержней и уменьшить стоимость стержневой оснастки. Однако при общем снижении процента брака существенно изменилась его структура, более весомую долю заняли другие виды дефектов, в первую очередь – это просечки. Просечки становятся преобладающей причиной брака, особенно для ответственных отливок со сложными внутренними каналами. И хотя просечки относятся к исправимому браку, но значительные затраты на их обнаружение (для выявления просечки во внутренних, закрытых каналах, требуется применение специальных средств контроля – эндоскопов) и удаление в труднодоступных местах зачастую делают эту операцию экономически не выгодной. В ряде случаев, например, во внутренних каналах отливок типа «Головка блока цилиндров», «Корпус турбины», «Блок цилиндров» и т.п., исправление этого дефекта становится практически невозможным.

В основе механизма образования просечек лежит свойство кварца претерпевать полиморфные превращения в процессе нагревания, основными из которых являются следующие: β -кварц при 573 °С превращается в α -кварц с изменением объема на 1,2%, при 870 °С образуется α -тридимит с объемным расширением 11,7% и, наконец, α -тридимит при температуре 1470 °С переходит в α -кристобалит сопровождается изменением расширения с 11,7% до 9,0% (рисунок 1) [1]. Наибольшее значение при образова-

нии просечки имеют первых два перехода: $\beta \rightarrow \alpha$ -кварц и α -кварц $\rightarrow \alpha$ -тридимит.

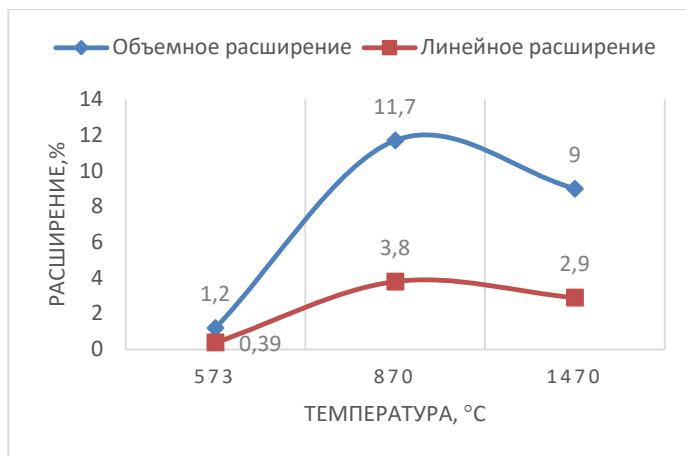


Рисунок 5 - График изменения объемного и линейного расширения кварцевого песка при нагреве

Развитие фазовых превращений в совокупности с термическим расширением приводит к возникновению растягивающих и сжимающих напряжений и растрескиванию поверхностного слоя стержня в зоне контакта с расплавом. И если к моменту разрушения поверхности стержня расплав еще не кристаллизовался возникает просечка – характерные выступы, заливки металла в теле стержня [2].

Однако если причины и механизмы возникновения просечки уже достаточно хорошо изучены, то поиск эффективных методов предотвращения этого дефекта по-прежнему остается нерешенной и актуальной задачей.

Сегодня существует несколько основных направлений борьбы с просечками:

- разработка покрытий и пропиток увеличивающих поверхностную прочность стержней [2];
- применение теплоизолирующих покрытий, снижающих скорость прогрева поверхностного слоя стержня [3];
- применение покрытий и холодильников, увеличивающих скорость кристаллизации отливки;

- применение разупрочняющих добавок в стержневые смеси, увеличивающих податливость стержня [4].

Наиболее перспективным сегодня представляется системный подход к решению задачи предотвращения брака по просечкам: совместное использование специальных теплоизолирующих противопопригарных покрытий и добавок, увеличивающих податливость стержневой смеси.

Для исследования режимов и механизмов образования просечки, и главное - для разработки эффективного метода борьбы с ней важное значение имеет возможность проведения лабораторных испытаний стержней при высоких температурах и исследования напряженно-деформированного состояния в процессе нагрева [5]. Данные исследования возможно провести на приборе LRu-DMA компании Multiserw Morek (Польша) или приборе 42115 компании Simpson (Германия).

При исследовании процессов, происходящих в литейном стержне и форме во время заливки и кристаллизации металла, необходимо учитывать большое количество взаимосвязанных явлений:

- температурное и физико-химическое воздействие жидкого металла;
- объемное расширение кварцевого песка, в результате фазовых превращений, и, как следствие, возникновение растягивающих и сжимающих напряжений;
- неравномерное распределение тепловых нагрузок в объеме стержня;
- взаимодействие частиц смеси на микроуровне и отдельных элементов стержня на макроуровне под действием сил адгезии и когезии связующего, фазовых и термических расширений, с учетом влияния высоких температур и времени воздействия на эти связи.

Анализ данных взаимодействий в отдельности и в совокупности позволит систематизировать все факторы, влияющие на возникновение литейных дефектов и построить компьютерную модель процессов, происходящих в стержне в момент заливки жидкого металла в форму, и в итоге - разработать конкретные научно обоснованные рекомендации по устранению дефектов отливок, изготовленных с применением стержней, полученных по cold-box-amine процессу.

По результатам предварительных исследований и анализа литературных источников можно выделить следующие факторы, оказывающие существенное влияние на интенсивность и глубину просечек в стержне:

- гранулометрический состав используемого песка и общее количество частиц с размером менее 22 мкм;
- температура в зоне контакта «металл-стержень»;
- время воздействия на стержень высоких температур (фактически – толщина стенок отливки и интенсивность ее охлаждения);

- прочность стержня на изгиб;
- химическое и теплофизическое взаимодействие и теплоотвод на границе «металл-стержень»;
- податливость стержня – его способность к компенсации объемных расширений;
- давление металла на стержень в зоне контакта;
- скорость прогрева и распределение температуры по всей глубине стержня.

Очевидно, что в реальных условиях все вышеперечисленные факторы оказывают комплексное воздействие на стержень. Соответственно для понимания процессов, происходящих в стержне, требуется оценка и изучение влияния каждого параметра в отдельности и их совместного воздействия.

Для проведения исследования необходима разработка комплексной методики, позволяющей контролировать изменения геометрических размеров стержня-образца, температуру и время воздействия расплава, прочность стержня, время начала деструкции связующего, время возникновения первых трещин на образце и время его полного разрушения.

Литература

1. Жуковский, С.С. Холоднотвердеющие связующие и смеси для литейных стержней и форм. / С.С. Жуковский. – М.: Машиностроение, 2010. – 256 с.
2. Берч, Т. Борьба с просечками при помощи впитывающих покрытий с активными ингредиентами. [Электронный ресурс] / Т Берч, М. Дж. Хаанепен // «Союз литье» информационный ресурс по литейному производству – Режим доступа: <https://lityo.com.ua/borba-s-prosechkami-pri-pomoshchivpityvayushchikh-pokrytij-s-aktivnymi-ingredientami> – дата доступа: 25.11.2019
3. Бузби, Э.Д. Оценка контроля дефектов типа просечек в чугунных отливках, изготовленных с использованием Ashland Casting Solution. / Э.Д. Бузби – Санкт-Петербург, 2008. – 128 с.
4. Комаров, О. С. Просечки на поверхности чугунных отливок / О. С. Комаров, Е. В. Розенберг, А. Н. Карась, А. М. Невмержицкий, А. Н. Апанасевич // Литье и металлургия. 2018. – № 2. – С. 37–42.
5. Ровин С.Л. Причины возникновения брака отливок по просечкам и поиск способов его предотвращения / С.Л. Ровин, С.В. Коренюгин // Литейное производство. – №12. – 2019. – С. 6-8.

**Взаимодействие чугунных армирующих
составляющих с материалом основы при синтезе
литых композиционных материалов**

Калиниченко В.А.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В работе рассмотрены актуальные подходы применяемые при создании литых композиционных материалов на основе медных сплавов армированных чугунными гранулами. Приведены данные по технологии синтеза композиционных материалов и ряд данных об удельных нагрузках выдерживаемых композитами, показаны структуры в зависимости от времени выдержки.

Текст доклада:

Литые композиционные материалы нашли применение в различных отраслях промышленного производства, в частности, для нормализации тепломеханического состояния турбоагрегатов тепловых электростанций [1]. Разработанные композиционные материалы (КМ) на основе меди разрабатывались, главным образом, для триботехнического применения, так как они обладают повышенными антифрикционными свойствами и хорошей демпфирующей способностью. Однако имеется еще ряд проблем, связанных с выбором оптимальной технологии их синтеза, решение которых обеспечит достижение на практике предсказываемых теорией свойств композитов, управление межфазным взаимодействием для повышения стабильности структуры и свойств композитов. Во многом это связано с необходимостью управления структурой получаемых железоуглеродистых гранул, служащих упрочняющей фазой. Необходимы и дополнительные исследования, связанные с определением влияния ввода добавок различных элементов в исходный сплав на формирование литой микроструктуры. Сочетание химического состава и условий охлаждения при получении гранул позволит расширить области применения композиционных литых материалов, поднять уровень эксплуатационных характеристик композита.

Применение литейной технологии для их синтеза позволяет снизить стоимость продукции и получать детали различной конфигурации. Наиболее часто КМ получают путем пропитки металлическим сплавом армирующего каркаса. Реже применяется замешивание армирующих элементов в матричный расплав. Процесс пропитки можно реализовать одним из следующих способов: пропитка с кристаллизацией под давлением, литье под

давлением, литье в кокиль (форму). При организации масштабного производства литье в кокиль относится к жидкофазному методу совмещения и обладает определенным преимуществом, так как не требует сложного оборудования и позволяет получать отливки значительной массы и различной геометрии.

Технологическая схема получения композитов методом литья включает следующие операции: 1. подготовка компонентов (калибровка, подготовка поверхности армирующих элементов); 2. подготовка матричного сплава; 3. размещение армирующих элементов в форме; 4. нагрев формы; 5. заливка металлическим сплавом, пропитка; 6. выдержка в форме, охлаждение и выемка из формы; 7. термическая и механическая обработка композиционных изделий.

Структура КМ представляет собой на макроуровне упрочняющие элементы, равномерно распределенные в матрице. Среди факторов, влияющих на эксплуатационные свойства КМ, существенное значение имеет степень армирования композитов и линейные размеры армирующих элементов. К армирующим элементам предъявляется ряд требований, среди которых одним из важнейших является фактор формы, равный или больший 0,9. Это обеспечивает ряд преимуществ, в частности, высокую текучесть армирующих элементов при заполнении литейной формы.

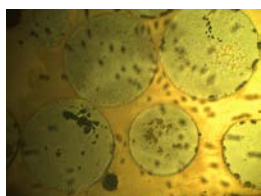
Несомненный практический интерес представляет применение для получения КМ в качестве армирующей фазы быстрозакаленных чугунных гранул. Благодаря чувствительности чугуна к режиму термообработки, возможно, получить композиты с широким диапазоном свойств. Химический состав и температурно-временной режим термической обработки литой дроби являются определяющими в формировании эксплуатационных свойств.

Структуры КМ формируются в результате реализации многостадийных, последовательно и параллельно протекающих процессов, к которым относятся окисление армирующих элементов и расплава матрицы; физико-химическое взаимодействие при контакте твердой и жидкой фаз; диффузионные процессы в твердых фазах; кристаллизация и затвердевание матрицы и др. Для получения ЛКМ высокого качества, надежной заранее заданной связи структурных элементов, высоких эксплуатационных свойств композитов необходимо установление общей закономерности формирования структуры.

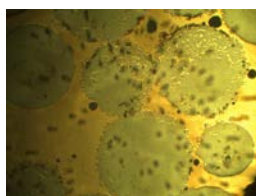
Ранее проведенными исследованиями [2,3] было установлено, что после быстрого охлаждения из жидкого состояния полученные гранулы имеют структуру белого доэвтектического чугуна различной дисперсности в зависимости от размера фракции, в то время как серийные гранулы из ана-

логичного сплава, используемые в композитах, имеют структуру отжига серого чугуна. В процессе высокотемпературного формирования композита на основе медных сплавов армирующие гранулы претерпевают фазовые превращения и приобретают структуру перлитного ковкого чугуна с небольшими включениями феррита и графита хлопьевидной формы. Вместе с тем, актуальным является вопрос равномерности распределения армирующего материала в матрице композита в процессе его изготовления при использовании литейных технологий.

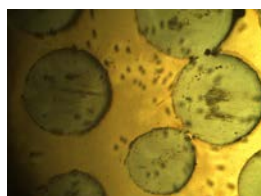
Для оценки изменения структуры и зоны контакта бронзовая матрица – чугунная гранула в зависимости от условий литья, были подготовлены 6 одинаковых образцов для синтеза композиционного материала. Образцы были загружены в печь с температурой 1080°C. После падения температуры вследствие захлаживания печного пространства образцами, имеющими комнатную температуру и выдержки до момента достижения заданной температуры, был проведен синтез литых композиционных материалов. После полного окончания пропитки (окончание синтеза), образец №1 был извлечен из печи и с целью фиксации структуры на момент окончания синтеза был охлажден в воде. Образцы №№2-6 извлекались из печи с интервалом в 20 минут с последующем охлаждением в воде. Далее из образцов были изготовлены шлифы для микроструктурного анализа, данные которого представлены на рисунке 1.



Окончание процесса синтеза



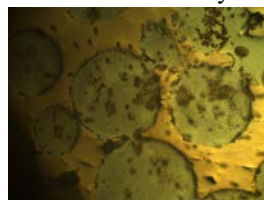
Окончание процесса синтеза +20 минут



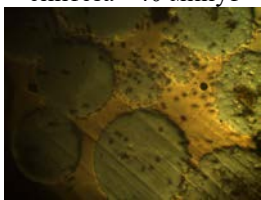
Окончание процесса синтеза +40 минут



Окончание процесса синтеза +60 минут



Окончание процесса синтеза +80 минут



Окончание процесса синтеза +100 минут

Рисунок 1 - Влияние условий литья на изменение структуры
Как видно из рисунка увеличение времени выдержки привносит значи-

тельные изменения в структуру армирующей составляющей на основе чугунной дроби. С увеличением времени выдержки идет активное растворение гранул расплавом матричной составляющей, наблюдается свариваемость гранул, а так же попадание матричного сплава внутрь самих гранул по микротрещинам.

Проведенные исследования позволили определить режимы синтеза износостойкого композиционного материала с макроструктурой для подшипников скольжения, который характеризовался высокими физико-механическими и триботехническими свойствами при работе в условиях удельных нагрузок до 450 МПа.

Литература

1. Кобзарь Ю.В., Калиниченко А.С., Воронов Е.О. Опыт применения композиционных материалов с макроструктурой для нормализации тепломеханического состояния паровых турбин // Энергетика – Изв. Вузов и энерг. объединений СНГ. - 2013. -№3. - С. 79 – 86.
2. Калиниченко А.С., Слуцкий А.Г., Шейнерт В.А., Трубицкий Р.Э., Стефанович В.А., Сметкин В.А. Особенности сфероидизирующего модифицирования высокопрочного чугуна лигатурами на основе меди // Литье и металлургия. 2016. №2. С. 110-115.
3. Калиниченко А.С., Шейнерт В.А., Калиниченко В.А., Слуцкий А.Г. Влияние условий получения быстроохлажденных гранул на основе железа на свойства композиционных материалов, формируемых литейной технологией.// «Литье и металлургия», №1. 2017., с.136-142

Влияние геометрических особенностей анода и характеристик электролита на распределение плотности тока при электрохимическом полировании сталей с повышенным содержанием углерода

Нисс В.С., Паршуту А.Э., Сенченко Г.М., Янович В.А., Сорока Е.В.
Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

Приводятся результаты моделирования распределения плотности тока при электрохимическом полировании сталей с повышенным содержанием углерода с применением электролитов на основе органических растворителей.

Текст доклада:

Для решения проблемы качественного электрохимического полирования сталей с повышенным содержанием углерода нами разработан способ, который заключается в применении импульсного технологического тока и использовании в качестве электролитов безводных или маловодных растворов на основе органических растворителей. Электропроводность таких электролитов обычно на 1–2 порядка ниже электропроводности водных растворов [1].

Обработка в электролитах на основе органических растворителей позволяет с низкими энергетическими затратами добиться качественного полирования, глянцевого покрытия поверхности и удаления заусенцев на изделиях из сталей машиностроительного назначения с повышенной концентрацией углерода. Использование униполярных и биполярных импульсных режимов с импульсов микросекундной длительности, а также правильный подбор длительности пауз между импульсами, амплитуды импульсов и соотношения амплитуд катодного и анодного импульсов позволяет создать необходимые условия для растворения карбидов в поверхностном слое образца, релаксации и полного удаления продуктов электрохимического растворения из зоны обработки.

По результатам исследований разработанного способа установлены электролиты и режимы электрохимического полирования сталей машиностроительного назначения с повышенным содержанием углерода таких как 45, 65Г и У10А, обеспечивающие высокие показатели качества поверхности (низкое значение шероховатости обработанной поверхности и высокая отражательная способность) [1].

В работе приводятся результаты моделирования распределения плотности тока при электрохимическом полировании сталей с повышенным

содержанием углерода в электролите на основе органических растворителей.

Электролитическое полирование сопровождается изменениями анодного потенциала во время процесса в соответствии с преобладающей на отдельных участках полируемых изделий плотностью тока. Такое распределение тока с точки зрения равномерности съема было бы наименее желательным. В данном исследовании моделируются первичное и вторичное распределение плотности тока [2] в электрохимической ячейке, разработанной для исследования влияния геометрических особенностей анода и характеристик применяемых электролитов на распределение плотности тока. Для создания модели и ее исследования использована программа Comsol 5.4.

Модель создается с использованием интерфейса вторичного распределения тока с постоянной проводимостью электролита $0,14 \text{ См/см}$. Кинетика анода определяется с помощью экспериментальных данных поляризации, зависящие как от потенциала электрода, так и от температуры, как показано на рис. 2. Средняя плотность тока 3000 А/м^2 используется для анода. Предполагается, что кинетика катода (выделение водорода) очень быстрая, так что можно использовать условия первичного тока. Потенциал катода установлен на 0 В .

Задача решается с помощью стационарного исследования с вспомогательной разверткой, используемой для температур $25 \text{ }^\circ\text{C}$, $35 \text{ }^\circ\text{C}$ и $45 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для моделирования принимались образцы из стали У10А в виде дисков диаметром 16 мм и толщиной 3 мм . Электрохимическое полирование выполняли в электролите состава: уксусная ледяная кислота концентрацией 80 \% (масс.) и хлорная кислота концентрацией 20 \% (масс.) . Образцы погружались в электролит частично. Площадь погружаемой части образцов составляла 5 см^2 (рис. 1). Для поддержания плотности тока 3000 А/м^2 рабочее напряжение регулировалось в пределах $0\text{--}15 \text{ В}$. Температура электролита составляла $25, 35$ и $45 \text{ }^\circ\text{C}$.



а – до обработки; *б* – после обработки
Рисунок 1 - Внешний вид образцов

Для начала процесса моделирования распределения плотности тока и потенциала в электрохимической ячейке необходимо задать начальные параметры расчета (таблица).

Таблица – Начальные параметры расчета

Name	Expression	Value	Description
T	25[degC]	298.15 K	Temperature
sigma	0.014[S/cm]	1.4 S/m	Electrolyte conductivity
i_avg	3000[A/m^2]	3000 A/m ²	Average polishing current density
E_cell_init	15[V]	15 V	Cell potential initial value

Следующим этапом моделирования является создание геометрической модели в соответствии с реальными размерами электрода и электрохимической ячейки (рис. 2).

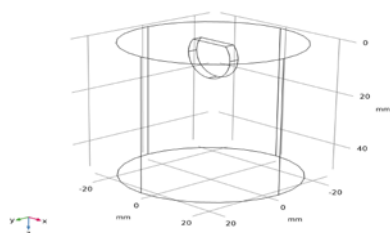


Рисунок 2 - Геометрическая модель в соответствии с реальными размерами электрода и электрохимической ячейки

На основании определенной конфигурации строится расчетная сетка конечных элементов для всех частей модели (рис. 3).

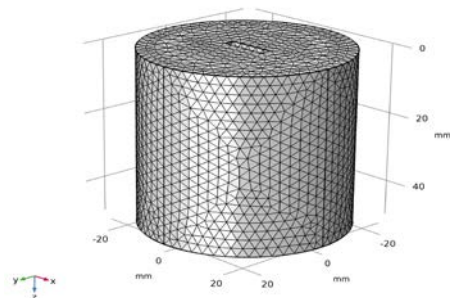


Рисунок 3 - Расчетная сетка конечных элементов модели

Полученные результаты моделирования для первичного распределения плотности тока представлены на рис. 4.

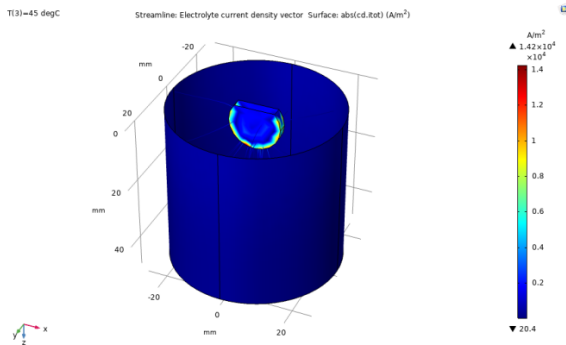


Рисунок 4 - Результаты моделирования для первичного распределения плотности тока

По результатам выполненного моделирования установлено, что при обработке в электролите состоящем из 20 % (масс.) раствора хлорной кислоты в растворителе на основе ледяной уксусной кислоты при температуре 25–45 °С и описанном расположении анода и катода, возникает неравномерное распределение плотности тока в электролите у поверхности анода и существенная ее зависимость от температуры электролита. Разница плотности тока между кромкой образца и его средней частью составляет до 0,2 А/см². При более высокой температуре электролита происходит преимущественное увеличение плотности тока на кромке погруженной части анода до 0,44 А/см² при 45 °С по сравнению с 0,40 А/см² при 25 °С. При 25 °С также наблюдается более равномерное распределение плотности тока по поверхности детали. Сравнение результатов моделирования первичного и вторичного распределения плотности тока показывают, что рассчитанная первичная плотность тока 0,145 А/см² не соответствует экспериментальным данным.

Литература

1. Применение электролитов на основе органических растворителей для электрохимического полирования сталей с повышенным содержанием углерода / В.С. Нисс, Ю.Г. Алексеев, В.А. Янович // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Международной научно-технической конференции*, Могилев, 25-26 апреля 2019 г. / редкол.: М.Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2019. – С. 144–145.
2. J.S. Newman, *Electrochemical Systems*, 2nd ed., Prentice Hall, NJ, 1990.

УДК 621.791.052:539.4

Механические свойства сварных соединений высокопрочной стали 42Х2ГСНМА, полученных аргоно-дуговой сваркой неаустенитными материалами с последующим отпуском

Каледина Н.Б.¹, Голубцова Е.С.

Белорусский национальный технический университет

Белорусский государственный технологический университет¹

Аннотация:

Представлено, что при аргоно-дуговой многослойной сварке закаливающих сталей неаустенитными материалами без последующей термической обработки сварные соединения по механическим свойствам могут соответствовать соединениям, прошедшим термическую обработку, т.е. тепловой энергии дуги достаточно для сварки и сопутствующей термической обработки.

Текст доклада:

Разрушение сварных соединений высококачественных среднелегированных сталей высокой прочности даже под действием сравнительно небольших внешних нагрузок связано с ростом зерна в металле шва и ЗТВ, а также образованием малопластинчатого мартенсита с высокой плотностью несовершенств и упругих микроискажений, которые являются источниками локальных пиковых напряжений [1-3].

Традиционно эти трудности преодолеваются путем использования термической обработки для сварных конструкции в целом либо для ее отдельных деталей после сварки. При невозможности применения термообработки используются аустенитные электродные материалы. Однако получение надёжных и долговечных сварных конструкций из закаливающих сталей ограничено из-за высокой стоимости аустенитных электродных материалов.

В настоящей работе исследовали результаты комплекса свойств сварных соединений высокопрочной стали 42Х2ГСНМА полученных аргоно-дуговой сваркой вольфрамовым электродом без последующей термической обработки. Согласно [4, 5] такой способ позволяет получать высококачественные сварные соединения с мелкокристаллической структурой и ограниченным развитием участков химической и структурной неоднородности, которые после закалки и низкого отпуска равнопрочны с основным металлом.

Без термической обработки сварные соединения, закаливающиеся в процессе остывания на воздухе, особенно от температур, близких к темпе-

ратурам плавления, характеризуются повышенной склонностью к образованию холодных трещин и к хрупкому разрушению. Даже после «отдыха», способствующего релаксации микронапряжений, склонность к хрупкому разрушению остается достаточно высокой [6].

Высокий уровень микроискажений в пересыщенном твердом растворе углерода в α -железе является одной из основных причин хрупкости свежезакаленного высокопрочного металла.

Получение удовлетворительных показателей пластичности и вязкости при высоком значении прочности закалённого металла достигается отпуском, при проведении которого углерод частично переходит в мелкодисперсные карбиды, а процесс их коагуляции протекает весьма медленно благодаря пониженной диффузионной подвижности легирующих элементов в области температур его проведения. Это приводит к упорядочению твердого раствора и снижению уровня упругих искажений в металле.

Согласно представлениям авторов [1] о трехстадийности распада мартенсита в области температур 200 °С происходит упорядочение твердого раствора с образованием мелкодисперсной карбидной фазы. При этом происходит понижение локальных микронапряжений в структуре материала. Свежезакаленный мартенсит переходит в состояние отпущенного мартенсита с высоким уровнем рабочих напряжений.

Более полно процесс отпуска происходит около 500 °С для легированных сталей. При этих температурах активизируется диффузия легирующих элементов, что приводит к интенсивному образованию и частичной коагуляции карбидов. Как результат — уменьшение упругой энергии α -решетки и ускорение релаксации напряжений. В целом снижаются значения твердости и повышаются показатели пластичности металла.

На третьей стадии отпуска происходит полный распад мартенсита, что с точки зрения достижения достаточных значений твёрдости, прочности и необходимой работоспособности сварных соединений является неприемлемым.

При формировании сварных соединений с использованием сложного термического цикла сварки диффузионные процессы протекают в нестационарных условиях. Температурно-временные факторы, определяющие их кинетику, могут изменяться с большими скоростями и давать различные комбинации в зависимости от режимов сварки.

При получении многослойных сварных соединений можно получить различные варианты решения повышения надежности сварных конструкций с использованием более высоких температур и ограничением длительности их воздействия.

В настоящей работе исследовали положительное влияние температуры отпуска дугой, заключающееся в кратковременном нагреве до высоких температур с замедленным охлаждением в интервале пониженных температур на механические свойства стали 42X2ГСНМА: y_1 — твердость, HV ; $y_2 = \sigma_T$, МПа — предел текучести; $y_3 = \sigma_B$, МПа — временное сопротивление разрушению; $y_4 = \delta, \%$ — относительное удлинение; $y_5 = \varphi, \%$ — относительное сужение; $y_6 = KCU$, Дж/см² — ударная вязкость; x — температура отпуска при закалке 900 °С (0, 200, 400, 600 °С).

Данные механических свойств позволяют предположить, что связь между исследуемыми механическими свойствами и температурой отпуска можно выразить линейным уравнением регрессии $y_i = a + bx$. Используя специальную методику для расчета коэффициентов a и b , проверяя адекватность и определяя коэффициенты парной корреляции, были найдены уравнения регрессии для всех исследуемых свойств:

$$y_2 = \sigma_T, \text{ МПа} = 1812 - 1,44x;$$

$$y_3 = \sigma_B, \text{ МПа} = 2132,1 - 1,772x$$

т.е. с увеличением температуры отпуска σ_T и σ_B уменьшаются; а KCU , δ и φ согласно уравнениям:

$$y_4 = \delta, \% = 3,94 + 0,0152x$$

$$y_5 = \varphi, \% = 17,48 + 0,06315x;$$

$$y_6 = KCU, \frac{\text{Дж}}{\text{см}^2} = 10,7 + 0,196x \text{ — незначительно увеличиваются.}$$

Вычислив обобщенный параметр D , найдено, что оптимальной температурой отпуска является 200 °С, т.к. обобщенный параметр D в этом случае равен 0,663 (хороший результат). При этой температуре отпуска получены следующие свойства: $HV=500$; $\sigma_T = 1670$ МПа; $\sigma_B=1983$ МПа; $\delta = 7,1 \%$; $\varphi = 35,7\%$ и $KCU = 53$ Дж/см².

Литература

1. Курдюмов Г.В., Утевский Л.М., Энтин Р.И. Превращения в железе и стали. – М.: Наука, 1977. – 238 с.
4. Макаров Э.Л. Проблемы свариваемости высокопрочных легированных сталей // Прогрессивная технология конструкционных материалов: Тр. МВТУ им. Н.Баумана. – 1980. - № 341. – С. 153-161.
5. Напряжения второго рода в иммитированных образцах из высокопрочной стали / Ю. А.Стеренбоген, В.Г. Васильев, М.М.Савицкий и др.// Симпозиум СЭВ по применению математических методов при изучении свариваемости: Сб. докл. Ч.2 –София: ВМЭИ им. В.И.Ленина, 1983. – С. 72-74.

4. Макара А.М., Мосендз Н.А. Сварка высокопрочных сталей. – Киев: Техніка, 1971. – 140 с.
5. Савицкий М.М. Свариваемость высокопрочных сталей вольфрамовым электродом в аргоне // Информ. материалы СЭВ. – 1988. – Вып. 1. – С. 3-10.
6. О двух путях релаксации остаточных микронапряжений в артерсите стали / Л.Е. Алексева, В.И. Сапрак, С.О. Суворова, Г.А. Филиппов // Металлофизика. - * 1975. – Вып. 61. – С.79-84.

УДК 621.9.047.7

Полирование металлических материалов с применением управляемых импульсных режимов электролитно-плазменной обработки

Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Паршутто А.Э.,

Будницкий А.С., Сорока Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

Выполнены исследования нового импульсного метода полирования поверхности металлических материалов, совмещающего преимущества как электрохимической, так и электролитно-плазменной обработки.

Текст доклада:

Для снижения энергоемкости и повышения эффективности процесса электролитно-плазменного полирования металлических материалов при сохранении высокой интенсивности, качества обработки и экологической безопасности разработан принципиально новый импульсный метод, совмещающий преимущества как электрохимической, так и электролитно-плазменной обработки. Метод реализуется за счет совмещения в пределах одного импульса миллисекундной длительности амплитудой более 200 В двух чередующихся стадий: электрохимической и электролитно-плазменной.

Высокая эффективность разработанного метода полирования достигается за счет основного интенсивного съема металла при реализации электрохимической стадии с низкими энергетическими затратами и оптимизации продолжительности электролитно-плазменной стадии, при которой обеспечивается высокое качество поверхности. Повышение частоты следования импульсов при снижении их длительности позволяет увеличить электрохимическую составляющую процесса и обеспечить более интенсивный съем материала заготовки, удалить значительные неровности поверхности. Снижение частоты следования импульсов при одновременном увеличении их длительности позволяет увеличить электролитно-плазменную составляющую процесса и достигнуть низкой шероховатости при общем снижении энергоемкости процесса.

В работе исследовалось изменение удельного съёма в процессе обработки поверхности, плотности тока и длительности отдельных стадий процесса в зависимости от состава и концентрации электролита.

Для исследований использовался регулируемый от 0 до 300 В источник питания мощностью 12 кВт и мощный электронный ключ, позволяющий

формировать импульсы тока заданной длительности амплитудой до 40 А (рис. 1).

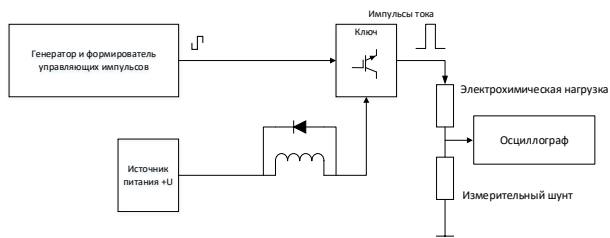


Рисунок 1 - Блок-схема источника питания для исследования процесса полирования с применением управляемых импульсных режимов электролитно-плазменной обработки

Для исследования использовались образцы прутков из нержавеющей стали AISI 316 цилиндрической формы диаметром 2 мм. Обработка образцов выполнялась в электрохимической ячейке с катодом из коррозионностойкой стали в форме трубы диаметром 100 мм. Обрабатывался участок образца длиной 10 мм, остальная часть образца изолировалась от электролита трубкой из фторопласта (рисунок 2).



Рисунок 2 - Фотография обработанного образца с изолирующей трубкой

Для исследований использовались электролиты двух составов:

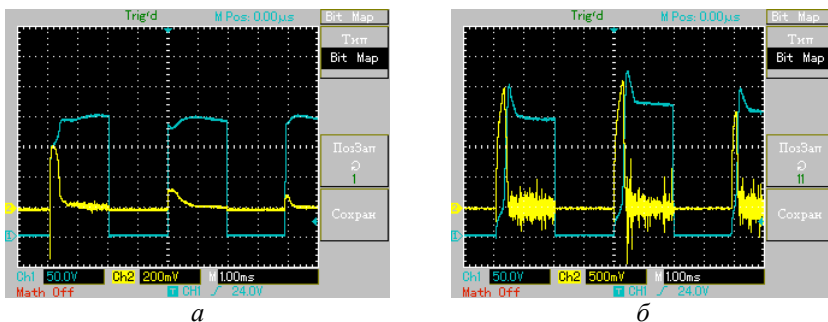
1. раствор сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в дистиллированной воде с концентрацией от 2 до 40%;

2. раствор сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в дистиллированной воде с концентрацией от 2 до 40% с добавкой 1% лимонной кислоты.

Температура электролита составляла 90 °С. Продолжительность обработки каждого образца – 1 мин. Электрический режим: импульсы напряжения амплитудой 200 В, длительностью 2 мс с паузами между импульсами 2 мс.

Контроль и запись формы импульсов тока осуществлялись запоминающим цифровым осциллографом С8-46/1 с помощью токового шунта с сопротивлением 0,05 Ом. Примеры осциллограмм приведены на рис. 3.

Электрохимический процесс в электролите при достаточно высоком напряжении, как видно на осциллограммах на рис. 3 имеет две различные стадии: электрохимическую (импульс постоянного тока), и электролитно-плазменную (высокочастотный переменный ток намного меньшей амплитуды).



а – концентрация 2%; б – концентрация 40%

Рисунок 3 - Осциллограммы импульсов тока (канал Ch2, масштаб шкалы осциллографа: 50 mV = 1A) и напряжения (канал Ch1) при обработке стали AISI 316 в водном растворе сульфата аммония различной концентрации

Зависимость удельного съёма от концентрации электролита полирования с применением управляемых импульсных режимов электролитно-плазменной обработки имеет характер, близкий к линейному (рисунок 4). С повышением концентрации электролита съём увеличивается. Этим обработка с применением управляемых импульсных режимов существенно отличается от традиционной электролитно-плазменной обработки, при которой съём практически не зависит от концентрации электролита. Так, при традиционной электролитно-плазменной обработке плоского образца съём металла на 1 мм² площади его поверхности составляет $3,3 \cdot 10^{-6}$

г/(мм²·мин) (обработка в 4% растворе сульфата аммония при температуре 90 °С и напряжении 300 В). При обработке цилиндрического образца диаметром 2 мм, удельный съём составил $2,12 \cdot 10^{-5}$ г/(мм²·мин). Как видно из зависимостей на рис. 4, съём при комплексной электрохимической и электролитно-плазменной импульсной обработке в три раза больше даже при малой концентрации электролита (4%), когда ещё нет режима полирования. В режиме полирования при концентрации 40% съём больше в шесть раз по сравнению с режимом традиционной электролитно-плазменной обработки.

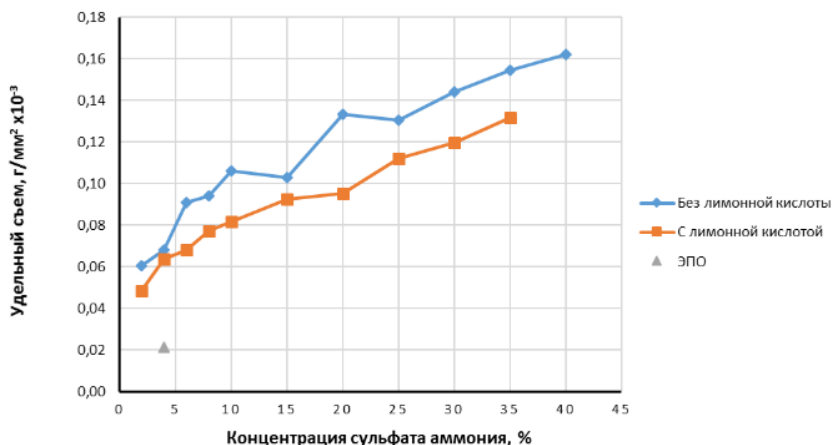


Рисунок 4 - Зависимости удельного съёма с поверхности образца из нержавеющей стали AISI 316 за 1 мин при полировании с применением управляемых импульсных режимов электролитно-плазменной обработки

Из результатов проведённых исследований видно, что добавление лимонной кислоты уменьшает съём металла при обработке, при этом существенно не влияет на качество полирования.

Повышение концентрации сульфата аммония с 2 до 40 % приводит к изменению значения плотности тока обработки: для электрохимической стадии от 4–12 А/см² при 2% до 45–64 А/см² при 40 %; для электролитно-плазменной стадии от 1–3 А/см² при 2 % до 13–15 А/см² при 40 %. Длительность электрохимической стадии составляет 0,5–1 мс при концентрации электролита 2–8 % и 0,2–0,4 мс при концентрации электролита 30–40 %. Длительность электролитно-плазменной стадии составляет 1,1–1,5 мс при концентрации электролита 2–8 % и 1,6–1,8 мс при концентрации электролита 30–40 %.

Примеры изделий из коррозионностойкой стали после полирования с применением управляемых импульсных режимов электролитно-плазменной обработки представлены на рис. 5.



Рисунок 5 – Образцы изделий из коррозионностойкой стали после полирования с применением управляемых импульсных режимов электролитно-плазменной обработки

Влияние импульсного электрохимического полирования на качество поверхности легкоокисляемых металлов и сплавов на их основе

Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Будницкий А.С.
Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

Выполнены исследования влияния амплитуды, частоты и длительности импульсов на качество поверхности титановых, циркониевых и магниевых сплавов в процессе импульсного электрохимического полирования

Текст доклада:

Применение импульсов микросекундной длительности (от 10 до 100 мкс) при электрохимическом полировании легкоокисляемых металлов и сплавов на их основе при оптимальных параметрах позволило существенно повысить качество обработки поверхностей по сравнению с результатами, полученными на постоянном токе с применением традиционных кислотных электролитов, в том числе токсичных, используемых обычно для труднообрабатываемых материалов. Микросекундные импульсы прямой и обратной полярности позволили создать активные участки растворения за счет релаксации свойств электролита в паузе между рабочими импульсами, а также за счет возможности поддержания на аноде значения положительной составляющей поляризующего тока, где сохраняется активированное состояние поверхности, при этом не успевают развиваться диффузионные ограничения [1, 2].

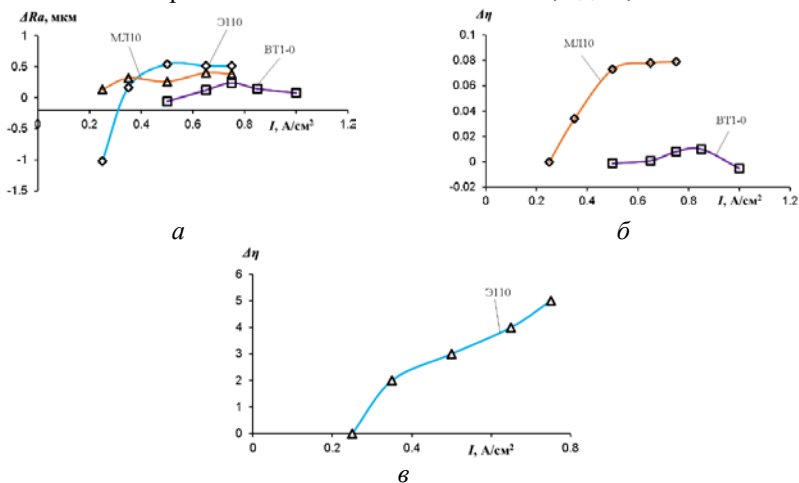
В работе приводятся результаты исследований влияния характеристик импульсов на качество поверхности в процессе импульсного электрохимического полирования легкоокисляемых металлов и сплавов на их основе.

Исследование влияния амплитуды, частоты и длительности импульсов, оказывающих основное влияние на скорость анодного растворения и пассивации поверхности в процессе импульсного электрохимического полирования проводилось при частичном погружении в электролит плоских образцов из титана ВТ1-0 с размерами 40x10x1 мм, из магниевого сплава МЛ10 с размерами 50x10x3 мм и цилиндрических образцов из циркониевого сплава Э110 с размерами $\varnothing 10 \times 10$. Площадь погружаемой части образцов составляла – 4 см².

Качество обработки оценивалось по изменению шероховатости поверхности и по изменению коэффициента отражения. Оценка производительности выполнялась по изменению массы образцов в результате обработки. Шероховатость поверхности образцов до и после

обработки измерялась профилометром MarSurf PS1. Массу образцов до и после обработки определяли с помощью аналитических весов Ohaus Pioneer PA214. Выполнение измерений коэффициента отражения на образцах выполнялось на специальном приспособлении, принцип работы которого заключается в сравнении обработанной поверхности с эталоном и получении количественной характеристики поверхности в процентах.

На рис. 1 представлены зависимости изменения шероховатости и коэффициента отражения поверхности образцов от амплитуды анодного импульса для трёх исследуемых материалов. По представленным зависимостям видно, что для титана BT1-0 существенное повышение качества поверхности достигается при плотности тока 1 А/см². Для магниевого сплава МЛ10 повышение плотности тока от 0,25 до 0,75 А/см² приводит к уменьшению изменения шероховатости поверхности более чем в два раза, однако при плотности тока 0,5 А/см² отмечается заметное повышение коэффициента отражения поверхности. Для циркониевого сплава Э110 при повышении плотности тока с 0,25 до 0,75 А/см² заметна положительная тенденция к повышению коэффициента отражения поверхности. При этом максимальное снижение шероховатости обеспечивается при значениях плотности тока от 0,5 до 0,75 А/см².



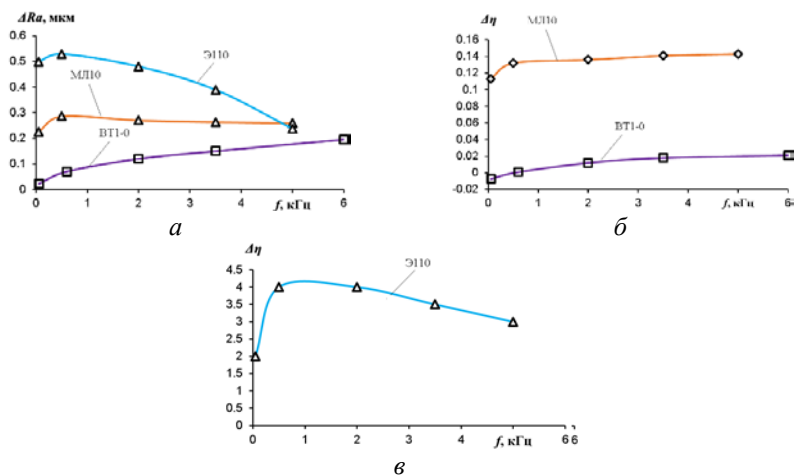
а – изменение шероховатости Ra для BT1-0 и МЛ10, б – изменение коэффициента отражения для BT1-0 и МЛ10, в – изменение коэффициента отражения для Э110

Рисунок 1 - Зависимости изменения шероховатости и коэффициента отражения от амплитуды анодного импульса (плотности тока)

С учетом полученных результатов для последующих этапов исследования приняты следующие значения плотности анодного тока:

- для титана ВТ1-0 – 0,75 А/см²;
- для сплавов МЛ10 и Э110 – 0,5 А/см².

На рис. 2 изображены зависимости изменения шероховатости и коэффициента отражения поверхности образцов от частоты следования импульсов тока для трёх исследуемых материалов. Из зависимостей видно, что увеличение частоты следования импульсов для титана ВТ1-0 приводит к повышению как изменения шероховатости, так и коэффициента отражения поверхности. Для магниевого сплава МЛ10 существенное повышение изменения шероховатости поверхности отмечается только при увеличении частоты следования импульсов в диапазоне от 0,05 до 0,5 кГц. При этом также улучшается коэффициент отражения поверхности. Для сплава Э110 также отмечается повышение качества поверхности при увеличении частоты следования импульсов до 0,5 кГц, однако при дальнейшем увеличении частоты изменение шероховатости поверхности уменьшается почти на 50%, а коэффициент отражения поверхности более чем на 70%.



а – изменение шероховатости для ВТ1-0 и МЛ10, б – изменение коэффициента отражения для ВТ1-0 и МЛ10, в – изменение коэффициента отражения для Э110

Рисунок 2 - Зависимости изменения шероховатости и коэффициента отражения от частоты следования импульсов

Таким образом по результатам исследований получены рекомендуемые амплитудно-временные характеристики для импульсного электрохимического полирования исследуемых материалов. Для образцов из титана ВТ1-0 высокое качество поверхности достигается при плотности тока 1 А/см^2 , частоте следования импульсов 6 кГц и длительности катодного и анодного импульсов 60 мкс . При этом шероховатость и коэффициент отражения поверхности после $1,5 \text{ мин}$ обработки достигает значений – $0,46 \text{ мкм}$ и $0,16$ соответственно при исходных значениях шероховатости и коэффициента отражения – $0,621 \text{ мкм}$ и $0,01$.

Электрохимическое полирование образцов из сплава магния МЛ10 целесообразно выполнять при плотности тока $0,5 \text{ А/см}^2$, высоких частотах следования импульсов (5 кГц и более) и низких длительностях импульсов (30 мкс и менее). Установленные амплитудно-временные параметры позволяют повысить изменение шероховатости и одновременно существенно повысить коэффициент отражения поверхности.

По результатам обработки образцов из сплава циркония Э110 обнаружено, что при плотности тока $0,5 \text{ А/см}^2$, изменение шероховатости поверхности принимает максимальные значения. Рекомендуемая частота следования импульсов и длительность импульсов для циркониевых сплавов – $0,5 \text{ кГц}$ и 600 мкс соответственно. При этом обеспечивается наилучшее качество поверхности.

Литература

1. Применение биполярных микросекундных импульсов для электрохимического полирования легкоокисляемых металлов и сплавов / А.Э. Паршутто, А.Ю. Королёв, А.С. Будницкий // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 25-26 апреля 2019 г. / редкол.: М.Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2019. – С. 59–60.

2. Технология электрохимического полирования легкоокисляемых металлов и сплавов на их основе с применением биполярных микросекундных импульсов / А.Э. Паршутто и др. // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы, сварка: сборник докладов 11-го международного симпозиума, Минск, 10-12 апреля 2019 г. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.] редкол.: А. Ф. Ильющенко (гл. ред.) [и др.]. - Минск: Беларуская навука, 2019. – С. 67–69.

Вершеня Е.Г., Батяновская И.А.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В данной статье рассматриваются факторы производственной среды, которые оказывают воздействие на работающего при выполнении сварочных работ и влияют на производительность труда, а также создают повышенные риски травматизма и развития профессиональных заболеваний. Приведены основные профессиональные заболевания. Рассмотрены основные причины травматизма при проведении сварочных работ. Приведены основные ТНПА, устанавливающие требования к организации рабочего места сварщика, к технике безопасности и пожарной безопасности при выполнении сварочных работ, а также санитарно – гигиенические требования.

Текст доклада:

Сварочные работы производятся практически во всех отраслях экономики: строительстве, машиностроении, металлообработке, производстве строительных материалов. Поэтому спрос на высококвалифицированных сварщиков на рынке труда всегда традиционно высок. Профессия сварщика многопрофильная, подразделяется на несколько специализаций (газосварщик, электросварщик, электрогазосварщик) и предусматривает использование различных видов сварки и резки (ручная дуговая, полуавтоматическая, газовая и т.д.). Специфика проведения сварочных работ предъявляет особые требования к безопасной организации рабочих мест, обслуживанию сварочного оборудования, а также к методам организации безопасного производства работ. При этом некоторые сварочные работы, такие, как: в колодцах, шурфах, замкнутых и труднодоступных пространствах; на высоте с применением предохранительного пояса относятся к работам с повышенной опасностью, на производство которых требуется оформление наряда – допуска. К безопасности проведения таких работ устанавливаются дополнительные требования.

В процессе работы на сварщика оказывают воздействие многообразные факторы производственной среды:

- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны в результате образования сварочного аэрозоля, содержащего твердые и газообразные вредные вещества: оксиды марганца, железа, кремния, хрома,

никеля, титана, алюминия, фтористый водород, оксид углерода, диоксид азота и др.;

- тепловое (инфракрасное) излучение от расплавленного металла сварочной ванны и электрической дуги;
- ультрафиолетовое излучение;
- превышающий нормы уровень шума как от самих процессов сварки и резки, так и от работы оборудования;
- искры, брызги расплавленного металла и шлака;
- электромагнитное поле промышленной частоты;
- подвижные части оборудования;
- длительное нахождение в вынужденной позе;
- физические и нервно – психические нагрузки.

В виду отрицательного воздействия вредных факторов на человека, со временем у сварщиков развиваются профессиональные заболевания. Максимально – допустимый стаж работы для сварщиков составляет 10-13 лет. За это время в организме накапливаются вредные вещества, которые и приводят к серьезным заболеваниям.

К наиболее частым профессиональным заболеваниям сварщиков относятся:

- заболевания дыхательной системы (пневмокониоз сварки, пылевой бронхит, бронхиальная астма) появляются из-за длительного вдыхания сварочной пыли, аэрозоля;
- повреждение глаз (электроофтальмия, помутнение хрусталика, ухудшение зрения, конъюнктивит) возникает из-за высокой яркости электрической дуги, инфракрасного и ультрафиолетового излучений;
- заболевания мышц, связок, сухожилий (тендинит, синдром запястного канала) из-за систематического напряжения мышц плечевого пояса, работы в неудобной позе;
- ожоги открытых участков кожи из-за искр и брызг расплавленного металла и шлака, излучения электрической дуги.

С учетом вредности и опасности профессия сварщика (все специализации) внесена в списки профессий, которым государство гарантирует за работу во вредных и (или) опасных условиях труда различные компенсации и льготы: обеспечение лечебно – профилактическим питанием, оплата труда в повышенном размере и т.д. Кроме того, данная профессия относится к числу общих массовых профессий рабочих включенных в «Список производств, работ, профессий, должностей и показателей на подземных работах, на работах с особо вредными и особо тяжелыми условиями труда, занятость в которых дает право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда (список № 1) и «Список производств, работ, профессий,

должностей и показателей на работах с вредными и тяжелыми условиями труда, занятость в которых дает право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда (список № 2)» Присутствие в этих списках позволяет сварщикам уходить на пенсию раньше на 10 и 5 лет соответственно.

Основными причинами травматизма при сварке являются:

- ожоги от воздействия лучей сварочной дуги, брызг расплавленного металла и шлака;
- поражение электрическим током при соприкосновении с токоведущими частями электрической дуги, находящейся под напряжением;
- взрывы смесей различных газов с воздухом и кислородом;
- взрывы, вызванные разрушением баллонов под давлением, из-за их нагрева, падений;
- отравления вредными газами, выделяющимися при электросварке, и продуктами сгорания горючих газов при газосварке и резке;
- пожары из-за воспламенения огнеопасных материалов и веществ, на которые попадают брызги металла и шлака в случае выполнения сварочных работ в опасной близости от них;

Также факторами травматизма непосредственно не связанными со сварочными процессами могут быть: работа на высоте; падение крупногабаритных тяжелых металлоконструкций; несоблюдение требований безопасности самим работником и т. д.

На основании вышеизложенного можем сделать вывод, что безопасность выполнения сварочных работ во многом определяется следующими моментами: правильной организацией рабочего места, сварочного поста; знания рабочими устройства и принципа работы сварочного оборудования; умением подготовить их к работе.

На данный момент в Республике Беларусь действуют ряд ТНПА, которые устанавливают как санитарно – гигиенические, так и требования техники безопасности и пожарной безопасности при выполнении сварочных работ:

- ТКП 45-1.03-236-2011 Строительно-монтажные работы. Сварочные работы. Правила производства;
- ТКП 45-1.03-40-2006 Безопасность труда в строительстве. Общие требования;
- ТКП 563-2014 Требования безопасности при выполнении сварочных работ;
- ППБ Беларуси 01-2014 Правила пожарной безопасности Республики Беларусь;

- Санитарные нормы и правила «Санитарно-эпидемиологические требования для организаций, осуществляющих механическую обработку металлов», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 21 ноября 2012 № 182.

Таким образом, обеспечение безопасности на рабочем месте сварщика зависит не только от работодателя и ответственного должностного лица, но и в том числе от самого работника. Однако в сферу обязанностей работодателя входит также обеспечение здоровых условий труда на рабочем месте, что требует особого внимания к разработке и применению необходимых мер для защиты сварщиков от воздействия вредных производственных факторов.

Литература

1. Безопасность труда в строительстве. Общие требования: ТКП 45-1.03-40-2006 (02250). – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2007. – 58 с.
2. Правила пожарной безопасности Республики Беларусь: ППБ Беларуси 01 – 2014. - Минск: Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, 2014. – 230 с.
3. Требования безопасности при выполнении сварочных работ: ТКП 563-2014. – Минск: Министерство промышленности Республики Беларусь, 2014 – 16 с.
4. Санитарные нормы и правила «Санитарно-эпидемиологические требования для организаций, осуществляющих механическую обработку металлов», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 21 ноября 2012 № 182.

Безопасность персонала распределительных устройств и трансформаторных подстанций

Журавков Н.М., Вершеня Е.Г.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В данной статье рассматриваются особенности распределительных устройств и трансформаторных подстанций и влияние электромагнитных полей на обслуживающий персонал.

Текст доклада:

Электрическая энергия является самой доступной и удобной для преобразования ее в другие виды энергии и передачи на огромные расстояния без значительных потерь. Особое значение приобретают автоматические меры защиты, предотвращающие аварийные режимы работы электроустановок либо обеспечивают безопасность персонала при возникновении аварий.

Основным источником электроснабжения промышленных предприятий являются районные электроэнергетические системы. Расстояние между источниками энергии и потребителями, как правило, измеряется многими километрами, и передача электрической мощности на этом напряжении становится практически невозможной в связи со значительными потерями в передающих и распределительных сетях. Поэтому на электростанциях устанавливаются трансформаторы для повышения генераторного напряжения до значения 110 кВ и выше. Связь между электростанциями системы осуществляет ВЛ напряжением 220 кВ.

Распределительным устройством называется электроустановка, служащая для приема и распределения электроэнергии и содержащая коммутационные аппараты сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы.

Открытыми РУ (ОРУ) называется РУ, все или основное которое расположено на открытом воздухе.

Закрытым РУ (ЗРУ) называется РУ, оборудование которого расположено в здании.

Подстанцией называется электроустановка служащая для преобразования и распределения электроэнергии и состоящая из трансформатора или других преобразователей энергии, распределительных устройств, устройств управления и вспомогательных сооружений.

В настоящее время в цехах промышленных предприятий наибольшее распространение имеют комплексные трансформаторные подстанции КТП 6 ÷ 10/0,4 – 0,69 кВ.

КТП изготавливаются для внутренней (КТП) и наружной установки (КП ПН) и выполняются с трансформаторами мощностью 4 ÷ 40МВА напряжением 35 ÷ 220/6 ÷ 0,69 кВ, применяются трансформаторы мощностью 160 ÷ 2500 кВА.

Во время работы трансформатора в его обмотках и стальных сердечниках выделяется тепло. По способу охлаждения трансформаторы делятся на сухие и масляные. Сухими называют трансформаторы, охлаждение которых происходит не за счет масла, а за счет атмосферного воздуха. Это упрощает их конструкцию за счет отсутствия радиаторов охлаждения, расширительных масляных баков, а также необходимости диагностики состояния масла.

При соприкосновении с воздухом, масло интенсивно его поглощает и кислород поглощенного воздуха в масле частично вступает с ним в химическую реакцию окисления. При понижении температуры масло выделяет часть поглощенного воздуха и если в масляных аппаратах, то масло подвергается термическому распаду (креинг) на газообразные составляющие. Из него выделяются метан, водород, этилен, ацетилен и другие газы, образующие с воздухом взрывоопасные смеси, которые могут взорваться под действием электрических дуг или искр.

Перегрев и воспламенение изоляции трансформаторов возникают при различных аварийных явлениях, к которым относятся следующие:

- межвитковые короткие замыкания по причине заводского брака в изоляции катушек, длительных перегрузок трансформаторов, замыкания отводов проводов и др.;

- большие переходные сопротивления в местах неплотных соединений в трансформаторе;

- пожар стали магнитовода – явление чрезмерного нагрева вихревыми потоками какой-либо части магнитопровода из-за нарушения изоляции между магнитопроводом и стягивающими шпильками.

Меры по предупреждению пожарной опасности от трансформаторов делятся на две группы.

К первой относятся предохранительные устройства и приборы электрической защиты от перегрузок и коротких замыканий.

Во вторую группу входят: рациональное размещение трансформаторов. Соответствующее оборудование трансформаторных помещений, выбор оптимальных средств тушения пожаров.

Предохранительные устройства пожарной профилактики следующее:

- газовые реле;
- выхлопная труба;
- предохранительный клапан;
- приборы теплового контроля;
- приборы электрической защиты.

ЗРУ напряжение до и выше 1 кВ размещаются в отдельных помещениях. В одном общем помещении с РУ напряжением до и выше 1 кВ устанавливается один трансформатор мощностью до 630 кВА или двух масляных мощностью каждый 400 кВА, отдельных один от другого и от остального помещения перегородкой с пределом огнестойкости E160. Вентиляция помещений трансформаторов обеспечивает отвод выделяемого тепла, чтобы нагрев не превышал допустимых значений. Перекрытие кабельных каналов и двойных полов выполняют в виде съемных плит из негорюемых материалов.

Распределительные устройства, трансформаторные подстанции (ТП) и линии электропередач (ЛЭП) являются источниками электрических и магнитных полей, представляющие очень сильные факторы влияния на состояние всех биологических объектов, попадающих в зону их воздействия (человека, растений, животных).

Оценка опасности воздействия электромагнитного поля на человека производится по величине электромагнитной энергии, поглощенной телом человека. Воздействие на организм человека зависит от напряженности поля и длительности пребывания в зоне его влияния (пространство, в котором напряженность электрического поля $E \geq 5000$ в/м). Граница зон влияния располагается на расстоянии от ближайших токоведущих частей (по воздуху). При расстоянии ~ 20 м величина напряженности ~ 400 кВ; при 30 м - ~ 750 кВ. Величина напряженности убывает с увеличением расстояния до токоведущих частей. Напряженность электрической составляющей поля в РУ напряжением 500 кВ на высоте роста человека может достигать $E \approx 3000 - 15000$ в/м, а емкостной ток протекающий через тело человека $\sim 0,4 - 0,5$ мА. Прикосновение человека, находящегося в электрическом поле к заземленным конструкциям сопровождается искровым разрядом.

Здоровый человек страдает от относительно длительного пребывания в поле ЛЭП. Кратко в режиме облучения (минуты) способен привести к негативной реакции у гиперчувствительных людей или у больных аллергией (развивается реакция по типу эпилептической). При продолжительном пребывании (месяцы – годы) людей в электромагнитном поле ЛЭП могут развиваться заболевания преимущественно сердечно-сосудистой и нервной систем организма человека. В последние годы в числе отдаленных последствий часто называются онкологические заболевания.

Испытательной лабораторией кафедры «Охрана труда» проводились исследования условий труда в рабочих зонах оперативного и ремонтного персонала Минских и Борисовских электрических сетей (ПС «Колядичи», «Восточная», «Северная» и др.) следующих профессий: «Электромонтер по обслуживанию подстанций», «Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования», «Электрослесарь по ремонту оборудования распределительных устройств», «Электрослесарь (слесарь) дежурный и по ремонту оборудования».

Поскольку пребывание персонала происходит в зонах с различной напряженностью электрического поля (Е) измерения проводились в 10 контрольных точках в каждой из рабочих зон.

Анализ результатов измерений напряженности электрического поля промышленной частоты на рабочих местах персонала (ВЛ 110 – 330 кВ, ПС – 110 - 330 кВ) показал, что из более 100 обследованных зон в 96 зонах величина напряженности превышает 8 кв/м.

В соответствии с нормативными документами допустимые уровни напряженности электрических полей зависят от времени пребывания человека в опасной зоне. Присутствие персонала на рабочем месте в течении 8 часов допускается при напряженности электрического поля (Е) не превышающей 5 кв/м.

По результатам исследований величина Е изменяется в пределах $5,5 \div 25$ кв/м, что требует применения индивидуальных средств защиты и корректировании допустимого времени пребывания персонала в рабочей зоне $T = (E50/E-2)$. Работа в условиях облучения электрическим полем 20 – 25 кв/м может продолжаться не более 10 минут.

Превышение указанного времени может сопровождаться тяжелыми последствиями для электротехнического персонала.

Правила безопасности устанавливают, что работы в зонах с напряженностью 7 кв/м и выше проводят только со средством индивидуальной защиты в течение 1 дня.

В электроустановках напряжением 330 – 750 кВ применяют экранирующие костюмы, сетчатые экраны, навесные экранирующие козырьки и тросы, которые надежно заземляют.

Высота навесов 2 – 2,5 м, ширина – 1,5 м. Проходы и дорожки защищают прутковой сталью и тросами диаметром 5 – 6 мм, натянутыми параллельно на расстоянии 15 – 20 см. В некоторых случаях применяются передвижные экраны. Защитные костюмы изготавливают из металлизированной ткани и соединяют с землей для отвода емкостных токов.

Стационарные козырьки, навесы и перегородки выполняются из металлической сетки с ячейками не менее 50 x 50 мм и соединяются с заземляющим устройством.

Результаты проведенных исследований позволили классифицировать условия труда работников указанных профессий по классам опасности и установить обоснованные доплаты, дополнительные отпуска и другие льготы.

**Совершенствование охраны труда при выполнении
механизированных работ по заготовке кормов**

Молош Т.В.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Аннотация:

Одной из наиболее травмоопасных отраслей сельскохозяйственного производства является растениеводство. Ежегодно в период проведения заготовки кормов имеют место несчастные случаи с тяжелыми последствиями, нарушения требований нормативных правовых актов по охране труда, трудовой и производственной дисциплины. Современные технологии заготовки кормов связаны с применением сложной и энергонасыщенной сельскохозяйственной техники, управлять которую должны квалифицированные и имеющие специальную подготовку работники. Процессы заготовки грубых и сочных кормов обусловлены воздействием на работающих ряда факторов, которые могут быть причиной возникновения опасных ситуаций, приводящих к несчастным случаям на производстве. Изучение причин несчастных случаев при заготовке кормов может служить основой для разработки организационно-технических мероприятий по совершенствованию охраны труда в сельскохозяйственном производстве.

Текст доклада:

В процессе заготовки кормов причиной возникновения опасных ситуаций могут быть движущиеся машины и механизмы, а также не огражденные вращающиеся их части, острые кромки ручных инструментов и оборудования. Имеют место физические и нервно-психические перегрузки обслуживающего персонала от шума и вибрации при работе машин и механизмов. При выполнении технологических процессов возникает вероятность воздействия метеорологических факторов (ветер, осадки, гроза, пыль и др.), необходимо также учитывать токсичность и раздражающие действия химических веществ; возможны наезды и опрокидывание машин, падение с высоты, повреждения от вращающихся и движущихся частей особенно при регулировочных и ремонтных работах.

Одна из наиболее травмоопасных операций при заготовке грубых кормов – скашивание. Ключевой машиной в технологиях заготовки консервированных сочных кормов из трав и силосных культур является кормоуборочный комбайн. При заготовке сенажа из провяленных трав комбайны агрегируются с подборщиком валков.

При нарушении правил безопасности в процессе эксплуатации косилок часто возможны порезы или даже ампутации пальцев, конечностей. Поэтому особое внимание следует уделять техническому состоянию режущей

го аппарата. Машины оснащены устройством для заточки ножей, при работе которого оператор должен быть защищен от контакта с вращающимися частями. Для обеспечения охраны труда при эксплуатации кормоуборочного комбайна следует учитывать требования технических нормативных правовых актов, соблюдать меры безопасности при эксплуатации. В руководстве по эксплуатации и на сельскохозяйственной машине должны быть предупреждающие надписи, привлекающие внимание к местам пореза и защемления на механизме подачи, который невозможно закрыть кожухами по функциональным причинам (например, рабочие органы). Откидывающиеся вверх защитные кожухи должны удерживаться в поднятом положении. Для обеспечения безопасности труда механизаторов следует учитывать расположение опасных мест кормоуборочного комбайна: рабочее место оператора; разгрузочный рукав; поручни; платформа; устройство для заточки ножей; реверсивное устройство; средства доступа; жатка.

Нельзя допускать к эксплуатации косилки и жатки при ненадежном креплении частей измельчающего аппарата или неотбалансированных барабанах (роторах). Перед началом движения нужно убедиться в отсутствии людей впереди агрегата и подать звуковой сигнал. Режущий аппарат необходимо очищать в рукавицах специальными чистиками только после выключения привода и полной остановки рабочих органов. При выполнении этой операции нельзя опираться руками на режущий аппарат; открывать крышку измельчающего барабана до полной его остановки; пускать двигатель или включать привод рабочих органов при открытой крышке. При смене затупившихся или поврежденных ножей следует соблюдать особые меры предосторожности. Замена ножа должна производиться двумя людьми. Вынимать нож из пальцевого бруса и вставлять его на место надо в рукавицах, направляя нож деревянной прокладкой. Запасные ножи хранятся в специальном чехле. Заменять ножи у косилок, работающих от ВОМ, можно только при заглушенном двигателе трактора.

Перед началом работ по заготовке кормов для исключения производственного травматизма при выполнении технологических процессов в сельскохозяйственных организациях необходимо предусмотреть следующие организационные меры: назначить должностных лиц, ответственных за безопасность труда при заготовке кормов; обеспечить безопасность при эксплуатации машин и механизмов, используемых на заготовке кормов из трав и силосных культур, руководствуясь при этом требованиями, изложенными организациями-изготовителями в технических документах; разработать инструкцию по охране труда при проведении работ с использованием кормоуборочной техники; провести внеплановые инструктажи по охране труда с работниками, привлекаемыми к работам по заготовке кормов, в том числе и сторонних организаций; не допускать работников к вы-

полнению работ без проверки знаний по вопросам охраны труда; провести дополнительную учебу с трактористами-машинистами по безопасному выполнению операций по заточке ножей измельчающих аппаратов кормоуборочных комбайнов в строгом соответствии с требованиями заводов-изготовителей; не допускать к работе по эксплуатации кормоуборочных комбайнов трактористов-машинистов, не прошедших специальную подготовку и не имеющих соответствующей на право их управления; не допускать к эксплуатации кормоуборочную технику без прохождения ежегодного государственного технического осмотра; организовать проведение предрейсовых и послерейсовых медицинских осмотров водителей и механизаторов на состояние алкогольного опьянения; обеспечить работников, занятых на заготовке кормов, специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты в соответствии с установленными нормами, а также исправным ручным инструментом и инвентарем; определить безопасные места для отдыха, курения, приема пищи и обеспечить места производства работ аптечками первой медицинской помощи; обеспечить проведение внеочередной проверки знаний и внепланового инструктажа с работниками и должностными лицами организации, нарушающими требования безопасности труда при заготовке кормов.

Для улучшения охраны труда при выполнении технологических процессов по заготовке кормов должностные лица должны их правильно организовать и обеспечить контроль за соблюдением работниками требований безопасности, трудовой и производственной дисциплины.

Литература

1. Сечко, Л.К. Наиболее травмоопасные виды работ: регламентация безопасного проведения в Республике Беларусь и Российской Федерации / Л.К.Сечко // Охрана труда. – 2010, № 2. – С.39 - 47.
2. Сивкин, В.Н. Проблемы сохранения жизни и здоровья работников при эксплуатации, ремонте и сервисном обслуживании сельскохозяйственной техники / В.Н.Сивкин, Н.С.Студенкова // Материалы международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве» (Минск 19-20 октября 2010 г.) в двух томах. – 2010, т.2. – С.277 - 282.

Мордик Е.В., Науменко А.М.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В данной статье рассматриваются различные аспекты обеспечения безопасности персонала объектов атомной энергетики, и в частности, Белорусской АЭС.

Текст доклада:

Учет и контроль источников ионизирующего излучения (ИИИ) осуществляются Департаментом по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь и пользователями источников ионизирующего излучения. В 2019 году под надзором Департамента по ядерной и радиационной безопасности МЧС находились около 1,5 тыс. организаций, эксплуатирующих около 24 тысяч источников ионизирующего излучения (ИИИ). Источники ионизирующего излучения по степени радиационной опасности подразделяются на следующие категории: первая категория – источники наивысшей опасности; вторая категория – источники высокой опасности; третья категория – опасные источники; четвертая категория – потенциально опасные источники; пятая категория – наименее потенциально опасные источники. Порядок и критерии отнесения источников ионизирующего излучения к категориям по степени радиационной опасности устанавливаются Министерством по чрезвычайным ситуациям. В 2019 году в отношении объектов, использующих ИИИ, Госатомнадзор провел 156 плановых и 10 внеплановых проверок, 68 проверок в целях выдачи заключения о соответствии радиационного объекта проектной документации, требованиям эксплуатационной надежности и радиационной безопасности, 33 обследования при вводе в эксплуатацию ИИИ. Количество лицензиатов, имеющих специальные разрешения на право осуществления деятельности в области использования атомной энергии и источников ионизирующего излучения, достигло 693.

В общем комплексе мероприятий по обеспечению безопасности персонала можно выделить основные направления: технические и организационные мероприятия, средства индивидуальной защиты, режим постоянного контроля за обеспечением ядерной и радиационной безопасности. Надзорные мероприятия и их результаты в совокупности с мерами профи-

лактики способствуют надлежащему обеспечению радиационной безопасности на поднадзорных объектах.

Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность персонала, при производстве работ на установках атомной энергетики являются оформление работы дозиметрическим нарядом или распоряжением, допуск к работе, надзор во время работы, перевод на другое рабочее место и оформление перерывов в работе. Дозиметрический наряд выдается в одном экземпляре, в него вписывается должность, фамилия производителя работ по наряду и состав бригады, также наименование помещения, рабочее место и содержание работ. При работе по дозиметрическому наряду бригада должна состоять не менее чем из двух человек. Членам бригады индивидуально выдаются оперативные дозиметры. Персонал, пользующийся дозиметрами должен обеспечивать их сохранность и работоспособность путем бережного ношения и надежного крепления к одежде, оберегать от механических повреждений, воздействий влаги и ударов. Запрещается вскрывать индивидуальные дозиметры, передавать другим лицам, пользоваться чужими дозиметрами, производить «искусственное» облучение дозиметров. Согласно Закону Республики Беларусь от 18 июня 2019 года № 198-З «О радиационной безопасности» при профессиональном облучении предел средней годовой эффективной дозы облучения равен 0,02 зиверта (20 миллизиверт), допустимо облучение в размере годовой эффективной дозы облучения до 0,05 зиверта (50 миллизиверт) при условии, что средняя годовая эффективная доза облучения, исчисленная за пять последовательных лет, включая год, в котором предел средней годовой эффективной дозы облучения был превышен, не превысит 0,02 зиверта (20 миллизиверт). Сразу по окончании работ по дозиметрическому наряду или распоряжению приборы должны быть сданы.

При работе на радиоактивном оборудовании, выведенном в ремонт, должны быть выполнены следующие технические мероприятия: произведены необходимые отключения (технологические и электрические) и приняты меры против ошибочной или самопроизвольной подачи сред с радиоактивными веществами на место производства работ, при необходимости проведена дезактивация помещения, ремонтируемого оборудования, организованы ремонтные зоны, предприняты меры к локализации и удалению отходов.

Средства индивидуальной защиты персонала (СИЗ) включают в себя основную спецодежду (халаты, шапочки, комбинезоны, костюмы) и дополнительные (фартуки, нарукавники). Защита органов дыхания осуществляется респираторами, пневмомасками, пневмошлемами. Для защи-

ты рук используются резиновые, хлопчатобумажные, пленочные перчатки и рукавицы.

При радиационной аварии пользователь источника ионизирующего излучения обязан: обеспечить выполнение плана мероприятий по защите персонала и населения от радиационной аварии и ее последствий; принять меры по организации оказания медицинской помощи пострадавшим при радиационной аварии; принять меры по локализации очага радиоактивного загрязнения и предотвращению распространения радиоактивных веществ в окружающей среде; провести анализ и подготовить прогноз развития и распространения радиационной аварии, а также изменений радиационной обстановки; принять меры по нормализации радиационной обстановки; информировать о радиационной аварии Министерство по чрезвычайным ситуациям, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, органы и учреждения, осуществляющие государственный санитарный надзор, а также местные исполнительные и распорядительные органы; выполнить иные требования, предусмотренные актами законодательства в области обеспечения радиационной безопасности. Обстоятельства и причины, вызвавшие радиационные аварии, инцидент, подлежат обязательному расследованию в порядке, установленном Министерством по чрезвычайным ситуациям.

В настоящее время производится реализация комплекса мероприятий по лицензированию эксплуатации блоков № 1 и № 2 Белорусской АЭС, экспертиза безопасности.

Для защиты персонала АЭС от ионизирующего излучения предусмотрены различные средства биологической защиты. Основные из них:

- создание массивных бетонных конструкций вокруг радиоактивного оборудования;
- использование защитных экранов при ремонтах и обслуживании высоко-радиоактивного оборудования;
- дезактивация технологических систем, помещений и отдельных видов оборудования;
- герметизация помещений, в воздухе которых возможно появление радиоактивных газов и аэрозолей выше установленных допустимых среднегодовых активностей (ДОВА);
- специальные технологические вентиляционные устройства и местные отсосы при ремонте оборудования, загрязненного радиоактивными веществами;
- временные и постоянные хранилища твердых радиоактивных отходов и предусмотренные маршруты их транспортировки к месту погрузки, хранения и утилизации (прессование, сжигание и др.);

- хранилище демонтированного радиоактивного оборудования и отдельных деталей.

АЭС должна быть укомплектована по установленным нормам необходимым количеством средств индивидуальной защиты (СИЗ) для персонала, работающего в зоне контролируемого доступа.

На дверях всех производственных помещений атомной станции наносятся информационные таблицы, а на дверях необслуживаемых помещений дополнительно знак радиационной безопасности.

На дверях помещений, где проводятся работы с использованием гамма-дефектоскопов, должны быть вывешены специальные предупреждающие знаки о проведении гамма-дефектоскопии в помещении.

Двери необслуживаемых и периодически обслуживаемых помещений должны быть закрыты на замки. Ключи должны храниться у оперативного персонала цехов по принадлежности помещения.

Литература

1. Закон Республики Беларусь от 18 июня 2019 года № 198-З «О радиационной безопасности»
2. <https://gosatomnadzor.mchs.gov.by/o-gosatomnadzore>

Факторы производственной среды и профессиональные риски в строительстве

Первачук Ж.В., Батяновская И.А.
Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В данной статье рассмотрены основные производственные факторы, влияющие на работников строительной отрасли. Описаны существующие профессиональные риски рабочих – строителей. Дана характеристика системе оценки профессиональных рисков и эффективного управления ими, также определены ее основные задачи. Особое внимание уделено шуму и вибрации, как одним из основных вредных факторов, оказывающих воздействия на работников стройиндустрии. Приведены основные меры, направленные на эффективную оценку и снижение существующих профессиональных рисков в строительстве.

Текст доклада:

Несмотря на постоянно растущую механизацию и использование прогрессивных технологий, профессиональные риски, которым подвергаются работники строительной отрасли, являются одними из самых значительных по сравнению с другими отраслями экономики. Из-за многообразия видов работ на строительной площадке, условия труда, а с ними и профессиональные риски, постоянно меняются.

Проблемы, связанные с профессиональными рисками в строительстве, были описаны еще в 1988 г. в Конвенции Международной организации труда (МОТ) «О безопасности и гигиене труда в строительстве» и Рекомендациях МОТ № 175.

Развитие Международной практики, в том числе и в Республике Беларусь, в области охраны труда в строительстве идет по пути предупредительных мер, которые включают оценку профессиональных рисков и создание эффективной системы управления ими. Оценка рисков заложена в основу системы обязательного страхования от несчастных случаев и профессиональных заболеваний. Система оценки профессиональных рисков призвана решать следующие задачи:

- получение данных о фактических уровнях риска для здоровья работника конкретной профессии в реальных условиях труда;
- коррекция гигиенических нормативов с учетом современного развития методов диагностики;

- разработка систем и средств коллективной и индивидуальной защиты и оценка их эффективности;
- принятие обоснованных технологических решений для снижения риска;

Порядок идентификации опасностей и оценки рисков должен включать:

- определение источника опасностей на строительном объекте для различных видов производственной деятельности и профессий;
- идентификацию опасностей;
- количественную оценку рисков;
- определение допустимых рисков;
- разработку мероприятий по управлению рисками.

Профессиональные риски травмирования в строительстве связаны с выполнением работ на высоте, использованием электроинструментов, движущихся машин и механизмов. В Республике Беларусь, как и в большинстве Европейских стран, профессиональные болезни строителей чаще всего связаны с воздействием повышенных уровней шума, вибрации и пылевых аэрозолей, особенно при их совместном действии на работника. По последним данным Министерства труда и социальной защиты количество рабочих мест с вредными и (или) опасными условиями труда по отношению к общему числу рабочих мест в организациях республики составляет около 26%. При этом в строительных организациях количество таких рабочих мест составляет порядка 10%. В 2019 году в республике зафиксировано 56 случаев впервые установленных хронических профессиональных заболеваний. В каждой строительной организации наниматель обязан создавать для работающих условия, которые обеспечивают сохранение их жизни, здоровья и работоспособности, однако из-за специфики производимых работ и используемого оборудования 45% рабочих мест в строительной отрасли не соответствуют нормам по шуму, около 25% - по вибрации. Прежде всего это связано с необходимостью использования дорожно- строительной техники (бульдозеров, скреперов, экскаваторов и т.п.), выполнения электрогазосварочных и газорезательных работ при армировании, работ по бетонированию конструкций. При работе ручных вибро-, электро- и пневмоинструментов чаще всего и генерируются шум и вибрация, превышающие гигиенические нормативы. В основном это отбойные молотки, перфораторы, электрические и пневматические трамбовки, навесные, глубинные и поверхностные вибраторы.

Среди многочисленных проявлений неблагоприятного воздействия шума на организм человека в первую очередь надо выделить снижение разборчивости речи, неприятные ощущения, развитие утомления, снижение производительности труда и, в конечном итоге, появление шумовых

патологий (развитие хронической профессиональной тугоухости). Под влиянием шума изменяются ритм дыхания, частота пульса, уровень кровяного давления и другие вегетативные функции. Большой научный вклад в изучение общебиологического действия шума на человека внесла в свое время известный советский гигиенист, профессор, доктор медицинских наук Е.Ц. Андреева-Галанина. Ею же в 1937г. в Ленинградском медицинском институте была создана первая в СССР лаборатория по изучению воздействия вибрации на организм человека, введено понятие «вибрационная болезнь», а также дано полное описание клиники развития как шумовых заболеваний, так и виброболезни.

Вибрация относится к факторам, обладающим значительной биологической активностью. Наиболее значимой в строительной отрасли является вибрационная болезнь, обусловленная воздействием локальной вибрации при работе с ручным виброинструментом. При этом сосудистые расстройства являются одними из основных симптомов: нарушается периферическое кровообращение, изменяется тонус капилляров, появляются ноющие боли в руках, побеление пальцев, повышенная зябкость кистей.

У строителей к факторам производственной среды, усугубляющим воздействие шума и вибрации, относятся также чрезмерное мышечное напряжение, отсутствие постоянных рабочих мест, неудобная вынужденная поза, значительные статические нагрузки (подъемы, переходы, спуски по вертикальным лестницам и горизонтальным трапам), работа на высоте (что вызывает значительное нервно – эмоциональное напряжение) и неблагоприятные метеорологические условия (работа на открытом воздухе). Кроме того, при выполнении электросварочных и газорезательных работ в воздух рабочей зоны поступают вредные вещества (сварочный аэрозоль, оксид углерода и др.) и пыль.

Поэтому по актуальности в строительном производстве на первое место выходит управление рисками и профилактика в соответствии с рекомендациями Международной организации труда и на основе технических нормативных правовых актов, принятых в Республике Беларусь. С учетом этих рекомендаций во всех строительных организациях нашей республики внедряется методика оценки профессиональных рисков в рамках системы управления охраны труда (СУОТ). Снизить существующие риски можно, только изменив наши представления о серьезности последствий вышеперечисленных факторов труда для строителей.

Литература

1. Плошкин, В.В. Профессиональные риски в строительстве: учебное пособие/ В.В. Плошкин – М.- Берлин: Директ – Медиа, 2016. – 372 с.

**Автоматизированные системы управления и
безопасность на энергетических объектах**

Филянович Л.П.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В данной статье рассмотрены мероприятия, обеспечивающие безопасную эксплуатацию энергетических объектов.

Текст статьи:

Автоматизированные системы управления электрохозяйством (далее – АСУЭ) применяются для решения задач диспетчерского, технологического, технического и организационного управления энергетическим предприятием. Иерархия АСУЭ устанавливается в зависимости от структуры построения электрохозяйства, специфики и вида потребителей, потребителей электроэнергии, а так же технологии производства.

АСУЭ используется как составляющая часть (подсистема) в общей системе управления предприятием. Связь между подсистемами, которые входят в состав АСУП предприятия определяется потребителем. Отдельные подсистемы имеют различное функциональное назначение, а связь между ними определяется системой управления предприятием.

АСУЭ обеспечивается средствами связи с персоналом на диспетчерских пунктах в пределах функций, согласованных с головным предприятием. При этом обеспечивается обмен информацией с диспетчерским пунктом энергоснабжающей организации [1].

Направления работы каждого потребителя электроэнергии планируются с учётом производственной, экономической целесообразности, а также требований обеспечения безопасности.

В набор технических средств АСУЭ входят:

- сбор информации (счетчики, датчики информации, устройства системы контроля и учета и другие);
- передача информации (аппаратура передачи данных, каналы связи и другие устройства);
- обработка и отображение информации, аналоговые и цифровые приборы, регистраторы, устройства печати;
- управление (функциональная клавиатура);
- исполнительные механизмы с устройствами управления;
- электрические сети, входящие в общую систему электроснабжения;
- электрические сети, оснащенные приборами контроля и управления;

- специальные узлы и блоки, обеспечивающие бесперебойное функционирование системы электропитания.

При эксплуатации и ремонте всех видов оборудования, которыми оснащены линии электропередачи выше 1000 В (конденсаторы связи, реакторы высокочастотных заградителей, заземляющие ножи, проходные изоляторы, разрядники элементов настройки и фильтров присоединения и т.д.) может осуществлять электротехнический персонал, имеющий допуск на право работ в установках выше 1000 В.

Техническое обслуживание и проверку датчиков (преобразователей) теплоизмерений, включаемых в цепи вторичных обмоток трансформаторов тока и напряжения, должен производить персонал соответствующих подразделений, занимающихся эксплуатацией устройств релейной защиты и автоматики и других служб энергопредприятия.

Автоматизированные системы управления (АСУ) используются с целью обеспечения диспетчерского, производственного, технического, организационного, экономического управления энергопроизводством, а также вопросов безопасности.

В связи с этим на каждой ТЭС с энергоблоками мощностью 250 МВт и выше, гидроэлектростанции установленной мощностью 1000 МВт и выше, на каждом предприятии электрических сетей вводятся в эксплуатацию автоматизированные системы управления.

В каждом энергообъединении должны функционировать АСУ в составе систем организационно-экономического, производственно-технологического и диспетчерского управления.

Решение вопросов по определению видов функций отдельных элементов АСУ на каждом энергопредприятии определяются на основе производственной и экономической целесообразности, а также решения вопросов обеспечения безопасности. Для это применяются специальные виды прикладных программ, технических средств и средств безопасности.

Службы, обслуживающие АСУ обеспечивают:

- эксплуатацию технических средств в надёжном режиме;
- информационное и программное обеспечение;
- выдачу подразделениям предприятия, согласно графику, той информации, которая предоставлена ЭВМ;
- использование вычислительной техники в соответствии с законодательными актами;
- совершенствование и развитие системы управления с внедрением новых задач модернизированных программ;
- разработку инструкций и методик для работы АСУ;
- организацию взаимодействия всех уровней АСУ и её анализ;

- своевременное оформление отчётной документации.

Персонал, обслуживающий АСУ, занимается технической и эксплуатационной документацией в соответствии с планами энергопредприятия [2].

Для бесперебойного обеспечения электропитания, кондиционирования, систем безопасности и пожаротушения технические средства АСУ оснащаются соответствующими программами.

Если произошло отключение питания, у потребителей обязательно должна срабатывать сигнализация.

Средства автоматического контроля должны включать резервное питание, а их исправность, а также исправность систем сигнализации, должны проверяться по графику, утвержденному на энергопредприятии.

В тех местах, где расположены устройства систем контроля и управления должны соблюдаться определенные микроклиматические условия:

- температура должна быть не более +60°;
- относительная влажность 90%.

В аварийных режимах требования к микроклимату следующие:

- температура не выше +75°;
- относительная влажность 100%.

Микроклимат в помещениях электротехнической аппаратуры в нормальном режиме работы:

- температура +30°;
- влажность 50%.

В аварийных режимах допускается:

- температура не более +80°;
- влажность 100%.

В нормальном режиме эксплуатации в помещениях щитов управления и средств вычислительной техники:

- температура +25°;
- влажность 80%.

В аварийном режиме:

- температура +30°;
- влажность 90%.

В любом случае эксплуатации связь между приборами панели управления блочных щитов аппаратуры защиты с оперативным щитом должна быть в исправном состоянии.

На всех видах аппаратуры, установленной на панелях, пультах управления, на запорной арматуре и т. д. делаются чёткие надписи об их назначении.

Если технологические защиты вводятся в эксплуатацию после монтажа или реконструкции, требуются распоряжения руководства энергопредприятия.

Если необходим вывод из эксплуатации систем защиты, то предусматриваются следующие случаи:

- работа оборудования в переходном режиме;
- отключение защит, определенное инструкцией по эксплуатации с записью в оперативном журнале.

Срабатывание защит, а также все виды отказов оборудования учитываются и анализируются на энергопредприятии.

Запрещено выполнение всех видов ремонтных и наладочных работ в цепях управления на работающем оборудовании АСУ. Выполнение таких работ разрешено при условии их отключения от технологических цепей.

На энергопредприятии все виды изменений технологических алгоритмов по функционированию отдельных элементов АСУ утверждаются руководителем энергопредприятия.

Литература

1. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. ТКП 181-2009.
2. Охрана труда в энергетической отрасли: учебник / А.М. Лазаренков, Л.П. Филянович, В.П. Бубнов. – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – 655 с.

**Обеспечение взрывобезопасности в системе
газопотребления ТЭС и котельных**

Филянович Л.П., Снарский А.А.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В данной статье рассмотрены мероприятия, обеспечивающие безопасную эксплуатацию ТЭС и котельных.

Текст статьи:

С ростом энерговооруженности актуальными становятся задачи модернизации, реконструкции, ремонта и обслуживания энергетического оборудования. При этом серьезными являются вопросы обеспечения технических решений, а также безопасность сложного энергетического оборудования.

В связи с этим на каждом энергетическом предприятии разработаны мероприятия, которые включают:

1. Техническое обслуживание и ремонт газового хозяйства;
2. Содержание систем газопотребления в исправном состоянии с целью обеспечения их безопасности.

При эксплуатации газового хозяйства ТЭС и районных котельных, в соответствии с этими мероприятиями не разрешается прокладка газопроводов:

1. На территории открытых распределительных устройств;
2. На трансформаторных подстанциях, складах топлива;
3. В галереях топливоподачи;
4. В вентиляционных и лифтовых шахтах.

При этом газопроводы внутренних систем не прокладываются ниже нулевой отметки здания. Внутренние газопроводы прокладываются открытым способом, а по всей длине обеспечивается доступ для персонала с целью контроля и осмотра в соответствии с графиком, утвержденным руководителем предприятия.

При использовании ответвлений от газопровода к котлу предусматривается установка запорных устройств с электрическим приводом. Если вводится в эксплуатацию новая котельная установка, то на ответвлении газопровода следует устанавливать два запорных устройства. Одно из которых расположено по ходу газа и выполняется с ручным приводом. А между запорными устройствами предусматривается продувочный газопровод [1].

Запорные устройства управляются вручную персоналом, находящимся на площадке обслуживания, а также дистанционно с использованием блочного или группового щита управления. Если вводятся в эксплуатацию новые котельные установки, то необходимо предусматривать предохранительно-запорные клапана и запорные устройства с электроприводом перед каждой горелкой по ходу газа.

На котельных установках, находящихся в эксплуатации, определяется группа растопочных горелок, с целью обеспечения взрывобезопасной растопки котлоагрегата.

На растопочных горелках котла, а также на горелках, оснащенных системой контроля, должны быть установлены запально-защитные устройства. На остальных горелках устанавливаются запальные устройства. Запальные и запально-защитные устройства управляются персоналом с группового щита управления, блочного щита управления либо по месту. Газопроводы котла обеспечиваются также системой продувочных газопроводов, имеющих запорные устройства, а также штуцерами для отбора проб. При необходимости устанавливается также растопочный продувочный газопровод.

Котельные установки, работающие на газе, оснащаются следующими видами защит, которые действуют:

- 1) На остановку котла с отключением подачи газа на котел;
- 2) На отключение подачи газа на горелку;
- 3) На отключение подачи газа на котел;
- 4) На снижение нагрузки котла до 50 %.

Также котельные оснащаются блокировками и сигнализацией.

При проектировании компоновки горелочных устройств, а также конструкции топочного устройства котла должны учитываться:

- 1) Необходимость обеспечения устойчивого процесса горения;
- 2) Проведение контроля процессов горения;
- 3) Исключение возможности образования опасных зон с плохой вентиляцией.

При этом учитываются следующие обстоятельства: газоходы, используемые для отвода продуктов сгорания и закрытые объемы должны быть обеспечены системой вентиляции; обеспечивается работа блокировок, которые препятствуют пуску или остановке котла; должны выполняться защиты от погасания общего факела и факела для растопочной горелки. Эти виды защит должны работать автоматически. Для других видов защит обеспечивается требование срабатывания либо автоматически, либо с помощью средств ввода-вывода [2].

Если газопроводы котла выводятся из внепланового технического обслуживания или режима консервации, то пуск газа выполняется после выполнения технических мероприятий. В случае погасания горелки подача газа сразу прекращается. Растопка котла и повторный режим розжига выполняется после устранения причин погасания. Если обеспечивается режим устойчивого горения и стабильной работы факела горелки, то котел вводится в эксплуатацию.

Подача газа прекращается технологическим персоналом в следующих случаях:

- 1) Если не произошло срабатывание технологических защит;
- 2) Повреждение газопроводов котла;
- 3) В случае взрыва в топке, в газоходах, каркаса котла;
- 4) Если обрушилась обмуровка;
- 5) Если произошли повреждения, которые угрожают персоналу, оборудованию и др. технологическим защитам.

В аварийном режиме, когда произошла остановка котла, необходимы следующие действия:

- 1) Работа защит и блокировок или ручное прекращение подачи газа в газопроводы и к горелкам котла;
- 2) Открытие устройства безопасности на трубопроводах;
- 3) Отключение защитных устройств горелок.

Если котельная установка выводится в резерв на газопроводах закрываются:

- 1) Электроприводы на запорных устройствах газопровода котла;
- 2) Запорные устройства перед каждой горелкой;
- 3) Запорные устройства на общем газопроводе к котлу;
- 4) Запорные устройства на тех газопроводах, которые расположены перед каждой горелкой.

После выполнения указанных действий открываются запорные устройства на продувочных газопроводах и трубопроводах безопасности. При этом, если операция окончена, не выполняется установка заглушки на запорном устройстве продувочных газопроводах к котлу.

Если котельная установка работает на жидком или твёрдом топливе, то допускается наличие некоторого избыточного давления в газопроводе.

Перед производством работ, связанных с разборкой газовой арматуры, присоединением и ремонтом внутренних газопроводов, работах внутри котла, а также при выводе газопроводов котла в режим консервации первые по ходу газа запорные устройства на ответвлениях газопровода к котлу должны быть закрыты с установкой за ними заглушек. Газопроводы

котла должны быть освобождены от газа и продукты инертным газом или сжатым воздухом.

Внутренний осмотр, чистка и ремонт котлов выполняются только по наряду-допуску. Перед производством работ должна быть выполнена вентиляция топки, газоходов и «теплого ящика» котла в течение 10 мин. При обнаружении наличия газа в верхней части топки и «теплого ящика» приступать к работе не разрешается.

Выполнение работ на газопроводах, включая снятие и установку заглушек, выполняются по наряду-допуску на производство газоопасных работ. Здесь должно быть предусмотрено:

- 1) Выполнение контрольных опрессовок газопровода котла;
- 2) Обеспечение скорости падения давления в течение одного часа не более 60 МПа.

Если котел переводится с твердого или жидкого топлива на газ, то при многоярусной компоновке горелок, в первую очередь, переводятся на газ горелки нижних ярусов. А также выполняется проверка срабатывания систем технологических защит и блокировок.

Литература

1. Постановление министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 2 февраля 2009 г. № 6 «Об утверждении Правил промышленной безопасности в области газоснабжения Республики Беларусь».
2. Охрана труда в энергетической отрасли: учебник / А.М. Лазаренков, Л.П. Филянович, В.П. Бубнов. – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – 655 с.

Безопасность использования наземной сканирующей системы Leica ScanStation

Ушакова И.Н., Автушко Г.Л.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В данной статье рассмотрены мероприятия, обеспечивающие безопасную эксплуатацию сканирующей системы Leica ScanStation при проведении геодезических изысканий.

Текст статьи:

Наземная сканирующая система Leica ScanStation (сканер) широко используются при проведении геодезических изысканий:

- измерение горизонтальных и вертикальных углов;
- измерение расстояний;
- запись результатов измерений;
- вычисления при помощи программного обеспечения;
- поиск и распознавание визирной марки;
- визуализация линии визирования;
- дистанционное управление работой сканера с помощью компьютерных технологий;
- обмен данными с другими приложениями и др.

Данные системы используются как при камеральных работах, так и в полевых условиях.

Основными составляющими этих систем являются: компьютер, лазерная установка, аккумуляторные батареи.

Совместная работа сканирующих систем с мачтами, нивелирными рейками и вешками может увеличить риск поражения молнией и падение с высоты.

Работа сканирующих систем связана с использованием повышенного напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

Эти приборы могут применяться во время движения, например, при разбивочных работах. При этом могут встречаться препятствия, такие как котлованы или движущийся транспорт, которые влекут за собой увеличения риска несчастного случая.

При неправильном обращении с оборудованием возможны следующие опасности:

- возгорание полимерных компонентов прибора, которое может приводить к выделению опасных для здоровья ядовитых газов;
- механические повреждения или сильный нагрев аккумуляторных батарей способен привести к их взрыву, а также вызвать отравления, ожоги работающих;
- при небрежном хранении оборудования существует риск загрязнения окружающей среды;
- неправильная утилизация силиконового масла может вызвать загрязнение окружающей среды.

Особое значение для обеспечения безопасности сканирующей системы имеет правильная эксплуатация аккумуляторных батарей.

Длительное хранение может повредить аккумуляторные батареи и/или сократить срок их службы. Во время длительного хранения периодически необходимо перезаряжать аккумуляторные батареи.

При транспортировке и перевозке или при утилизации аккумуляторных батарей, возможное нежелательное механическое воздействие может привести к возгоранию.

При транспортировке и перевозке или при утилизации аккумуляторных батарей, ответственное лицо должно убедиться, что соблюдаются международные и национальные НПА и ТНПА. Перед транспортировкой или перевозкой оно должно связаться с местной пассажирской или грузовой транспортной службой.

Встроенный в сканер лазер представляет собой опасность. В исследуемой сканирующей системе используется лазер III класса. Действуют опасные и вредные факторы:

- лазерное излучение: прямое, зеркально отраженное, диффузно-отраженное;
- электрическое поле;
- ультрафиолетовое излучение;
- инфракрасное излучение;
- яркость света;
- электромагнитные излучения ВЧ и СВЧ-диапазонов и др.;

К основным факторам, возникающим при работе лазеров, относится прямое, зеркально и диффузно отраженное и рассеянное излучения, степень выраженности их определяется особенностями замеров. К сопутствующим относится комплекс физических и химических факторов, возникающих при работе лазеров. С точки зрения охраны труда смотреть внутрь луча лазера опасно при любых обстоятельствах. Необходимо избегать ситуаций, когда лазерный луч может случайно попасть в глаза других людей. Эти предосторожности также касаются отраженного луча. Смот-

реть непосредственно на отраженный луч может быть опасно для глаз, в случаях, когда луч отражается от поверхностей, которые могут рассматриваться как зеркальные или такие, которые неожиданно меняют направление луча, например, призмы, зеркала, металлические поверхности или окна.

Поэтому необходимо избегать наведения изделия на сильно отражающие поверхности, действующие как зеркала, и способные создать нежелательные отражения луча.

Необходимо периодически проводить контрольные измерения, проверки и юстировки, особенно после возникновения нештатных ситуаций, а также перед выполнением особо важных работ и по их завершении. Из-за риска получить электрический удар очень опасно использовать вешки с отражателем и удлинители этих вех вблизи электросетей и электрических установок, таких как, например, провода высокого напряжения или электрифицированные железные дороги.

Поэтому необходимо держаться на безопасном расстоянии от электрических установок. Если работать в таких условиях все же необходимо, предварительно обратитесь к лицам, ответственным за безопасность электрических установок, и выполнять их указания.

Нельзя пользоваться прибором во время грозы.

Лицо, ответственное за прибор, обязано предупредить всех пользователей о существующих факторах риска.

Недостаточное обеспечение мер безопасности на месте проведения работ может привести к опасным ситуациям, например, в условиях движения транспорта на строительных площадках или вблизи промышленных установок.

Если компьютеры, предназначенные для работы только в помещении, используются в полевых условиях, то есть опасность поражения электрическим током. Поэтому необходимо применять защитное заземление.

Необходимо придерживаться инструкций изготовителей компьютеров в отношении их использования в полевых условиях совместно с оборудованием, произведенным Leica Geosystems.

Для зарядки аккумуляторных батарей необходимо использовать только рекомендованные Leica Geosystems зарядные устройства.

Отсутствие заземления прибора может привести к серьезному несчастному случаю или к смерти.

Во избежание удара током силовые кабели и розетки должны быть заземлены.

Сильные механические воздействия, высокая внешняя температура или погружение в жидкость могут привести к течи, возгоранию или взрыву аккумуляторных батарей.

Необходимо защищать аккумуляторные батареи от воздействия ударов и высоких температур, не ронять и не погружать их в жидкости.

Короткое замыкание между полюсами батарей может привести к их сильному нагреву и вызвать возгорание с риском нанесения травм, например, при их хранении или переноске в карманах одежды, где полюса батарей ScanStation могут закоротиться в результате контакта с украшениями, ключами, металлизированной бумагой и другими металлическими предметами.

Необходимо следить за тем, чтобы полюса аккумуляторных батарей не входили в контакт с металлическими предметами.

Прямое попадание воды или дождя может повредить аккумуляторные батареи и/или сократить срок их службы.

При работе вне помещений необходимо содержать батареи в недоступном для дождя месте.

Соблюдение всех правил безопасности использования ScanStation позволит сократить риск и несчастные случаи.

Актуальные направления фотоники в области управления рисками систем «человек-биосреда (освещение)»

Журавков Н.М., Савкова Е.Н.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В данной статье рассмотрена оптимизация параметров освещения с учетом его визуального и нейроповеденческого восприятий, изложен риск-ориентированный подход к разработке светотехнических сценариев и функционированию систем для испытательных светотехнических лабораторий.

Текст статьи:

В настоящее время стремительно развиваются следующие направления фотоники, предполагающие длительное взаимодействие человека со световыми средами с заданными фотометрическими и колориметрическими параметрами:

1) создание «благоприятных» пространств, характеризующимися согласно ISO 16817:2012 [1] эргономическими показателями «ближнего» и «дальнего» визуального микроклимата для работы и отдыха людей;

2) нормирование светотехнических параметров самосветящихся объектов – видеотерминалов индивидуального (ГОСТ Р 50949-2001 [2]) и коллективного пользования (ГОСТ Р 52870-2007 [3] - видеостен, экранов и т.д.);

3) стандартизация светотехнических параметров неточечных и протяженных несамосветящихся объектов согласно ГОСТ 26824-2010 [4] – покрытий поверхностей (например, зданий) с установленными отражательными свойствами;

4) управление многофакторным комбинированным освещением при реализации световых инсталляций, например, на стадионах.

Оптимизация параметров освещения с учетом его визуального и нейроповеденческого восприятий достигается путем разработки и внедрения светотехнических сценариев – гибких графиков адаптивного освещения с учетом времени суток. Одним из актуальных направлений фотоники, характерное для стран с обширными морскими и океанскими ресурсами, является создание водных световых сред. Так в Энергетическом институте Шаньдуньской академии наук (Цзинань, Китайская Народная Республика) в 2019 г. запущен научный проект «Исследование и разработка подходов к проектированию мощных светодиодных подводных светильников с глубиной погружения 200 метров для использования в рыболовстве и аквакультуре». Проект направлен на создание подводных световых

сред для интенсивного выращивания моллюсков и рыб, поскольку является доказанным факт стимуляции роста аквакультур при их освещении «сине-зеленой» области спектра 420 нм, 466 нм, 525 нм, 575 нм, 610 нм [5], причем установлены различия в стимуляции активности роста аквакультур для различных регионов земного шара. Очевидно, что в данном случае можно говорить о потенциальных нежелательных последствиях взаимодействия элементов системы «освещение – аквасреда – аквакультура – человек»: из-за недостаточных доз экспозиции цель, связанная с эффективным ростом аквакультур, может быть не достигнута, либо же повышенные дозы экспозиции могут привести к негативному ускоренному росту аквакультур с провоцированием онкологических заболеваний у людей. Таким образом, поскольку повышается потенциальная опасность выращиваемой продукции, возрастает и ответственность лабораторий при моделировании и измерительном контроле элементов системы. Далее в работе кратко будет изложен риск-ориентированный подход к разработке светотехнических сценариев и функционированию систем для испытательных светотехнических лабораторий.

Практически все организации сталкиваются с необходимостью оценки риска для снижения количественных событий и достижения поставленных целей. Оценка риска – это процесс, используемый для списания опасных событий, их ранжирования и разработки действий по управлению риском на основе результатов сравнительной оценки рисков.

Выполнение оценки рисков опасных событий включает два этапа: базовую (качественную) скрининговую оценку и дополнительный детальный (например, количественный). Базовая скрининговая оценка направлена на быструю идентификацию риска. Эта оценка обычно включает простые, но надежные процедуры и выполняется персоналом различной квалификации.

Другими важными особенностями метода являются:

- использование анализа сценариев опасных событий, который необходимо применять последовательно на всех этапах процессе оценки риска.

Оценка риска является основным элементом процесса менеджмента риска, включающего в соответствии с ИСО 31000 следующие элементы:

- обмен информацией и консультации;
- установление области применения менеджмента риска;
- оценку риска;
- обработку риска;
- мониторинг и анализ риска.

Для оценки методов управления риском необходимо определить:

- методы применяемые для слияния конкретного риска;
- эффективность этих методов в достижении приемлемого уровня рисков и можно ли это продемонстрировать;

- анализ и оценка вероятности работы методов;
- использование экспертных оценок.

Риски, возникающие в измерениях, всегда связаны с неопределенностью. Согласно ГОСТ Р ИСО 11231-2013 [6] риск - количественная или качественная мера значимости возможного ущерба и вероятности появления этого ущерба. В литературе встречаются статистический, вероятностный, экспертный, вероятностно-статистический; остаточный частный и глобальный; производителя и потребителя и другие виды риска. В данной статье внимание сконцентрировано на рисках, возникающих при измерительном контроле – в терминах СТБ ISO/IEC Guide 98-4 [7]: частных и глобальных, связанных с «ложной браковкой» (риск производителя, неадекватная ошибка или ложноотрицательное решение) и «ложной приемкой» (риск потребителя, пропущенная ошибка или ложноположительное решение). Частный риск производителя – вероятность того, что конкретный забракованный объект окажется соответствующим. Согласно данному документу частный риск потребителя – вероятность того, что конкретный принятый объект окажется несоответствующим. Глобальный риск производителя – вероятность того, что на основании полученного в будущем результата измерения соответствующий объект будет забракован. Глобальный риск потребителя – вероятность того, что на основании полученного в будущем результата измерения несоответствующий объект будет принят как годный. В предельном случае к понятию глобального риска можно отнести термин, приведенный в [6]: приемлемый риск - риск для человечества, который может быть на разумной основе принят при отсутствии долгосрочных и необратимых негативных последствий для здоровья людей, окружающей среды и планеты Земля в настоящее время и в будущем. Основное правило для вычисления вероятности того, что объект соответствует заданному требованию, устанавливается в [7]: «если обозначить набор допустимых (соответствующих требованию) значений Y через C , вероятность соответствия, обозначаемая через p_c , будет такова» [7]:

$$p_c = \Pr(Y \in C | \eta_m) = \int_C g(\eta | \eta_m) d\eta, \quad (1)$$

где \Pr – вероятность;

η_m - возможные значения выходной величины Y ;

g - плотность распределения (вероятностей);

η - заданное истинное значение выходной величины Y .

«Если задано двустороннее поле допуска для измеряемой величины Y с нижней границей T_L и верхней границей T_U , то $C = [T_L, T_U]$ и вероятность соответствия будет равна» [5]:

$$p_c = \int_{T_L}^{T_U} g(\eta|\eta_m) d\eta \quad (2)$$

Так как объект либо соответствует требованию, либо нет, вероятность того, что он не соответствует, составляет [5]:

$$\overline{p_c} = 1 - p_c \quad (3)$$

Глобальный риск производителя вычисляется по формуле [5]:

$$R_p = \int_C \int_{\bar{L}} g_0(\eta) h(\eta_m|\eta) d\eta_m d\eta \quad (4)$$

Глобальный риск потребителя определяется из выражения:

$$R_p = \int_{\bar{C}} \int_{\bar{L}} g_0(\eta) h(\eta_m|\eta) d\eta_m d\eta, \quad (5)$$

где g_0 - плотность распределения (вероятностей) измеряемой величины Y , известная перед выполнением измерения;

h - условная плотность распределения вероятностей для наблюдаемой случайной величины Y_m [5].

Формализация сценариев принятия решений в измерительном контроле для минимизации частных рисков согласно [7] предполагает три подхода к разработке правил принятия решений, основанные на управлении приемочными границами и интервалами охвата: 1) простая браковка/приемка (совместный риск); 2) защищенная приемка/браковка; 3) точностный метод.

Литература

1. ISO 16817:2012 Проектирование среды зданий. Внутренняя среда зданий. Процесс проектирования визуальной среды.
2. ГОСТ Р 50949-2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности.
3. ГОСТ Р 52870-2007 Средства отображения информации коллективного пользования. Требования к визуальному отображению информации и способы измерения. – Москва: Стандартинформ. – 24 с. С. 12.
4. ГОСТ 26824-2010 Здания и сооружения. Методы измерения яркости.
5. Materials of the International Conference «SCIENTIFIC RESEARCH OF THE SCO COUNTRIES: SYNERGY AND INTEGRATION». Part 1: Participants' reports in English (China 2019, May 31, 2019. Beijing, PRC).
6. ГОСТ Р ИСО 11231-2013 Менеджмент риска. Вероятностная оценка риска на примере космических систем.
7. ISO/IEC GUIDE 98-4:2012(E) Uncertainty of measurement - Part 4: Role of measurement uncertainty in conformity assessment.

Воздействие виброакустических факторов производственной среды на водителей городского общественного транспорта

Шрубенко Т.П., Кот Т.П.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В данной статье проанализированы наиболее типичные профессиональные заболевания водителей городского общественного транспорта, а также проведена оценка воздействия на их возникновение и развитие таких виброакустических факторов рабочей среды как шум, инфразвук и вибрация.

Текст доклада:

Работа водителей городского общественного транспорта характеризуется высоким риском развития профессиональных заболеваний, которые напрямую связаны с неблагоприятными условиями труда и напряженным характером работы.

Многочисленные исследования, проведенные в различных странах мира, показывают, что более 60% водителей общественного транспорта со стажем более 20 лет имеют хронические заболевания. На рис. 1 приведена диаграмма частоты хронических заболеваний систем и органов (в %) у водителей.

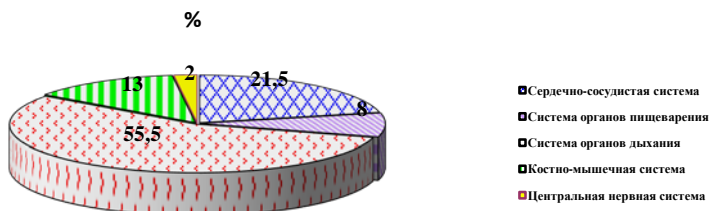


Рисунок 1 – Распределение частоты хронических заболеваний систем и органов у водителей

Среди заболеваний системы органов дыхания наиболее типичен хронический обструктивный бронхит; сердечно-сосудистой системы – ишемическая болезнь сердца, гипертония, ревмокардит, кардиомиопатия, аритмия, атеросклероз, кардиосклероз, инфаркт миокарда, инсульт, тромбоэмболия легочной артерии; костно-мышечной системы – пояснично-крестцовая

радикулопатия, остеохондроз; центральной нервной системы – вибрационная болезнь [1].

Факторов, вызывающих заболевания, множество. Не последнее место среди них занимает негативное воздействие шума, инфразвука и вибрации. Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает воздействие на весь организм.

В соответствии с действующими в Республике Беларусь нормами уровень шума в кабинах и пассажирских помещениях трамваев не должен превышать 75 дБА, на рабочих местах и в салонах автобусов и троллейбусов – 70 дБА. Однако на практике зачастую нормы не выдерживаются. Обусловлено это несовершенством конструкции транспортных средств, их износом, ненадлежащим техническим обслуживанием и рядом других факторов.

Источниками шума в трамваях являются работающие электродвигатели, системы управления (звук от релейных контактов), звук, создаваемый при движении колес по рельсам. Шум в троллейбусах обусловлен работой системы турбонаддува охлаждения двигателя, компрессора тормозной системы, гидроусилителя руля, редуктора основной пары. В автобусах основные источники шума – двигатель внутреннего сгорания (ДВС), система охлаждения, система выпуска отработавших газов, ходовая часть. При работе ДВС создается аэродинамический шум выхлопа и всасывания, а также механический шум.

Сравнивая работу двигателей различных транспортных средств, следует отметить, что наименьший уровень шума характерен для электродвигателей, наибольший создают дизельные ДВС.

Воздействие шума приводит к снижению работоспособности и изменениям в состоянии здоровья водителей. Происходит снижение слуховой чувствительности, наблюдаются изменения в центральной и вегетативной нервных системах, эндокринной, сердечно-сосудистой системах. При воздействии шума в диапазоне уровней 80-90 дБА развиваются тормозные процессы в коре головного мозга, увеличивается время зрительно-двигательных реакций, снижаются функции опознавания, памяти [2].

Существенное влияние на здоровье водителей оказывает и инфразвук. Негативное действие инфразвука заключается в угнетающем действии на дыхательную, эндокринную системы. И, в первую очередь, на центральную нервную систему: наблюдается утомление, слабость, головокружение, головная боль, снижение работоспособности, появляется раздражение и ухудшение сна. На низких частотах (менее 10 Гц) инфразвук может вызывать резонанс в таких жизненно важных органах как сердце, легкие, печень.

Результаты исследований показывают, что нередко уровень инфразвука на рабочих местах водителей автобусов на частотах 2–16 Гц достигает значений 107–113 дБ, при допустимом 105 дБ [3].

На рисунке 1 представлены результаты измерения уровня звукового давления (дБ) на рабочих местах водителей автобусов на частоте 4 Гц при различных скоростных режимах.

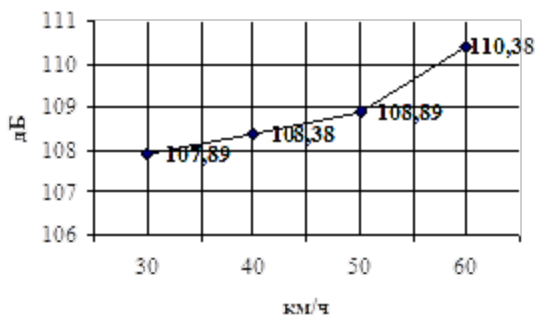


Рисунок 1 – Изменение уровня звукового давления в зависимости от скорости передвижения

Воздействие инфразвука увеличивается при увеличении скорости движения транспортных средств.

Немаловажным фактором, воздействующим на условия труда водителей городского общественного транспорта, является вибрация. Вибрацию в кабинах транспортных средств следует рассматривать как транспортно-технологическую. Водители одновременно подвергается воздействию общей и локальной вибрации. Возникновение вибрации определяется многими факторами: качество дорожного покрытия, конструктивные особенности ходовой части транспортного средства, работа двигателя и системы охлаждения, длительный срок эксплуатации и др.

Наибольшую опасность для здоровья водителей представляют вибрации в диапазоне частот 1-5 Гц, поскольку могут привести к различным отклонениям, в первую очередь, со стороны опорно-двигательной системы. В ходе медицинских обследований у водителей городского общественного транспорта наиболее часто диагностируется люмбагия, цервикалгия, поражение спинномозговых корешков пояснично-крестцового отдела, вегетативно-сенсорная полиневропатия верхних конечностей, периферический ангиодистонический синдром, остеохондроз. Воздействие виб-

рации проявляется также в виде расстройства зрительных восприятий, вестибулярного расстройства, вибрационной болезни, астеновегетативного синдрома, сопровождающего гипотонией, брадикардией.

Литература

1. Профессиональные заболевания водителей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.trudohrana.ru/article/103779-19-m2-professionalnye-zabolevaniya-voditeley>.
2. М. Yasints. [Improving technical services for enterprises](#). . [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://science-education.ru/en/article/view?id=15230>.
3. [Требования к условиям труда водителей](#). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.espot.by/izdaniya/espot/trebovaniya-k-usloviyam-truda-voditelei>.

Особенности условий труда операторов мобильных колесных машин при проведении работ на уборке зерновых

Кот Т.П.¹, Абметко О.В.²

¹ Белорусский национальный технический университет,

² Белорусский государственный аграрный технический университет

Аннотация:

В данной статье представлена динамика производственного травматизма в агропромышленном комплексе Республики Беларусь, в том числе при проведении уборочных работ в растениеводческой отрасли. Проведен анализ основных причин несчастных случаев и условий труда операторов мобильных колесных машин.

Текст доклада:

Сельское хозяйство является одной из наиболее травмоопасных отраслей экономики. Несмотря на все предпринимаемые меры, травматизм в АПК Республики Беларусь остается стабильно высоким (табл. 1).

Таблица 1 – Динамика травматизма в агропромышленном комплексе Республики Беларусь за период 2014-2018 гг.

Количество несчастных случаев на производстве	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Всего:	143	148	161	155	173
из них со смертельным исходом	35	31	22	29	26

В 2019 году общий уровень травматизма в республике увеличился на 13,36% [1], не стала исключением и сельскохозяйственная отрасль.

Наиболее неблагоприятные условия труда характерны для растениеводства, именно поэтому уровень производственного травматизма здесь достаточно высокий. Значительная часть несчастных случаев происходит при проведении уборочных работ. Ежегодно регистрируются несчастные случаи с тяжелым и смертельным исходом (рис.1).

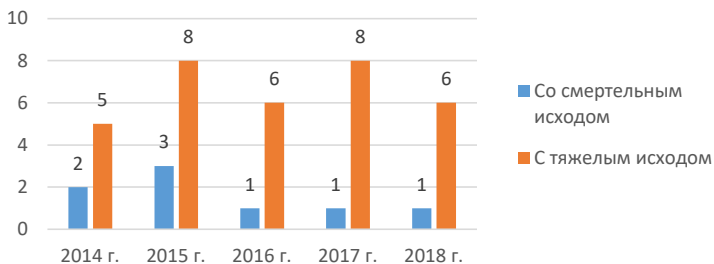


Рисунок 1 – Диаграмма распределения несчастных случаев при проведении уборочных работ за период 2014-2018 гг.

Основной категорией травмированных работников в этот период являются операторы мобильных колесных машин – трактористы-машинисты сельскохозяйственного производства. Они осуществляют не только управление комбайнами, тракторами, но и проводят обслуживание, наладку и ремонт эксплуатируемой техники в полевых условиях.

Среди наиболее распространённых причин их травмирования следует выделить: нарушение трудовой и производственной дисциплины (нахождение на рабочем месте в состоянии алкогольного опьянения), несоблюдение правил техники безопасности, эксплуатация неисправной техники, отсутствие защитных ограждений движущихся частей машин и механизмов (на соединительных муфтах, ременных передачах), отсутствие или неисправность предохранительных устройств, средств сигнализации и блокировки.

Часто возникают различные травмоопасные ситуации при обслуживании и ремонте зерноуборочных комбайнов:

- придавливание во время ремонта жатки, коробки передач, сборки и регулировки наклонной камеры, вариатора;
- захват одежды, обуви, частей тела неогражденными рабочими органами или их приводами (мотовило, подборщик, шнеки бункера или жатки при очистке от забивания);
- механическое воздействие подвижных частей машин, механизмов;
- травмирование при очистке наклонной камеры при замене сегментов режущего аппарата жатки;
- травмирование при устранении технических неисправностей при работающем двигателе (самопроизвольное включение рабочих органов);
- травмирование при использовании неисправного инструмента.

Также нередки случаи падения с опорных площадок, лестниц зерноуборочных комбайнов и поражения электрическим током при работе под высоковольтными линиями электропередач.

Значительное количество травм наблюдается при работе на тракторах с прицепами и автомобилях, осуществляющих перевозку зерна. Самой распространённой причиной является опрокидывание. Травмы возможны при смятии кабины вследствие ее недостаточной жесткости, а также попадании людей под опрокинутые машины. Основные причины опрокидывания: неисправность рулевого управления и тормозов; работа на участках с уклоном, превышающим допустимые значения для машины данного типа; неудовлетворительные дорожные условия и превышение скорости движения в таких условиях; несоблюдение установленных маршрутов движения техники; выполнение работы в состоянии опьянения; передача управления машин лицам, не имеющим на это права [2].

В период уборочной кампании операторы мобильных колесных машин подвергаются воздействию различных вредных производственных факторов. Наиболее существенное влияние на их здоровье и самочувствие оказывают:

- повышенная температура воздуха рабочей зоны (в жару температура воздуха в кабинах может превышать $+ 30^{\circ} \text{C}$);
- повышенная запыленность воздуха рабочей зоны (пыль проникает в кабину через неплотности пола и нижних частей стенок, а также может нагнетаться приточными вентиляторами при отсутствии или неудовлетворительной работе системы очистки. Преимущественно это средне и мелкодисперсная пыль растительных остатков, половы, соломы с высокой проникающей способностью);
- повышенная загазованность воздуха рабочей зоны (содержание окиси углерода при работе тракторов колеблется от 7 до 50 мг/м^3 , на комбайнах – от 7 до 33 мг/м^3 при ПДК = 20 мг/м^3 , диоксид азота – $0,15 \text{ мг/м}^3$ при ПДК = $0,085 \text{ мг/м}^3$ [3]);
- повышенный уровень шума (при работе мобильной сельскохозяйственной техники возникает высокочастотный шум, обусловленный работой двигателя, с преобладанием частот от 4000 до 6000 Гц. Предельно допустимый уровень звука в кабинах не должен превышать 80 дБА, в реальных условиях в эксплуатируемой более 3 лет технике наблюдается превышение уровня звука на 5-10 дБА в тракторах и на 7-9 дБА в комбайнах);
- повышенный уровень вибрации (на операторов мобильных колесных машин воздействует общая и локальная вибрация, в наибольшей степени низкочастотная, возникающая в результате движения по агрофону, характеризующемуся неровной поверхностью. Создаваемый уровень виброускорения может превышать допустимое значение (65 дБ) в среднем на 2-4 дБ).

Очевидно, что проблема обеспечения безопасности и улучшения условий труда операторов мобильных колесных машин при проведении уборочных работ стоит достаточно остро. Решение этой проблемы лежит в плоскости дальнейшего усовершенствования конструкции мобильной сельскохозяйственной техники и повышения трудовой и производственной дисциплины.

Литература

1. Производственный травматизм в Республике Беларусь за январь – ноябрь 2019 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dneprovec.by/info/2019/12/26/25424>.
2. Шкрабак В.С., Луковников А.В., Тургиев А.К. Безопасность жизнедеятельности в сельскохозяйственном производстве. М.: КолосС, 2004. – 512 с.
3. Дервягин, А.В. Разработка инженерных методов и технических средств обеспечения экологической безопасности в сельскохозяйственном производстве: Автореф... дис. кан. техн. наук. – Саратов: 2005. – 28 с.

Техника безопасности при проведении сварочных работ на нестационарных рабочих местах

Пантелеенко Е.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В данной работе рассмотрены меры по предотвращению несчастных случаев при проведении сварочных работ на нестационарных рабочих местах.

Текст доклада:

Строительная отрасль – одна из лидирующих по количеству несчастных случаев. Поскольку проведение сварочных работ на нестационарных рабочих местах чаще всего связано как раз со строительными работами, в рамках данной работы рассмотрим требования нормативных актов, регламентирующих данный вид производственной деятельности, а также проанализируем возможные причины травмирования и меры предотвращения несчастных случаев.

Основными причинами несчастных случаев специалисты называют следующие: 1. Халатность нанимателя - в 2019 г. более 40% смертей на производстве произошли по вине нанимателя. 2. Нарушение техники безопасности работниками: в ноябре 2019 г. газорезчик одной из организаций Витебской области получил смертельную травму в результате падения на него отрезанной части демонтируемой металлоконструкции. [0]. 3. Неприменение средств индивидуальной защиты: в ноябре 2019 г. передвигаясь по кровле строящегося здания, в результате падения с высоты 10 м погиб монтажник строительных конструкций [0]. 4. Аварийные ситуации: в декабре 2019 г. электросварщик ручной сварки был травмирован при выполнении работ по демонтажу окрасочной линии в результате срыва блока, зацепленного за строп. 5. Нарушение трудовой дисциплины (из-за нахождения в состоянии опьянения происходит около 5% несчастных случаев).[1] 6. Личная неосторожность: в августе 2019 г. на строительном объекте, переходя со стены на подмости, оступился и упал на перекрытие 1-го этажа каменщик. [0] 7. Состояние здоровья работника. За январь 2020 г. из 44 умерших на рабочем месте 36 скончалось именно из-за состояния своего здоровья.

Для сварочных работ на нестационарных рабочих местах предусмотрена выдача наряда-допуска на проведение работ. Согласно Межотраслевым общим правилам по охране труда, утв. пост. от 03.06.2003 № 70, наряд-допуск – это задание на производство работы, оформленное на специаль-

ном бланке установленной формы и определяющее содержание, место работы, время ее начала и окончания, условия безопасного проведения, состав бригады и работников, ответственных за безопасное выполнение работы. Оформление наряда-допуска требуют следующие документы: Постановление МЧС РБ от 2 мая 2018 г №29 «Об оформлении наряда-допуска на проведение огневых работ на временных местах»; Правила пожарной безопасности Республики Беларусь 01-2014; Типовая инструкция по охране труда при выполнении работ внутри колодцев, цистерн и других емкостных сооружений, утв. 30.12.2008 N 214; ГОСТ 12.3.003 «ССБТ. Работы электросварочные. Требования безопасности»; ГОСТ 12.3.036 «ССБТ. Газопламенная обработка металлов. Требования безопасности»; ТКП 563-2014 Требования безопасности при выполнении сварочных работ; Правила охраны труда при работе на высоте утв.28.04.2001 №52 с изм. №150 от 19.11.2007; Правила по охране труда при выполнении строительных работ утв. пост. №24/33 от 31.05.2019. Часто для проведения работ необходимо оформлять несколько нарядов-допусков. Следует отметить, что сейчас во многих организациях проведение целевых инструктажей при оформлении наряда-допуска осуществляется с применением современных средств аудио- или видеозаписи. В первую очередь это позволяет исключить такой фактор риска, как несоответствующее выполнение обязанностей руководителями работ, а если все-таки произойдет несчастный случай, это во многом облегчит его расследование.

Так как сварочные работы на нестационарных рабочих местах чаще всего проводятся на открытом воздухе и на высоте, то при их организации и проведении необходимо руководствоваться требованиями Межотраслевых общих правил по охране труда, утв. пост. от 03.06.2003 № 70 и Правилами по охране труда при выполнении строительных работ утв. пост. №24/33 от 31.05.2019. Можно выделить основные требования этих документов:

- предусматривают навесы для укрытия от атмосферных осадков;
- при температуре воздуха на рабочих местах ниже 10 °С работающих должны обеспечить помещениями для обогрева;
- рабочие места и проходы к ним, обеспечивают защитными или сигнальными ограждениями из негорючих материалов, а также настилами, сетками, навесами;
- обеспечивают работающих санитарно-бытовыми помещениями;
- все лица, находящиеся на строительной площадке, обязаны носить защитные каски, застегнутые на подбородочные ремни;
- рабочие места обеспечиваются необходимыми средствами защиты работников, первичными средствами пожаротушения, средствами связи и сигнализации, другими требуемыми техническими средствами.

Нередко сварочные работы в строительстве предполагают работы на высоте. Дополнительным опасным фактором – кроме всех прочих - в данном случае является действие силы тяжести. Так, 03.10.2019 на строительном объекте монтажник был смертельно травмирован в результате падения на него деревянного ригеля [0]. В дополнение к вышеперечисленным требованиям вступают в действие Правила охраны труда при работе на высоте утв. пост. №52 от 28.04.2001 с изм. №150 от 19.11.2007. и Межотраслевая типовая инструкция по охране труда при работе на высоте утв. 27.12.2007 N 187, согласно которым, например:

- не допускается выполнение работ на высоте в открытых местах при скорости ветра 15 м/с и более, при гололеде, грозе или тумане. При работах с конструкциями с большой парусностью работы по их монтажу (демонтажу) прекращаются при скорости ветра 10 м/с и более;

- под местом проведения работ должна быть очищена, обозначена и ограждена опасная зона с определенным радиусом, зависящим от высоты, на которой проводится сварка.

Еще одно из нестационарных мест проведения сварочных работ, требующих оформления наряда-допуска – это замкнутые пространства, ограниченные поверхностями, имеющие люки, с размерами, препятствующими свободному быстрому проходу через них и затрудняющими естественный воздухообмен; где ввиду их малых размеров затруднено выполнение работ, а естественный воздухообмен недостаточен (резервуары, цистерны, котлы, тоннели, подвалы и т.п.). В наряд-допуск включаются: порядок открытия входа емкостного сооружения, спуска и эвакуации из него работающих; схема размещения шлангов, заборных патрубков противогазов, страховочных канатов; обеспечение средствами связи и сигнализации и другие дополнительные меры. К нормативным документам, регламентирующим требования безопасности для таких работ, относятся: Типовая инструкция по охране труда при выполнении работ внутри колодцев, цистерн и других емкостных сооружений, утв. пост. № 214 от 30.12.2008 и Правила охраны труда при работе на высоте утв. пост. №52 от 28.04.2001 с изм. №150 от 19.11.2007 (глава 41. Требования безопасности при работе в подземных сооружениях и резервуарах). Согласно требованиям охраны труда, работу выполняет группа (бригада) не менее трех человек: один внутри, второй с помощью страховочного каната страхует работающего и наблюдает за его работой снаружи, третий работает на поверхности либо наблюдает за движением транспортных средств и пешеходов и в случае необходимости вместе с наблюдателем оказывает помощь работающему. Техника безопасности регламентирует выполнение следующих основных требований:

- очистка и проверка на содержание вредных веществ в воздухе;

- организация непрерывно работающей приточно-вытяжной вентиляции, или применение изолирующих СИЗ с подачей чистого воздуха в зону дыхания (не менее 19% и не более 23% кислорода);
- газовые баллоны, ацетиленовые генераторы располагают снаружи;
- не допускается оставлять рукава, резаки, горелки во время перебива или по окончании работ;
- при вероятности появления внутри взрывоопасных газов применяется обувь и омедненный слесарный инструмент, не создающие искр;
- мобильные телефоны и переговорные устройства, используемые внутри, должны быть во взрывозащищенном исполнении;
- электросварочное оборудование располагается снаружи, оборудуется устройствами автоматического отключения, оба сварочных провода надежно изолируют, электросварщик работает в диэлектрических перчатках, галошах, изолирующем шлеме (каска), в подлокотниках и наколенниках, находясь на диэлектрическом коврике;
- сосуды, в которых находились горючие жидкости и вредные вещества, перед сваркой очищают, промывают, просушивают, проветривают и проверяют на отсутствие вредных веществ.

При выполнении газосварочных работ также необходимо соблюдать требования Типовой инструкции по безопасности и охране труда при наполнении баллонов кислородом и обращении с ними потребителей от 18.09.1998 № 88/79 и Инструкции по охране труда при хранении и транспортировке баллонов с газом. Следует отметить, что иногда сварщики нарушают требования данных документов. В частности, при низких температурах нагревают баллоны пламенем горелки для поднятия в них давления, чего категорически делать нельзя. Также запрещено: находящийся газ срабатывать полностью (остаточное давление более 0,5 кгс/см²); использовать для работы неисправные баллоны; переносить баллоны на руках или на плечах; допускать соприкосновение кислородных баллонов с маслами и промасленными предметами; прокладывать шланги возле источников тепла и электропроводов, пользоваться шлангами, длина которых менее 10 и более 40 м; перекручивать между собой, заламывать или зажимать газоподводящие шланги; курить и пользоваться открытым огнем на расстоянии менее 10 м от баллонов с горючими газами и кислородом; при загрязнении баллона маслом или жиром использовать его для работы; курить и пользоваться открытым огнем на расстоянии менее 10 м от баллонов с горючими газами и кислородом.

Неукоснительное соблюдение перечисленных правил выполнения сварочных работ позволяет обезопасить работников. К примеру, 15 февраля 2019 г. в подвале пятиэтажного жилого дома в г. Слуцке во время прове-

дения ремонта взорвался баллон со сварочной смесью МАФ, который находился на улице рядом со входом. Жертв нет.

Литература

1. Официальный сайт Департамента государственной инспекции труда [Электронный ресурс]/ Мин.труда и соц.защиты – Режим доступа: <http://git.gov.by/ru/page/eto-moglo-ne-slucitsa> . – дата доступа 05.04.2020.

Состав соединений редкоземельных элементов в фосфогипсе

Зык Н.В., Кулинич И.Л., Глуховский В.И.
Белорусский национальный технический университет

Апатитовые руды Кольского полуострова, как известно, представлены главным образом кальцийфторапатитом $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$, в небольших количествах – гидроксилapatитом $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ и другими формами изоморфного замещения кальция. Из минералов-примесей в апатитовой руде содержатся: нефелин $(\text{Na},\text{K})\text{AlSiO}_4 \cdot \text{SiO}_2$ – около 40 % мас.; пироксены – эгирин $\text{NaFe}(\text{SiO}_3)$, титаномагнетит $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{FeTiO}_2 \cdot \text{TiO}_2$, ильменит FeTiO_3 , сфен CaTiSiO_5 , полевые шпаты и другие. Установлено, что для апатитов характерно изоморфное замещение ионов кальция, образующих решетку кристаллов $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$, ионами РЗЭ, которые имеют близкие кристаллохимические радиусы. Сложность химического состава апатитового концентрата и высокая кислотность в экстракторах при разложении фосфатов создают благоприятные условия для замещения ионов друг другом в процессе образования кристаллических осадков при преимущественном образовании сульфата кальция.

Учитывая сложность химического состава исходного сырья – апатитового концентрата и разнообразие химических процессов, протекающих при взаимодействии концентрата со смесью фосфорной и серной кислот, можно ожидать, что при кристаллизации фосфогипса в составе его структурных элементов могут быть соосаждены и адсорбированы самые различные компоненты, содержащиеся в сернокислотной пульпе экстрактора.

В данной работе нами был определен состав соединений РЗЭ в фосфогипсе ПРУП "Гомельский химический завод".

В процессе сернокислотного разложения апатита образуется экстракционная фосфорная кислота концентрации 34–50 % мас., что создает благоприятные условия для образования фосфатов лантаноидов.

Исходный апатитовый концентрат содержит соединения фтора, следовательно, в растворах, получаемых при его разложении в процессе обработки серной кислотой, весьма вероятно образование фторидов лантаноидов.

Методом масс-спектропии нами установлено, что относительное содержание оксидов (в пересчете) индивидуальных РЗЭ в апатите следующее, (% мас.): La-27; Ce-45; Pr-5,0; Nd-14,5; Sm-1,5; Eu-0,55; Gd-1,0; Tb-

0,15; Dy-1,1; Ho-0,1; Er-0,1; Yb-0,2; Y-3,0. Таким образом, в смеси РЗЭ содержатся в основном легкие элементы (La–Nd), поэтому в качестве объектов исследования для определения растворимости использовали соединения РЗЭ, содержащиеся в максимальном количестве (Ce, La, Nd).

Результаты расчета показывают, что совместное осаждение фосфатов и фторидов РЗЭ проходит во всем изученном интервале концентраций H_3PO_4 . По мере увеличения концентрации РЗЭ происходит образование сначала осадка LnF_3 , а затем, когда равновесная концентрация лантаноидов повысится до такой степени, что будет достигаться условное произведение растворимости LnPO_4 , начнется совместное осаждение двух осадков LnF_3 и LnPO_4 . Для экспериментального подтверждения результатов вышеприведенных расчетов был исследован процесс осаждения РЗЭ в модельной системе, изначально исключающей наличие малорастворимой твердой фазы, при постоянной концентрации в ней основных компонентов, что имитировало процесс производства ЭФК. Исследования выполняли при температуре 70 °С, что также соответствовало средней температуре проведения указанного процесса в производственных условиях. В качестве исходных реагентов для приготовления модельных растворов использовали 95 % мас. H_3PO_4 , 93 % мас. H_2SO_4 , 20 % мас. HF и насыщенный раствор $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. Указанные реагенты вносили в термостатированные сосуды в количествах, обеспечивающих получение растворов, соответствующих по содержанию основным компонентам производственных растворов, образующихся при разложения апатитового концентрата серной кислотой. Концентрация ионов PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , и F^- в процессе осаждения составляла, г/л: PO_4^{3-} – 346,1-348,9; F^- – 9,1-10,4; SO_4^{2-} – 27,4-28,9.

В реакционную смесь добавляли различное количество насыщенного раствора нитрата РЗЭ. Сосуды герметизировали и термостатировали при температуре 70 °С в течение 3 ч при постоянном перемешивании. Отделенную фильтрованием твердую фазу промывали на фильтре этиловым спиртом, затем ацетоном и высушивали на воздухе до постоянного веса. Фильтрат и твердую фазу анализировали на содержание контролируемых компонентов (F^- , PO_4^{3-} , Ln^{3+} и SO_4^{2-}).

По данным рентгенофазового анализа прокаленных осадков РЗЭ его основной кристаллической фазой является LaPO_4 . На ИК спектрах осадков РЗЭ присутствуют полосы поглощения, соответствующие валентным колебаниям связи О–Н ($3200\text{--}3600\text{ см}^{-1}$) и деформационным колебаниям воды (1640 см^{-1}). В области $400\text{--}500\text{ см}^{-1}$ зафиксирована интенсивная полоса, отвечающая валентным колебаниям Ln–F. Полосы поглощения в области валентных колебаний связи О–Н расширены и сдвинуты в сторону больших длин волн, что является характерным признаком водородной связи.

Несколько слабо выраженных максимумов в области поглощения О–Н связи на ИК спектрограммах свидетельствуют о неэквивалентности молекул воды, образующих связи различной прочности. Наличие полос поглощения на спектрограмме в ИК области спектра при 1060, 1020, 970, 616, 567, 540 см⁻¹ свидетельствует о валентных и деформационных колебаниях ионов PO₄³⁻.

По данным комплексного термогравиметрического анализа синтезированные фосфаты и фториды РЗЭ содержат от 0,5–2 моль молекул воды. Таким образом, анализ полученных осадков дает основание полагать о наличии в осадке, полученном из модельного раствора, гидратированных фосфатов и фторидов лантана.

УДК 621.74; 669

Использование алюмината натрия в качестве связующего при литье по выплавляемым моделям

Комаров О.С., Розенберг Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

Общая идея работы заключалась в том, чтобы найти связующее, свойства которого (прочность) выше, чем у силиката натрия (жидкого стекла). Использование такого связующего вместо силиката натрия в составе пятого слоя покрытия форм литья по выплавляемым моделям позволит повысить их общую прочность и, возможно, сократить число слоев покрытия на этилсиликате. Таким заменителем жидкого стекла должны быть неорганические связующие, так как формы перед заливкой прокаливаются при 900 °С. Работы, проводимые в лаборатории БНТУ, показали, что потенциальными заменителями жидкого стекла могут быть алюминат натрия, который при нагреве в отличие от силиката натрия не испытывает полиморфных превращений. Сравнительные опыты в лабораторных условиях показали преимущество алюмината натрия по сравнению с жидким стеклом.

Текст доклада:

Принятый на ОАО «МТЗ» технологический процесс получения отливок методом литья по выплавляемым моделям основан на нанесение на поверхность выплавляемых моделей четырех слоев покрытия на основе маршалита с гидрализованым раствором этилсиликата и пятого (укрепляющего) слоя в котором в качестве связующего используется жидкое стекло (силикат натрия).

Известно, что жидкое стекло за счет фазовых превращений входящего в него SiO_2 растрескивается при высоких температурах, в результате чего падает прочность покрытия на его основе а высокая усадка связующего по мере остывания от температур прокалики оболочки обуславливает коробление оболочки и потерю точности размеров отливок что повышает вероятность разрушения формы и образования связанных с этим дефектов.

В связи с этим представляет интерес найти замену жидкому стеклу, которая обеспечит высокие свойства покрытия после воздействия высоких температур, в результате чего можно уменьшить вероятность образования дефектов и возможно снизить число покрытий (до 3-х) на дорогом этилсиликате и, тем самым, снизить себестоимость отливок. Так как формы перед заливкой прокаливаются при 900 °С, связующее (заменитель жидкого

стекла) должно быть неорганическим. Претендентом на замену может быть алюминат натрия, в котором SiO_2 заменен Al_2O_3 .

Предполагается, что упрочнение последнего слоя покрытия форм для литья по выплавляемым моделям будет достигнуто за счет замены жидкого стекла на алюминат натрия. Сравнительные испытания свойств покрытий (красок) на основе жидкого стекла и алюмината натрия подробно описано в работах [1, 2]. Показано, что прочность красок на алюминате натрия выше, чем на жидком стекле.

Для проведения исследований с ОАО «МТЗ» были получены образцы форм по выплавляемым моделям без нанесенного «пятого» слоя покрытия (рисунок 1).



Рисунок 1 – Форма для получения отливок «Рычаг» методом литья по выплавляемым моделям

В процессе проведения опытов от формы отделялись небольшие части которые методом окунания подвергались окрашиванию методом окунания в различные составы после чего подвергались непродолжительной сушке и прокалки при температуре в $900\text{ }^\circ\text{C}$ в соответствии с технологией нанесения «пятого» слоя принятой на предприятии.

После остывания образцы (рисунок 2) изучались на предмет качества полученного покрытия.



а – маршалит +жидкое стекло; б – маршалит +алюминат натрия
Рисунок 2 – Образцы с различным составом пятого слоя

Результаты исследований показали, что применение алюмината натрия в качестве связующего для пятого слоя форм литья по выплавляемым моделям приводит к увеличению их прочности после прокаливания при 900 °С на 15-20 % по сравнению жидким стеклом. Следует отметить, что покрытие с алюминатом натрия в качестве связующего хуже смачивает форму и требует введения дополнительного поверхностно-активного вещества для устранения этого нюанса.

Литература

1. Комаров О.С. Применение алюмината натрия в литейных красках. / О.С. Комаров [и др.]// Литье и металлургия, №4, 2016, с. 44-46.
2. Комаров О.С. Механизм склеивания частиц дистенсилиманита алюминатом натрия./ Комаров О.С., Комарова Т.Д // Литье и металлургия, №4, 2016, с. 47-50.

Барановский К.Э., Розенберг Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

По сравнению с классическим методом литья в песчаные формы литьё по газифицируемым моделям требует применения окрашивания не только для повышения качества отливок и защиты от их пригара, но и регулирует технологию литья, так как в процессе выгорания полистирола, под воздействием высоких температур заливаемого металла только небольшой слой краски предотвращает осыпание формы и обеспечивает формирование будущей отливки. Поэтому к краскам, применяем при литье по газифицируемым моделям предъявляются повышенные требования, в частности одним из важных показателей является износостойкость красок, что обеспечивает сопротивление абразивному воздействию песка в момент формовки окрашенного куста отливок в опоки.

Текст доклада:

В литейной практике для литья по газифицируемым моделям используют покрытия, представляющие собой суспензии, т.е. дисперсные структуры, включающие огнеупорный наполнитель (основу), связующее, загуститель, растворитель (воду или органическую жидкость) и вспомогательные компоненты (например, структурирующие добавки, смачиватели, антисептики). Последние вводят для получения систем с заданными технологическими (эксплуатационными) свойствами.

В лаборатории БНТУ был разработан состав краски для литья по газифицируемым моделям на основе комплексного термостойкого наполнителя и акриловой дисперсии в качестве связующего. Для сравнения характеристик разработанной краски с импортными аналогами были выбраны несколько красок для литья по газифицируемым моделям от иностранных производителей, являющимися лидерами данного сегмента рынка литейных противопопригарных красок.

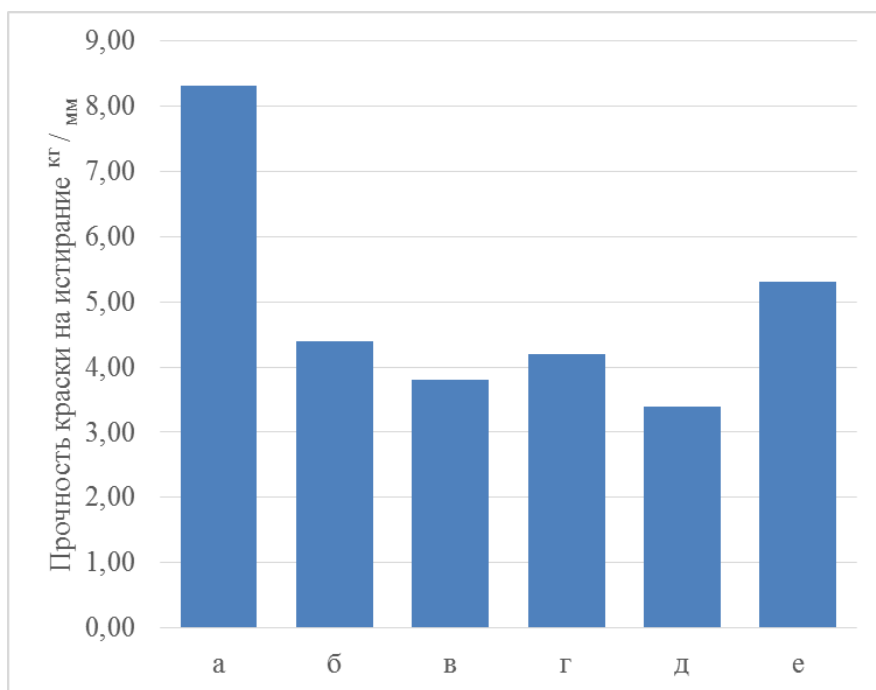
- 1) Антипригарное покрытие Foam Kote 7600 производства компании Foundry Coating, Inc, США [1]
- 2) Противопопригарное покрытие Disopast 7723D производство компании Уралхимпласт- Hüttenes-Albertus, Россия [2]
- 3) Противопопригарное покрытие Polytop FS3 производства ASK Chemicals GmbH, Германия [3]

4) Противопригарное покрытие Hydro LF 1-S производства компании Furtenbach, Австрия [4]

5) Краска, применяемая на УПП «Универсал-Лит» ОАО «ЛМЗ Универсал» ДСК-1 (ТУ 2.043. 00224656. 070-97)

Оценку прочности краски к истираю оценивали следующим образом: краску наносили на пластинку из стекла, наклоненную к горизонту под углом 45° , и оставляли в таком положении, пока избыток краски не стечет. Затем окрашенную пластинку сушили в сушильном шкафу при 60°C , в течение часа. После охлаждения окрашенную пластинку подвергали абразивному воздействию струи песка до появления отверстия [5].

Показатели износостойкости приводятся на 1 мм противопригарного покрытия. Результаты испытаний приведены на рисунке 1



а - Foam Kote 7600; б - Disopast 7723D; в - Polytop FS3; г - Hydro LF 1-S;
д - ДСК-1; е - краска разработки БНТУ;

Рисунок 1 – Прочность краски на истирание

Все образцы продемонстрировали хорошую стойкость к истиранию на уровне более 3-4 кг/мм. Краска разработки БНГУ не уступает в прочности к истиранию краскам зарубежных производителей с показателем в 5,2 кг/мм.

Интерес вызвал очень высокий показатель прочности к истиранию краски Foam Kote 7600. Были проведены ее дополнительные исследования.

Результаты исследования показали, что в составе краски Foam Kote 7600 помимо алюмосиликатов и слюды (предположительно пирофиллит) содержится силикат целлюлоза (фибра), представляющая собой легкий волокнистый материал, который в составе краски выступает как армирующая добавка за счет сравнительно большой протяженности частиц (200-300 мкм против 10-63 мкм термостойкого наполнителя). Небольшая температура начала горения фибры приводит к ее выгоранию в момент заливки и образованию дополнительных каналов, повышающих газопроницаемость.

Представляет интерес дополнительно использовать фибру в небольших количествах в качестве добавки к разработанному составу краски в качестве армирования и для повышения газопроницаемости.

Литература

1. Каталог компании Southeastern Foundry Products & Foundry Coatings [Электронный ресурс]. – Противопригарное покрытие Foam Kote 7600. – Режим доступа: <http://www.sefp.net/foam7600.html>

2. Каталог компании Уралхимпласт- Hüttenes-Albertus [Электронный ресурс]. – Противопригарное покрытие на водной основе. – Режим доступа: <http://ucp-ha.ru/tekhnicheskaya-dokumentatsiya/protivoprigrarnoe-disopast-7723-d/>

3. Каталог компании ASK Chemicals GmbH [Электронный ресурс]. Огнеупорные покрытия – Режим доступа: <https://www.ask-chemicals.com/foundry-products/products/advantages-of-our-high-performance-coatings>

4. Каталог компании Furtenbach [Электронный ресурс]. Coating– Режим доступа: <https://www.furtenbach.com/?lang=en&location=4#schlichten>.

5. Покрытия литейный противопригарные водные. Общие технические условия: ГОСТ 10772-78. – Введ. РБ 17.12.92 – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2005. – 14 с.

Финишная обработка глубоких отверстий малого диаметра

Хомич Н.С., Гавриленко В.В.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

Доклад описывает применимость, достоинства и недостатки методов получения и финишной обработки глубоких отверстий малого диаметра, а также результаты финишной обработки внутренних отверстий тонкостенных трубок методом магнитно-абразивной обработки.

Текст доклада:

За последние годы значительно выросли требования к качеству поверхностей машино- и приборостроения. Особые трудности возникают при обработке глубоких отверстий малого диаметром до 3 мм, и отношением длины к диаметру более 4. В частности, такая задача стоит при финишной обработке внутренних отверстий изделий медицинского назначения типа трубчатого волновода системы акустической для эндоваскулярной абляции по ТУ ВУ 100232486.049-2017.

На сегодняшний день существует ряд методов, с помощью которых можно получить глубокие отверстия малого диаметра, однако применение некоторых из них сдерживается недостаточной изученностью технологических возможностей этих процессов обработок. Ниже рассмотрена применимость некоторых методов, а также их достоинства и недостатки.

Глубинное сверление является самым изученным и распространенным методом получения отверстий [1]. Главные преимущества заключаются в высокой скорости обработки заготовок и низкой стоимости использования данного метода. Основными же недостатками при сверлении глубоких отверстий малого диаметра являются сложность охлаждения инструмента в процессе обработки, вывод стружки из места обработки и вероятность поломки сверла внутри отверстия, что приводит к дополнительным затратам на извлечение инструмента и браку деталей.

Группа методов электроэрозионной, электрохимической обработок на сегодняшний день являются одним из наиболее используемых методов получения отверстий малого диаметра в материалах с высокой твердостью. При использовании электроэрозионной и электрохимической прошивок отсутствует брак детали, вследствие физического разрушения инструмента, а скорость обработки зависит от теплофизических свойств заготовки.

Глубокие отверстия малого диаметра также можно получать при помощи лазерных технологий. Преимущества использования лазера для получения таких отверстий заключается в высокой скорости обработки, а также возможность получения отверстий диаметром до нескольких десятков микрометров. Главными недостатками лазерной обработки являются изменение свойств заготовки, в следствии теплового воздействия, а также появления грата на кромках отверстий.

Для финишной обработки отверстий используют абразивно-экструзионную обработку и притирку. Они обычно проходят в несколько этапов с использованием абразивных паст уменьшающейся зернистости. С помощью данных обработок можно получить 3-4 квалитет с параметрами шероховатости поверхности до 0,02 мкм. Однако данные методы являются сложными и трудоемкими, что увеличивает время обработки заготовок. Также внутренняя поверхность отверстий подвергается шаржированию, что уменьшает срок службы деталей.

Одним из малоизученных методов обработки глубоких отверстий малого диаметра на сегодняшний день является дорнование [2]. Из-за пластической деформации заготовки обеспечивается повышенная прочность поверхностного слоя, снижается шероховатость и увеличивается точность отверстий. Недостатком дорнования является сложность его применения для обработки заготовок, у которых отношение диаметра наружной поверхности к диаметру отверстия больше 3, так как это может привести к деформации всей заготовки.

Магнитно-абразивная обработка (МАО) также используется для финишной обработки глубоких отверстий малого диаметра. Она позволяет достичь высокой точности и чистоты поверхности, однако неприменима к магнитным материалам.

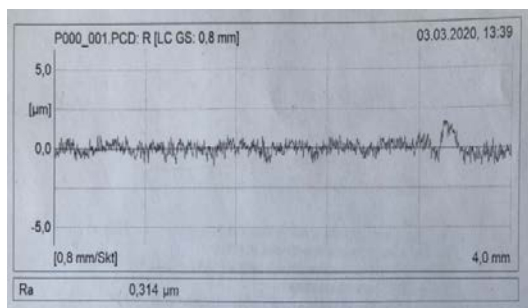


Рисунок 1 - Профилорама поверхности отверстия до обработки

Авторами был поставлен эксперимент по изучению эффективности обработки отверстия диаметром 4 мм при использовании MAO тонкостенных трубок из нержавеющей стали AISI 316L. Шероховатость поверхности отверстия до обработки составляла $Ra = 0,3$ мкм и показана на профилограмме на рисунке 1.

Длительность MAO внутренней поверхности трубки составляла 10 минут. Для обработки был использован ферроабразивный порошок с диаметром зерен 50 мкм. После обработки снова была измерена шероховатость внутренней поверхности и построена профилограмма. Данная профилограмма показана на рисунке 2. Исходя из полученных профилограмм видно снижение шероховатости поверхности после обработки более чем на 0,1 мкм.

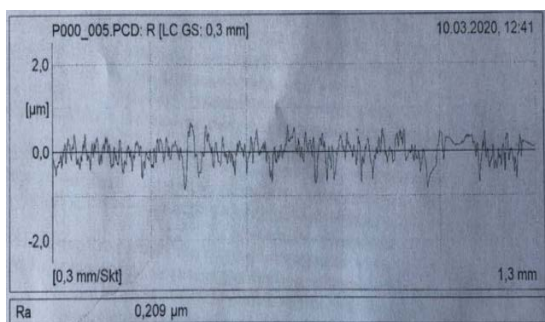


Рисунок 2 - Профилограмма поверхности отверстия после обработки

Исходя из полученных профилограмм доказано снижение шероховатости почти на 50% за 10 минут обработки, что позволяет сделать вывод о перспективности использования MAO для финиширования отверстий малого диаметра трубчатых волноводов из немагнитных материалов типа нержавеющей сталей, титана и нитинола.

MAO предоставляет также дополнительные технологические возможности по финишной обработке длинномерных трубчатых волноводов, имеющих переменный внутренний диаметр.

Литература

1. Михеев И.И., Ярмоленко Е.Н. Обработка отверстий малого диаметра / СТИН. 2014. № 2. С. 28 - 29.
2. Монченко В.П. Эффективная технология производства полых цилиндров. – М.: Машиностроение, 1980. -248 с.

**Применение и проблемы моделирования ультразвуковых
волноводных систем в медицине**

Гавриленко В.В.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

Доклад посвящен вопросам применения и направлениям моделирования ультразвуковых волноводных систем в медицине.

Текст доклада:

Многие современные способы обработки материалов и веществ, а также медицинские технологии основаны на использовании различных видов колебаний и волн, таких как лазерное излучение, ультразвуковые колебания и т. д. В докладе анализируется нынешнее состояние ультразвуковых гибких волноводных систем (ГВС) и наиболее перспективные возможности их применения в медицине [1].

В современной медицине ГВС нашли самое широкое применение. В нейрохирургии ГВС используются для вентрикулостомии, трансфеноидального доступа к основанию черепа и очистки вентрикулярных катетеров. ГВС из оптоволоконных материалов могут использоваться для лечения пролапса межпозвоночных дисков. В работе [2] описано применение гибких оптических волокон для комбинированной лазерно-ультразвуковой хирургии. Ультразвук применяется в неинвазивной хирургии для создания локальных разрушений в глубинных тканях организма, например, в головном мозге. Также ультразвук применяется для дробления камней в почках, желчном пузыре, поджелудочной и слюнной железах. В работе [3] показана возможность применения ультразвука для интраоперативного гемостаза артерий. Исследована также возможность применения ультразвука для подготовки органов к резекции. В работе [4] описано применение высокочастотного фокусированного ультразвука большой интенсивности для лечения пресбиопии. В урологии ГВС применяется для ультразвуковой контактной литотрипсии. Также возможно применение гибких волноводов в качестве инструмента для трансуретральной литотрипсии [5].

Специфическим типом ультразвуковых хирургических инструментов являются ГВС, применяемые для ультразвукового тромболиза - разрушения тромбов в крупных кровеносных сосудах и расчистки этих сосудов. ГВС для ультразвукового тромболиза состоит из источника ультразвуковых колебаний, концентратора и волновода. Волновод в свою очередь представляет гибкую длинную (до 1 м) ступенчатую проволоку с капле-

видной дистальной частью. Инновационным развитием данной системы является использование полых гибких волноводов, что позволяет добиться дополнительного эффекта в обработке тканей подаваемым лекарственным средством через канал волновода. Сочетание ультразвуковых колебаний и подачи жидкости, в частности, существенно увеличивает глубину проникновения лекарств в ткани. В последних разработках используется схема подачи жидкости не только в осевом направлении, но и через тонкие отверстия в головке волновода, расположенные перпендикулярно оси волновода. Длинные гибкие ступенчатые волноводы выполняются из прутков нержавеющей стали плазменно-электролитическим травлением. Инновационные трубчатые ступенчатые волноводы изготавливаются методами пластической деформации. Волновод прикрепляется пайкой серебряным припоем к резьбовому соединительному элементу, служащему для соединения волновода с концентратором ультразвукового преобразователя.

Моделирование и расчет ультразвуковых процессов, проходящих в ГВС представляет собой сложную инженерную задачу, так как колебания в этих системах являются продольно-изгибными и должны рассматриваться как смешанные колебания сложной формы. Изгибные колебания концентратора с плавным изменением поперечного сечения по длине вычисляются путём деления его на элементарные стержни постоянного поперечного сечения с малой длиной с последующим применением метода передаточной матрицы. Такой метод расчета требует значительного машинного времени за счёт умножения огромного количества матриц.

Попытка математического моделирования гибких волноводов была предпринята в работе [6], где рассматривались изгибные колебания волновода с постоянной площадью поперечного сечения по длине. Однако результаты этой работы известны из классической теории колебаний стержня и не могут быть обобщены на случай волноводов с более сложным законом изменения площади поперечного сечения и осевого момента инерции по длине.

Проблема моделирования гибких волноводов также рассматривается в статье [7], где исследуется конечно элементная модель погруженного в жидкость волновода. Несмотря на это, данная статья основана на некоторых предположениях, снижающих её практическую ценность.

В рамках выполнения гранта Министерства образования на тему «Конструирование и расчет полых гибких волноводных систем для ультразвуковой внутрисосудистой минимально-инвазивной хирургии» был смоделирован трубчатый ступенчатый волновод, входящий в состав «Системы акустической для эндоваскулярной абляции» ТУ ВУ 100232486.049-2017. Расчет геометрии переходов ступеней трубчатого волновода выполняется

с целью уменьшения акустических потерь и получения заданного коэффициента усиления, а также, акустических характеристик ГВС. Рассматривается задача обеспечения прочности и недопущения пластической деформации волноводов в процессе работы.

Анализ литературных данных и результатов практического использования показывает перспективность применения ГВС в медицине, в частности, для тромболитического кровеносных сосудов или в системах эндоваскулярной абляции. Однако, для динамичного роста этого направления в медицине должны быть развиты методики расчета ГВС и на этой базе проведены дополнительные исследования в области конструирования систем.

Литература

1. Ультразвук в медицине: монография / М.Г. Киселев, В.Т. Минченя, Д.А. Степаненко. – Минск: БНТУ, 2009. – 428 с.
2. Gudra T., Muc S. Some problems of ultrasonic and laser cutting of biological structures // *The European Physical Journal. Special Topics*. Vol. 154. 2008. Pp. 85-88.
3. Zderic V., Keshavarzi A., Noble M.L., Paun M., Sharar S.R., Crum L.A., Martin R.W., Vaezy S. Hemorrhage control in arteries using high-intensity focused ultrasound: a survival study // *Ultrasonic*. Vol. 44. 2006. Pp. 46-53.
4. United States patent US 6679866, IPC A61F 9/07, 9/13, A61N 7/00, 7/02. Method and apparatus for the correction of presbyopia using high intensity focused ultrasound / G. Horn, G. Zdenek. – Application No. 870368; filed 29.05.2001; published 20.01.2004; priority 29.05.2001.
5. United States patent US 4899733, IPC A61B 1/30. Device and technique for transurethral ultrasonic lithotripsy using a flexible ureteroscope / E.A. DeCastro, R. Goodfriend. – Application No. 286561; filed 19.12.1988; published 13.02.1990; priority 19.12.1988.
6. Bansevėčius R., Bubulis A., Jūrėnas V., Vyšniauskienė Ž. Investigation of ultrasonic probe for medical purposes // *Ultragarsas*. Nr. 2 (55). 2005. Pp. 44-46.
7. Gavin G.P., McGuinness G.B., Dolan F., Hashmi M.S.J. Performance characteristics of a therapeutic ultrasound wire waveguide apparatus // *International Journal of Mechanical Sciences*. Vol. 49. 2007. Pp. 298-305.

Технологические особенности получения чугуна с шаровидным графитом повышенной прочности

Слущкий А.Г., Кулинич И.Л., Иванов А.И., Капуста Д.О.
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в Республике Беларусь в основном производятся невысокие марки чугуна с шаровидным графитом (ВЧ40–ВЧ50), при этом используются «легкие» сферидизирующие лигатуры на основе ферросилиция типа ФСМг, поставляемые по импорту.

Получение более высоких марок таких (ВЧ 60–ВЧ80) обеспечивается применением «тяжелых» магнийсодержащих лигатур на основе меди либо никеля. Актуальным остается вопрос повышения эффективности таких лигатур и в первую очередь за счет увеличения степени усвоения магния, снижения удельного расхода присадки, а также минимизации пылегазовых выбросов в процессе сферидизирующей обработки жидкого чугуна.

Целью настоящей работы является исследование технологических особенностей получения более высоких марок чугуна с шаровидным графитом с использованием быстроохлажденной медно-магниевого «тяжелой» – лигатуры.

Авторами данной работы ранее были выполнены экспериментальные исследования технологических особенностей процесса литья такой лигатуры [1–2]. В качестве основных материалов использовали металлический магниевый сплав МЛ5 и кусковую медь, лигатуру МЦ60, гранулированный алюминий. Плавка лигатуры осуществлялась в графитовом тигле на высокоскоростной индукционной установке. После расплавления расчетного количества меди производили ее раскисление алюминием после чего на зеркало жидкого металла добавляли флюс в виде кремнийфтористого натрия и вначале вводили необходимое количество церия в виде сплава МЦ60, а затем оперативно добавляли куски магниевое сплава МЛ5, что позволяло минимизировать потери магния на окисление. Полученный расплав лигатуры разливали в холодные металлические формы, что обеспечивало формирование плотной и однородной структуры, легко поддающейся дроблению. Кроме того, это влечет за собой благоприятное распределение компонентов по фракциям, что обеспечивает более эффективное усвоение магния (50...60 %) по сравнению с классическими модификаторами (35...45 %), кроме того сокращается в 1,3–1,5 раза продолжительность пирозффекта и как следствие уменьшается объем выбросов в атмосферу цеха.

По такому технологическому режиму бала изготовлен опытная партия быстроохлажденной медь-магниевого лигатуры для лабораторных испытаний при получении чугуна с шаровидным графитом.

Опытные плавки чугуна в лабораторных условиях проводили на индукционной печи ИСТ-0.06 с кислой футеровкой. Опытную быстроохлажденную лигатуру Cu-Mg использовали в виде фракции размером 2–3 мм. Шихта для получения исходного расплава состояла из передельного рафинированного доменного чугуна и низкосернистого стального лома. Такое соотношение основных материалов обеспечивало минимальную концентрацию серы (порядка 0,016 %) и получение в исходном сплаве 3,6–3,8 % С. Недостающее количество кремния компенсировалось добавками ферросилиция ФС45, из расчета получения его в исходном чугуне не ниже 2,6 %. Сфероидизирующую обработку чугуна осуществляли ковшевым методом, при различных по величине добавках лигатуры (от 0,5% до 1,2 %) к весу жидкого расплава. Для вторичного модифицирования использовали гранулированную лигатуру на основе алюминия и РЗМ. После завершения процесса сфероидизации высокопрочный чугун разливали по литейным формам в заготовки из которых вырезались образцы для исследования химического состава, микроструктуры и механических свойств. Обобщенные результаты исследований представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 – Влияние добавок медь-магниевого лигатуры на химический состав чугуна

Количество и тип лигатуры	Химический состав, %								
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Cu	Mg	Al
Исходный серый чугун	3,95	1,9	0,38	0,016	0,016	0,038	0,093		
0,5 % Cu-Mg	3,85	2,21	0,39	0,015	0,019	0,047	0,36	0,016	–
0,8 % Cu-Mg	3,73	2,16	0,38	0,012	0,018	0,046	0,62	0,033	–
1,2 % Cu-Mg	3,7	2,10	0,37	0,016	0,016	0,041	0,96	0,051	–

Таблица 2 – Влияние добавок медь-магниевого лигатуры на микроструктуру и твердость чугуна

Количество и тип лигатуры	Твёрдость, НВ	Металлическая основа		Графит		
		перлит	феррит	форма	распределение	длина
Не модифиц.	196	П20	Ф80	ПГф2	ПГр1	ПГд(15-750)
0,5 % Cu-Mg	229	П92	Ф8	ПГф2	ПГр1 ВГ	ПГд(15-45)
0,8 % Cu-Mg	241	П96	Ф4	ВГф1 ШГф5	ВГр1 ШГр1	ШГд(25-45)
1,2 % Cu-Mg	255	П(Ф0)	–	ШГф1	ШГр5	ШГд(15-45)

Установлено, что в зависимости от количества введенной лигатуры форма графита в чугуне изменилась от вермикулярной (при добавке 0,5 %) до исключительно шаровидной (добавка 1,2 %). При этом концентрация остаточного магния увеличилась от 0,016 % до 0,051 %. На рис. 2 приведены фотографии микроструктуры графита в полученных чугунах.

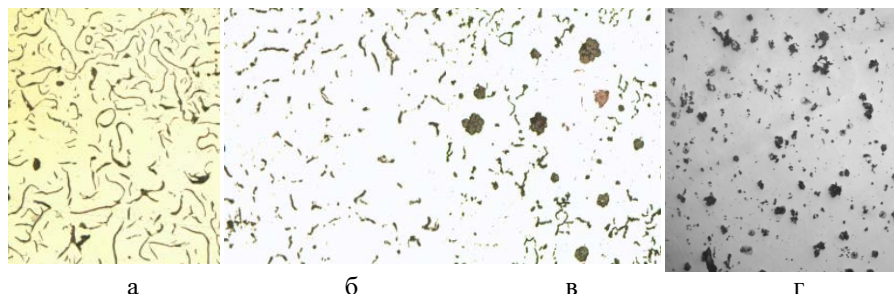
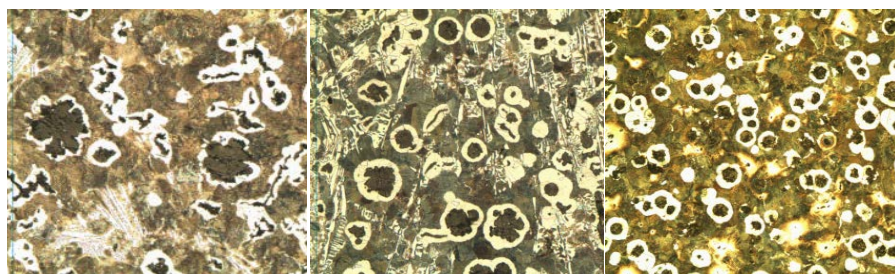


Рисунок 2 – Структура графита в чугуне, обработанного различными добавками медь-магниевого лигатуры ($\times 100$): а – исходный серый чугун; б – 0,5 % лигатуры; в – 0,8 % лигатуры; г – 1,2 % лигатуры

Металлографический анализ полученных чугунов показал, что дополнительного легирование чугуна медью (от 0,36 до 0,96 %) за счет вводимой лигатуры способствует перлитизации металлической основы сплава, что отразилось на твердости, которая возросла со 196 НВ в исходном сплаве до 255 НВ, в зависимости от величины присадки лигатуры.

Вместе с тем следует отметить наличие с структуре высокопрочного чугуна без вторичного графитизирующего модифицирования включений эвтектического цементита. 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 и уже при малых скоростях охлаждения даже в сплавах с высоким углеродным эквивалентом возможно локальное термическое и концентрационное переохлаждение микрообъемов, приводящее к образованию цементита.

На рисунке 3 приведены фотографии микроструктуры полученных чугунов после травления. Инокулирующее модифицирование, позволяет графитизировать сплав и исключить появление в литой структуре включений цементита (рис. 3 в), что является неотъемлемой частью внепечной обработки жидких чугунов.



а $\times 200$, травлено б $\times 200$, травлено в $\times 200$, травлено

Рисунок 3 – Металлическая основа высокопрочного чугуна обработанного различными лигатурами: а – 0,8 % лигатуры; б – 1,2 % лигатуры без вторичного модифицирования; в – 1,2 % лигатуры с вторичным модифицированием

Заключение

1. Показана реальная возможность получения быстроохлажденной сфероидизирующей «тяжелой» лигатуры для чугуна с шаровидным графитом. За счет быстрого ее растворения процессе ковшевой обработки жидкого расплава обеспечивается высокая степень усвоения магния.

2. В лабораторных условиях изготовлена опытная партия медь-магниевого литурата методом литья с последующим быстрым охлаждением и дроблением на фракции.

3. Проведены лабораторные испытания технологии получения чугуна с шаровидным графитом. Установлено, что такая литатура обеспечивает при ковшовой обработке более высокое усвоение магния по сравнению с классическими модификаторами, при этом в 1,5–2,0 раза сокращается продолжительность пироэффекта, что приводит к сокращению объема выбросов в атмосферу цеха.

Литература

1. Калиниченко, А.С. Использование сфероидизирующей «чипс»-литатуры на основе меди, содержащей наноразмерные частицы оксида иттрия, для высокопрочного чугуна / А.С. Калиниченко [и др.] // Литье и металлургия. – 2016. – № 1 (82). – С. 130–135.

2.Слуцкий, А.Г. Особенности сфероидизирующего модифицирования высокопрочного чугуна литатурами на основе меди / А.Г. Слуцкий [и др.]// Литье и металлургия. – 2016. – № 2 (83). – С. 110–115.

СОДЕРЖАНИЕ

Корнеев С.В. Исследование максимальной скорости нагрева и плавления материалов в топливных и электрических печах.....	4
Корнеев С.В. Исследование тепловой работы футеровки топливных и электрических печей при ее разогреве и охлаждении.....	8
Слущкий А.Г., Немененок Б.М., Шейнерт В.А., Румянцева Г.А. Использование ванадийсодержащих отходов для легирования сплавов на основе железа.....	13
Рафальский И.В., Немененок Б.М., Лущик П.И. Получение неразъемных соединений сплавов на основе алюминия и титана.....	16
Рафальский И.В., Бежок А.П., Лущик П.Э. Информационные системы и технологии в литейном и металлургическом производстве.....	23
.....	
Константинов В.М., Щербаков В.Г. Повышение эффективности диффузионного легирования порошков на железной и медной основах из дискретных отходов.....	27
Щербаков В.Г. Микромеханические характеристики диффузионно-легированной цинком меди.....	31
Григорчик А.Н., Астрашаб Е.В. Износостойкость газотермических покрытий из псевдосплавов «08Г2С+БрКМц3-1» и «40Х13+БрКМц3-1».....	35
Григорчик А.Н., Астрашаб Е.В. Структурно-фазовое состояние газотермических покрытий из псевдосплавов «Х20Н80+65Г», подвергнутых закалке.....	40
Дашкевич В.Г. Обобщенная структура доступа и управления данными при проектировании термодиффузионных слоев и покрытий.....	45
Дашкевич В.Г., Ушеренко Ю.С. Упрочнение конструкционных сталей комбинированными методами обработки, включающими термодиффузионное борирование.....	49
Мельниченко В.В. Развитие абстрактного мышления у студентов младших курсов путем углубленного изучения программирования на языке Object Pascal.....	53
Мельниченко В.В., Стефанович В.А. Использование специализированных программных продуктов в подготовке инженеров-материаловедов.....	55
Константинов В.М., Булойчик И.А. Определение параметров	

кинетики формирования цинковых диффузионных слоев при цинковании в атмосфере аммиака с использованием хлорида аммония.....	58
Паршуту А.А., Степанова-Паршуту Е.А., Климова Е.А., Кохнюк В.Н. Влияние частоты тока на физико-механические свойства оксидных пленок, сформированных на деформируемых сплавах алюминия в серной кислоте.....	62
Паршуту А.А., Степанова-Паршуту Е.А., Климова Е.А., Кохнюк В.Н. Исследование свойств оксидных пленок силуминов, полученных в нестационарных режимах.....	66
Зеленин В.А., Гладинов А.Д. Расчет температур плавления высококремнистых сплавов систем Ni-Cr-Si и Ni-Cr-La-Si.....	70
Стефанович В.А., Мельниченко В.В., Стефанович А.В., Борисов С.В. Исследование распределения твердости по толщине цементованного слоя на низколегированных сталях.....	75
Калиниченко М.Л. Особенности получения склеенных деревянно-пластиковых композиций для создания модельных комплектов мелкосерийного литейного производства.....	78
Гуминский Ю.Ю., Одиночко В.Ф., Арабей А.В. Анализ эффективности процесса вакуумирования литейных жидкостекольных смесей.....	82
Ровин С.Л., Григорьев С.В. Рециклинг отходов, образующихся при производстве свинца из аккумуляторного лома.....	86
Рудницкий Ф.И., Куликов С.А., Шумигай В.А. Особенности состава некоторых металлосодержащих отходов литейного передела и перспективы их рециклинга.....	91
Рудницкий Ф.И., Скворцов А.А. Возможности изготовления литой технологической оснастки и инструмента из быстрорежущей стали с использованием операции закалки из жидкого состояния.....	95
Садоха М.А. Механизация технологии литья в кокиль.....	99
Коренюгин С.В., Ровин С.Л., Гацуро В.М. Причины дефектов литья при использовании стержней, изготовленных по cold-box-amine процессу.....	103
Калиниченко В.А. Взаимодействие чугунных армирующих составляющих с материалом основы при синтезе литых композиционных материалов.....	107
Нисс В.С., Паршуту А.Э., Сенченко Г.М., Янович В.А., Сорока Е.В. Влияние геометрических особенностей анода и характеристик электролита на распределение плотности тока при электрохимическом полировании сталей с повышенным содержанием углерода.....	111

Каледина Н.Б., Голубцова Е.С. Механические свойства сварных соединений высокопрочной стали 42Х2ГСНМА, полученных аргоно-дуговой сваркой неаустенитными материалами с последующим отпуском	115
Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Паршутто А.Э., Будницкий А.С., Сорока Е.В. Полирование металлических материалов с применением управляемых импульсных режимов электролитно-плазменной обработки.....	119
Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Будницкий А.С. Влияние импульсного электрохимического полирования на качество поверхности легкоокисляемых металлов и сплавов на их основе.....	124
Вершня Е.Г., Батыновская И.А. Условия и безопасность труда при проведении сварочных работ.....	128
Журавков Н.М., Вершня Е.Г.Безопасность персонала распределительных устройств и трансформаторных подстанций.....	132
Молош Т.В. Совершенствование охраны труда при выполнении механизированных работ по заготовке кормов.....	137
Мордик Е.В., Науменко А.М.Обеспечение безопасности персонала объектов атомной энергетики.....	140
Первачук Ж.В., Батыновская И.А. Факторы производственной среды и профессиональные риски в строительстве.....	144
Филянович Л.П. Автоматизированные системы управления и безопасность на энергетических объектах.....	147
Филянович Л.П., Снарский А.А. Обеспечение взрывобезопасности в системе газопотребления ТЭС и котельных.....	151
Ушакова И.Н., Автушко Г.Л. Безопасность использования наземной сканирующей системы Leica ScanStation.....	155
Журавков Н.М., Савкова Е.Н. Актуальные направления фотоники в области управления рисками систем «человек-биосреда (освещение)».....	159
Шрубенко Т.П., Кот Т.П. Воздействие виброакустических факторов производственной среды на водителей городского общественного транспорта.....	163
Кот Т.П., Абметко О.В. Особенности условий труда операторов мобильных колесных машин при проведении работ на уборке зерновых.....	167
Пантелеенко Е.Ф. Техника безопасности при проведении сварочных работ на нестационарных рабочих местах.....	171
Зык Н.В., Кулинич И.Л., Глуховский В.И. Состав соединений	

редкоземельных элементов в фосфогипсе.....	176
Комаров О.С., Розенберг Е.В. Использование алюмината натрия в качестве связующего при литье по выплавляемым моделям.....	179
Барановский К.Э., Розенберг Е.В. Износостойкость красок для литья по газифицирующим моделям.....	182
Хомич Н.С., Гавриленко В.В. Финишная обработка глубоких отверстий малого диаметра.....	185
Гавриленко В.В. Применение и проблемы моделирования ультразвуковых волноводных систем в медицине.....	188
Слущкий А.Г., Кулинич И.Л., Иванов А.И., Капуста Д.О. Технологические особенности получения чугуна с шаровидным графитом повышенной прочности	191