

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 75-й научно-технической
конференции профессорско-преподавательского
состава, научных работников, докторантов и
аспирантов БНТУ)



14 апреля 2022 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-преподава-
тельского состава, научных работников, докторантов и аспирантов МТФ
БНТУ (проводится в рамках 75-й научно-технической конференции профес-
сорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспи-
рантов БНТУ)

14 апреля 2022 года

Минск
БНТУ
2022

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;

Бежок А.П., к.т.н., доцент.

РАБОЧАЯ ГРУППА:

Гольцова М.В., д.т.н., доцент;

Одиночко В.Ф., к.т.н., доцент;

Слуцкий А.Г., к.т.н., доцент.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ:

Бежок А.П., к.т.н., доцент.

РЕДАКТОРЫ: **Бежок А.П., Иванов И.А.**

В настоящий сборник включены материалы докладов Республиканской научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов МТФ БНТУ (проводится в рамках 75-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».

Возможность использования продуктов переработки электросталеплавильной пыли при производстве цементного клинкера

Корнеев С.В., Урбанович Н.И., Розенберг Е.В.
Белорусский национальный технический университет

При наличии в металлошихте оцинкованной стали пыль системы газоочистки содержит значительное количество оксида цинка и других более сложных соединений, содержащих цинк. При утилизации и рециклинге пыли, как правило, рассматривают в качестве ресурса как соединения цинка, так и соединения железа. При этом практически все известные процессы предполагают их раздельное использование.

После восстановления и удаления цинка пыль содержит значительное количество оксидов железа, которые также можно восстановить с получением в качестве конечного продукта губчатого железа. Однако содержание железа в таком продукте недостаточно высоко, так как балластные оксиды не отделяются, а остаются в готовом продукте. Разработанные на текущий момент технологии получения товарного продукта при переработке пыли во вращающихся печах с кольцевым подом позволяют отделить гранулы чугуна от шлаковой фазы, однако технологии предполагают использование пыли в количестве около 20% с добавлением значительного количества окислы, углеродистого восстановителя, а также флюсов для получения одновременно жидкой фазы чугуна и шлака.

Менее ресурсозатратным вариантом процесса является восстановление и удаление цинка с получением в качестве остатка спека в котором оксиды железа не восстановлены для использования его в качестве железосодержащей добавки при изготовлении цементного клинкера. При этом необходимо проанализировать качественные показатели продукта и пригодность его для непосредственного использования в цементной промышленности.

По информации предприятия на ОАО БМЗ образуется около 35000 тонн пыли в год (объем имеющейся на хранении пыли ПГУ составляет 158000 тонн). Одной из проблем при разработке технологии переработки пыли является нестабильный химический состав пыли.

Состав пыли газоочистки ОАО БМЗ (ТУ ВУ 400074854.070-2013) представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав пыли газоочистки ОАО БМЗ

	Fe _{мет}	Fe ₂ O ₃	FeO	Mn	Pb	Sn	Zn	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
Среднее значение, %	0,5	37,0	2,6	1,3	0,3	0,03	23,8	9,3	1,9	1,0
Диапазон, %	0,3-1,0	25,5-48,6	0,4-4	0,68-2,0	0,07-2,7	До 0,1	10,35-33,96	5,56-16,63	1,36-4,7	0,4-2,17

Продолжение таблицы 1

	Cr	Ni	Cu	Cl	S	C	SiO ₂	∑K ₂ O+Na ₂ O	Fe _{общ}
Среднее значение, %	0,2	0,03	0,1	1,8	0,8	1,9	3,6	6,2	26,8
Диапазон, %	0,05-0,4	0,003-0,32	0,03-0,3	0,1-3,76	0,04-1,53	0,4-3,28	0,1-6,69	2,7-11,8	21,0-34,0

Мощности цементных заводов, расположенных в РБ могли бы обеспечить потребление всего остатка от пыли, прошедшей обесцинкование в качестве железосодержащей добавки. Однако необходимо учитывать, что состав пыли кроме соединений цинка содержит и другие соединения, которые могут отрицательно сказываться на качественных показателях клинкера и цемента при определенных концентрациях.

Химический состав портландцементного клинкера представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав цементного клинкера, %

CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO	MgO	Cr ₂ O ₃	Na ₂ O+K ₂ O	SO ₃	Cl
64-66	22-24	2-4	5-8	0,5-2	До 3	До 0,1-0,3	До 0,5	До 0,8	До 0,012

Главными оксидами клинкера являются оксиды кальция, кремния, железа и алюминия. Для определения минералогического состава клинкера необходимо знать процентное содержание основных клинкерообразующих окислов. Соотношение между основными окислами выражается двумя модулями (силикатным и глиноземным) и коэффициентом насыщения. При производстве портландцементного клинкера в нем не должно оставаться свободной извести, т. е. количество взятой CaO должно соответствовать тому ее количеству, которое необходимо для получения C₃S; C₃A и C₄AF.

Оксид марганца (MnO) положительно влияет на процессы минералообразования, которые ускоряются в присутствии 0,5 % – 2,0 % MnO и завершаются на 50 °С – 100 °С ниже обычной температуры.

Содержание MgO в сырьевой смеси ограничивается не более чем 3 % [1].

Конечное содержание цинка в спеке должно быть ограничено, так как цинк является нежелательной примесью. В Краковском филиале Института керамики и строительных материалов показано, что при содержании до 1,2 % цинка в клинкере стандартные свойства цемента не ухудшаются. Более высокое содержание цинка приводит к нежелательному изменению свойств цемента из-за образования в клинкере ZnO, вызывающего замедление схватывания [2].

Отдельные примеси, такие как соединения S, K, Na, Cl, Cr, негативно влияют на технологию обжига и качество клинкера [1].

Содержание ангидрида серной кислоты SO₃ в сырьевой смеси ограничивается до 0,8 %.

Отрицательное влияние щелочесодержащие соединения (K₂O и Na₂O) при значительном их содержании оказывают на обжиг клинкера, изменяя последовательность процесса минералообразования. Наличие в материале печи щелоче- и серосодержащих соединений нарушает процесс гранулообразования клинкера, приводит к клинкерному пылению и снижению активности клинкера. Кроме того, присутствие щелочей в цементе нежелательно, так как они иногда являются причиной непостоянства сроков схватывания при гидратации цемента, образования выцветов на цементных изделиях и появления трещин в бетонах. Для выпуска высокопрочных цементов необходимо ограничить в сырьевой смеси содержание R₂O до не более чем 0,5 %. При сухом способе производства накопление щелочей в совокупности с оксидом серы и особенно хлором приводит к настylieобразованию в системе запечных теплообменников. Поэтому содержание хлора в сырьевой шихте ограничивается величиной 0,015 %, в других источниках – не более 0,012 % [1].

Оксид хрома в количестве 0,1 % – 0,3 % положительно влияет на процессы минералообразования клинкера. Но при содержании свыше 0,3 % Cr₂O₃ снижается прочность цемента. Однако (Cr₂O₃) является нежелательным оксидом в сырьевой смеси и клинкере. Евросоюзом в 2003 году принята Директива 2003/53/ЕС об ограничении применения цемента с содержанием шестивалентного хрома (Cr (VI)) более 2 мг/кг, он является контактным аллергеном. Для снижения содержания Cr (VI) при помоле цемента применяются дехроматоры [1].

Содержание оксида фосфора в сырьевой смеси в количестве 0,2 % – 0,3 % оказывает положительное влияние. При повышенном содержании P₂O₅ в клинкере замедляется процесс твердения цементного камня [1].

Проведем проверку состава спека пыли после удаления цинка на содержание вредных составляющих для цементного клинкера.

Согласно таблице 1 содержание цинка в пыли 10,35-33,96 %. На 1000 кг пыли масса цинка 103,5-339,6 кг, а в пересчете на оксид цинка 128,83-422,7 кг ZnO. Количество спека пыли без ZnO составит 871,17-577,3 кг. Тогда минимально возможное содержание Fe₂O₃ составит

255/871,17=29,3%, а максимально возможное 486/577,3=84,2% (с учетом железа в других формах еще выше, железо в металлическом состоянии предварительно должно быть окислено после процесса удаления цинка).

Определим содержание MgO в спеке при минимально возможном содержании Fe₂O₃ и максимальном количестве спека $4,7 \cdot 1000/871,17=5,4\%$ (здесь 4,7 – максимальное процентное содержание MgO в исходной пыли из таблицы 1). Аналогично определяем процентное содержание остальных примесей с учетом пересчета содержания Cr на Cr₂O₃, а S на SO₃ (таблица 3).

Таблица 3 – Содержание нежелательных примесей в спеке пыли после удаления цинка, %

MgO	Cr ₂ O ₃	Cl	SO ₃	K ₂ O+Na ₂ O
5,4	0,64	4,31	4,4	13,55

Определим количество спека пыли в качестве железосодержащей добавки, необходимое для получения содержания оксидов железа в клинкере на уровне 4 %.

Для получения тонны клинкера необходимо 40 кг Fe₂O₃. При этом необходимо добавить спека пыли с удаленным цинком (при содержании оксидов железа 29,3%) в количестве $40/0,293=136,5$ кг.

Прирост содержания нежелательных примесей в готовом клинкере при полном переходе соединений в готовый продукт представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Прирост содержания нежелательных примесей в готовом клинкере, %

MgO	Cr ₂ O ₃	Cl	SO ₃	K ₂ O+Na ₂ O
0,74	0,087	0,59	0,60	1,85

Предварительные эксперименты по удалению цинка при температуре до 1100 °С при использовании в качестве восстановителя графита показали, что цинк удаляется полностью, а указанные в таблице 4 примеси при этом остаются в спеке. Как следует из таблицы 2 и 4 содержание Cl и R₂O выше требуемых для получения качественного клинкера. Это свидетельствует о том, что после первичного удаления цинка из пыли не весь спек возможно напрямую использовать в качестве железосодержащей добавки в сырьевую смесь для получения клинкера.

Анализ материалов, которые могут быть источниками высокого содержания R₂O в электросталеплавильной пыли показывает, что значительное количество данных соединений может поступать в результате использования заправки и подварки футеровки жидким стеклом, а также использования шлакораскисляющих смесей на основе алюминия и его оксидов, полученных из шлаковых отходов процессов, в которых алюминиевый сплав проходил флюсовую обработку. Поступление R₂O из других источников, например золы антрацита (расход антрацита до 1500 кг на плавку 100 тонн) незначительно, а из различных покрытий в виде эмалей затруднительно для точной оценки.

Литература

1. Производство цемента. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС6 – 2015. – М.: Бюро НДТ. – 2015. – 293 с.
2. П. Заид, Э. Елито, В. Курдовски Значение цинка в производстве портландского цемента // Цемент и его применение, Выпуск №2. – 2018. – С. 37-46

Литейно-металлургический способ получения порошков для защитных покрытий

Шейнерт В.А., Слуцкий А.Г., Девойно О.Г., Зык Н.В.
Белорусский национальный технический университет

Для нанесения защитных покрытий многофункционального назначения с использованием высокоэнергетических тепловых потоков (плазма, лазер) используются различные составы сложных интерметаллических порошковых материалов.

Важной технологической характеристикой порошков является их текучесть, что обуславливает стабильность подачи материалов, возможность точной регулировки расхода. С этой целью используются частицы сферической формы с незначительной пористостью и размером не менее 10 мкм [1]. Средний размер частиц порошков для газотермического напыления и широта диапазона используемой фракции являются одной из важнейших характеристик материала. Эти показатели зависят от состава напыляемого материала, используемого типа оборудования и заданных свойств покрытия.

Поскольку металлические порошки, предназначенные для газотермического напыления, в основном являются высоколегированными материалами, для которых очень важно обеспечение однородности частиц по составу, для их изготовления наиболее удобен метод распыления – диспергирование струи расплавленного металла или сплава с последующей кристаллизацией микрокапель.

Методами распыления можно получать порошки различной дисперсности и состава практически из всех металлов и сплавов. Для распыления тугоплавких металлов (ниобия, молибдена, вольфрама) используют дуговые плазмотроны. Распыление осуществляют в воду или в защитную газовую среду (в последнем случае частицы порошка не окисляются). Распыленные металлы подвергают сушке, отжигу, расसेву на нужные фракции.

Другим распространенным способом получения порошков для напыления является механическое измельчение (дробление, размол) компактных материалов. Этот способ применяют для хрупких металлов и сплавов. К ним могут быть отнесены материалы с высоким содержанием оксидов, силицидов, боридов, карбидов, например высоколегированные износостойкие чугуны [2].

В лабораторных условиях апробирован вариант получения компактных слитков, с использованием высокоскоростной индукционной плавильной установки. В качестве объекта исследований были выбраны два типа сплавов - комплексный силицид, на основе никеля и титана и хромкремниевый износостойкий чугун. Плавка шихты производилась в нейтральной атмосфере скоростным сплавлением, с последующей разливкой в массивную графитовую форму, что обеспечивало получение мелкодисперсной напряжённой структуры. В дальнейшем слитки подвергались дроблению и размолу до требуемых фракций.

Предварительное дробление слитков до размеров частиц около $5 \cdot 10^{-3}$ м производилось в ударной ступе и не вызывало трудностей, также сравнительно легко прошёл размол до размера 100 мкм в шаровой мельнице типа «пьяная бочка», а для получения фракции 40-60 мкм) необходимой для напыления, использовали центробежную мельницу.

В результате операций размола частицы порошков имели относительно равноосную, но осколочную, остроугольную форму, что не обеспечивало стабильную работу питателей-дозаторов установок напыления покрытий. Для увеличения технологической текучести полученных порошков применили окатывание их в барабане с корундовыми шарами в течение 10 часов с последующим пневматическим обеспыливанием.

На рисунке 1 приведены основные этапы процесса изготовления порошка из комплексного силицида.



Рисунок 1. – Этапы получения порошка из быстроохлаждённых слитков
а – плавильная печь, б) – полученный слиток; в– после дробления г-после размола

Такая методика [3] использовалась для получения всех испытанных материалов содержащих силициды и карбиды в матрицах твёрдых растворов.

В лаборатории Плазменных технологий НИПИ филиал БНТУ проведены испытания опытных образцов порошка комплексного силицида и хромосилицида при нанесении покрытий на алюминиевые и стальные заготовки (рисунок 2.)

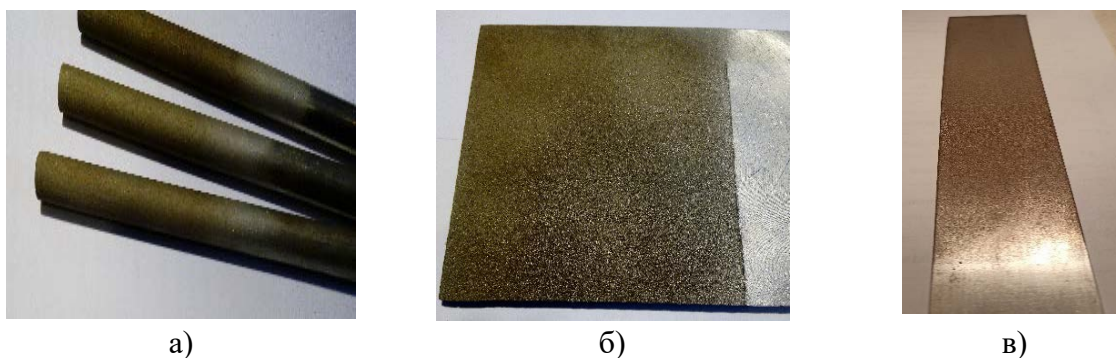


Рисунок 2. – Покрытие, нанесенное газопламенным напылением порошков на стальную трубу (а), алюминиевую пластину (б) и пластина с покрытием после прокатки (в)

Полученные покрытия на листовых заготовках выдерживали без отслаивания и растрескивания загиб на угол 90° и прокатку в валках диаметром $10 \cdot 10^{-2}$ м с обжатием 30%.

Таким образом, в результате выполненных исследований:

- экспериментально опробован процесс изготовления закаленных слитков с использованием вакуумной индукционной плавки и разработаны технологические схемы получения порошков износостойких и жаростойких материалов для напыления с выходом на лабораторное производство;
- подобраны составы интерметаллических материалов для износостойких покрытий на основе хромосилицида и комплексных силицидов, содержащих никель и титан;
- в лабораторных условиях опробована технология получения слитков износостойких и жаростойких материалов в вакуумной индукционной печи.
- разработаны методики получения порошков на их основе дроблением и фракционированием литой термонапряженной заготовки;
- изготовлены опытные образцы порошков и получены предварительные результаты их испытаний при нанесении покрытий газопламенным напылением.

Литература

1. Борисов, Ю.С. Газотермические покрытия из порошковых материалов / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.Н. Ардаговская. – Киев: Научная думка, 1987. – 543 с.

2. Слуцкий, А.Г. Способы получения износостойких материалов для защитных покрытий с использованием литейно-металлургических методов / А.Г. Слуцкий, Н.В. Зык, В.А. Шейнерт, И.А. Касперович, Е.А. Малышко // *Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов* в 2 ч. – Минск: БНТУ, 2021. – Вып. 42 с.216-225.

3. Хорольский, П.Д. Способы получения износостойких порошковых материалов для защитных покрытий с использованием плазмы и лазера / Хорольский П.Д., Раков И.Г. В.А. Шейнерт // *Новые материалы и технологии их обработки: материалы XXII Респ. студ. научн.-техн. конф.*, Минск, 21-22 апреля 2021 г. / *Белорус. нац. техн. ун-т : ред. кол.: И.А Иванов [и др.]*. – Минск, 2021. – С. 21-25.

Технологические особенности плавки и получения термонапряженных слитков из комплексных силицидов

Иванов И.А., Шейнерт В.А., Слущкий А.Г., Бежок А.П.
Белорусский национальный технический университет

Ранее выполненные исследования показали перспективность технологии получения силицидов с использованием метода совместного металлотермического восстановления соединений, который обеспечивает химическую и структурную однородность полученного слитка, невысокое содержание вредных примесей, достижение требуемых механических, тепло- и электрофизических свойств, необходимых для материала мишени. При этом существенно снижаются материальные и энергетические затраты. Вместе с тем в процессе затвердевания слитка силицида под катод-мишень в нем, как и в любом сплаве, за счет процессов структурообразования в твёрдо-жидком состоянии в интервале кристаллизации, формируются ликвационные дефекты, а также газовая пористость в сочетании с концентрированной усадочной раковинной. Это вызывает формирование неоднородной плотности материала по высоте слитка. Кроме того, такие катоды-мишени имеют невысокую технологическую и эксплуатационную прочность из-за термических напряжений вызывающих микро- и макротрещины, что отрицательно сказывается на качестве наносимых покрытий. [1-2].

Перспективным направлением является изготовление катодов-мишеней из сложнелегированных сплавов для ионно-плазменных испарительных систем с использованием тепловых и деформационных методов воздействия. (получение слитков, дробление и размол, пресование порошков в заготовки, спекание и изготовление катодов-мишеней).

Для покрытий с высокой износостойкостью, прочностью, тепло- и жаростойкостью, коррозионной устойчивостью выбраны композиции из титана, никеля, хрома и их силицидов.

Примером может служить процесс получения литого комплексного силицида, содержащего: 50 % титана, 20 % никеля, 30 % кремния, состав которого выбран на основании анализа диаграмм состояния соответствующих систем. Установлено, что реакции образования силицидов сильно экзотермические, так же у данной композиции положительные теплоты растворения элементов друг в друге.

Экспериментальные работы, проведенные на высокоскоростной плавильной установке, позволили получить полностью жидкофазный гомогенный сплав, из которого при охлаждении выделялись вначале кристаллы Ti_5Si_3 , а затем закристаллизовалась матрица в виде эвтектики из твёрдого раствора кремния в никеле и низшего силицида никеля [2]. Конечная структура такого сплава состоит из матрицы сравнительно мягких никелевых фаз с вкраплениями твёрдого силицида титана. Из описанного процесса вытекает, что температурный режим плавки, порядок и темп ввода компонентов имеет большое, часто решающее значение для проведения синтеза тугоплавкого силицида.

Известно, что титан интенсивно окисляется при нагреве, начиная с температуры 750 К, а в расплавленном состоянии активно растворяет кислород [3]. Расплавленный титан активно взаимодействует с большинством известных огнеупоров, за исключением графита высокой плотности, поэтому выгоднее плавку титана проводить в вакуумной печи.

Никель допускает плавку в любых атмосферах, в том числе воздушной, хотя довольно интенсивно растворяет в себе кислород. Эта проблема легко решается глубоким раскислением расплава любым способом. С большинством огнеупоров никель не взаимодействует или взаимодействует слабо, однако науглероживается в контакте с графитсодержащими материалами до предела растворимости углерода. Начинать синтез с получения исходного никелевого расплава технологически просто, однако при малом содержании в заданном составе сплава и высокой плотности он будет занимать малую часть объёма реакционной зоны и иметь небольшое теплосодержание, что не позволит достичь высокой температуры реагирующих компонентов при синтезе [3-4].

Кремний в это смысле более выгоден как основа исходного расплава. Его взаимодействие с газами минимально, с кислородом жидкий кремний взаимодействует с образованием летучих субоксидов, которые таким образом не загрязняют расплав и его поверхность [4].

По отношению к примесям он является, как правило раскислителем, что тоже в течение некоторого времени обеспечивает расплаву относительную чистоту. Кремний не растворяет в себе углерод, и, хотя реакционно взаимодействует с ним при плавке в графитосодержащих огнеупорах с образованием карбида, реакция быстро затухает и стенки тигля покрываются изолирующим слоем карбида кремния, благодаря которому возможны длительные выдержки расплава. Кремний допускает высокие технологические перегревы без риска испортить расплав, который при этом приобретает значительное теплосодержание, позволяющее проводить синтез силицидов с подъёмом до очень высоких температур с образованием гомогенного расплава.

На основании вышеизложенного применительно к комплексному силициду титан-никель-кремний предложена следующая схема синтеза : реактор-графитовый тигель, газовая атмосфера-нейтральная (аргон), первая стадия-получение расплава кремния и его перегрев до 1900 К, вторая стадия – подогрев высечки никеля и титана толщиной 0,003-0,005 м до 700 К, третья стадия – последовательный непрерывный ввод никеля затем титана в исходный расплав кремния одновременно с максимальным подводом энергии индуктором до достижения температуры 2500 К (оптическая пирометрия), четвёртая стадия – по достижении температурного максимума перемешивание полученного расплава при выпуске и охлаждение с кристаллизацией.

Конечной целью данного литейного процесса является получение слитка комплексного силицида с плотной и однородной структурой, который легко поддается процессу дробления и измельчения с целью последующей обработки деформационными методами.

В качестве плавильного агрегата использовали инвертор с выходной мощностью 30 кВт и частой генерации в диапазоне 8-50 кГц, позволяющий развивать удельную тепловую мощность в садке до 250 Дж·с/см³. Это обеспечивает скоростное расплавление исходных материалов, что крайне необходимо для синтеза силицидов.

Для обеспечения вложения в садку столь высокой мощности использован электродный графит, из которого был изготовлен плавильный тигель с огнеупорной теплоизоляцией на основе карбида кремния, способной работать при температурах до 2500 К минимально необходимое время. Толщину огнеупорной теплоизоляции выбрали из расчёта падения температуры по сечению до 1300-1500 К на внешней поверхности. Для дальнейшего сокращения теплового потока потерь в наружном слое плавильного реактора использовали эффективную высокотемпературную диэлектрическую теплоизоляцию в виде мулитовой ваты с предельной рабочей температурой 1500 К. Такая теплоизоляция обеспечила минимум тепловых потерь [4].

Серьезной проблемой является процесс разлива жидкого силицида из плавильного тигля в литейную форму. Эту операцию необходимо проводить в кратчайшее время, учитывая высокую скорость снижения температуры с уровня 2500 К. Оптимальная форма слитка для дальнейшей обработки деформационными методами, в частности операциями дробления, это как можно более тонкая протяжённая пластина, к тому же отвечающая принципу скоростной кристаллизации для обеспечения изоморфной макро- и мелкозернистой микроструктуры. Такие требования вытекают из необходимости последующего дробления слитка до мелких фракций частиц (менее 10⁻⁴ м) при минимизации выкрошивания отдельных фаз и облегчения процесса измельчения за счёт высоких внутренних напряжений в слитке при быстрой кристаллизации. Высокую скорость теплосъёма от расплава может обеспечить металлическая форма, технология которой разработана достаточно хорошо и не вызывает затруднения. Затруднения вызывает заполнение такой формы высокотемпературным расплавом. Для практической реализации был использован способ с использованием смыкающегося кокиля. При температурах разлива силицидных сплавов, не смотря на их пониженную теплопроводность развивается огромный температурный перепад между поверхностью расплава и стенкой формы, что может привести к горячей диффузионной сварке в зоне контакта или подплавлению пограничного

слоя, поэтому применение теплоизолирующих покрытий рабочих поверхностей кокиля желательно. В результате, благодаря комплексу приведенных мероприятий слиток распался на части уже при извлечении из формы и, в последующем, сравнительно легко размалывался в мельницах.

Литература

1. Иванов И.А., Слуцкий А.Г., Шейнерт В.А. Технологические принципы изготовления катодов-мишеней из комплексных силицидов для вакуумных ионно-плазменных источников Международная научная и научно-техническая конференция «Ресурсо- и энергосберегающие инновационные технологии в литейном производстве» 23-24 марта, 2022, Ташкент, – с. 18-20.
2. Иванов И.А., Слуцкий А.Г., Шейнерт В.А., Иванов А.И., Белый А.Н. Изготовление катодов-мишеней из композиционных силицидов для нанесения защитных покрытий с применением литейно-деформационной технологии журнал «Литье и металлургия» 2021г., № 2 – с. 68-75.
3. Иванов И.А., Слуцкий А.Г., Шейнерт В.А., Белый А.Н., Бежок А.П., Костюченко Ю.А., Ковалевич Э.В. Совершенствование процесса получения катодов-мишеней из комплексных силицидов для вакуумных ионно-плазменных источников сб. МЕТ. №41 2020 г. часть 2 – с. 1-15.
4. Способ изготовления композиционных катодов: Евразийский патент № 0336799 / Иванов, И.А. Шейнерт В.А., Слуцкий А.Г., Хлебцевич В.А. – Оpubл. 22.12.2020.

К вопросу образования пористости в отливках из силуминов, модифицированных стронцием

Румянцева Г.А., Неменёнок Б.М., Арабей А.В.
Белорусский национальный технический университет

В практике получения отливок из силуминов обязательной технологической операцией является их модифицирование с целью сфероидизации включений эвтектического кремния. Для этих целей используются флюсы, содержащие фтористый натрий или стронцийсодержащие лигатуры. Как правило, модифицирование расплава стронцием сопровождается снижением герметичности отливок и развитием газосадочной пористости [1].

Для выяснения причин образования пористости в модифицированных силуминах проводили исследования на сплавах системы Al-Si с содержанием кремния от 0 до 14 %. Для модифицирования использовали лигатуры «А» и «Б» на основе алюминия с расчетным содержанием стронция 10 %. Газосодержание лигатуры «А» составляло $0,12 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ металла, лигатуры «Б» – $0,45 \text{ см}^3/100 \text{ г}$. Модифицирование силуминов лигатурами «А» и «Б» существенно изменяет зависимость параметров усадки от содержания кремния в силуминах по сравнению с исходными составами сплава. Характер изменений практически не определяется типом лигатуры (рафинированная «А» или газонасыщенная «Б»). Для всех составов и типов лигатур возрастает величина усадочной пористости ($V_{\text{п}}$), хотя и в разной степени. В случае обработки силуминов с содержанием 6 % кремния лигатурой «А» величина усадочной пористости при литье в сухую песчаную форму составила 4,8 %, что выше, чем у исходного сплава, но ниже, чем после ввода лигатуры «Б», для которого этот показатель составил 4,9 %. Увеличение скорости охлаждения отливок уменьшает различие в величине усадочной пористости в зависимости от способа ввода стронция, однако общая закономерность сохраняется. Подобное различие в величине усадочной пористости наблюдается для всех исследованных составов в случае ввода лигатуры «А» и «Б». При этом четко прослеживается более эффективное увеличение усадочной пористости от процесса модифицирования. Использование газонасыщенной лигатуры «Б» по сравнению с лигатурой «А» незначительно усиливает пористость в отливках.

Увеличение доли усадочной пористости в силуминах при вводе в них Sr, Li, Ca и Na отмечается также авторами многих работ и может быть объяснено следующими причинами [1, 2].

Во-первых, Li, Na, K, Ca, Sr и Ba уменьшают плотность алюминиевого расплава, увеличивают температурный коэффициент объемного расширения и, как следствие, величину его объемной усадки при кристаллизации, приводящей к развитию пористости в отливках.

Другая причина повышения пористости – это более высокое газосодержание сплавов, т. к. щелочные и щелочноземельные металлы, поглощенные расплавом при модифицировании, увеличивают насыщение расплава водородом. Для объяснения данного факта можно использовать доводы Ю. Н. Тарана и его сотрудников, которые полагают, что уровень растворимости водорода в жидком силумине определяется относительным объемом металлизированной зоны и концентрацией в ней кремния. Любая обработка расплава, увеличивающая относительный объем металлизированной зоны при условии сохранения состава, будет проводить к увеличению газонасыщенности сплава. Развивая это положение, можно объяснить причину повышения газосодержания модифицированных сплавов, т. к. натрий и стронций способствуют металлизации связи Si-Si, что подтверждается снижением удельного электросопротивления модифицированного сплава [1, 3]

В-третьих, расширение зоны усадочной пористости в модифицированных силуминах тесно связано с увеличением интервала кристаллизации. Анализ термограмм затвердевания показал, что независимо от способа ввода стронция температура ликвидус модифицированного сплава не отличается от немодифицированного, а температура солидус снижается на 9–

12 °С по сравнению с температурой эвтектического превращения в системе Al-Si для равновесных условий. Поэтому модифицированный сплав для всех концентраций кремния всегда имеет более широкий интервал кристаллизации по сравнению с немодифицированным, а, следовательно, и иное соотношение слагаемых объемной усадки. При этом объем усадочной пористости может увеличиваться за счет уменьшения на 50 % объема концентрированной усадочной раковины [1].

В-четвертых, повышенная склонность модифицированных силуминов к образованию усадочной пористости во многом определяется изменением механизма кристаллизации [1]. Немодифицированные силумины кристаллизуются, как правило, последовательно – от стенки формы к центру отливки или ее тепловому узлу с небольшим переохлаждением эвтектики относительно температуры равновесного солидуса (577 °С). Величина переохлаждения в этом случае составляет примерно 3 °С, а для сухой песчаной формы и того меньше.

При кристаллизации модифицированных силуминов преобладает объемно-последовательный механизм, когда часть расплава кристаллизуется последовательно от стенки формы, а основная масса сплава в результате подавления центров кристаллизации эвтектических колоний начинает кристаллизоваться с переохлаждением 9–12 °С. Вследствие нейтрализации натрием или стронцием центров кристаллизации эвтектические колонии растут в форме сфероидов, образуя при смыкании изолированные поры. Кроме того, у модифицированного сплава процесс «массового питания» прекращается раньше, чем у немодифицированного, а «интеркристаллитное питание» не в состоянии их залечить [1, 4].

Принимая во внимание полученные результаты исследований, можно предположить, что наиболее эффективным способом устранения газоусадочной пористости в отливках из модифицированных силуминов будет реализация технологии литья, применяемой при получении отливок из широкоинтервальных сплавов. Такая технология заключается в использовании холодильников и небольших прибылей.

Таким образом, при применении модифицирования для улучшения физико-механических свойств отливок одновременно следует корректировать и технологию их получения во избежание повышенного брака по пористости.

Литература

1. Немененок, Б. М. Теория и практика комплексного модифицирования силуминов / Б. М. Немененок. – Минск: Технопринт, 1999. – 272 с.
2. Металлические примеси в алюминиевых сплавах / А. В. Курдюмов [и др.]. – М.: Металлургия, 1988. – 143 с.
3. Ardo, D. Porosity in aluminum foundry alloys – the effect of modification / d. Ardo, J. E. Gruzlesli // Proc. Int. Symp. Reduct and Gast. Aluminium. Montreal, Aug. 28-31, 1988. – P 263-282.
4. Мазур, В. И. Структурные изменения дегазации расплавов и эвтектики силуминов при сорбционной дегазации их в процессе выплавки / В. И. Мазур, А. Г. Прыгунова, Ю. Н. Таран // Изв. АН СССР. Металлы. – 1985. – № 4. – С. 49-54.

Оценка накопления стронция в расплаве при модифицировании силуминов

Бежок А. П., Неменёнок Б. М., Румянцева Г. А.
Белорусский национальный технический университет

Стронций относится к модификаторам длительного действия и обеспечивает модифицирующий эффект в течение нескольких часов и даже после переплава модифицированного сплава.

Малый угар стронция из расплава таит в себе опасность его накопления в возврате, что может в итоге привести к нежелательным последствиям [1].

Влияние переплавов на потери стронция исследовали на сплаве АК12оч. Исходная концентрация стронция в расплаве была увеличена до 0,1 %. Рафинирование расплава не производили. При температуре 720–730 °С брали пробу на химический анализ, а остаток сплава заливали в плоскую металлическую изложницу. После затвердевания слитка его расплавляли, при 720–730 °С брали пробу на химический анализ и вновь отливали слиток. Было проведено три переплава. Если в исходном сплаве содержалось 0,1 %, то после первого переплава его концентрация снизилась до 0,07 %, после второго – до 0,027 %, после третьего – до 0,007 %. Проведенный эксперимент показал, что в результате однократного переплава потери стронция составляют только 1/3 его концентрации. Поэтому необходимо создать методику расчета накопления концентрации стронция в силуминах при многократном использовании в составе шихты возврата собственного производства.

При проведении расчета принимали следующие условия:

- исходная плавка проводится на чистой шихте с вводом 0,03 % стронция;
- рафинирование модифицированного сплава проводится азотом и потерями стронция в процессе этой операции пренебрегали;
- первую плавку проводили с использованием m (кг) собственного возврата, содержащего k (%) стронция;
- расчет стронция по шихтовке проводили на полную массу плавки.

Использовали следующие условные обозначения, принятые в расчете:

C – количество вводимого в расплав стронция по шихтовке, %;

M – полная масса плавки вместе с отходами, кг;

a – количество отходов в плавке, %;

C_n – остаточная концентрация стронция в отливках, %.

При проведении первой плавки с отходами количество стронция, вносимого отходами, составит:

$$C_1 = \left(k \cdot \frac{m}{100} + C \cdot M / 100 \right) \cdot \frac{100}{M} = k \cdot \frac{m}{M} + C. \quad (1)$$

При проведении второй плавки с отходами в шихту вносится $\left(k \cdot \frac{m}{M} + C \right) \cdot \frac{m}{100}$ кг

стронция и $\frac{C \cdot M}{100}$, кг вводится стронция по шихтовке. В итоге процентное содержание стронция в шихте составит:

$$C_2 = \left[\left(\frac{k \cdot m}{M} + C \right) \cdot \frac{m}{100} + \frac{C \cdot M}{100} \right] \cdot \frac{100}{M} = \frac{k \cdot m \cdot m \cdot 100}{M^2 \cdot 100} + \frac{C \cdot m \cdot 100}{100 \cdot M} + \frac{C \cdot M \cdot 100}{100 \cdot M} =$$

$$= k \cdot \left(\frac{m}{M} \right)^2 + C \cdot \frac{m}{M} + C. \quad (2)$$

Для третьей плавки, проводимой с использованием возврата собственного производства, концентрация стронция в шихте составит:

$$C_3 = \left[\left(\frac{k \cdot m^2}{M^2} + \frac{C \cdot m}{M} + C \right) \cdot \frac{m}{100} + \frac{C \cdot M}{100} \right] \cdot \frac{100}{M} = k \cdot \left(\frac{m}{M} \right)^3 + C \cdot \left(\frac{m}{M} \right)^2 + C \cdot \frac{m}{M} + C. \quad (3)$$

Для n -й плавки с отходами собственного производства содержание стронция в шихте будет составлять:

$$C_n = k \cdot \left(\frac{m}{M} \right)^n + C \cdot \left(\frac{m}{M} \right)^{n-1} + C \cdot \left(\frac{m}{M} \right)^{n-2} + \dots + C \cdot \frac{m}{M} + C. \quad (4)$$

Учитывая, что отношение $\frac{a}{100} < 1$, то первое слагаемое $k \cdot \left(\frac{a}{100} \right)^n \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$, а второе слагаемое представляет убывающую геометрическую прогрессию со знаменателем $q = \frac{a}{100}$ и первым членом $a_1 = 1$.

Для убывающей геометрической прогрессии сумма всех членов равна:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \frac{a_1}{1 - q} = \frac{100}{100 - a}; \quad (5)$$

$$C_n = C \cdot \frac{100}{100 - a} = \frac{100 \cdot C}{100 - a}. \quad (6)$$

Считая, что $a = 40$, а $C = 0,03\%$ из выражения (6) получаем $C_n = 0,05\%$.

Следовательно, при использовании в составе шихты 40 % возврата и модифицировании расплава 0,03 % стронция максимальное содержание стронция в отливках не превысит 0,05 %. При увеличении первоначальной добавки стронция до 0,04 % остаточное его содержание в отливках может вырасти до 0,067 %. Необходимо учитывать также, что на ряде цветнолитейных предприятий доля возврата в шихте составляет до 60 %. В этом случае даже при вводе 0,03 % стронция в отливках может накопиться до 0,075 % стронция. В таких случаях следует рассчитывать количество вводимого модификатора исходя из 0,03–0,04 % стронция от массы свежих шихтовых материалов.

Следует учитывать, что степень усвоения стронция расплавом зависит от его концентрации в лигатуре и дисперсионности алюминидов стронция. Наиболее предпочтительны лигатуры, содержащие не более 10 % стронция и полученные при высоких скоростях кристаллизации [1].

Литература

1. Бежок А. П. Совершенствование технологии модифицирования силуминов стронцием: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.04 / А. П. Бежок; БГПА. – Минск, 1999. – 20 с.

Легирование алюминиевых сплавов кремнием путем его прямого восстановления из металлооксидных композиций

Арабей А.В., Рафальский И.В., Немененок Б.М.
Белорусский национальный технический университет

Наиболее распространённым способом получения силуминов в Республике Беларусь является переработка алюминиевого лома и вторичного металлосырья. Традиционно легирование алюминиевых сплавов проводят либо с использованием кристаллического кремния, либо применением лигатуры, которые получают путем сплавления технически чистого алюминия с кристаллическим кремнием. Технически чистый кристаллический кремний используется исключительно для дошихтовки готового силумина до нужного химического состава по кремнию.

Предлагаемый металлургический способ легирования алюминиевых сплавов основан на процессах прямого восстановления кремния из металлооксидных композиций в плавильных печах. В процессе проведения исследований было установлено, что алюминий интенсивно взаимодействует с оксидом кремния при использовании литейных алюмоматричных композиций (далее – ЛАМК) на основе алюминия и оксида кремния.

При легировании алюминиевых сплавов кремнием путем его прямого восстановления из металлооксидных композиций особое внимание было уделено подготовке исходных шихтовых материалов и способу получению литейных алюмоматричных композиций. Скорость протекания химической реакции между алюминием и оксидом кремния существенно зависит от фракционного состава вводимых в расплав дисперсных частиц наполнителя (оксида кремния), температурных параметров плавки, а также состояния поверхности раздела контактирующих фаз.

Авторами работы был проведен ряд исследований способов ввода кварцевого песка в алюминиевый расплав. Было установлено, что при использовании жидкофазных способов смешивания компонентов алюмоматричной композиции реакция восстановления кремния из его оксида протекает не полностью, так как сложно обеспечить достаточные условия смачивания и равномерного распределения дисперсных частиц кварца в расплаве алюминия. Из всех изученных жидкофазных способов ввода частиц оксида кремния в расплав алюминия более эффективным оказался способ перемешивания расплава алюминия, содержащего частицы оксида кремния, электромиксером. Однако следует отметить, что даже длительное перемешивание (до 20 мин) не обеспечивает эффективного процесса восстановления кремния из его оксида алюминием, о чем свидетельствует низкий выход восстановленного кремния в расплаве по сравнению с теоретически ожидаемыми значениями [1].

Основываясь на полученных результатах исследований, были изучены закономерности взаимодействия алюминиевого сплава с кварцевыми материалами при циклической обработке алюмоматричной композиции, с использованием повторного переплава.

Микроструктура синтетического сплава (рисунок 1), полученного из алюмоматричной композиции, содержащих 20 % от массы алюминия кварцевого стекла фракции свыше 1 мм после многократного переплава, представлена колониями эвтектических фаз (Al+Si) и дендритами α -Al твердого раствора. Анализ химического состава композиций, полученных после многократного переплава с использованием частиц кварцевого стекла свыше 1 мм, показал, что содержание кремния в расплаве алюминия соответствует значениям, близким к теоретически возможным (9,6 %) для композиции «алюминий – 20 % кварцевого стекла» после первого переплава [2, 3].

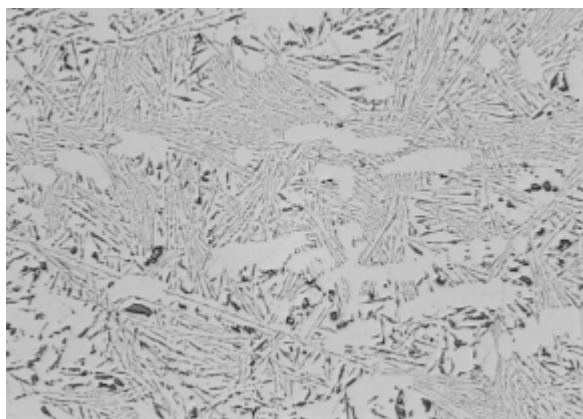


Рисунок 1 – Микроструктуры сплавов, полученных из алюмоматричных композиций, содержащих 20 % от массы алюминия кварцевого стекла после многократного переплава, × 110

Полученные результаты позволили сделать вывод, что циклическая температурная обработка (повторный переплав) алюмоматричной композиции позволяет обеспечить эффективный физический контакт между частицами оксида кремния и алюминиевой матрицей, что способствует полному протеканию реакции восстановления кремния. На основании полученных результатов был разработан и предложен новый способ получения алюминиево-кремниевых сплавов.

Литература

1. Синтез алюминиево-кремниевых сплавов методом прямого восстановления кремния с использованием алюмоматричных композиционных лигатур / А.В. Арабей, И.В. Рафальский // *Литье и металлургия*. – 2011. – № 3. – С.19–25.
2. Ресурсосберегающий синтез литейных алюминиевых сплавов методом прямого восстановления кремния из металлооксидных композиций / А.В. Арабей // *Проблемы недропользования: сборник научных трудов Междунар. форума-конкурса молодых ученых: в 3 ч.*, Санкт-Петербург, 20–22 апр. 2011 г. / Горный институт им. Г.В. Плеханова: редкол. Л.С. Синьков [и др.]. – Санкт-Петербург, 2011. – Ч. 2. – С. 27–29.
3. Рафальский, И.В. Фазовые превращения в металлооксидных композициях на основе алюминия и оксида кремния / И.В. Рафальский, А.В. Арабей // *Литье и металлургия*. – 2010. – № 4. – С.100–104.

Применение сплавов системы Co-Cr для производства изделий медицинского назначения

Лущик П.Е., Рафальский И.В., Нисс В.С.
Белорусский национальный технический университет

Разработка эффективных методов получения и обработки сплавов на основе системы кобальт-хром, изучение основных закономерностей эволюции их структуры и механических свойств является в настоящее время одним из наиболее динамично развивающихся научных направлений. Актуальность этого научного направления объясняется острой востребованностью сравнительно доступных, коррозионностойких и биосовместимых металлических материалов с высокими показателями механических свойств (прочности и пластичности) для изготовления ответственных изделий медицинского назначения, прежде всего сосудистых имплантатов для коронарной и сосудистой хирургии.

Для изготовления биоимплантатов широко применяют различные классы материалов, такие как металлы и сплавы, полимеры, керамические и композиционные материалы, которые широко применяют в стоматологии, ортопедии, пластической и реконструктивной хирургии, офтальмологии, хирургии сердечно-сосудистой системы, нейрохирургии, иммунологии, гистопатологии, экспериментальной хирургии и ветеринарии.

Сплавы на основе кобальта, легированные хромом, никелем и другими элементами, являются в настоящее время одними из наиболее востребованных современных материалов для изготовления биосовместимых изделий медицинского назначения. При этом выбор материала для изготовления биоимплантатов проводится в зависимости от назначения и функциональных требований с учетом комплексного влияния химического состава и структуры, состояния поверхности материала, его механических, трибологических, химических свойств и биологической совместимости [1].

Анализ источников информации, посвященных вопросам изучения металлических материалов медицинского назначения, показывает, что сплавы на основе системы Co-Cr имеют высокие значения механической прочности, модуля упругости, износостойкости и коррозионной стойкости, превышающие показатели нержавеющей стали [1-11]. Благодаря уникальному сочетанию высоких механических свойств и высокой коррозионной стойкости, которые комплексно обеспечивают кобальт и хром, эти сплавы широко применяют для изготовления элементов съемных протезов, высокопрочных тонких каркасных конструкций имплантатов. Тем не менее, одной из основных проблем применения Co-Cr сплавов является их коррозия в биологической среде (биокоррозия), при этом происходит высвобождение ионов металлов, образующих сплав, с последующей их миграцией к различным органам, которая вызывает различные неблагоприятные эффекты в организме [2, 3]. Таким образом, обеспечение коррозионной стойкости материала является одним из основных и общих требований, предъявляемых к имплантатам на основе системы Co-Cr.

Повышение коррозионной стойкости Co-Cr сплавов можно обеспечить путем их дополнительного легирования или с помощью методов поверхностной обработки. В работе [4] сообщается, что азотирование и создание защитного слоя TiN на поверхности изделий, используемых в стоматологии, позволил получить положительные результаты и повысить их коррозионную стойкость. Легирование Co-Cr сплавов драгоценными металлами (золотом, платиной) положительно влияет на их коррозионную стойкость, тогда как добавление палладия вызывает ее ухудшение. Кроме указанных способов, существенное влияние на коррозионную стойкость и механические свойства Co-Cr сплавов оказывают процессы их термической обработки [5]. Отжиг сплава Co-Cr гомогенизирует структуру и снижает твердость, что может снизить его устойчивость к коррозии.

Одними из наиболее широко используемых составов Co-Cr сплавов для изготовления изделий медицинского назначения являются сплавы, легированные молибденом. В работе [6] указывается, что сплавы на основе системы Co-Cr-Mo широко используются в ортопедии и стоматологии из-за своей высокой биосовместимости и коррозионной стойкости благодаря образованию хромита в поверхностном слое имплантата. Термическая обработка оказывает существенное влияние на микроструктуру и механические свойства сплава системы Co-Cr-Mo (ASTM F-75): пластинчатые карбиды $M_{23}C_6$ принимают более округлую форму и частично растворяются в растворе во время термообработки (в процентном выражении с 9 до 1,76 % по объему) при увеличении времени термической обработки с 0 до 6 часов, соответственно [6]. Детально исследовано влияние термической обработки на фазовые соотношения, микроструктуру и твердость сплавов Co-Cr, легированных молибденом в работе [7]. Механизм упрочнения сплавов Co-Cr, легированных молибденом, основан на упрочнении твердого раствора матрицы Co и дисперсионного упрочнения за счет образования карбидов $M_{23}C_6$. Согласно бинарной фазовой диаграмме Co-Cr, хром имеет высокую растворимость в твердом кобальте, эти элементы образуют твердые растворы с высоким содержанием Co: фаза γ -Co с кристаллической структурой FCC и фаза ϵ -Co с кристаллической структурой HCP. Фаза ϵ -Co тверже, чем фаза γ -Co, и улучшает механические свойства. Сообщается, что присутствие W в составе сплава стабилизирует фазу ϵ -Co в матрице.

Для имплантатов коронарной и сосудистой хирургии (стентов) важно обеспечить не только высокую прочность, но и пластичность сплава. Для изготовления стентов могут использоваться различные коррозионностойкие материалы: нержавеющая сталь (типа 316L), сплавы на основе титана, тантала, платиноиридиевые сплавы, различные виды полимеров. Для коронарных стентов, из-за их миниатюрности, наиболее подходящими являются сплавы на основе кобальта и хрома в виду их высокой прочности и пластичности, что позволяет уменьшать толщину стоек стента до 0,1 мм. Это значительно снижает частоту послеоперационных рестенозов [8].

В работе [9] сообщается, что пластичность Co-Cr сплавов можно улучшить легированием никелем. Однако при этом же указывается, что следует избегать легирования сплавов Co-Cr никелем, поскольку Ni является фактором риска аллергии на металл в организме человека (табл. 1). Разработка сплавов Co-Cr без легирующих добавок никеля, обладающих высокой прочностью и высокой пластичностью, является актуальной задачей и предметом исследований.

Накоплен положительный опыт использования сплава системы Co-Cr-W для получения образцов коронарных стентов [8]. В качестве исходной заготовки для получения стентов применялись тонкостенные трубки с толщиной стенки от 0,11 мм до 0,16 мм и наружным диаметром от 1,4 мм до 2,8 мм из кобальт-хромового сплава по стандартам ASTM F 90 и ISO 5832-5. Сплавы системы Co-Cr-W обладают высокими механическими свойствами, что позволяет при малых диаметрах и толщинах стента обеспечить радиальную жесткость конструкции. В ряде случаев для исследований применялся сплав в холоднотянутом состоянии после предварительного отжига в вакууме при 1050 °C.

При изготовлении коронарных и сосудистых имплантатов, подверженных повышенным циклическим нагрузкам, одной из важнейших характеристик является состояние их поверхностей. Традиционные процессы финишной отделки поверхности имплантатов из кобальт-хромовых сплавов основаны на механических и электрохимических методах [9-10]. В работе [9] указывается, что сложная форма, малое сечение, размеры и низкая жесткость коронарных стентов являются основными причинами невозможности обеспечения высокого качества поверхности с использованием механических способов обработки. Поэтому поверхностной обработки стентов применяются электрохимические методы с различными электрическими режимами: с использованием постоянного тока и импульсов микросекундной длительности. Применение импульсного тока позволяет добиться существенного повышения эффективности процесса ЭХП, когда за счет локализации анодного растворения скорость сглаживания микронеровностей обрабатываемой поверхности, отнесенная к общему съему металла, значительно возрастает.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Niinomi, M. *Advances in Metallic Biomaterials: Processing and Applications* / M. Niinomi, T. Narushima, M. Nakai. – Springer, 2015. – 281 p. {Ортопедия и стоматология: Co-Cr-Mo, Ti сплавы, керамика}
2. Manivasagam, G. *Biomedical Implants: Corrosion and its Prevention - A Review* / G. Manivasagam, D. Dhinasekaran, A. Rajamanickam // *Recent Patents on Corrosion Science*. – 2010. – No. 2. – PP. 40–54.
3. Urban, R.M. *Migration of corrosion products from modular hip prostheses. Particle microanalysis and histopathological findings* / R.M. Urban, J.J. Jacobs, J.L. Gilbert, J.O. Galante // *Journal Bone Joint Surgery*. – 1994. – Vol. 76-A, No. 9. – PP.1345–1359.
4. Reimann, L. *Electrochemical and spontaneous passivation of the cocr alloy as corrosion protection* / L. Reimann // *Applied Engineering Letters*. – 2017. – Vol. 2, No. 1. – pp. 43–47.
5. Dave, V. *Simulated Porcelain Firing of Co-Cr Alloy* / V. Dave, R. Kotian, P. Madhyastha [et al.] // *Iranian Journal of Materials Science & Engineering*. – 2019. – Vol. 16, No. 4. – PP. 36-42.
6. Bedolla-Gil, Y. *Influence of heat treatments on mechanical properties of a biocompatibility alloy ASTM F75* / Y. Bedolla-Gil, A. Juarez-Hernandez, A. Perez-Unzueta [et al.] // *Revista Mexicana de Fisica*. – 2009. – Vol. 55, No. 1. – PP. 1–5.
7. Yildirim, M. *Effect of aging time on phase transformation, microstructure and hardness of Co-Cr-Mo alloys* / M. Yildirim, A. Keles // *Selcuk University Journal of Engineering Science and Technology*. – March, 2019. – PP. 146–153.
8. Нисс, В. С. *Разработка технологии получения коронарных стентов лазерной резкой и электрохимической полировкой* / В. С. Нисс, В. В. Гавриленко // *Современные технологии для заготовительного производства [Электронный ресурс]: сборник научных работ Республиканской научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов МТФ БНТУ (проводится в рамках 74-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ), 14 апреля 2021 г.* / сост. А. П. Бежок. – Минск: БНТУ, 2021. – С. 71-74.
9. Yoda, K. *Effects of chromium and nitrogen content on the microstructures and mechanical properties of as-cast Co–Cr–Mo alloys for dental applications* / K. Yoda, Suyalatu, A. Takaichi [et al.] // *Acta Biomaterialia*. – 2012. – No. 8. – PP. 2856–2862.
10. Алексеев, Ю.Г. *Электрохимическое полирование матричных стентов из стали 316LVM с использованием микросекундных импульсов* / Ю.Г. Алексеев, А.Ю. Королёв, В.С. Нисс [и др.] // *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук*. – 2021. – Т. 66, № 2. – С. 161–168.

Построение моделей пластической деформации графита в высокопрочном чугуне

Лущик П.Е.¹, Рафальский И.В.¹, Покровский А.И.²
¹Белорусский национальный технический университет
²Физико-технический институт НАН Беларуси

На основании имеющихся данных о формировании графитных фаз в высокопрочном чугуне установлено, что их зарождение, рост и развитие начинаются с образования шарообразного включения с высокой концентрацией железа и кремния (кремнистый феррит). Далее в процессе кристаллизации сплава постепенно на поверхности шарообразного включения образуются пластины графита, образуя сегментарную структуру включения (рис. 1, а).

С учетом данных о пространственной структуре графитного включения разработаны трехмерные твердотельные модели с упрощенной геометрией, состоящие из шара, сегментарно окруженного пластинами, в основании которых находятся пяти и шестиугольники. Каждый модельный сегмент включает несколько пластин (рис. 1, б).

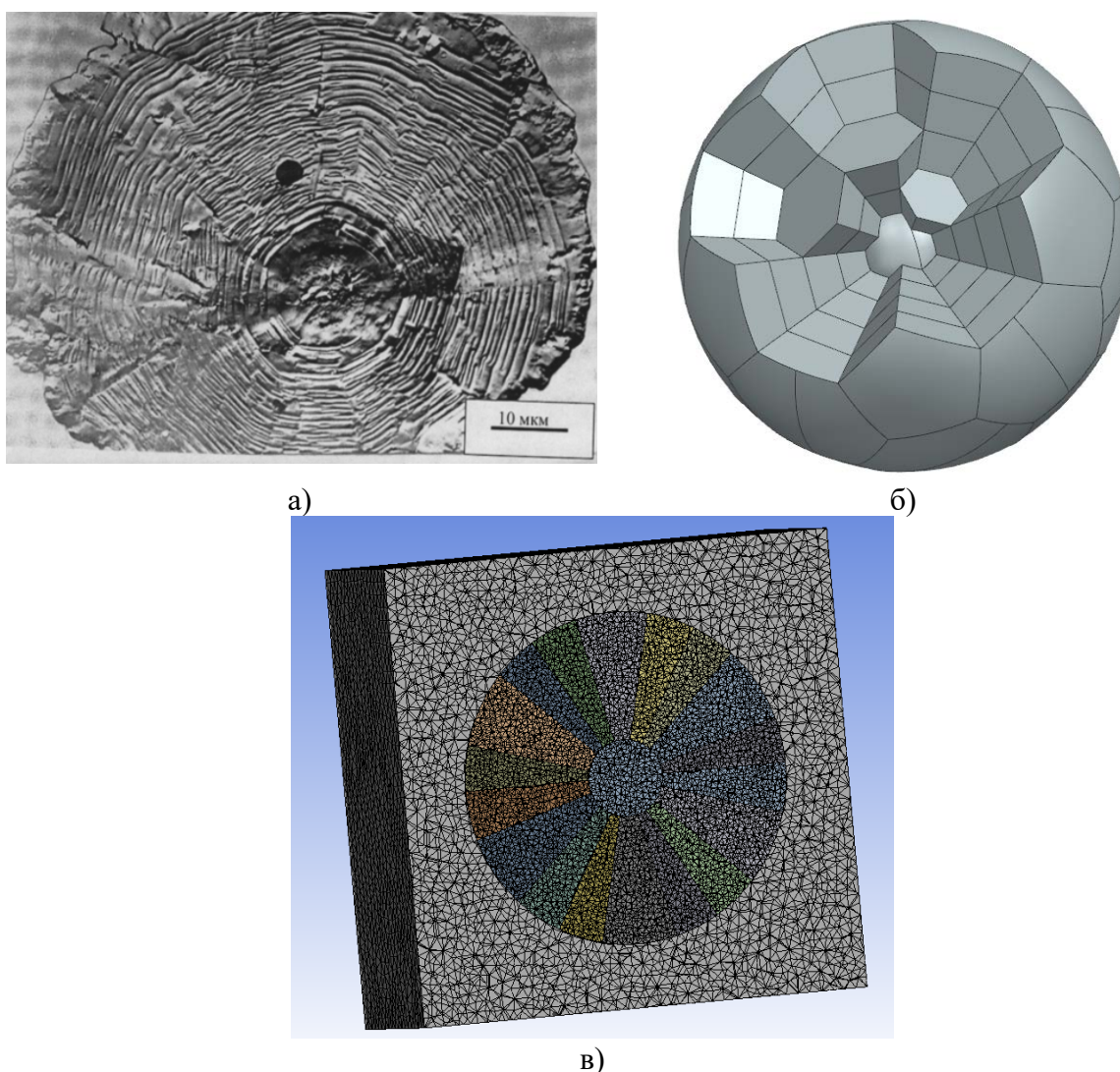


Рисунок 1 – Структура шаровидного графита (а, по данным [1]), трехмерная твердотельная модель шаровидного графитного включения (б) и конечно-элементная модель системы «Ферритная матрица - шаровидный центр - комплекс сегментарно расположенных пластин включения графита» (в сечении)

Для численного моделирования пластической деформации при сжатии шаровидных включений графита высокопрочного чугуна и анализа возникающих в процессе деформации напряжений построены конечно-элементные модели фрагментов структуры всех составляющих графитного включения: ферритной матрицы, шаровидного центра и комплекса сегментарно расположенных пластин включения графита (рис. 2, 3).

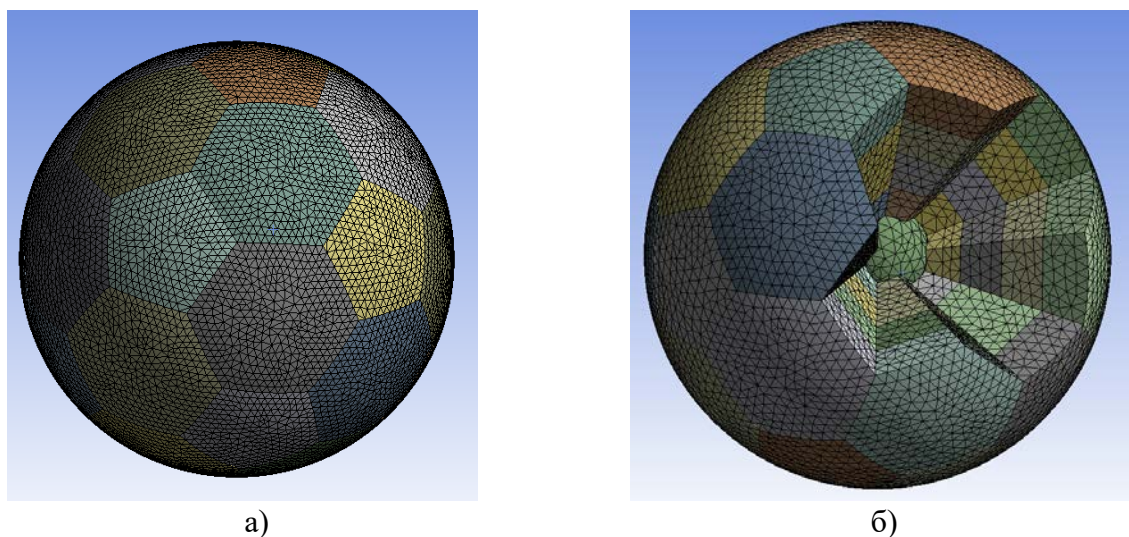


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель включения шаровидного графита в высокопрочном чугуне

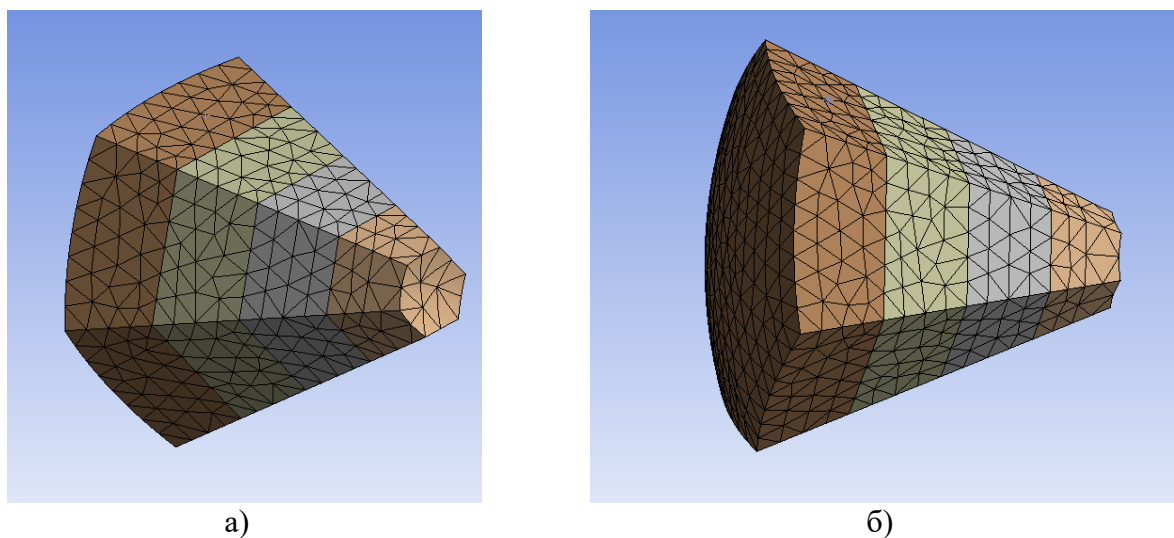


Рисунок 3 – Конечно-элементная модель периферийного сегмента включения графита

Представленная конечно-элементная модель включения графита для численного моделирования пластической деформации и анализа возникающих в процессе деформации напряжений, состоящая из фрагментов ферритной матрицы, шаровидного центра и комплекса сегментарно расположенных периферийных пластин, включает 1160307 конечных элементов.

Заключение.

Разработана конечно-элементная модель включения графита для численного моделирования пластической деформации и анализа возникающих в процессе деформации напряжений, состоящая из фрагментов ферритной матрицы, шаровидного центра и комплекса сегментарно расположенных периферийных пластин. Построение модели выполнено с учетом особенностей (закономерностей) формирования шаровидного графита, заключающихся в том, что зарождение, рост и развитие фаз графита начинаются с образования шарообразного включения с высокой концентрацией железа и кремния - кремнистый феррит. Далее в процессе кристаллизации сплава постепенно на поверхности шарообразного включения формируются

комплексы сегментарно расположенных периферийных пластин, образуя сегментарно-ячеистую структуру шаровидного включения графита.

Литература

1. Найдек, В. Л. Шаровидный графит в чугунах / В. Л. Найдек, И. Г. Неижко, В. П. Гаврилюк // Процессы литья. – 2012. – № 5 (95). – с. 33–42.

**Гибридные процессы термического упрочнения материалов
на металлической основе**

Лущик П.Е., Рафальский И.В., Руленков А.Д., Девойно О.Г., Пилипчук А.П.
Белорусский национальный технический университет

Рассмотрены технологии термического упрочнения поверхности материалов на металлической основе. Сравняются области применения, преимущества и недостатки существующих и новых методов термического упрочнения. Предлагается акцентировать внимание на исследовании гибридных процессов, сочетающих объемную термическую обработку материалов с последующей термической обработкой поверхности для увеличения стойкости к ударным воздействиям.

Развитие методов термического упрочнения поверхности привели к значительному росту исследований металлических материалов с градиентом структуры и свойств, обеспечивающим возможность существенного повышения их функциональности и промышленного применения [1, 2]. Технологии поверхностного термического упрочнения, такие как плазменная, электронно-лучевая и лазерная обработка обычно используются для улучшения таких свойств изделий, как поверхностная твердость, усталостная прочность и износостойкость. Сочетание высокой твердости и износостойкости поверхности наряду с высокими прочностными и пластическими свойствами подповерхностного слоя и металлической основы изделия обеспечивает повышенную стойкость материала против поломки при ударных нагрузках, что особенно важно для таких деталей, как зубчатый венец шестерни, подшипники, валы, турбины, детали сельскохозяйственной техники, трансмиссии автомобилей и др.

Применение термического упрочнения рабочей поверхности методами высокоэнергетической закалки существенно повышает эксплуатационные характеристики и долговечность деталей и инструмента, изготовленных из недорогих, низколегированных сплавов, прежде всего, конструкционных углеродистых, рессорно-пружинных, инструментальных сталей без изменения их химического состава. Термическая поверхностная закалка сталей, как правило, приводит к формированию мелкозернистых закалочных структур мартенситного типа и возникновению сжимающих остаточных напряжений на поверхности, что снижает вероятность возникновения трещин и помогает остановить их распространение на границе раздела «поверхностный слой - металлическая основа».

Использование высокоэнергетических технологий термического упрочнения поверхности не исключает применение методов традиционной объемной термической обработки металлических материалов. Комплексное (гибридное) применение процессов объемной и поверхностной термической обработки обеспечивает дополнительные возможности повышения не только твердости и износостойкости, но и существенного повышения ударной вязкости и прочностных свойств материала. Совмещение процессов объемного нагрева деталей с высокоэнергетической обработкой поверхности непосредственно в процессе поверхностного упрочнения также представляет определенный научный и практический интерес при использовании углеродистых сталей, сплавов на основе алюминия, меди, титана.

Литература

1. Liu, J. Recent development of thermally assisted surface hardening techniques: A review / J.Liu, C.Ye, Y.Dong // *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*. – 2021. – Vol.2, Article 100006. – 21 p.
2. Babu, P.D. Laser surface hardening: A review / P. D. Babu, K.R. Balasubramanian // *Int. J. Surface Science and Engineering*. – 2011. – Vol. 5, No. 2/3. – pp.131-151.

Рафальский И.В., Лущик П.Е., Руленков А.Д. Долгий Л.П.
Белорусский национальный технический университет

При плавке алюминиевых сплавов после операции рафинирования образуются шлаки, содержащие помимо солевых компонентов флюса соединения оксидов, нитридов, карбидов алюминия и легирующих элементов, а также частицы металлического алюминия.

Образующийся шлак является проблемным с экологической точки зрения материалом и подлежит дальнейшей переработке или утилизации. Как правило, эти процессы предусматривают операции промывки водой литейных шлаков для выщелачивания солей с последующей переработкой водных растворов и получением сухого солевого осадка.

Эффективность выщелачивания солей рафинирующих флюсов из шлаков определяется их растворимостью в воде. Наибольшее распространение получили флюсы на основе хлоридов натрия и калия с добавками различных фтористых солей, таких как Na_3AlF_6 , CaF_2 , K_2ZrF_6 и др. Хлориды натрия и калия хорошо растворимы в воде, однако растворимость большинства широко используемых во флюсах фторидов, например, криолита, является крайне низкой.

На рисунке 1 представлена информация о растворимости фтористых солей в воде при температуре 20-25°C [1-3].

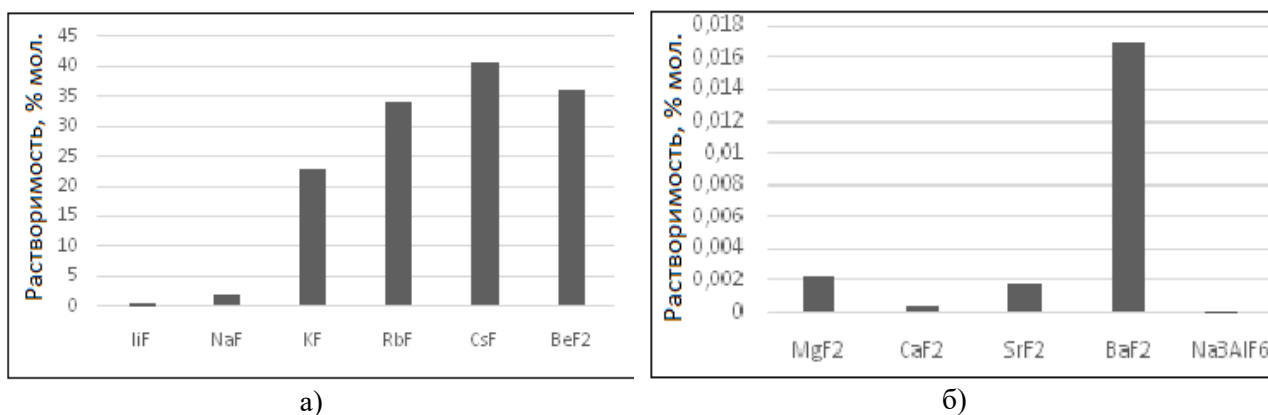


Рисунок 1 - Растворимость в воде фторидов щелочных (а), щелочноземельных металлов и криолита (б) (по данным работ [1-3])

Анализ данных по растворимости солей в воде показывает, что применение фторидов щелочноземельных металлов и сложных малорастворимых фтористых соединений, таких как, например, криолит, является нецелесообразным при разработке безотходных технологий переработки шлаков, поскольку применение таких солей в составе флюса приводит к проблемам их выщелачивания при промывке шлаков водой. Таким образом, целесообразным представляется замена таких солей в рафинирующих флюсах на хорошо растворимые фториды натрия либо калия.

Литература

1. Зинченко В.Ф. Взаимосвязь кислотность-основности, растворимости и способности к взаимодействию щелочных и щелочноземельных металлов / В.Ф. Зинченко – Вестник ОНУ. Химия, 2014. – С.12– 17.
2. Reynolds, J.G. A Review of Sodium Fluoride Solubility in Water / J.G. Reynolds, J.D. Belsher // Journal of Chemical & Engineering. – 2017. –Vol. 62 (6). – PP. 1743–1748.
3. Интернет-ресурс: ILO International Chemical Safety Cards (ICSC). URL: https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_version=2&p_card_id=1565. – 08.04.2022.

Структура и свойства оксидных покрытий, полученных высокочастотным микродуговым оксидированием

Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Паршутто А.Э., Сорока Е.В.
Белорусский национальный технический университет,

Микродуговое оксидирование (МДО) относится к экологически безопасным процессам, так как позволяет проводить обработку в электролитах с низкой концентрацией неагрессивных компонентов. При этом отсутствует необходимость тщательной предварительной подготовки поверхности перед обработкой. Данный вид обработки относится к электрохимическим процессам и отличается от традиционного анодного оксидирования наличием электрических разрядов на обрабатываемой поверхности, что, в свою очередь, оказывает существенное влияние на структуру и свойства получаемых оксидных покрытий [1]. Кроме того, процесс ведется при более высоких напряжениях – до 1000 В, причем чаще используется не постоянный, а переменный и импульсный токи.

МДО широко используется для нанесения покрытий на многие вентиляльные металлы и их сплавы, широко применяемые в машиностроении. Недостатками традиционных методов МДО являются большая продолжительность обработки (до 180 мин) для формирования оксидных слоев необходимой толщины с требуемыми свойствами и, соответственно, высокие энергетические затраты. В последнее время получают распространение методы МДО с применением высокочастотных импульсных режимов, которые обеспечивают формирование более плотных и однородных оксидных покрытий с возможностью управления структурой и свойствами по сравнению с традиционными режимами, реализуемыми на частоте 50 Гц [2, 3].

Для выполнения исследований метода высокочастотного МДО разработано экспериментальное оборудование, обеспечивающее формирование полностью управляемых по амплитуде, длительности и коэффициенту заполнения разнополярных импульсов амплитудой до 600 В с регулируемой частотой от 0,05 до 2,5 кГц.

В работе исследовалось влияние частоты импульсов на структуру, толщину и шероховатость формируемых покрытий. Для исследования процесса МДО выбирались следующие параметры режимов оксидирования: частота следования импульсов – 50, 500, 1000 и 2500 Гц, коэффициент заполнения – 50 %, амплитудное значение положительных импульсов – 500 В, отрицательных – 50 В. Для исследования использовались плоские образцы с размерами 40x5x1,2 мм, изготовленные из алюминиевого сплава АМг2. Обработка выполнялась в электролите следующего состава: КОН – 2,0 г/л, Na₂SiO₃·5H₂O – 9,5 г/л. Температура электролита поддерживалась в диапазоне 20–25 °С. Продолжительность обработки составляла от 10 до 60 мин.

Измерение шероховатости поверхности образцов до и после обработки производилось профилометром MarSurf PS1. Контроль и запись формы импульсов тока и спектрограмм осуществлялись запоминающим цифровым осциллографом Owon XDS3000. Микрофотографии поверхности образцов получены с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA II LMU с микроанализатором INCA350. Пример осциллограммы процесса высокочастотного импульсного микродугового оксидирования при частоте 500 Гц представлен на рис. 1. В результате обработки при всех исследованных значениях частоты следования импульсов формировался оксидный слой толщиной 33–53 мкм (после продолжительности 60 мин) с твердостью около 950 HV. Применение высокочастотных режимов по сравнению с обработкой на частоте 50 Гц приводит к формированию более плотного оксидного слоя с существенно меньшей пористостью (рис. 2).

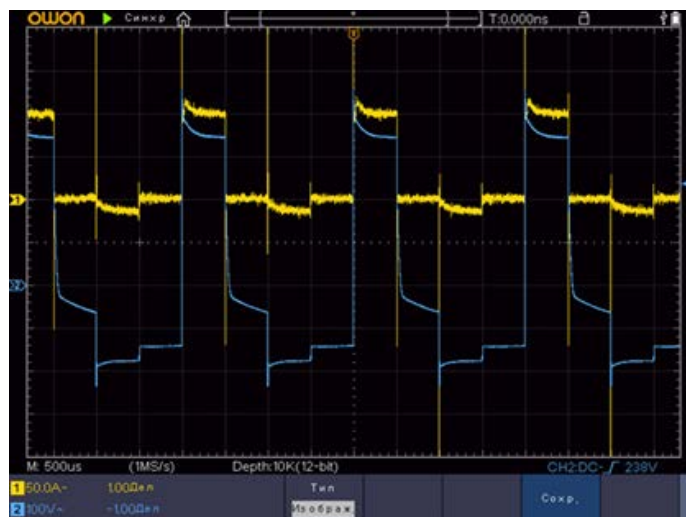


Рисунок 1 - Осциллограмма процесса высокочастотного импульсного микродугового оксидирования при частоте 500 Гц (синяя линия – напряжение, желтая линия – ток)

На рис. 2 представлены изображения поверхности покрытий, полученных при разных частотах с продолжительностью обработки 60 мин. Поверхность, полученная при частоте 50 Гц, представляла собой развитую пористую структуру. При частоте 500 Гц формировалась более сглаженная структура с присутствием кратеров размером преимущественно 19–28 мкм. Поверхность, сформированная при частотах 1000 Гц и 2500 Гц, имела кратерную структуру со значительно большим количеством пор меньшего размера по сравнению с поверхностью, полученной при частоте 500 Гц.

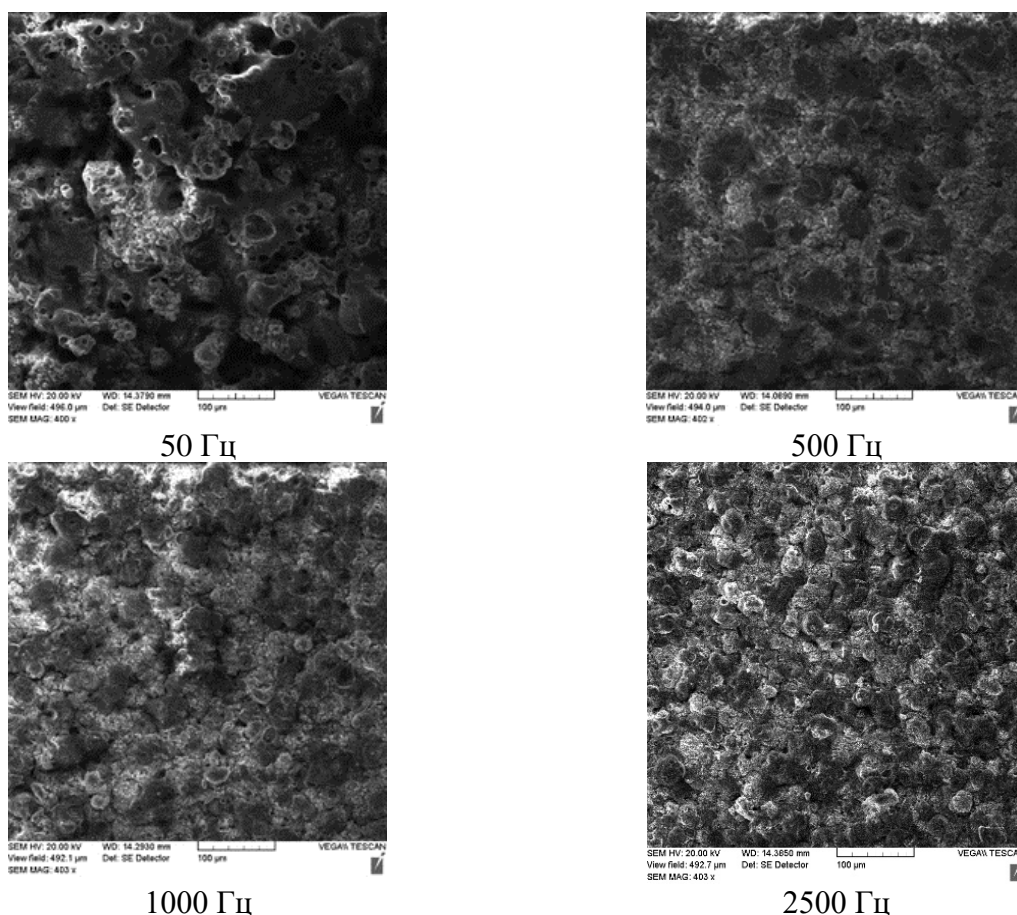


Рисунок 2 - Морфология формируемого оксидного слоя при различных значениях частоты после обработки продолжительностью 60 мин

Формирование кратерной структуры является характерной особенностью процесса МДО, при котором твердый оксидный слой создается за счет того, что расплавленный материал подложки в виде высокотемпературной плазмы вырывается из границы раздела покрытие-подложка, а затем быстро охлаждается и затвердевает при контакте с электролитом [4]. Увеличение количества воздействующих импульсов за счет применения высокочастотных режимов МДО привело к увеличению плотности распределения разрядов по обрабатываемой поверхности и, соответственно, к уменьшению их мощности.

Поверхность с развитой пористой структурой, сформированная при частоте 50 Гц, имела самую высокую шероховатость (рис. 3). В зависимости от продолжительности обработки значение параметра Ra составляло от 5,0 до 8,3 мкм. Применение высокочастотных режимов при всех исследованных значениях частоты позволило существенно повысить качество формируемой поверхности. Значение Ra составило от 2,0 до 3,5 мкм. Причем наиболее качественное покрытие формируется при продолжительности обработки 40–60 мин.

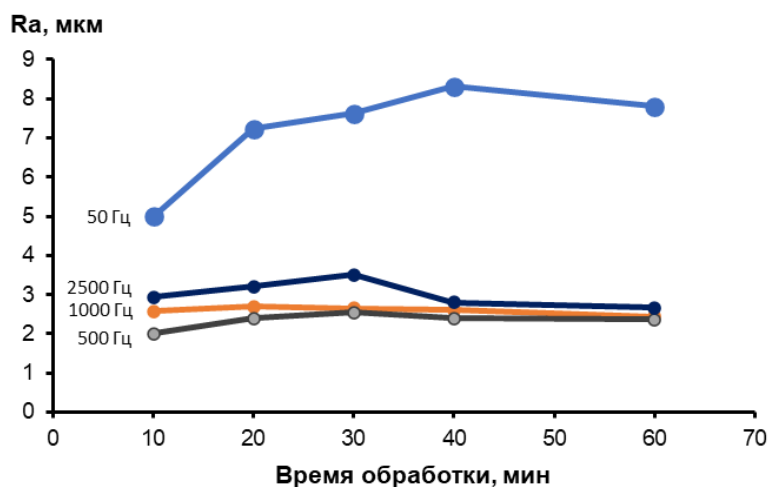


Рисунок 3 - Влияние продолжительности МДО на изменение шероховатости поверхности при различных значениях частоты

Литература

1. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборуд.)/ И. В. Суминов [и др.]. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.
2. Influence of Applied Frequency on Thermal Physical Properties of Coatings Prepared on Al and AlSi Alloys by Plasma Electrolytic Oxidation [Electronic resource] / G. Li [at al.]. // *Coatings* 2021, 11, 1439.– Mode of access: <https://doi.org/10.3390/coatings11121439>. – Date of access: 25.01.2022
3. Leea, J. H. Influence of Applied Frequency on Microstructural and Electrochemical Characteristics of Ceramic Coating Produced on Al-Mg Alloy by Pulsed Plasma Electrolytic Oxidation / J. H. Leea, S. J. Leeb, S. J. Kimc // 5th International Science Congress & Exhibition APMAS, Lykia, Oludeniz, 16–19 Apr. – 2015.
4. Sundararajan, G. Mechanisms underlying the formation of thick alumina coatings through the MAO coating technology / G. Sundararajan, L. R. Krishna // *Surface and Coatings Technology*, 2003. – Vol. 167, Iss. 2–3. – P. 269–277. – Mode of access: [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(02\)00918-0](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(02)00918-0). – Date of access: 25.01.2022

Полирование металлических материалов в управляемых импульсных режимах электролитно-плазменной обработки

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

Для снижения энергоемкости и повышения эффективности процесса электролитно-плазменной обработки (ЭПО) с целью, модификации и полирования поверхности изделий из металлических материалов, их размерной обработки при сохранении высокой интенсивности, качества и экологической безопасности разработан новый импульсный метод (импульсная ЭПО), совмещающий преимущества как электрохимического, так и электролитно-плазменного процесса. Разработанный метод импульсной ЭПО основан на применении униполярного импульсного режима с длительностью импульсов 0,5–10 мс и амплитудой более 200 В, при котором в пределах каждого импульса последовательно чередуются электрохимическая стадия, переходная стадия и устойчивая стадия ЭПО. Повышение эффективности разработанного процесса импульсной ЭПО 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 [1, 2].

В работе исследовалось влияние состава и температуры электролита на съем металла и качество обрабатываемой поверхности. Обрабатываемый образец с размерами 20x5x1 мм (площадь обработки 2,45 см²) изготавливался из нержавеющей стали 304. Шероховатость поверхности исходного образца составляла Ra 0,390–0,430 мкм. Обработку выполняли в электролитах двух составов: водный раствор сульфата аммония с концентрацией 3, 4 и 5 %; водный раствор сульфата аммония с концентрацией 4 % с добавлением лимонной кислоты 0,5, 1,0 и 1,5%. Температура электролитов составляла 60 и 80 °С. Амплитуда напряжения источника питания составляла 250 В. Временные параметры импульса: длительность импульса – 0,7 мс, длительность паузы – 0,3 мс. Время обработки образцов – 3 мин.

Установлено, что наименьшие значения шероховатости (Ra 0,045 и 0,050 мкм) при обработке в растворе сульфата аммония достигаются при его концентрации 5 % при температуре электролита 80 и 60 °С соответственно (рис. 1, а). При этом съем в процессе обработки при температуре 60 °С значительно выше (рис. 1, б). Это связано с влиянием плотности тока при обработке на шероховатость формируемой поверхности. При высокой плотности тока (соответствует низкой концентрации и низкой температуре электролита) происходит не только больший съем металла с обрабатываемой поверхности, а также более интенсивное растравливание по сравнению с меньшей плотностью тока в электролите с высокой температурой и высокой концентрацией.

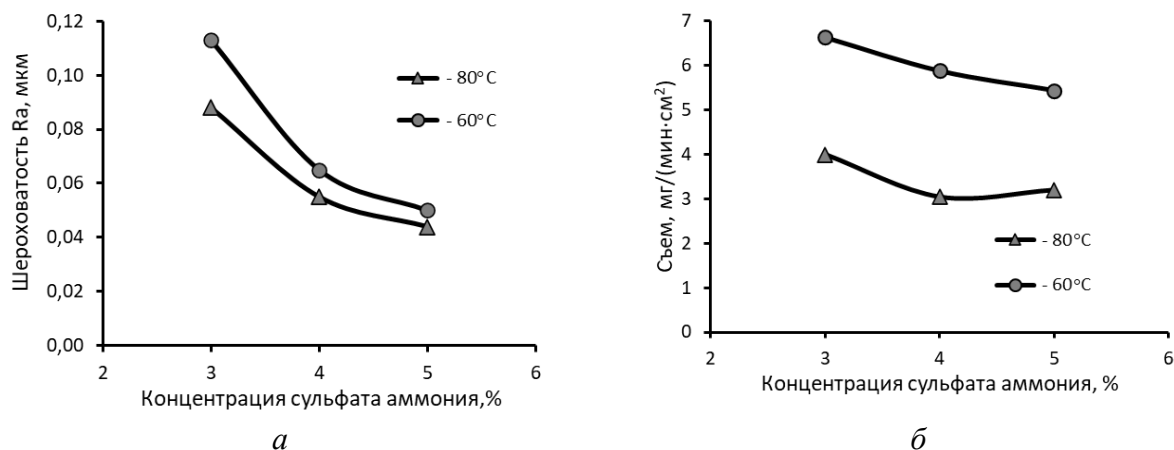


Рисунок 1 - Влияние концентрации сульфата аммония на качество формируемой поверхности (а) и съем в процессе обработки (б)

В двухкомпонентном электролите (с добавлением лимонной кислоты) наименьшие значения шероховатости Ra 0,046 и 0,051 мкм достигаются при концентрации лимонной кислоты 0,5 % при температуре 60 и 80 °С соответственно (рис. 2). Снижение массы образца достигает максимального значения 6,6 мг·мин/см² в электролите состава 3 % сульфата аммония при температуре 60 °С, минимальное значение 2,4 мг·мин/см² – в электролите на основе 4% сульфата аммония с добавлением 1,5 % лимонной кислоты при температуре 80 °С.

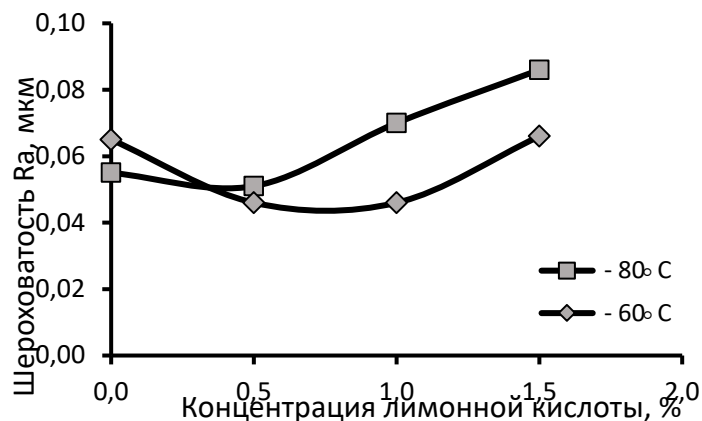


Рисунок 2 - Зависимость шероховатости Ra от концентрации лимонной кислоты и температуры электролита

Для сопоставления результатов, полученных в импульсном режиме, с результатами, достигаемыми при традиционной ЭПО, выполнялась обработка образцов при постоянном напряжении 250 В в электролитах такого же состава (4 % сульфат аммония и 4 % сульфат аммония + 1 % лимонная кислота). Продолжительность обработки образцов составляла 3 мин. Измерялась шероховатость и масса образцов до и после обработки, затем по съему определялась производительность. Результаты измерений и расчетов приведены в табл. 1 и на рис. 3.

Таблица 1. Результаты обработки образцов на постоянном токе

№	Электролит	Темп., °С	Ra кон., мкм	Масса исх., г	Масса кон., г	Изм. массы, г	Съем, мг/(мин·см ²)
1	Сульфат 4%	60	0,120	0,9300	0,9080	0,0220	2,99
2	Сульфат 4%	80	0,163	0,9322	0,9175	0,0147	2,00
3	Сульфат 4% + лим. к-та 1 %	60	0,144	0,9341	0,9145	0,0196	2,67
4	Сульфат 4% + лим. к-та 1 %	80	0,168	0,9334	0,9180	0,0154	2,10

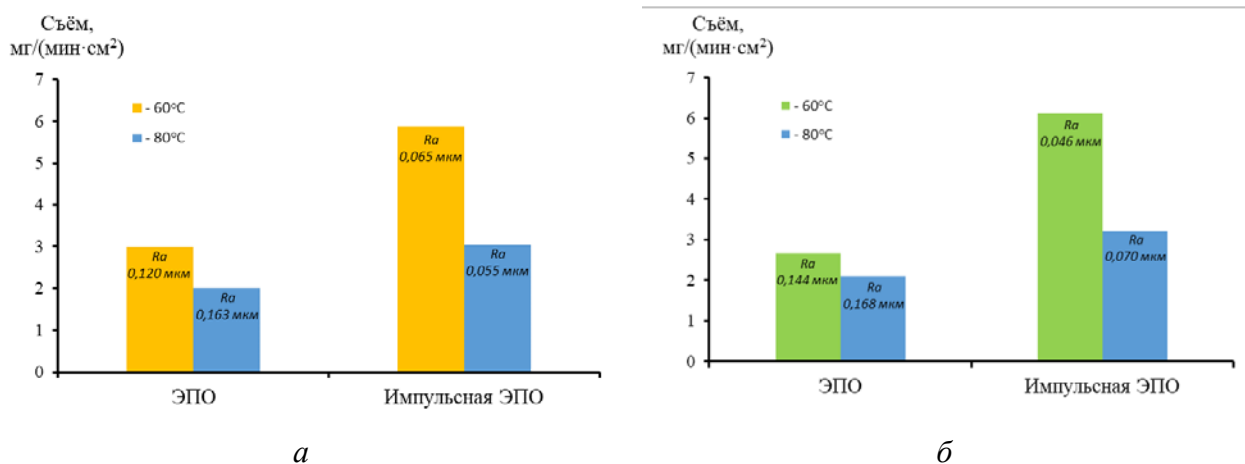


Рисунок 3 - Результаты сравнения производительности и качества поверхности при обработке в импульсном режиме и на постоянном токе: *а* – сульфат аммония; *б* – сульфат аммония с лимонной кислотой

По сравнению с обработкой на постоянном токе импульсный режим обеспечивает значительно большую производительность (выше в 1,5–2,3 раза), за счет чего происходит более качественное сглаживание поверхности. При обработке в электролите с добавлением лимонной кислоты в импульсном режиме в зависимости от температуры обеспечивается шероховатость Ra 0,046–0,070 мкм, а при обработке на постоянном токе Ra 0,144–0,168 мкм.

Литература

1. Электролитно-плазменная обработка в управляемых импульсных режимах [Электронный ресурс] / А. Ю. Королёв [и др.] // Наука и техника. – 2021. – Т. 20, № 4. – С. 279–286. – Режим доступа: <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-3-279-286>. – Дата доступа: 21.01.2022.
2. Королёв, А. Ю. Импульсная электролитно-плазменная технология размерной и финишной обработки металлических материалов / А. Ю. Королёв [и др.] // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы, сварка: сб. докл. 12-го междунар. симп., Минск, 7–9 апреля 2021 г. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.] редкол.: А. Ф. Ильющенко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2021. – Т.2 – С. 87–93.

Формирование черных МДО покрытий на внутренних поверхностях длинномерных трубчатых изделий

Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Сенченко Г.М., Будницкий А.С., Янович В.А.
Белорусский национальный технический университет,

Светопоглощающие покрытия применяются в электронно-оптических системах, в приборостроении для снижения рассеянного светового фона, а также при изготовлении приемников излучения, преобразователей солнечной энергии, устройств оптической обработки информации, которые изготавливаются, как правило, из алюминиевых и титановых сплавов. Такие покрытия обеспечивают ослабление фонового излучения.

Существующие в настоящее время методы получения светопоглощающих покрытий включают химические методы, анодное оксидирование с последующим окрашиванием в анилиновых красителях, электрохимическое осаждение, вакуумно-плазменную обработку, микродуговое оксидирование (МДО). Применяемые методы МДО, обеспечивают высокие прочностные и эксплуатационные характеристики светопоглощающих покрытий: высокую износостойкость, твердость, термостойкость, коррозионную стойкость, хорошую адгезию к основе. Однако основной проблемой является создание на основе метода МДО таких покрытий на внутренних поверхностях длинномерных изделий и изделий сложной формы [1].

В работе разработаны и исследованы режимы МДО, обеспечивающие получение черных покрытий на образцах из алюминиевого сплава АМг2. Для исследования режимов МДО использовался базовый электролит на основе силиката натрия ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 - 1\%$) и гидроксида калия ($\text{KOH} - 0,2\%$). Для получения светопоглощающих МДО покрытий в электролит добавлялись компоненты, обеспечивающие в условиях высокотемпературных плазменных процессов на обрабатываемой поверхности окрашивание оксидного слоя в темные цвета – молибдат натрия и ферроцианид калия.

МДО образцов выполнялось в анодно-катодном режиме с бестоковой паузой при амплитуде анодного импульса до 520 В и катодного импульса до 200 В. В зависимости от режимов в результате обработки формировались покрытия с различными структурой и свойствами, которые отличались морфологией, твердостью, прочностью сцепления с подложкой, цветом. Установлено, что наиболее прочное и равномерное черное покрытие формируется при следующих электрических режимах: амплитуда положительного импульса – 300–350 В, соотношение амплитуд положительного и отрицательного импульсов – 3:1, коэффициент заполнения – 25%. Внешний вид покрытий, полученных при различных значениях напряжения, представлен на рис. 1.



Рисунок 1 - Внешний вид покрытий, полученных при различных значениях напряжения

Для решения проблемы получения черных МДО покрытий на внутренних поверхностях разработаны новый метод и оборудование, основным компонентом которого является специальная электродно-гидравлическая система, которая позволяет создавать в зоне обработки необходимые электрические и гидравлические условия для успешного протекания микродугового плазменного процесса [2]. Характеристики оборудования позволяют формировать светопоглощающие покрытия на поверхности образцов с возможностью управления их структурой и свойствами за счет изменения характеристик процесса МДО. Погружение электрода-

инструмента в зону обработки осуществляется с помощью модуля перемещения, который приводится шаговым двигателем через винтовую передачу (рис. 2). Диапазон регулирования скорости привода перемещения электрода-инструмента (от 0 до 146 мм/мин) для обработки внутренних поверхностей обеспечивает возможность точного управления временем воздействия на определенный участок обрабатываемой поверхности.



Рисунок 2 - Оснастка для получения МДО покрытий на внутренних поверхностях трубчатых изделий

На выходе из электрода-инструмента происходит формирование струи электролита кольцевой формы. Кольцевое истечение электролита обеспечивается в широком диапазоне значений расхода электролита. Установлено, что при расходе электролита 1,2 л/мин (рис. 3) струя имеет низкую скорость, что может обеспечить достаточные электрические и гидравлические условия в процессе МДО внутренних поверхностей при зазоре между электродом-инструментом и обрабатываемой поверхностью до 1 мм. Наиболее равномерное и интенсивное распределение прокачиваемого электролита по всему периметру кольцевого зазора обеспечивается при расходе 2,4–3,0 л/мин (рис. 3).



Рисунок 3 - Вид струи электролита, формируемой на выходе из электрода-инструмента

Литература

1. Formation of Black Ceramic Layer on Aluminum Alloy by Plasma Electrolytic Oxidation in Electrolyte Containing Na_2WO_4 / I. J. Hwang, [et al.]. – Mater. Trans., 2012, Vol. 53, No. 3. – P. 559–564.
2. Электролитно-плазменная обработка внутренних поверхностей трубчатых изделий / Ю. Г. Алексеев [и др.] // Наука и техника. – 2016. – №1. – С. 61 – 68.

Структура поверхностного слоя титана после цементации с применением электролитно-плазменного нагрева

Алексеев Ю.Г.¹, Королёв А.Ю.¹, Калиниченко А.С.², Будницкий А.С.¹, Сенченко Г.М.¹

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный технологический университет

В качестве альтернативы существующим методам упрочнения поверхности титана и титановых сплавов предложен метод электрохимико-термической обработки – электролитно-плазменный нагрев в азот- или углеродсодержащем электролите с последующей закалкой путем отключения рабочего напряжения. При подаче напряжения в диапазоне 100–300 В на электрохимическую ячейку, вокруг заготовки происходит локальное вскипание жидкости за счет выделения джоулева тепла. В этих условиях электролит вблизи поверхности заготовки разогревается до температуры кипения и обрабатываемая заготовка, оказываясь отделенной от основной массы электролита, разогревается до температур 400–1100 °С. Высокие температуры заготовки позволят проводить насыщение поверхности атомами легких элементов, содержащихся в веществах-донорах, растворенных в электролите. Наличие в электролите углеродсодержащих и азотсодержащих компонентов обуславливает определенный углеродный или азотный потенциал парогазовой оболочки, в результате чего становится возможной химико-термическая обработка. В условиях электролитно-плазменного нагрева интенсифицируются диффузионные процессы, что позволяет значительно сократить время химико-термической обработки до 5–10 мин [1].

Преимуществами такого метода перед другими существующими методами термической обработки является высокая скорость нагрева заготовки (до 250 °С/с), а также высокая скорость диффузионного насыщения (до 100 мкм/мин). Кроме того, применение электролитно-плазменного нагрева позволяет сформировать на поверхности защитный оксидный слой, обеспечивающий дополнительное повышение коррозионной стойкости [2].

В работе установлены закономерности формирования микроструктуры поверхностного слоя титана при цементации с применением электролитно-плазменного нагрева. Для исследований использовались цилиндрические образцы из титана ВТ1 диаметром 2 мм длиной 40 мм. В качестве основного компонента электролита, обеспечивающего его электропроводность, использовался раствор хлорида аммония концентрацией 10 %. В качестве донора углерода в электролит добавлялся глицерин (5–10%). Температура электролита поддерживалась в пределах 20±3 °С. Напряжение обработки составляло 150, 175 и 200 В. Продолжительность обработки образцов – 10 мин.

Микротвердость поверхностного слоя измерялась с помощью микротвердомера AFFRI-MVDM8. Металлографические исследования полученных образцов проводились на микроскопе Альтами МЕТ 1Т.

На рисунке 1 представлены зависимости, характеризующие распределение микротвердости $HV_{0,1}$ в поверхностном слое образцов после цементации при различных значениях рабочего напряжения. При напряжении 150–175 В происходит незначительное увеличение микротвердости (на 30–100 HV). При напряжении 200 В увеличение микротвердости является более существенным. Так, при концентрации глицерина 10 % микротвердость на глубине 50 мкм от поверхности составила 512 HV. При этом упрочнение наблюдается по всей исследуемой глубине поверхностного слоя (до 500 мкм).

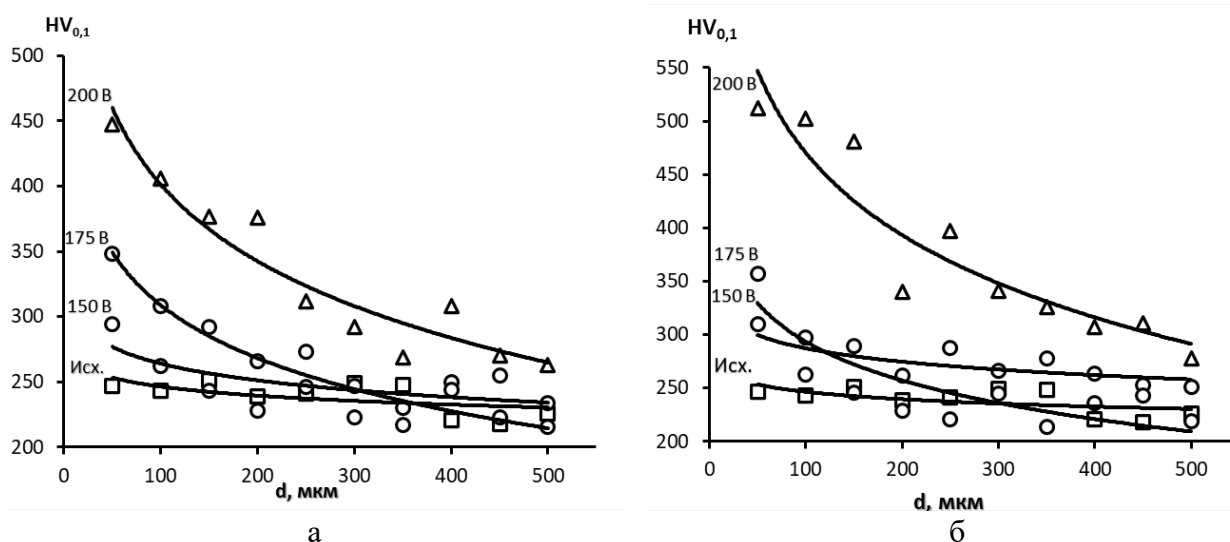


Рисунок 1 - Распределение микротвердости в поверхностном слое после цементации при концентрации глицерина 5% (а) и 10% (б)

Исходная микроструктура исследуемых образцов (рисунок 2) имеет два характерных морфологических признака: крупные полиэдрические зерна «превращенной» β -фазы, величина которых зависит от степени предшествующей деформации, температуры и длительности перегрева в β -области, и пластинчатый характер внутризеренной структуры, причем размеры пластин и фрагментов из параллельных пластин зависят только от скорости охлаждения [3].

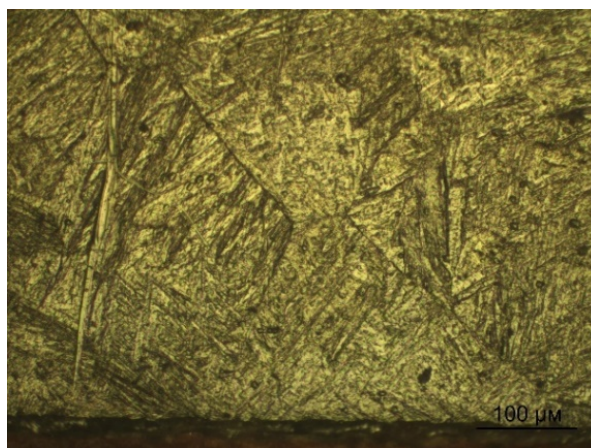


Рисунок 2 - Исходная микроструктура исследуемых образцов

На рисунке 3 представлены фотографии микроструктуры поверхностного слоя после цементации в электролите с содержанием глицерина 10%. Электролитная-плазменная модификация при напряжении 150–175 В приводит к формированию равноосной структуры, состоящей из α -фазы. В поверхностном слое, наиболее насыщенном углеродом (толщиной около 50 мкм), наблюдается увеличение зёрен в 2–3 раза относительно основы. Увеличение напряжения до 200 В ведёт к формированию пластинчатой структуры, представляющей собой α' -фазу – мартенсит, полученный после быстрого охлаждения титана ВТ1 с температуры, превышающей температуру полиморфного превращения.

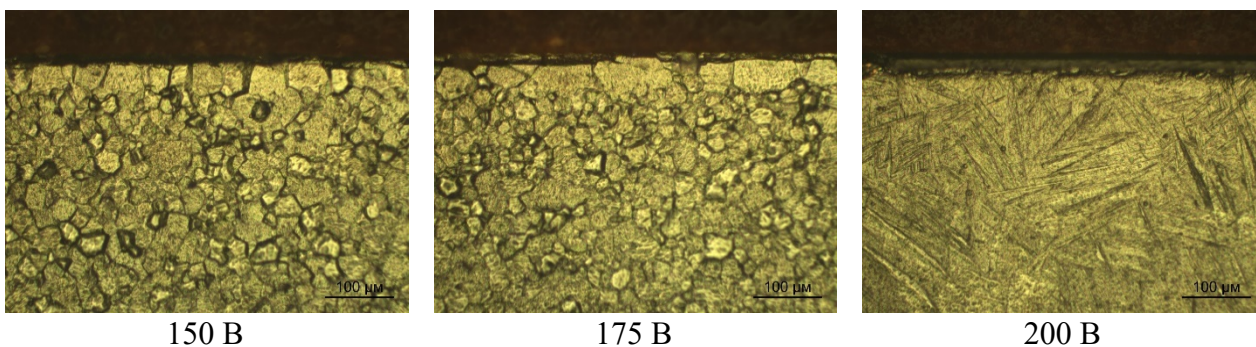


Рисунок 3 - Микроструктура образцов после цементации

Литература

1. Особенности электролитно-плазменного нагрева при электрохимико-термической обработке стали / Ю.Г. Алексеев, В.С. Нисс, А.Ю. Королев, А.Э. Паршутто // Наука и техника. – 2013. – №6. – С. 20-24.
2. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов [Текст]: в 2-х томах / И. Суминов [и др.]; ред. И. Суминов. - М.: Техносфера, 2011. - (Мир материалов и технологий: VI). - Т.1. - 2011. - 463 с.: ил. - Библиогр.: с. 427-463. - ISBN 978-5-94836-267-0
3. Титановые сплавы в машиностроении / Б. Б. Чечулин [и др.]. – «Машиностроение», Ленингр. отд-ние, 1977. – 248 с.

Разработка перспективных решений для изделий медицинского назначения

Нисс В.С.¹, Кособуцкий А.А.¹, Гавриленко В.В.¹, Качанов Н.В.¹,
Ленкевич С.А.¹, Ивановская М.И.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусская медицинская академия последипломного образования

Инновационно-производственный центр медицинского оборудования и изделий (ИП-ЦМОиИ) Белорусского национального технического университета обеспечивает выполнение НИОКТР, научное сопровождение инновационных проектов, апробацию и внедрение в производство результатов научной и научно-технической деятельности в области медицинского оборудования и изделий медицинского назначения. Ниже представлен ряд новых перспективных решений, разрабатываемых в Центре в сотрудничестве с ведущими медицинскими специалистами Республики.

Широко применяемые в настоящее время многоцветные биопсийные системы (биопсийные пистолеты), (рисунок 1, а) выполняют трансбиопсии предстательной железы, молочных желез, лимфатических узлов и опухолей мягких тканей для последующего морфологического исследования, с целью получения и уточнения диагноза в онкологии, уронефрологии, хирургии и других направлениях. Наряду с неоспоримыми достоинствами указанных систем им присущи существенные недостатки. Забор биоптата (образца ткани) сопровождается повышенным шумом, связанным с соударениями подпружиненных несущих кареток с закрепленными на них стилетом и ножом биопсийной иглы, с большой скоростью перемещающимися в корпусе системы, с неподвижными элементами конструкции. Это вызывает дискомфорт и излишнее напряжение у пациентов с низким болевым порогом, особенно учитывая, что в некоторых случаях количество заборов биоптата достигает 12 – 24 и более. Возникающие при ударах неадекватные реакции пациентов отвлекают врача и могут нарушить точность позиционирования биопсийной иглы. Предлагается установить магнитные вставки на подвижных каретках и корпусе биопсийной системы (рисунок 1, б), взаимодействие магнитных полей которых позволит корректировать усилие пружины и гасить инерцию перемещающихся кареток, амортизировать динамические контакты подвижных кареток с неподвижными деталями корпуса.

Корректировка скорости перемещения каретки (рисунок 1, в) осуществляется с помощью съемной накладкой 1, на которой установлены магнитные вставки 2, 3 магнитные поля которых при перемещении каретки 4 взаимодействуют с магнитным полем вставки 5, установленными на каретке, оказывая тормозящее воздействие на каретку 4 и обеспечивая необходимый тормозящий эффект. Для регулирования тормозящего воздействия между накладкой 1 и корпусом возможна установка регулировочных прокладок 6.

Для исключения шума и вибраций биопсийной системы при соударениях подвижной каретки с неподвижной частью корпуса осуществляется поглощение остаточной энергии пружины, что достигается за счет установки на каретке торцевой магнитной вставки 7, взаимодействующей с одноименным полюсом торцевой магнитной вставкой 8, установленной на неподвижной детали корпуса. Для исключения щелчка в зоне контакта вставок установлена полиуретановая прокладка 9.

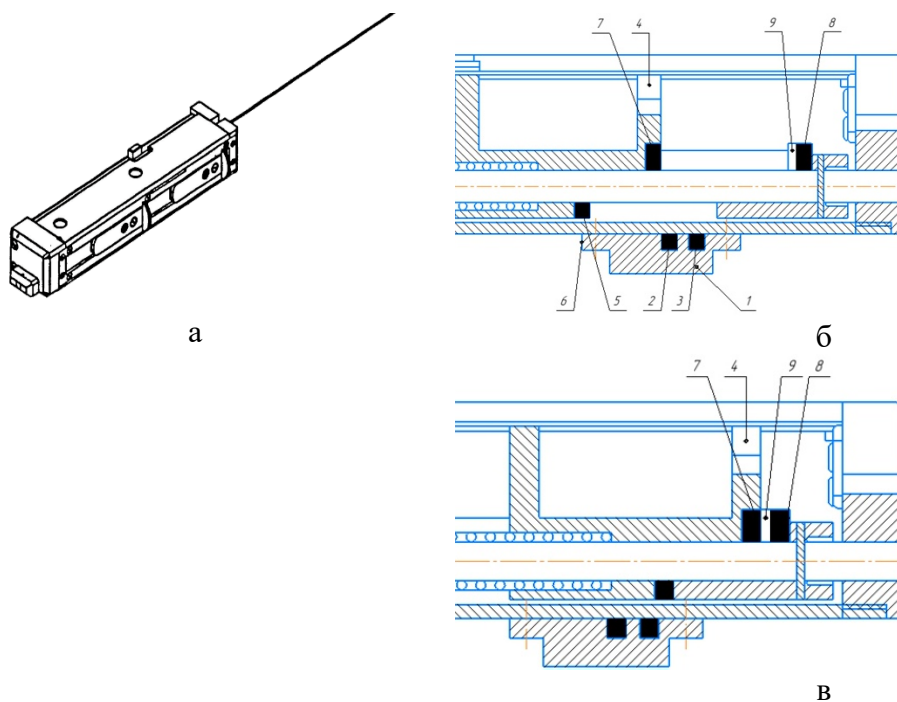


Рисунок 1 – Биопсийные пистолеты: а – общий вид; б – положение каретки с магнитами во взведенном состоянии; в – положение каретки с магнитами после срабатывания пружины

В основу разработанной конструкции шины транспортной иммобилизационной универсальной складной (далее шины) положена техническая задача расширения области применения шины, простоты и универсальности конструкции, надежности и увеличения срока эксплуатации. На рисунке 2 показан общий вид (б) конструкции шины в рабочем положении; профильный вид (а) конструкции шины. Шина включает П-образную раму из двух параллельных стоек, на которой расположены узлы закрепления поврежденного сегмента конечности; плечевой подпор, система фиксирующих ремней, компрессионно-дистракционный узел, подстопник и образована тремя телескопическими рамными контурами трубчатого сечения с фиксаторами: П-образный рамный контур I образованный двумя лонжеронами 1,2 с плечевым упором 3, оснащенный проушинами 4, обратный П-образный рамный контур-II для грудного и тазобедренного поясов, образованного двумя лонжеронами 5,6 нижние выдвижные концы 7,8 которых расположены в икроножной зоне, а в голеностопной зоне лонжероны 7, 8 соединены жесткой поперечной распоркой 9 с направляющим V-образным продольным пазом 10, образуя рамный контур III. Компрессионно-дистракционный телескопический узел IV размещен посредством жестких поперечных распорок 11 между лонжеронами 5,6 в зоне ниже коленного сустава и выполнен в голенной зоне телескопически-поворотным с возможностью азимутальной фиксации цилиндрической штанги 12 в трубе 13 телескопического узла IV и в V-образном продольном пазу 10. Цилиндрическая штанга 12 телескопического узла IV посредством двух шарниров V и VI связана с подпятником 14 и подстопником 15, а система фиксирующих ремней выполнена из четырех штатных наборов: из ременных фиксаторов VII шейно-плечевого отдела, ременных фиксаторов VIII грудно-поясного отдела, ременных фиксаторов IX бедренного отдела и ременных фиксаторов X голенного отдела. В зависимости от возраста, габаритов и травматологии пострадавшего моделирование шины по длине и по расположению подстопника 15 осуществляют с помощью подвижных рамных контуров I,II,III и поворотных узлов IV,V,VI с последующей их фиксацией. Подготовленная к использованию шина заводится плечевым упором 3 под плечо пациента и накладывается на боковую поверхность грудной клетки, бедра, голени. Стопа пациента устанавливается на подстопник 15 и фиксируется бинтами. Затем накладываются ременные фиксаторы VII,VIII, IX,X соответственно, голени, бедренного отдела, грудно-поясничного отдела и фиксаторы шейно-плечевого отдела, которые обеспечивают фиксацию пострадавшего.

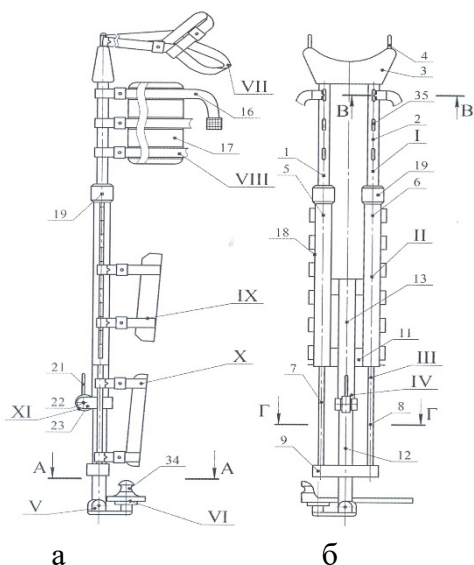


Рисунок 2 – Конструкция шины транспортной иммобилизационной:
а – профильный вид; б – фронтальный вид



Рисунок 3 – Адаптер с одноразовым пластмассовым направителем

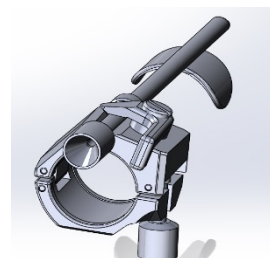


Рисунок 4 – Адаптер с многоразовым металлическим направителем

В результате многолетних совместных работ проводимых БНТУ, БелМАПО, УЗ МГКОД, по разработке и внедрению новых образцов адаптеров для ректовагинальных датчиков (Патент РБ №8880, Евразийские патенты №026325, №029425, №034001, №23168) и анализа их работы предлагается инновационная методика позволяющая увеличить пропускную способность при проведении биопсий, основанная на замене сменных одноразовых пластмассовых (рисунок 3) или многоразовых металлических (рисунок 4) направителей после проведения манипуляций при постоянно установленном на датчике устройстве крепления. Для реализации предложенной методики предлагается адаптер оригинальной конструкции, включающий устройство крепления к датчику и комплект направителей. При этом в устройстве крепления выполнен желоб, в котором с помощью поворотного рычага фиксируется направитель в заданном положении. Предложенная методика предполагает следующий алгоритм действий. Устройство крепления устанавливается на датчике и закрепляется. После этого оператор, удерживая датчик с устройством крепления левой рукой, пальцами правой руки поворачивает рычаг в исходное положение. При этом зона в желобе освобождается и в неё устанавливается одноразовый или многоразовый направитель. Затем рычаг поворачивается в рабочее положение и надёжно фиксирует направитель в желобе. Датчик с адаптером готов к использованию. После манипуляции с очередным пациентом рычаг поворачивают в исходное положение и направитель освобождается. Использованный направитель извлекают, а на его место вставляют новый, таким образом, трудоёмкая операция многократной переустановки адаптеров заменяется одной установкой устройство крепления в начале и его съёмом в конце смены. Использование сменных одноразовых или многоразовых направителей при постоянно установленном устройстве крепления ускорит в 5 – 8 раз процесс проведения биопсий и значительно снижает затраты на стерилизацию частей адаптера.

Экономический эффект от использования адаптеров с многоразовыми направителями в УЗ «МГКОД», по отношению к импортным одноразовым в 2016-2021 годах составил более 78000,0 бел. рублей.

Изучение возможности обогащения пылевидных железо-цинксодержащих отходов систем газоочистки от различных типов печей

Урбанович Н.И., Корнеев С.В., Розенберг Е.В., Волосатиков В.И.
Белорусский национальный технический университет

Вовлечение в металлургический передел металлосодержащих пылевидных отходов, образующихся в процессе производственной деятельности металлургического и литейного производств, без специальной предварительной подготовки ограничено из-за присутствия в них цинка и других примесей. Плавильная пыль представляет собой высокодисперсный многокомпонентный состав, который образуется в процессе производства железоуглеродистых сплавов, улавливаемый в системе газоочисток.

С помощью сканирующего электронного микроскопа Vega II LMU изучали морфологию и размер частиц. На рисунке 1 представлены микрофотографии железосодержащей пыли газоочисток плавильных печей.

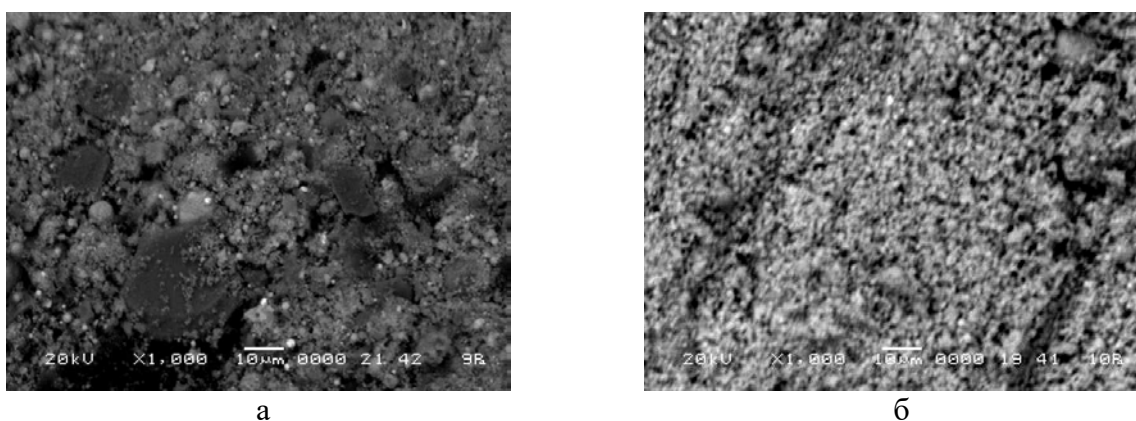


Рисунок 1 – Микрофотографии железосодержащей пыли газоочисток: а – от индукционной печи; б – от электродуговой печи

Результаты исследований показали, что плавильная пыль индукционных печей состоит из конгломератов мельчайших частиц в основном круглой формы размером примерно от 0,2 до 3,0 мкм. В пыли присутствуют более крупные частицы серого цвета, имеющие неправильную геометрическую форму размером до 500 мкм. Пыль дуговых сталеплавильных печей, в частности, ОАО «БМЗ» представляет собой слипшиеся между собой мелкодисперсные частицы. Основная часть пыли – это частицы сферической формы размером 0,2 – 20 мкм. Частицы размером меньше 2 мкм присутствуют в виде агломератов.

Результаты химического состава пыли плавильных печей, представленные в таблице 1, показали высокое содержание в них цинка.

Таблица 1 – Содержание основных элементов в плавильной пыли

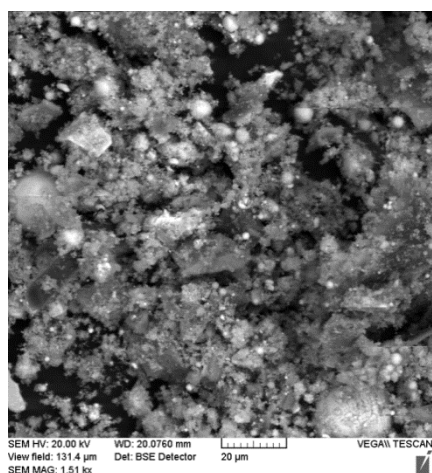
№ п/п	Содержание основных элементов					Источник пыли	Размер частиц, мкм
	Fe	Si	O	Mn	Zn		
1	31	22	7	16	11	Индукционная печь	0,2–3
2	30	3,5	24	3	36	ДСП	0,3–20

Основной целью обогащения железоцинксодержащих отходов металлургического производства является извлечение содержащегося в них железа с получением железорудного кон-

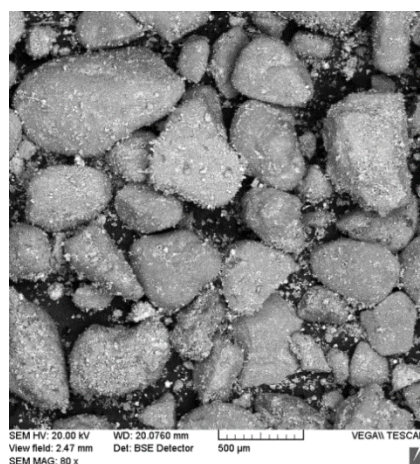
центрата. Для обогащения железосодержащих отходов плавильных печей изучали возможность использования традиционных методов, применяемых при обогащении железорудного сырья. Опробование некоторых методов обогащения проводили на плавильной пыли от индукционных печей.

Так, одним из методов обогащения является магнитная сепарация, т.е. отделение магнитной части от немагнитной. Применение сухого метода отделения с применением постоянного магнита не дал результатов, в связи с тем, что вся пыль притягивается к магниту, это обусловлено захватом дисперсных немагнитных минералов сросшихся с каплевидными частичками металлического железа.

Следующий метод, который применили для обогащения плавильной пыли – это перетирание её в воде с последующим отмучиванием. На рисунке 2 представлены микрофотографии образцов пыли после применения обогащения методом отмучивания, из которых видно, что данный способ обогащения позволил отделить более тяжелые крупные, имеющие округлённую форму частицы размером ≥ 100 мкм, от мелких частиц, в том числе имеющих вид агломератов.



а

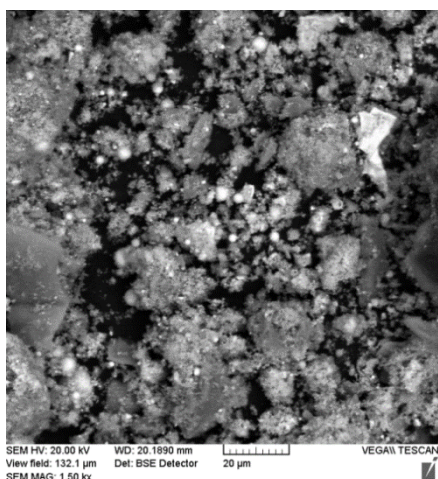


б

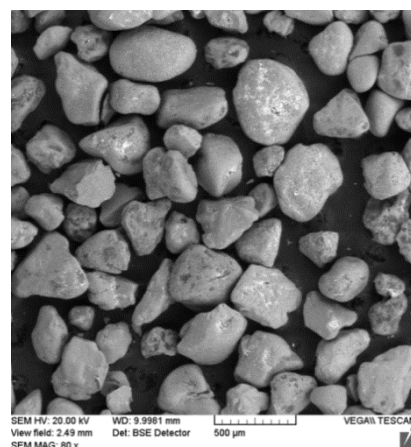
Рисунок 2 – Микрофотографии образцов пыли индукционной печи после применения обогащения методом отмучивания: а – образец сухой пыли, полученный после отмучивания; б – осадок после отмучивания

Анализ химического состава показал, что крупные частицы, которые имеют скорость падения в воде выше, чем мелкие частицы и их агломераты, представляют собой алюмосиликаты. Обогащение пыли методом отмучивания не дало положительных результатов.

Метод мокрой магнитной сепарации осуществляли путем применения постоянного магнита, который заворачивали в целлофановую пленку и опускали в суспензию, состоящую из размешанного в воде отхода. На рисунке 3 представлены микрофотографии отхода после применения метода магнитной сепарации, из которых видно, что к магниту притянулись не только отдельные мелкие металлические круглые частицы, но и вкрапленные в агломераты. На частицах немагнитной крупной фракция, представляющих собой оксид кремния, наблюдаются белые вкрапления, химический анализ которых показал присутствие в них оксидов железа, цинка, марганца, алюминия и других элементов. Разделения же мелких частиц по химическому составу так же, как и после применения предыдущих методов, не произошло.



а



б

Рисунок 3 – Микрофотографии образцов пыли индукционной печи после применения обогащения методом мокрой магнитной сепарации: а – образец пыли магнитной фракции; б – образец пыли немагнитной фракции

Проведенный ряд экспериментов по опробованию выше представленных способов обогащения плавильной цинксодержащей пыли не позволил удалить из неё цинк и таким образом получить железорудный концентрат.

Для решения данной проблемы в работе были проведены исследования с применением гидрометаллургического метода, результаты которого позволили бы извлечь цинк из железоцинксодержащих пылей плавильных печей, с получением железосодержащих и цинксодержащих продуктов, пригодных к дальнейшей переработке.

При гидрометаллургической технологии выделяют кислотное и щелочное выщелачивание. Кислотные методы позволяют извлечь даже очень стойкие соединения, такие как ферриты цинка. Одним из самых распространенных растворителей гидрометаллургии является серная кислота. В данной работе для обогащения плавильной пыли использовали 20 % раствор серной кислоты. В качестве исходного материала брали пробу из системы газоочистки плавильной пыли индукционной печи. Выщелачивание проводили в течение 1 часа, после чего полученный раствор осаждали в растворе щелочи с образованием преципитата, химический анализ которого показал, что данный метод позволил извлечь порядка 80 % цинка, но в раствор перешло частично и железо.

Таким образом, результаты исследования по применению кислотного метода выщелачивания железоцинксодержащей пыли раствором серной кислоты показали, что одинаково интенсивно протекает растворение и железа, и цинка. Очистка таких растворов от железа дорогостоящий и проблематичный процесс и требует специального оборудования.

В связи с этим представляет интерес дальнейшей работы по изучению пирометаллургического метода обогащения с последующей отгонкой цинка из железоцинксодержащих отходов, образованных в результате пыли и газоочистки плавильных печей.

Оценка применимости основных методов научных исследований к исследованию композитов на основе нано- и микрочастиц порошков бора, углерода, алмаза, а также порошков оксидов редкоземельных элементов

Нисс В.С.¹, Григорьев С.В.¹, Волосатиков В. И.¹, Урбанович В.С.²

¹Белорусский национальный технический университет

²ГО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»

Для работы в экстремальных термосиловых условиях при обработке материалов во многих случаях рационально использовать только композиты на основе керамических материалов, например, карбидов, нитридов, боридов или сложных составов на их основе, а также оксидов редкоземельных элементов. Но подобные керамические материалы в процессе их преобразования в изделия нетехнологичны, и получение из них высокоплотных материалов стандартными методами порошковой металлургии связано со значительными трудностями.

Одним из путей преодоления данных трудностей является синтез керамических композитов из порошковой шихты, состоящей из нано- и микроразмерных порошков вышеназванных компонентов в заранее заданных пропорциях. Особый интерес вызывает синтез композиционных материалов в процессе их создания при высоких давлениях и температурах в течение ограниченного короткого промежутка времени. Несмотря на короткие временные интервалы проведения технологического процесса керамические композиты, полученные с использованием такой технологии из порошковой шихты, в процессе синтеза или спекания претерпевают целый ряд структурных превращений.

Каждая структурная составляющая создаваемого композита будет иметь строго определённые физико-механические характеристики. Для создания оптимальной структуры, которая будет обеспечивать требуемые эксплуатационные характеристики необходимо синтезировать определённые фазы и спрогнозировать появление этих фаз в заранее заданном соотношении.

Наряду с простыми карбидами, нитридами, боридами, а также сложными карбоборидами и кабонитридами, оксидами редкоземельных элементов в разрабатываемых материалах, получаемых синтезом при высоких давлениях и температурах необходимо учитывать возможность и контролировать появление определённого процента непрореагировавших исходных компонентов, а также в некоторых случаях выявлять образование окисленных фаз в конечных продуктах, которые могут снизить комплекс физико-механических характеристик разрабатываемых материалов.

Для создания композита, который будет оптимизирован для работы в заданных условиях эксплуатации необходимо выполнить оптимизацию фазового состава, микро- и наноструктуры, тонкой структуры на всех основных этапах технологического процесса изготовления керамического композита от приготовления шихты до получения готового изделия.

Оптимизация вышеуказанных параметров возможна с использованием специальных методов научных исследований. Основными методами исследования в настоящее время являются: оптическая микроскопия, сканирующая зондовая микроскопия, сканирующая электронная микроскопия, электронография, энергодисперсионная и волнодисперсионная спектроскопия, при помощи которых определяют химический состав в среднем по площади или в отдельных точках (микро-зондовый анализ), дифрактометрический анализ фазового состава и параметров тонкой структуры, дифракция обратно-отражённых электронов, определение микротвёрдости, дилатометрия.

Применение оптической микроскопии для анализа микроструктуры наноразмерных материалов будет крайне затруднительно из-за физических ограничений по разрешающей спо-

способности светового излучения при увеличении изображения полированной поверхности образцов более 1800 крат, а также невозможности проводить исследования порошковой шихты из-за недостаточной глубины резкости получаемых изображений.

Сканирующая зондовая микроскопия позволит с высокой точностью измерить образующиеся размеры зерен фаз образующихся композитов после проведения операций синтеза соединений, однако она не даёт возможности определить элементный состав синтезированных кристаллитов.

Сканирующая электронная микроскопия с использованием волнодисперсионного или энергодисперсионного микроанализа позволит выявлять особенности микро- и наноструктуры материалов с одновременным определением химического состава композита в конкретных точках интереса на поверхности микрошлифа или излома образца композита, но в силу особенностей методики не способна определять фазовый состав композитов и порошковой шихты, а также особенности тонкой структуры материалов.

Использование метода дифракции обратно-отражённых электронов на сканирующем электронном микроскопе позволяет определять фазовый состав только для идеально подготовленной поверхности после проведения ионного травления микрошлифа с целью выявления границ зёрен и удаления дефектных участков и не позволяет исследовать параметры тонкой структуры образующихся в композите фаз.

Получение электронограмм поверхности образцов требует очень сложной, длительной и малопроизводительной подготовки поверхности образцов и последующего использования просвечивающего электронного микроскопа, что в современных условиях оснащения оборудованием научных лабораторий Беларуси представляется весьма затратной методикой.

Дифрактометрический анализ исходной шихты и синтезированных композитов позволяет определить фазовый состав и параметры тонкой структуры композитов и исходной порошковой шихты, но не позволяет визуально оценить распределение фаз, форму и размеры синтезируемых зёрен, и другую информацию, связанную с морфологией поверхности образцов.

В результате анализа особенностей наиболее востребованных методов научных исследований выяснено, что для успешного проведения исследования микро- и наноструктуры синтезируемых композитов и исходной шихты целесообразно совместное применение сканирующей электронной микроскопии с микро-зондовым анализом и методов дифрактометрии. Сканирующая электронная микроскопия позволит определить форму, размеры частиц и зёрен шихты и материалов, метод микро-зондового анализа – определить элементный состав в отдельных структурных составляющих шихты и композиционного материала, а метод рентгеновской дифрактометрии позволит определить качественный и количественный фазовый состав порошковых и синтезированных материалов, а также изучит параметры тонкой структуры и кинетику их изменения.

Применение выбранных оптимальных методов исследования при изготовлении керамических изделий из порошковых композиций на основе бора, графита, алмаза, а также шихты из порошков на основе редкоземельных элементов показало высокую эффективность получения наглядных результатов научных исследований, которые можно с успехом использовать при отработке, корректировке и оптимизации технологии изготовления новых эффективных материалов методом высокоскоростного спекания под действием высоких давлений.

Исследование фазового состава, структуры, морфологии частиц и шихты из порошков бора, алмаза и графита для создания композита при высоких давлениях

Нисс В.С.¹, Григорьев С.В.¹, Урбанович В.С.²

¹Белорусский национальный технический университет

²ГО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»

Одним из способов повышения производительность труда при выпуске продукции различного назначения является использование новых керамических материалов с улучшенным комплексом физико-механических и эксплуатационных характеристик, в частности композитов на основе карбидов, нитридов, боридов и их совокупности.

Свойства керамических многокомпонентных материалов определяются наличием определённых химических элементов в материале, их распределением и главное – фазовым составом, который формируется из исходных порошков в приготовленной шихте при контролируемом воздействии на материал. Поэтому первым этапом в технологическом процессе перед формированием из исходных порошков материала с определённым набором компонентов и соответствующих фаз должен быть контроль химического состава исходных порошков.

Для устранения ошибок при проведении высокоскоростного спекания при высоком давлении многокомпонентной порошковой шихты необходимо обеспечивать контроль множество параметров технологического процесса, в частности необходимо исследовать качество смешивания порошковой шихты, которое также оценивается с использованием данных исследования химического состава порошковой шихты в разных объёмах.

Полнота прохождения синтеза новых фаз в композите из порошковой шихты оценивается как с использованием микроанализатора сканирующего электронного микроскопа, так и посредством дифрактометрического анализа. При проведении дифрактометрического анализа полученного спектра выполняется расчёт набора межплоскостных расстояний, по которому с использованием базы данных неорганических фаз определяются присутствующие в полученном образце фазы и рассчитывается их количество. Однако ввиду того, что многие дифракционные пики накладываются друг на друга при анализе спектров возможно определение не существующих в образце фаз или наоборот пропуск реально находящихся в исследуемом образце фаз.

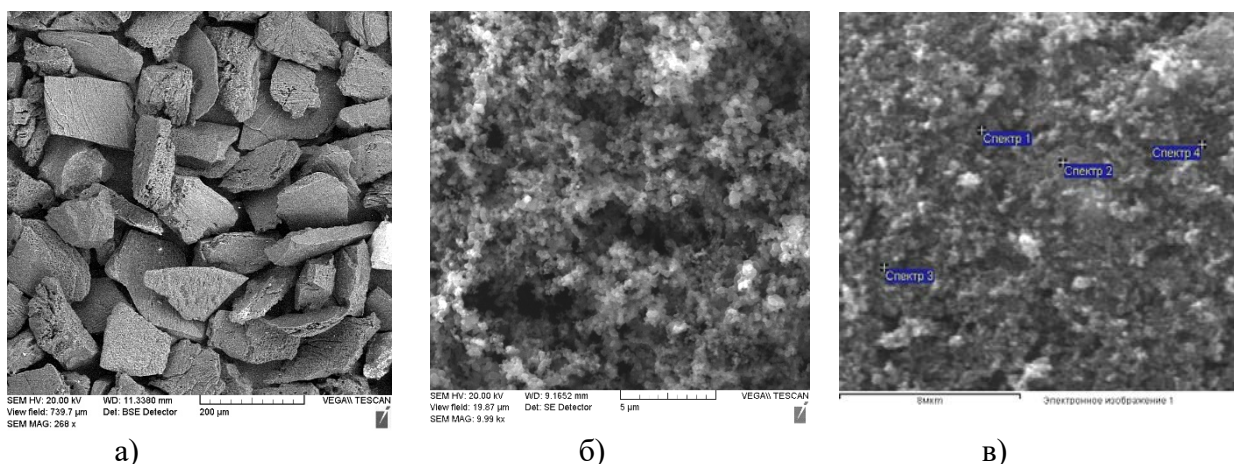
Для подтверждения, дополнения и корректировки данных дифракционного анализа рационально использовать микроанализатор сканирующего электронного микроскопа, который при использовании BSE – детектора позволяет качественно по «уровню серого цвета» визуально распределить имеющиеся в образце фазы, а количественное соотношение химических элементов в этих областях или точках, полученное при проведении микроанализа, даст возможность предположить наличие определённых фаз в образце.

Параметры тонкой структуры (например, уширение дифракционных линий, плотность дислокаций, параметры кристаллической решётки) также определяются по дифракционным спектрам, однако для более точного их определения необходимо регистрировать определённые части спектра, связанные с определёнными дифракционными линиями по специальным алгоритмам.

При выполнении данной работы были исследованы форма, размеры исходных частиц для изготовления шихты из смеси порошков импактного алмаза, бора, графита и их распределение в шихте.

На рисунке 1а видно, что размер частиц импактного алмаза находится в пределах 60-100 мкм, форма частиц осколочная, поверхность скола алмаза гладкая, в то время как поперёк частиц наблюдается губчатая структура.

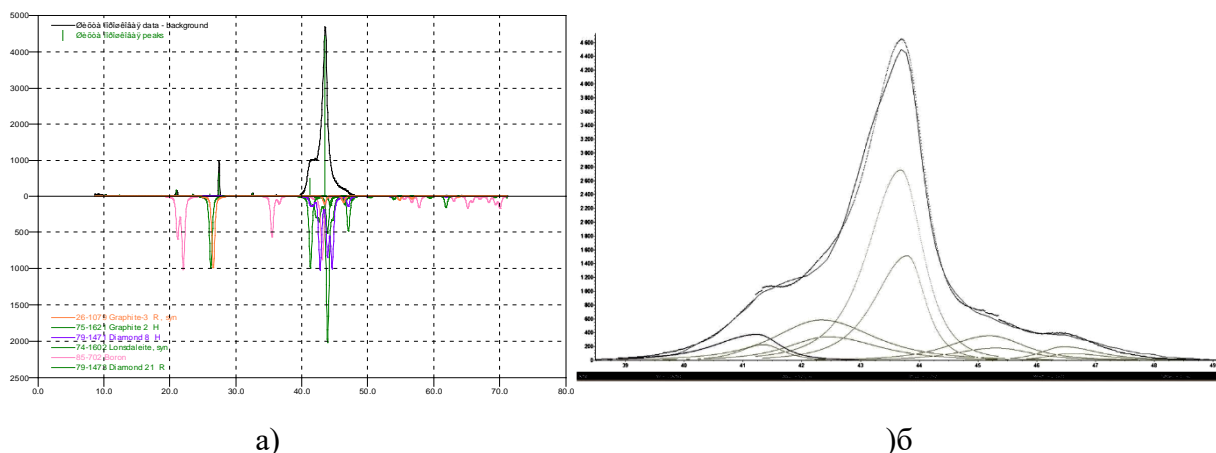
На рисунке 1б показано, что размер частиц порошка бора находится в пределах 0,5 – 1 мкм, форма частиц бора – осколочная с частично сглаженными краями.



а – форма и размер порошков импактного алмаза; б – форма и размер порошка бора; в – форма и размер порошка графита

Рисунок 1 - Микрофотографии исходных порошков алмаза, бора, графита, которые использовались для получения порошковой шихты

На рисунке 2 показан дифракционный спектр порошковой шихты, полученной в результате смешивания в этиловом спирте совместно с мелющими керамическими шарами и результаты анализа её фазового состава, а также математическим разложением основной информационной части спектра на составляющие единый спектр линии. Установлено, что для получения однородной шихты смешивание в спирте нужно проводить не менее 2 часов.



а – графическое изображение дифракционного спектра шихты из порошков бора, алмаза и графита; б – математическое разложение на составляющие основного участка дифракционного спектра шихты бор – алмаз – графит с целью определения точного положения дифракционных пиков, входящих в шихту фаз на основном информационном участке спектра

Рисунок 2 - Дифракционный спектр порошковой шихты с результатами анализа её фазового состава и математическим разложением основной информационной части спектра на составляющие единый спектр линии

Анализ данных рентгенограммы рисунка 2 позволил выяснить, что порошковая шихта состоит из следующих основных фаз: алмаз, бор, лонсдейлит, графит. Бор представлен, в основном, аморфной составляющей.

Полученные данные могут быть использованы в дальнейшем при изготовлении из исследованной шихты композитов с использованием метода высокоскоростного спекания под высоким давлением.

Исследование структуры, однородности, фазового состава и шихты порошков оксидов редкоземельных элементов для синтеза композитов в условиях высокого давления

Волосатиков В. И.¹, Григорьев С.В.¹, Урбанович В.С.²

¹Белорусский национальный технический университет

²ГО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»

В качестве материалов для использования в оптических системах с экстремальными условиями работы (например, лазерах различной мощности) перспективными материалами являются композиционные материалы (композиты) на основе оксидов редкоземельных элементов лютеция и европия, которые обладают высокими характеристиками прочности, теплоустойчивости и повышенными характеристиками прозрачности.

Разрабатываемые композиционные керамические материалы на основе оксидов редкоземельных элементов должны обладать повышенной плотностью по всему объёму материала. Для создания подобных композиционных материалов, прозрачных для заданных длин волн электромагнитного излучения перспективным технологическим способом получения изделий является способ спекания исходной порошковой шихты под сверхвысоким давлением за ограниченный промежуток времени.

Важно, чтобы создание таких композитов сопровождалось контролем качества прохождения технологически процессов, а также анализом данных по микроструктуре, морфологии частиц и фазовому составу исходных материалов на всех этапах, включая этап приготовления исходной шихты.

Свойства композитов на основе оксидов редкоземельных химических элементов материалов будут определяться качеством смешивания исходных компонентов в порошковой шихте, их формой и размером, фазовым составом. При малом количестве какого-либо компонента в шихте необходимо обращать внимание именно на этот компонент, так как он будет являться катализатором положительных или отрицательных процессов в областях, примыкающих к частицам этого компонента.

На рисунке 1 показана микрофотография исходного порошка оксида европия, полученная с использованием сканирующего электронного микроскопа. Форма исходного порошка данного оксида имеет осколочную пластинчатую форму. Размер частиц порошка неоднородный и колеблется от 3 мкм до 100 мкм с преобладанием крупной фракции.

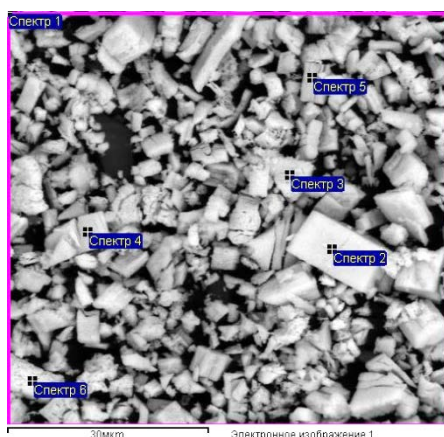


Рисунок 1 - Микрофотографии исходного порошка оксида европия, полученная с использованием сканирующего электронного микроскопа

Из-за незначительного количества порошка оксида европия в смеси его с оксидом лутеция для правильного определения фазового состава по дифрактограмме необходимо знать какие дифракционные пики оксида европия будут появляться на ней и в каких угловых интервалах. На рисунке 2 представлен дифракционный спектр чистого порошка оксида европия, а на рисунке 3 показан дифракционный спектр порошковой шихты оксидов лутеция с 1 % порошка оксида европия.

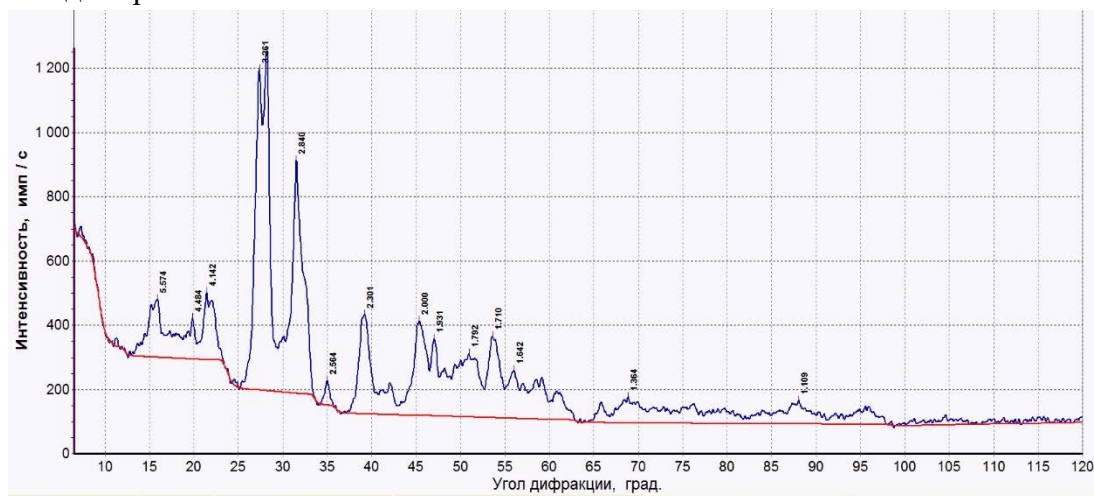


Рисунок 2 - Дифракционный спектр исходного порошка оксида европия

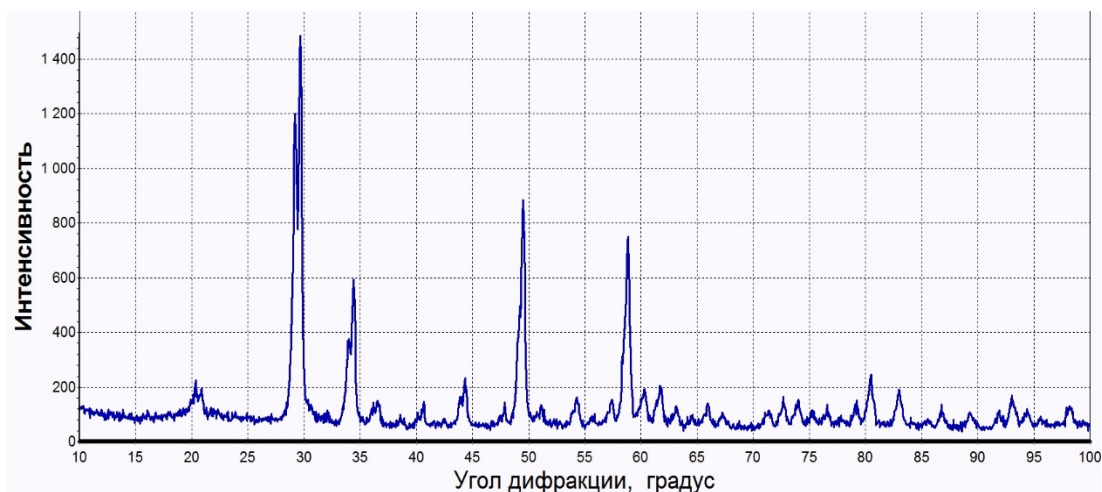


Рисунок 3 - Дифракционный спектр порошковой шихты $\text{Lu}_2\text{O}_3 + 1\% \text{Eu}_2\text{O}_3$

Анализ дифрактограммы на рисунке 2 показывает, что дифракционные пики от порошка оксида европия видны крайне слабо, однако при дальнейших технологических процессах горячего динамического прессования могут проявиться из-за появления текстуры в композите благодаря процессам направленного приложения давления и температуры.

Изучение фазового состава по спектру рисунка 3 показало, что исходная порошковая шихта на основе оксидов лутеция и европия состоит, в основном, из кубической и моноклинной фаз оксида лутеция при наличии малоинтенсивных дифракционных пиков, принадлежащих оксиду европия.

Ожидается, что в процессе обработки шихты на основе оксидов лутеция высоким давлением и температурой в присутствии оксида европия будут происходить изменения соотношения кубической и моноклинной фаз оксида лутеция, что положительно скажется на физико-механических свойствах синтезируемого композита.

Измельчение структуры легированных чугунов и сталей за счет модифицирования

Барановский К.Э., Урбанович Н.И., Розенберг Е.В.
Белорусский национальный технический университет

Одним из важных направлений развития литейного производства является разработка и использование различных методов воздействия на кристаллизующийся расплав, которые обеспечивают получение структуры металла с мелким зерном, улучшение формы неметаллических включений, снижение вредного влияния примесей и т.д., и как следствие, повышение механических и эксплуатационных свойств сплавов. Универсальным, относительно дешевым и высокоэффективным методом управления структурой кристаллизующегося расплава чугунов и сталей является модифицирование. Для усиления процесса модифицирования (дополнительного измельчения зерен или структурных составляющих), уменьшения расхода модификатора, а также для повышения некоторых служебных или механических свойств, кроме модификаторов 1-го рода (поверхностно-активных веществ) дополнительно вводят модификаторы 2-го рода (инокуляторы).

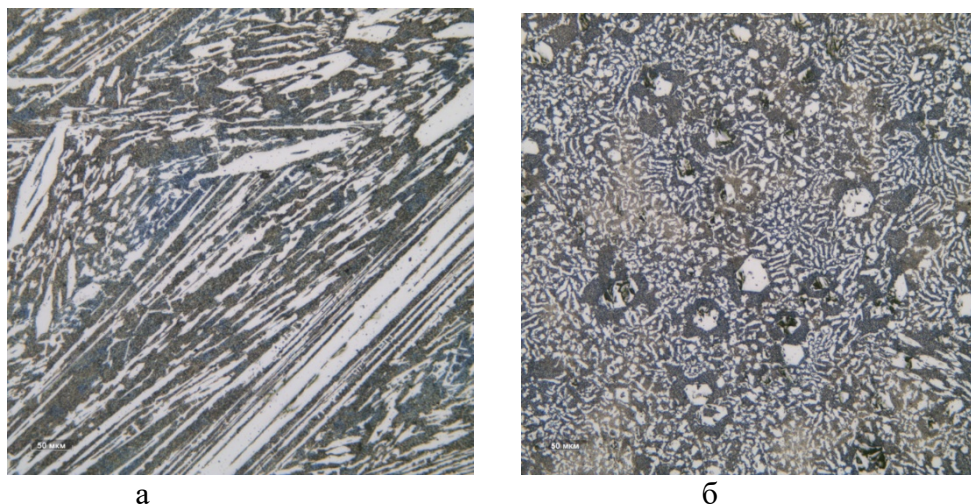
Износостойкость деталей из хромистых чугунов зависит от размеров карбидов (чем мельче карбиды, тем выше износостойкость). Поэтому важной задачей является модифицирование легированных чугунов, в частности износостойких хромистых чугунов (ИЧХ). Модифицирование позволяет измельчить эвтектические карбиды, особенно для толстостенных отливок, за счет чего повышается твердость и износостойкость деталей. Наиболее перспективным направлением в области модифицирования ИЧХ в настоящее время является обработка расплава комплексными модификаторами, которые в зависимости от используемых компонентов могут измельчить макро, и микроструктуру, а также ликвидировать транскристаллизацию и повысить ударную вязкость [1]. Согласно теории подбора комплексного модификатора, он должен включать химически активные (инокуляторы) и поверхностно-активные вещества [2]. В качестве ПАВ для хромистых чугунов можно предложить Bi, Pb, Te, Sb, Se и др. При выборе ПАВ для износостойких хромистых чугунов критериями были следующие показатели: стоимость и дефицитность элемента; растворимость в расплаве и твердых фазах (коэффициент распределения); температура кипения и упругость паров; соответствие экологическим требованиям (предельно допустимая концентрация (ПДК) [3] в воздухе вблизи мест ввода в расплав). Исходя из изложенного выше, учитывая стоимость и экологические требования к поверхностно-активным веществам, для модифицирования ИЧХ наиболее подходит висмут.

Для усиления действия ПАВ предлагается дополнительно ввести в расплав РЗМ (инокуляторы). Редкоземельные элементы способствуют измельчению карбидной фазы в хромистых чугунах [4]. На рисунке 1 показаны структуры образцов (центр отливки), полученных с использованием комплексного модификатора (б), а также не модифицированный эталонный образец (а).

Применение комплексного модификатора, содержащего ПАВ висмут и РЗМ, измельчило структуру в 3 – 4 раза по сравнению с исходной немодифицированной. В общем случае использование комплексного модификатора позволяет дополнительно измельчить структуру в 2 раза по сравнению со стандартным модификатором (висмутом).

Для износостойких марганцовистых сталей в качестве ПАВ в составе комплексного модификатора можно предложить щелочноземельные металлы в виде карбонатов кальция, бария и стронция. Введение щелочноземельных металлов в расплав стали снижает поверхностное натяжение. Использование карбонатов позволяет улучшить форму неметаллических включений.

В настоящее время рядом заводов для обработки металла и шлака применяется рафинирующе-модифицирующий барий-стронциевый концентрат, например, модификатор барий-стронциевый «БСК-2».

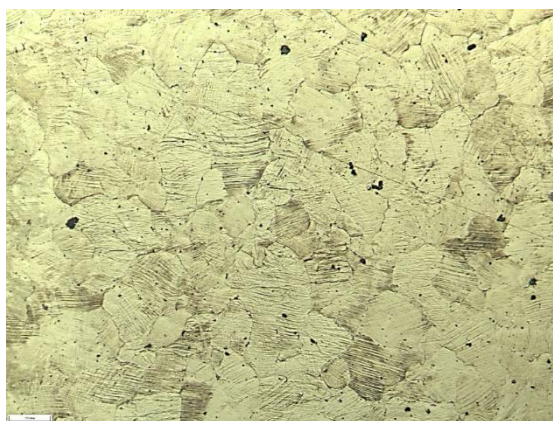


а

б

Рисунок 1– Микроструктура износостойкого хромистого чугуна х 200
а – без модифицирования; б – комплексный модификатор: 0,05 % висмута + 0,2 % модификатора ФС30РЗМ

Концентрат представляет собой карбонаты, основой которых являются $(Ba, Sr, Ca)CO_3$, содержание карбонатов может достигать 90 % [5]. В качестве инокуляторов предлагается использовать нано (менее 0,1 мкм) и ультра (до 1,5 мкм) дисперсные частицы. Использование модификаторов с ультрадисперсными частицами оказывает более высокую эффективность воздействия на структуру [6]. На рисунке 2 показаны структуры марганцевистой стали, полученной без использования модификатора (а) и с комплексным модификатором (б).



а



б

Рисунок 2 – Структура образцов из стали 110Г13Л × 100
а – без модифицирования;

б – полученная с использованием стандартного модификатора, содержащего щелочноземельные металлы, дополнительно обработанного добавкой, содержащей нано и ультрадисперсные частицы

Как видно из рисунка 2 (а), структура немодифицированной стали 110Г13Л имеет 2-3 балла аустенитного зерна. Добавка нано и ультрадисперсных частиц в состав модификатора позволила измельчить зерно марганцовистой стали до 4-го балла, рисунок 2 (б). Использование стандартного модификатора, содержащего щелочноземельные металлы, приводит к измельчению структуры марганцовистой стали только до 3-го балла.

Из проведенных исследований можно сделать следующие выводы: использование комплексных модификаторов, совместно содержащих ПАВ и инокуляторы позволяет повысить эффективность модифицирования для износостойких марганцовистых сталей и износостойких хромистых чугунов.

Литература

1. Патент РБ 1382. Чугун для быстроизнашиваемых деталей и способ производства литых заготовок для них / О.С. Комаров, Н.И. Урбанович, К.Э. Барановский, офиц. Бюл. № 3. – 1996. – С.147.
2. Комаров О.С. Термокинетические основы кристаллизации чугуна / Комаров О.С. – Минск: Наука и техника, 1982. – № 5. — с. 12 – 13.
3. Вредные химические вещества. Неорганические соединения I - IV групп: Справ. изд. / А.Л. Бандман, Г.А. Гудзовский, Л.С. Дубейковская и др. – Л.: Химия, 1988. – 512 с.
4. 12. Гарбер М.Е. Износостойкие белые чугуны / Гарбер М.Е. – М.: Металлургия, 2010. – 280 с.
5. Ивакин В.Л. Новая технология повышения качества металлов и сплавов барий-стронциевым карбонатом / В.Л. Ивакин, С.С. Черняк, Д.Ю. Пимнев. - Иркутск: ИНТУ, 2004. – 123 с.
6. Коротаева З.А. Получение ультрадисперсных порошков механохимическим способом и их применение для модифицирования материалов. / З.А. Коротаева. Автореферат диссертации к.т.н. – Кемерово, 2008. – 20 с.

Изучение возможности использования цинксодержащих отходов для получения цинковых покрытий методом термодиффузионного цинкования

Урбанович Н.И., Барановский К.Э., Розенберг Е.В., Волосатиков В.И.
Белорусский национальный технический университет

Коррозия металлических изделий представляет серьезную проблему, поскольку наносит значительный экономический и экологический ущерб национальным экономикам. Цинковые покрытия – один из самых распространенных методов защиты стали от коррозии. Среди множества способов формирования цинковых покрытий на сталях основными являются: горячее, гальваническое, холодное и диффузионное цинкование. В качестве цинкового компонента, используемого для получения цинковых покрытий методом термодиффузионного цинкования, применяют цинковый порошок, который производится в России, а также в дальнем зарубежье. Следует отметить, что существующие в настоящий момент технологии горячего цинкования приводят к накоплению в больших количествах цинксодержащих отходов. Так, например, в Республике Беларусь существуют производства горячего цинкования, в частности, ОАО «Речицкий метизный завод», на котором кроме изгари и гартцинка образуется ещё в количестве около 100 т в год дисперсный цинксодержащий отход в виде порошка при цинковании труб и последующей их паровой обдувке. В связи с этим возникла необходимость в переработке образующихся цинксодержащих отходов или их рециклинге в промышленный оборот.

Представляет интерес изучение возможности использования данного отхода в составе порошковой композиции в качестве цинксодержащего компонента для получения цинкового покрытия, что позволит снизить стоимость оцинкованных изделий и обеспечить рециклинг цинка в промышленный оборот.

Исследования выполнялись на стали Ст3, содержащей 0,14-0,22 % С; 0,07 % Si; 0,30-0,60 % Mn; S – не более 0,04 %; P – не более 0,05 %. Исходными компонентами для диффузионного цинкования являлись порошок цинка марки ПЦР-6 (ГОСТ 12601-67) зернистостью ≤ 180 мкм; оксид алюминия (МРТУ 6-09-2046-64) зернистостью 80-63 мкм; цинковая пыль фракцией ≤ 250 мкм; хлористый аммоний (ГОСТ 3773-60).

Составы насыщающих сред и условия получения покрытий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Составы насыщающих сред и условия получения покрытий

№ п/п	Массовая доля компонентов в насыщающих средах, %	Условия ХТО	
		t °С	τ , ч
1	50 % порошок цинка (ПЦР-6) + 50 % Al_2O_3 + 2 % NH_4Cl	450	4
2	50 % цинковая пыль + 50 % Al_2O_3 + 2% NH_4Cl	450	4

Схема упаковки стальных образцов в контейнере для проведения термодиффузионного насыщения приведена на рисунке 1.

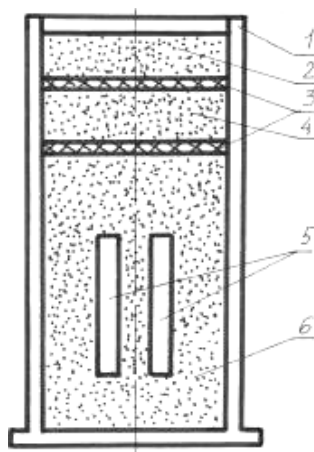


Рисунок 1 – Схема упакованного контейнера с плавким затвором:
 1 – контейнер; 2 – плавкий затвор; 3 – асбест; 4 – песок; 5 – образцы;
 6 – насыщающая смесь

Взвешивание в требуемом соотношении производили на электронных весах Skout Pro - 2000г. Для микроструктурных исследований использовали образцы размерами 30 x 15 x 3 мм. Образцы, очищенные от загрязнений и обезжиренные, упаковывали со смесью в металлический контейнер, изготовленный из углеродистой стали. Для наведения плавкого затвора, толщина которого составляла около 10мм, использовали борный ангидрид.

С целью получения сравнимых между собой экспериментальных данных диффузионная обработка образцов проводилась при одинаковом их расположении в контейнере. Упакованный контейнер загружали в электрическую муфельную печь шахтного типа, разогретую до требуемой температуры. После проведения процесса диффузионного насыщения контейнер выгружали из печи, охлаждали на воздухе до комнатной температуры и распаковывали.

На рисунке 2 представлен внешний вид образцов после термодиффузионного цинкования.

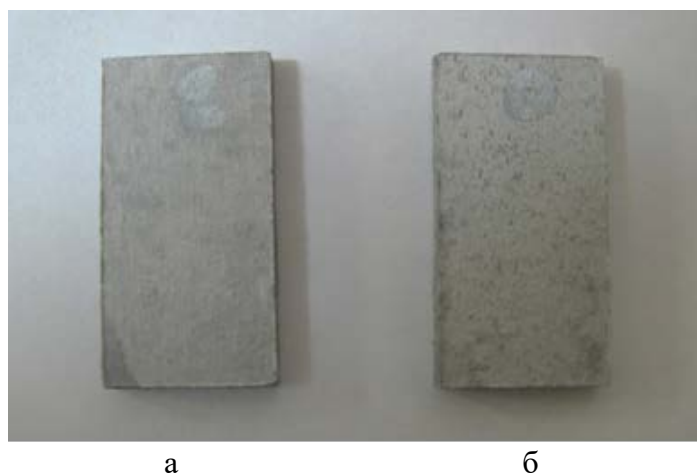


Рисунок 2 – Внешний вид образцов после цинкования:
 а – в цинковой пыли; б – порошковом цинке марки ПЦР- б

Следует отметить, что цинковые покрытия на образцах имеют одинаковый светло-серый цвет.

Анализ микроструктуры диффузионных слоев проводили при увеличении $\times 500$ на поперечных шлифах после их травления с использованием поста микроконтроля МК – 1 на базе

микроскопа МИ – 1 и программы обеспечения SIAMS 800. Для выявления структуры диффузионных цинковых слоев использовали реактив «ниталь», состоящий: 4 мл HNO_3 + 100 мл этиловый спирт. Микроструктура цинкового слоя данного образца представлена на рисунке 3.

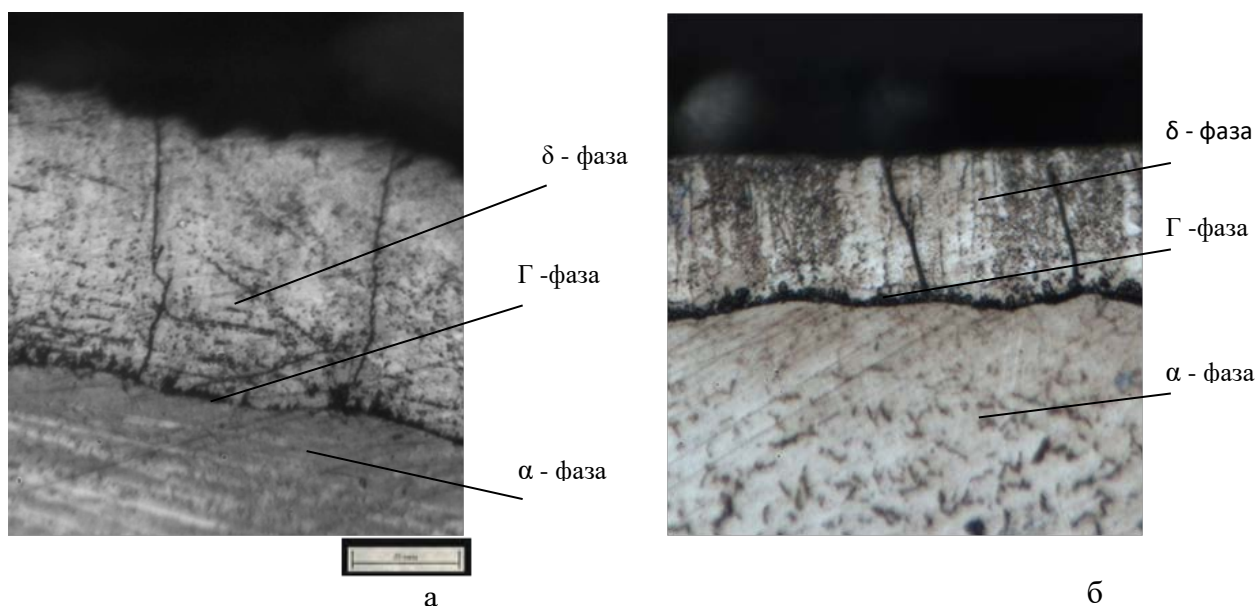


Рисунок 3 – Микроструктура цинкового слоя полученного в насыщающих средах:
а – 50 % порошковый цинк марки ПЦР- 6 +50 % Al_2O_3 + 2 % NH_4Cl ;
б – 50 % цинковая пыль + 50 % Al_2O_3 + 2 % NH_4Cl

Анализ микроструктуры показал, что цинковое покрытие состоит из наружного светлого слоя – (δ – фаза), примыкающего к нему тёмного слоя – (Γ - фаза) и переходной зоны, являющейся частью основного металла – (α - фаза). При этом толщина светлого слоя покрытия, полученного на основе порошкового цинка, составляет, примерно, 50 – 60 мкм, а темного – 2 - 5 мкм. У покрытия, полученного на основе цинковой пыли, толщины светлого и темного слоев соответственно составляют 40 – 50 мкм и 3 – 5 мкм.

Следует отметить, что согласно исследованиям многих авторов, цинковые слои, нанесённые в порошковых средах методом термодиффузионного насыщения, состоят в основном из Γ и δ – фаз. Для выявления субструктуры цинковых слоёв в дальнейшем в работе планируется использовать другой реактив.

Таким образом, показано, что при термодиффузионном цинковании стальных образцов при температуре $450\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 4 часов на основе системы: цинковая пыль - Al_2O_3 формирующиеся слои покрытия состоят из Γ и δ – фаз, которые характерны и для цинковых слоёв в порошковых средах на основе системы стандартный порошковый цинк - Al_2O_3 .

**Золь-гель технология как основа для защитных покрытий
в литейном производстве**

Комаров О.С., Розенберг Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Современные технологии требуют применения материалов, отвечающих самым разнообразным требованиям. Очень часто от деталей механизмов требуется способность противостоять коррозионным факторам и термическим нагрузкам одновременно. Практически на всех машиностроительных заводах имеются плавильные и термические печи, металлические конструкции, которые корродируют, а теплоизоляционная футеровка разрушается под действием высоких температур. Для повышения уровня защищённости металлические конструкции обрабатываются специальными термостойкими красками и эмалями.

В настоящее время интенсивно развивается новое направление в технологии получения керамики и неорганических композитов – формирование материалов из растворов на базе золь-гель процессов, сущность которых заключается в применении золь – коллоидных растворов различных оксидов и оксигидратов металлов.

Сегодняшняя золь-гель-технология – это способы получения многокомпонентных гелей высокой однородности и чистоты с последующим превращением геля в пленки, волокна, порошки, монолитные и пористые изделия. Связующие пленки были среди первых объектов, изготавливаемых золь-гель-методом [1,2]

Получение алкоксида кремния подробно описано в [3], на примере, промышленного производства этилсиликата, который может быть использован для изготовления покрытий. Аналогичные технологии используются и для получения алкоксидов таких металлов, как Ti, Zn, Zr, оксиды которых имеют высокую температуру плавления, что важно при необходимости защитить конструкцию, работающую при высоких температурах. Кроме того, у ZrO_2 коэффициент температурного расширения (КТР) сопоставим с КТР стали, что весьма важно с точки зрения борьбы с растрескиванием и отслаиванием защитных покрытий.

Золь-гель технологии характеризуются простотой исполнения и не требуют специального оборудования, экологичны и экономичны. О перспективности золь-гель технологий свидетельствует огромное количество научных исследований, посвященных совершенствованию самого процесса получения неорганических полимеров, а также расширению областей его применения.

Особый интерес у исследователей вызывают пленки ZnO, полученные золь-гель методом. Это связано с тем, что ZnO обеспечивает протекторную защиту покрываемых им металлических поверхностей [4-7].

Дополнительного повышения прочностных, технологических и эксплуатационных свойств пленочных покрытий можно добиться путем их модифицирования органическими добавками и добавками наночастиц минеральных веществ. В работе [8] приводится классификация неорганических компонентов (поливиниловый спирт, полипропилен, полиуретан, алкоксиды и рекомендуемые органические компоненты). Их смешивание и обработка по золь-гель технологии позволяет получить органо-неорганические гибридные связующие, покрытия и материалы [9].

В настоящее время золь-гель технологии нашли широкое применение в качестве защитных покрытий в виде плотных пленок в самолетостроении, при изготовлении плотной и легковесной керамики, а также керамических нитей и оптических стекол. Широко используется она и для защиты полупроводников, резисторов и проволоки в микроэлектронике [10]. В литейном производстве золь SiO_2 используется в качестве связующего при изготовлении форм для литья по выплавляемым моделям. Алюмозоль и кремнезоль используются в качестве свя-

зующих веществ при производстве керамических блоков [10]. Несмотря на то, что в машиностроительной и литейно промышленности они не нашли широкого применения, перспектива их использования хорошо просматривается.

Известно, что часть оборудования, например, системы очистки газов от плавильных печей, работает в агрессивной среде. Использование защитных покрытий в несколько раз увеличивает срок службы деталей из нержавеющей стали, работающих в кислоте [11]. Разработанные золь-гель технологии могут быть использованы с целью создания еще более совершенных защитных покрытий и увеличения срока службы газоочистных систем.

Ряд деталей конструкции нагревательных и плавильных печей испытывают высокие тепловые нагрузки и быстро разрушаются вследствие газовой коррозии. Использование высокотемпературных покрытий способствует замедлению процесса окисления. Особенно перспективен в этом отношении золь ZrO_2 , КТР у которого близок к КТР металлов, что исключает растрескивание пленочного покрытия при нагревании.

Золь SiO_2 служит связующим при изготовлении формы для литья по выплавляемым моделям. Но оксид кремния в процессе полиморфного превращения существенно изменяет объем, что приводит к короблению и растрескиванию форм. Частичная или полная замена SiO_2 на Al_2O_3 , который лишен этого недостатка и не спекается с жидким расплавом, позволит улучшить чистоту поверхности отливок и повысить их точность.

Использование золь ZrO_2 для пропитки поверхности стержней, возможно, позволит решить проблему просечек на внутренних поверхностях чугуновых отливок и улучшить чистоту их поверхности.

Учитывая доступность и простоту золь-гель-технологий и их очевидную перспективность для решения насущных проблем литейного производства следует представлять интерес шире исследовать технологические возможности этого процесса.

Литература

1 Шилова О.А. Наноразмерные пленки, получаемые из золь на основе тетраэтоксисилана, и их применение в планарной технологии изготовления полупроводниковых газовых сенсоров / О.А Шилова // Физика и химия стекла. 2005. Т. 31. № 2. С. 270 – 294.

2 Исследование физико-химических свойств наноразмерных гибридных боросиликатных пленок, получаемых из золь / О.А. Шилова, Т.И. Василенко, И.В. Смирнова и др. // Температуроустойчивые функциональные покрытия. Труды XIX Всероссийского совещания по температуроустойчивым функциональным покрытиям. С.-Петербург 15 – 17 апреля 2003 г. СПб.: Янус, 2003. Т. 1. С. 189 – 192.

3 Ефимов В.А. Специальные способы литья. М. Машиностроение, 1990, с.720.

4 Марченко И.Н. Синтез и коллоидно-химические свойства гидрозоль бемита и смешанных дисперсий $AlOON-ZnO$. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. Москва. 2017, 98с.

5 Davood Raoufi, Taha Raoufi. The effect of heat treatment on physical properties of sol-gel derived ZnO thin films. Applied Surface Science, March, 2009, p. 5812 – 5817.

6 Yaoming Li, Linhuf Xu. Effect of aging time ZnO Sol on the structural and optical properties of ZnO thinfilms prepared by sol-gel method. Applied Surface Sienct, 256 (2010), p. 4543 –4547.

7 Lamia Znaidi. Sol-gel-depsited ZnO thinfilms, A review Material Science and Engineering B–July, 2010, p. 18 – 30.

8 Коробков А.М. Применение золь-гель технологий для получения гибридных материалов/ А.М. Коробков [и др.] // Известия КазГАСУ. Строительные материалы и изделия.

9 Старовойтова Н.А. Исследование структуры и свойств гибридных органо-неорганических связующих./ Н.А. Старовойтова, Л.А. Авдрахманова // Известия КазГАСУб 2009, №2 (12), С. 269 – 273.

10 Максимов А.И, В.Н. Мошников и др. Основы золь-гель-технологии нанокompозитов. Санкт-Петербургский ГЭУ «ЛЭТИ», ид-во СПбГЭТУ «ЛЭГИ», 2007. с 273

11 Dehua Wang,. Sol-gel coatings on metals for corrosion protection. / Dehua Wang, Gordon. P. Bierwagen //Department of Coating and Polimeric materials, North Dakota State University. Furgo ND, 58105, USA, pp 327 – 338.

Влияние комплексных модификаторов на низкоуглеродистые износостойкие стали

Розенберг Е.В., Барановский К.Э.

Белорусский национальный технический университет

Низкоуглеродистые износостойкие стали (12ХГФЛ, 20ГЛ, 08-20ГФЛ, 20ГНМФЛ 20ГСЛ, 35ГЛ, 40Г2Л и др.) используются для тяжело нагруженных конструкций машин: литых деталей рам вагонов, тракторов и автомашин. Такие стали должны обеспечивать статическую прочность, иметь значительный запас вязкости и пластичности во избежание хрупкого разрушения. Главная причина выхода из строя таких деталей при эксплуатации - развитие усталостных трещин.

Для повышения сопротивления усталостным дефектам при производстве деталей необходимо обеспечить мелкую структуру, уменьшение количества и распределения неметаллических включений, а также скругление их формы.

Работы [1-4] показали, что обработка сталей силикокальцием (27 – 30 % Са), ферроцерием (45 – 50 % Се), силикобарием (20 – 25 % Ва) и стронций содержащей лигатурой (30 – 35% Sr) положительно влияют на количество и морфологию неметаллических включений, дендритную структуру, что в конечном итоге сказывается на повышении уровня механических и служебных свойств отливок. Основной вывод работ заключается в том, что наибольший эффект по снижению загрязнённости стали неметаллическими включениями наблюдался при использовании комплексных модификатор.

Комплексные модификаторы могут быть представлены в виде готовых решений (например, модификатор INSTEEL, PC-7), бескремнистых лигатур, быстроохлаждённого комплексного модификатора на основе алюминия с добавками активных элементов, природными концентратами – карбонатами щелочно-земельных металлов (L-cast, БСК) которые в жидких металлах претерпевают термическую диссоциацию с образованием большого количества рафинирующих высокодисперсных газовых пузырьков CO₂ и оксидов щелочноземельных металлов, которые взаимодействуя с серой, связывают ее, образуя включения глобулярной формы.

Современные комплексные модификаторы являются смесью соединений или несвязанных щелочноземельных и редкоземельных элементов, дополняющих друг друга и обеспечивающих стабильный эффект модифицирования. Смесевые модификаторы наиболее универсальны в использовании, так как позволяют корректировать как наличие определенных элементов, так и их концентрацию в модификаторе в зависимости от поставленных целей и вида сплава.

Экспериментальные плавки по оценки влияния комплексного смесевого модификатора разработки БНТУ проводились на предприятии ООО «Идея» в тигельной индукционной печи емкостью 400 кг с кислой футеровкой. Модифицирующей обработки подвергалась сталь марки 20ГНМФЛ.

В качестве модификатора использовался комплексный, смесевой модификатор, состоящий из Са, Ва, St в виде силикатов. Модификатор вводился в виде конверта, из алюминиевой фольги, в разливочный ковш под струю металла в момент перелива, при заполнении ковша на 1/3. в количестве 0,2%, 0,25% и 0,35% от массы расплава. Модифицированную сталь заливали в формы для получения треновидных проб, которые подвергали термической обработке, после чего из треноф вырезались образцы для проведения механических испытаний. Результаты испытаний на механические свойства приведены на рисунках 1 – 3

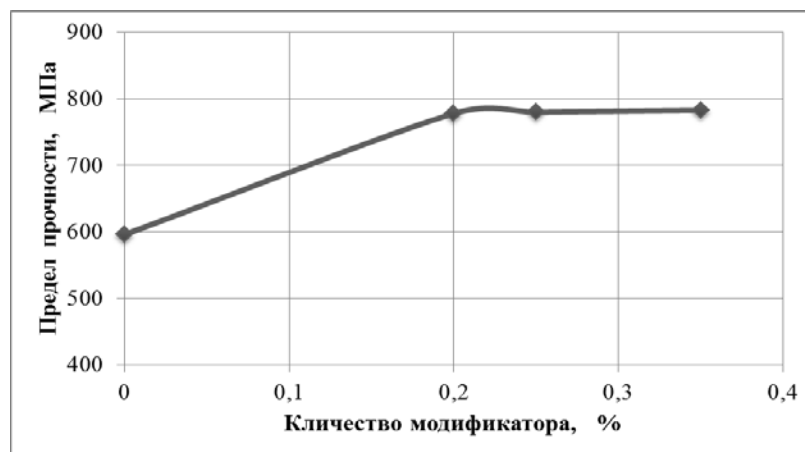


Рисунок 1 – Зависимость предела прочности стали 20ГНМФЛ от количества модификатора

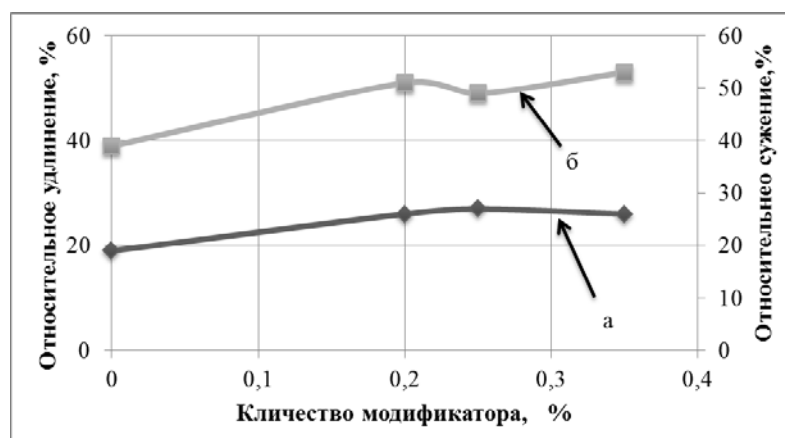


Рисунок 2 – Зависимость относительного удлинения (а) и сужения (б) стали 20ГНМФЛ от количества модификатора

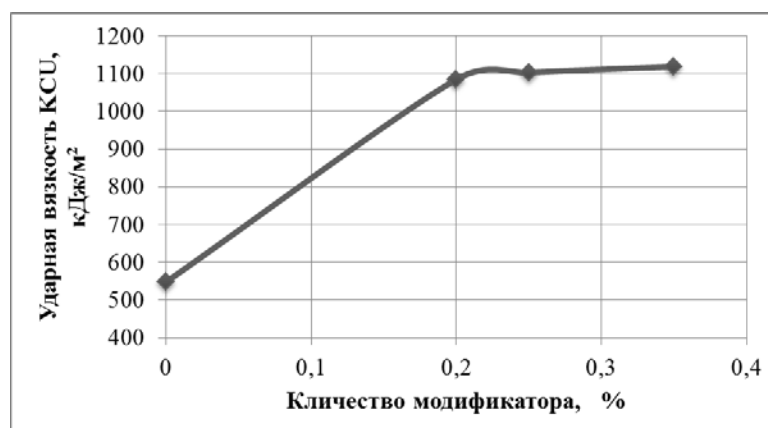


Рисунок 3 – Зависимость ударной вязкости стали 20ГНМФЛ от количества модификатора

Показатели механических свойств стали являются определяющим фактором эффективности использования комплексного модифицирования:

- увеличение предела прочности на ~31 %;
- показатели относительного удлинения и относительного сужения повысились на ~36% и ~35% соответственно;
- увеличение показателя ударной вязкости – почти в 2 раза (104 %).

Также, модифицирование повышают технологические свойства стали - жидкотекучесть на 18 – 25 %, что снижает склонность сплава к трещинообразованию.

Литература

1. О.С. Комаров. Комплексное модифицирование стали / О.С.Комаров, В.И. Волосати-ков // МИТОМ, – 2013, – №3, – С.48 – 51.
2. Аникеев В.В. Промышленные испытания модификаторов при внепечном модифицировании углеродистых, низколегированных, марганцовистых и коррозионностойких сталей в условиях ОАО «Самаркий сталелитейный завод» // Модифицирование как эффективный метод повышения качества чугунов и сталей. СБ. Докл. Литейного консилиума №1. Челябинск. 2005. С.22 – 30
3. Бахметьев В.В. Повышение свойств литейных сталей внепечной обработки кальций-магниевыми лигатурами с РЗМ / В.В. Бахметьев, В.М. Колокольцев, А.Ф. Миляев // Литейное производство 2006. №11. С. 7-11
4. Голубцов, В.А. Модифицирование стали для отливок и слитков / В.А. Голубцов, В.В. Лунев. – Челябинск - Запорожье: ЗНТУ, 2009. – 356 с

Компактирование пылевидных отходов

Урбанович Н.И., Розенберг Е.В., Волосатиков В.И.
Белорусский национальный технический университет

Решение проблемы отходов производства является приоритетным направлением деятельности в области ресурсосбережения. В процессе производственной деятельности металлургического и литейного производства в Республике Беларусь образуется большое количество разнообразных отходов, многие из которых являются ценными вторичными ресурсами, такие как железосодержащие пыли газоочисток электросталеплавильных печей, дробеструйных установок, пыли газоочисток в процессе колки дробы, а также пыли, образующиеся при расसेве колотой дробы.

Наиболее перспективным направлением переработки пылевидных железосодержащих отходов, является совместное компактирование (брикетирование) данных отходов вместе с восстановителем, характерными особенностями которого являются возможность организации участков различной производительности, гибкость технологических решений, низкая энергоёмкость и экологическая нагрузка. Брикетирование позволяет достичь максимального использования объема печи и исключить унос материала газами. Использование брикетированного шихтового материала в электросталеплавильном производстве является оптимальным способом рециклинга железосодержащих отходов, поскольку такие недостатки, как наличие цинка, недостаточная прочность сырья, плохая восстанавливаемость устранимы посредством отработки технологии производства брикетов, в частности компонентного состава.

При этом сами технологии компостирования (брикетирования могут) различаться в зависимости от многих факторов: температура, усилие прессование, конструкция прессов и тд. В металлургическом производстве получили распространение следующие брикетировочные прессы: валковые прессы; установки вибропрессования, штемпельно-брикетированные прессы; экструдеры и др. [1-5]. На выбор наиболее эффективного способа брикетирования влияет особенности конкретных пылевидных металлосодержащих отходов.

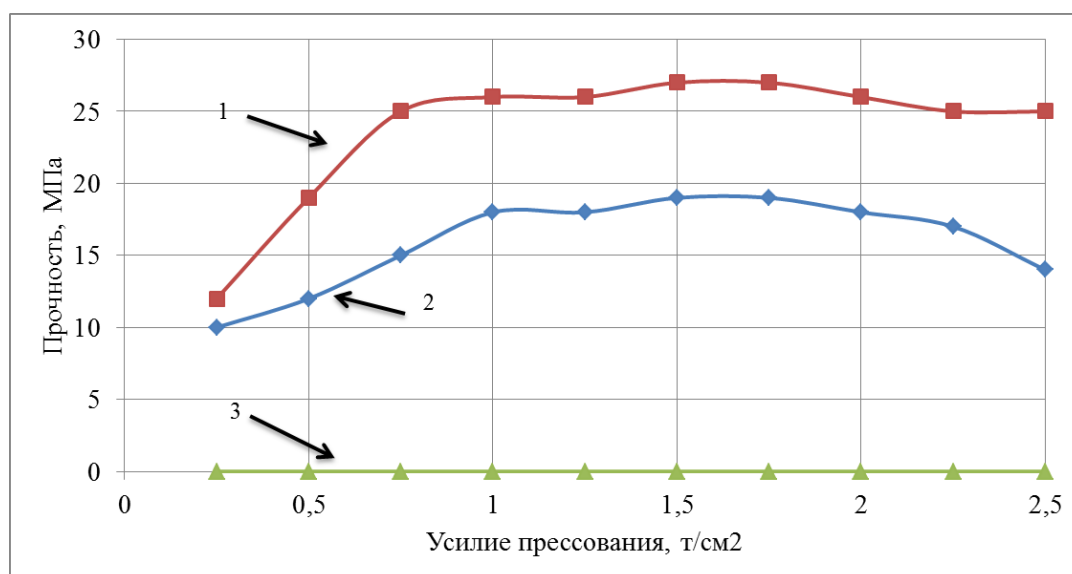
В исследовании были рассмотрены несколько представителей металлосодержащих отходов различных как по химическому, так и по гранулометрическому составу.

С целью изучения способности смеси к прессованию были проведены предварительные испытания по изготовлению брикетов на прессе с различным усилием. Усилие прессование пересчитывалось на единицу площади брикета для корректного получения показателей механических свойств, при сравнении брикетов. Площадь отпечатка экспериментальных брикетов составила $19,625 \text{ см}^2$ (диаметр брикетов 5 см)

Так как прочность брикетов во многом зависит от давления прессования. Для определения диапазона рабочих усилий прессования были проведены испытание на сырую прочность брикетов из различных металлосодержащих пылевидных отходов, без дополнительны добавок, при различных давлениях прессования. Результаты испытаний брикетов на прочность приведены на рисунке 1

Анализ полученных результатов показывает, что прочность брикетов возрастает с увеличением давления прессования до $1-1,25 \text{ т/см}^2$, дальнейшее повышение давления прессования не приводит к значительному увеличению показателей прочности брикетов за счет достижения максимальной плотности упаковки частиц. При увеличении усилий прессования даже возможно снижение прочности из-за возникновения в брикете внутренних напряжений.

Брикет из отхода ОАО «Могилевский металлургический завод» не сформировал брикет даже при приложении максимальных усилий, что связано с округлой формой частиц, которая не способствует их плотной упаковке и с материалом из которого практически на 100% состоит отход – серый чугун, пластичность которого близка к нулю.



1 – металлосодержащая пыль с ОАО МТЗ; 2 - металлосодержащая пыль с УПП «Универсал-Лит»; 3 - металлосодержащая пыль с ОАО «Могилевский металлургический завод»
Рисунок 1 - Прочность брикетов при различных усилиях прессования

Повышенная прочность брикетов из отхода, образывающегося на ОАО МТЗ, связана с хорошо развитой поверхностью металлических частиц содержащихся в отходе, при приложении усилий, в процессе деформации, они захватывают близлежащие частицы образуя тем самым достаточно прочную сеть соединений.

Наилучшие показатели в прочности показали брикеты, состоящие из отходов УПП «Универсал-Лит».

Показатель прочности брикетов из различных материалов в диапазоне 18-24 МПа является недостаточным (требуется 25-30 МПа). Это обуславливает необходимость дополнительных манипуляций с отходами и ввода в состав брикетов связующего.

В последующих работах будет изучаться влияние различных комбинаций металлосодержащих компонентов, связующего и восстановителей на механические свойства брикетов.

Литература

1. Маймур Б.Н. Брикетирование металлургического сырья. Актуальность и пути развития метода / Б.Н. Маймур [и др.], // Бюллетень «Черная металлургия». – №1. – 2016. – С. 74-81
2. Бижанов А.М., Курунов И.Ф. Брикетные экструзии (брэкссы) – новый этап в окусковании сырья для черной металлургии. М. : ООО «Металлургиздат», 2017. – 234 с.
3. Корнев А.В. Исследование влияния параметров брикетирования на физико-механические свойства железорудных брикетов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) №12. – 2012. – С.154-156
4. Проценко Е.Л. Экспериментальные исследования процесса брикетирования мелкофракционной пыли производства ферросилиция / Е.Л. Проценко, Т.Ф. Жуковский // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова 2014, № 6 С. 187-191
5. Ленев Л.А., Кусков В.Б. Изучение закономерностей брикетирования богатой железной руды без связующих добавок / Л.А. Ленев, В.Б. Кусков // Записки Горного института. Т.169. – С. 150-152

Утилизация отходов литейных цехов

Урбанович Н.И., Розенберг Е.В.
Белорусский национальный технический университет

В промышленности нашей страны накопилось много различных отходов. Одним из их видов являются изношенные резинотканевые и резинотросовые ленты производственных конвейеров работающих в литейных цехах машиностроительных предприятий. Помимо изъятия огромных площадей земель и складов, данные отходы оказывают значительное воздействие на окружающую природную среду. При захоронении резинотехнических изделий (конвейерных лент) происходит загрязнение сточных вод и почв вредными продуктами их распада.

На вооружение промышленность имеется несколько концептуально разных методов переработки конвейерных лент, среди которых можно выделить два главных [1-3]:

1) механическое измельчение с использованием режущего инструмента с дальнейшей переработкой резиновой крошки;

2) переработка с изменением химической структуры изделия методом термодеструкции или пиролизом резины с получением различных продуктов разложения, которые пригодны для вовлечения в иные производственные циклы.

Обращаясь к зарубежному опыту, стоит отметить, что переработка резины методом пиролиза применяется уже довольно давно [4-7]. В наиболее развитых странах (США, Японии, Германии, Швейцарии и др.) уже длительное время эксплуатируются опытно-промышленные установки по пиролизу резинотехнические изделия мощностью 7-15 тыс. тонн в год по сырью. Пиролиз резиновой крошки осуществляется в среде с недостатком кислорода, в вакууме, в атмосфере водорода в присутствии катализаторов и без них, в реакторах периодического и непрерывного действия, в псевдокипящем слое и при различных температурах. Выходной продукт – разнообразное топливо и технологические вторичные материалы, используемые в разных отраслях промышленности.

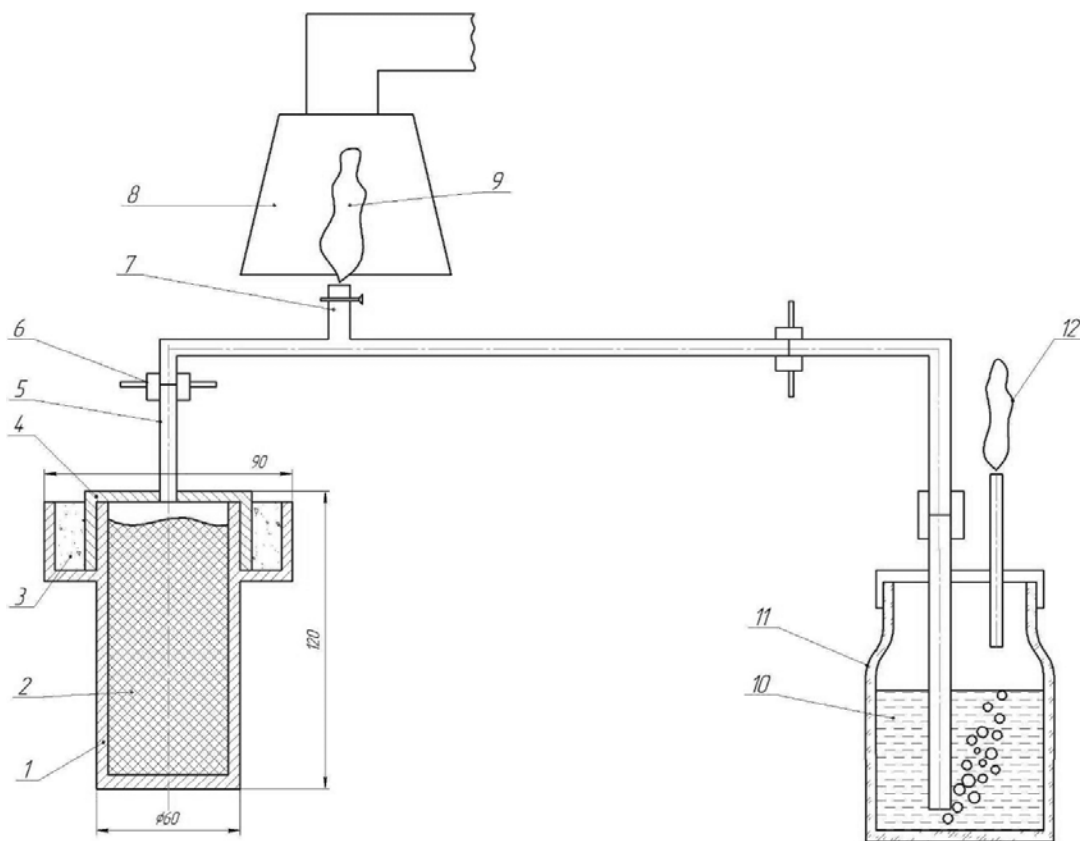
Представляет большой интерес перенести опыт переработки резинотехнических изделий, на отходы, образующиеся на Белорусских предприятиях. В качестве представителя отходов резинотехнических изделий использовались куски отработанных резинотканевых конвейерных лент скапливающихся на ОАО «МТЗ» (рисунок 1).



Рисунок 1 – Нарезанные части отработанной конвейерной ленты с ОАО «МТЗ»

Отход представляет собой лист плотного резинового материала армированного внутри синтетическими волокнами для предания дополнительной прочности на разрыв. Стоит отметить, что упрочняющие полимерные волокна, могут накладывать определенную специфику на процесс пиролиза. Параллельный пиролиз резины и полимера может привести к особенностям и отличиям как состава продуктов пиролиза (газ, жидкое топливо и кокс) так и самой технологии пиролиза (температура, время) по сравнению с пиролизом резины без армирующих нитей.

С целью проведения экспериментов по пиролизной переработки отработанных конвейерных лент была изготовлена лабораторная установка (рисунок 2).



1 – стальной цилиндр; 2 – рабочее пространство ; 3 – герметизирующая смесь; 4 – крышка; 5 – трубка, отводящая газы; 6 – соединительная гайка; 7 – трубка с клапаном; 8 – вытяжка; 9 – отходящие газы с возможностью дожигания; 10 – раствор абсорбента (катализатора) в воде; 11 – стеклянная банка; 12 – отходящие газы после очищения
Рисунок 2 – Лабораторная установка пиролиза

Установка представляет собой стальной сварной цилиндр (1) который заполняется измельченной конвейерной лентой (2). Сверху цилиндра (1) находится затвор, в который после установки крышки (4) засыпается герметизирующая смесь (3), состоящая из мелкого песка с добавлением жидкого стекла для прочности. Цилиндр (1) устанавливается в разогретую шахтную печь. К крышке (4) прикреплена трубка (5) для отвода газов, образующихся при пиролизе. По трубам (5) пиролизные газы поступают к участку с клапаном (7) и уходят в зонты вытяжки газов (8) или поджигались над трубкой (7). Клапан трубки (7) позволяет направить газы на очистку в емкость (11) с крышкой заполненную катализатором (абсорбентов) (10). После очистки газы через трубку выходят в атмосферу (12) или могут поджигаться на выходе.

Первые опыты были посвящены определению температурным и временным режимам пиролиза. Результаты показали, что первичная деструкция отходов и формирование низкотемпературных смолистых веществ наблюдается в интервале 250-350 °С. В интервале 350-500 °С

происходит размягчение и разрушение резины, которое сопровождается выделением большого количества газа, в том числе фенола и углеводорода. Выше 600 °С темп выделение газов снижается и наблюдается резкое коксование затрудняющие протекание пиролиза. Таким образом, было установлено, что оптимальной температурой для проведения пиролиза является интервал 450-500 °С. Необходимо отметить, что нити синтетического армирующего материала так же подверглись полному пиролизу и в получаемых продуктах в виде коксового остатка не идентифицировались отдельными фракциями.

Дальнейшие работы будут направлены на улавливание и нейтрализацию отходящих газов, а также возможности использования различных катализаторов для регулирования состава продуктов пиролиза.

Литература

1. Клищенко В.П. Методы комплексной утилизации отработанных изделий транспортных средств из резины и резиносодержащих отходов / В.П. Клищенко, А.П. Пославский, В.В. Сорокин // Прогрессивные технологии в транспортных системах. 2011. № 1. С. 135-141.
2. Вольфсон, С. И. Методы утилизации шин и резинотехнических изделий / С. И. Вольфсон, Е. А. Фафурина, А. В. Фафурин // Вестник Казанского Технологического Университета. – 2011. – С. 74–79.
3. Пермяков Б. А. Опыт использования экологически чистой технологии переработки резиновых отходов / Б. А. Пермяков // Известия Академии промышленной экологии. – 2000. – № 4. – С. 82–83
4. Яцун А. В. СВЧ-Пиролиз изношенных автомобильных шин в присутствии гидроксида калия / А. В. Яцун, П. Н. Коновалов, Н. П. Коновалов // Современный наукоемкие технологии. – 2017. – С. 83–87.
5. Утилизация покрышек мировой опыт // Электронный ресурс. URL: <https://techart.ru/files/publications/pokrishki.pdf> (дата обращения: 14.05.2021)
6. Папин, А. В. Получение композиционного топлива на основе технического углерода пиролиза автошин / А. В. Папин, А. Ю. Игнатова, Е. А. Макаревич, А. В. Неведров // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – С. 107 – 113.
7. Макаров А. В. Некоторые аспекты рециклинга изношенных автомобильных покрышек методом пиролиза / А. В. Макаров // Вестник ТОГУ. – 2008. – С. 247 – 258.

Сравнительный анализ структуры и свойств поверхностных слоев низколегированных горячештамповых сталей после борирования и боросилицирования в порошковых смесях и обмазках

Ситкевич М.В.

Белорусский национальный технический университет

В работе представлены результаты исследований борированных и боросилицированных образцов сталей 5ХНМ и 5ХНВ. Указанные горячештамповые стали наиболее широко используются для изготовления как сравнительно мелкогабаритных, так и крупногабаритных, в том числе многотонных деталей горячештамповой оснастки. Данная инструментальная оснастка работает в условиях изнашивания рабочих поверхностей, зачастую сопровождающегося динамическими воздействиями. Для повышения стойкости такой оснастки целесообразно создавать на их рабочих поверхностях высокотвердые фазы, обеспечивающие повышенную износостойкость в сочетании с приемлемым сопротивлением хрупкому растрескиванию в процессе штамповки. В этом плане в первую очередь заслуживают внимания процессы боридного упрочнения (борирование, боросилицирование), которые проводятся при температурах сопоставимых с температурами нагрева под закалку инструмента и технологической оснастки (880-900°C). При упрочнении мелкогабаритных деталей их помещают в любую емкость, засыпают диффузионноактивной смесью и выдерживают в камерных печах при температурах нагрева под закалку. Упрочнение крупногабаритного инструмента осуществляется с помощью диффузионноактивных обмазок. Обмазка наносится тонким слоем на рабочую поверхность, после чего изделия выдерживают при закалочных температурах несколько часов в печах с воздушной атмосферой. В случае боридного упрочнения обеспечивается совмещение диффузионное насыщение в обмазках с нагревом изделий под закалку [1].

В настоящей работе борирование и боросилицирование проводили при температуре 900 °С в порошковых смесях и обмазках, в которых поставщиком активных атомов бора являлся карбида бора, поставщиком атомов кремния – компоненты на основе SiC? SiO₂, в качестве газогенерирующего активатора использовался фтористый натрий.

Боросилицирование образцов сталей 5ХНМ и 5ХНВ при температуре 900°C приводит к формированию диффузионных слоев, которые по толщине меньше, чем борированные. В структуре борированных слоев рентгеноструктурным анализом обнаружены фазы FeV и Fe₂V. В отличие от борированных слоев в структуре боросилицированных слоев рентгеноструктурным анализом фиксируются фазы Fe₂V, Fe₃Si и не обнаружена фаза FeV. По микроструктуре боросилицированные слои, полученные при 900°C, похожи на борированные, они имеют игольчатое строение, но иглы боридов несколько более узкие, чем в случае борирования и между ними просматривается небольшая доля включений фаз типа Fe₃Si.

Структурные изменения, имеющие место в результате борирования и боросилицирования при различных параметрах ХТО, существенно сказываются на показателях микротвердости и микрохрупкости диффузионных слоев. Наиболее высокие показатели микротвердости имеют место в случае борирования сталей. Причем высокая микротвердость поверхности (18,5-19,5 ГПа) отмечается как в случае борирования в обмазках, так и порошковых смесях. Следует отметить, что такая твердость характерна находящейся вблизи поверхности фазе FeV, которая образуется в борированных слоях как при температуре 900°C, так при более высоких температурах. Под слоем фазы FeV располагается зона фазы Fe₂V, твердость которой несколько ниже - на уровне 13,5-14,5 ГПа. В случае боросилицирования при температуре 900°C микротвердость поверхности как раз и соответствует микротвердости фазы Fe₂V. При этом ХТО как в обмазках, так и порошковых смесях в негерметизируемых контейнерах дает практически аналогичные результаты.

Изменение структурного состояния боросилицированных слоев по сравнению с борированными очень заметно сказывается на их микрохрупкости. Определение микрохрупкости

диффузионных слоев проводилось с использованием прибора для измерения микротвердости ПМТ-3. Микрохрупкость оценивалась по напряжению скола $G_{ск}$ упрочненной поверхности (чем ниже напряжение скола, тем выше хрупкость), которое зависит от l (минимальное расстояние от центра отпечатка алмазной пирамиды до края образца при нагрузке P). $G_{ск} = 0,17P/(2l^2 + lc)$, где c – длина диагонали отпечатка алмазной пирамиды [2].

Так, наиболее твердая поверхностная зона из фазы FeB боридного слоя обладает и наиболее высокой хрупкостью (минимальный уровень напряжения скола). В случае боросилицирования при температуре 900°C при снижении микротвердости всего на 20-25% (до уровня 13,5-14,5 ГПа, что характерно фазе Fe₂B) напряжение скола увеличивается в 2,8-3,5 раза (рис.1), что свидетельствует о значительном повышении сопротивлению хрупкому разрушению боросилицированных поверхностей деталей при их работе в условиях динамических воздействий в процессе изнашивания.

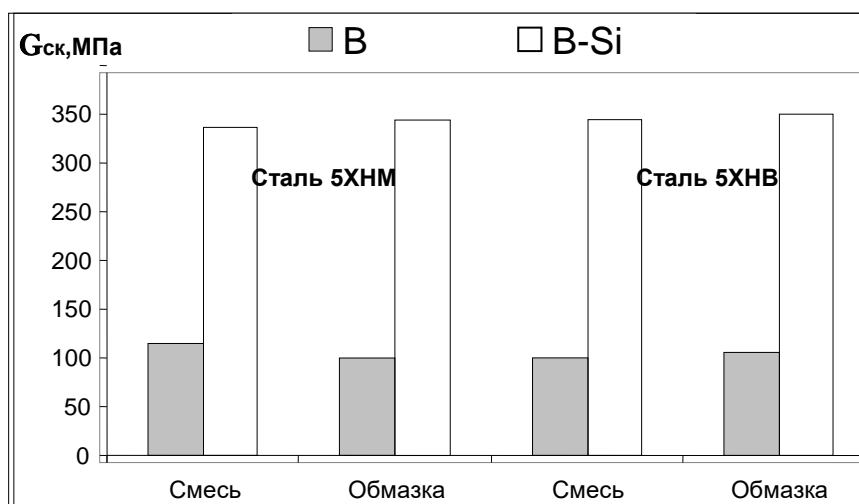


Рисунок 1 - Микрохрупкость диффузионных слоёв, полученных при 900 °С за 4 часа

Таким образом, изменяя виды боридного упрочнения (боросилицирование, борирование) можно получать отличающиеся по структуре диффузионные слои с различным соотношением фаз FeB, Fe₂B, Fe₃Si, что в значительной степени влияет на сопротивление хрупкому разрушению поверхностных слоев деталей, эксплуатирующихся в реальных условиях в парах трения при периодических или постоянных ударных воздействиях. Причем использование боросилицирования после, которого в структуре диффузионного слоя отсутствует фаза Fe₂B, заметно более эффективно по сравнению с борированием.

Литература

1. Ситкевич М.В., Бельский Е.И. Совмещенные процессы химико-термической обработки с использованием обмазок.- Мн.: Выш.шк., 1987.
2. Григоров П.К., Катханов А.И. Методика определения хрупкости борированного слоя. - В кн.: Повышение надежности и долговечности деталей машин. Ростов на Дону, 1972, вып. 16.

Применение средств визуального программирования Delphi XE при подготовке инженеров-материаловедов

Мельниченко В.В., Стефанович В.А.

Белорусский национальный технический университет

Целью настоящей работы является анализ опыта и перспектива изучения технологий визуального программирования при подготовке инженеров-материаловедов.

Продолжая опыт применения языка Object Pascal в оболочке Delphi отмечаем, что подбор примеров программ в сочетании с использованием элементов визуального программирования мы достигаем двойного эффекта. В первую очередь визуальное восприятие (создание интерфейса программы средствами, например, Delphi7 [1]) ускоряет процесс логического принятия задачи, и затем построение математического и визуального алгоритма решения задачи.

Стимулировать работу студентов возможно созданием логического справочника, состоящего из лучших работ.

Добавление усложненных задач с использованием массивов и баз данных переводит процесс в еще более абстрактную плоскость понимания расположения структурированных данных в оперативной памяти компьютера, на внешних носителях или отображении их на плотне формы.

Развитие программного продукта фирмы Borland Delphi позволяет преподавателю плавно следовать в русле новых технологий программирования, выбирая обновления, например, Delphi XE и, сравнивая техники программирования. В качестве примера тестирования новых технологий мы берем задания, подобные приведенным в [2].

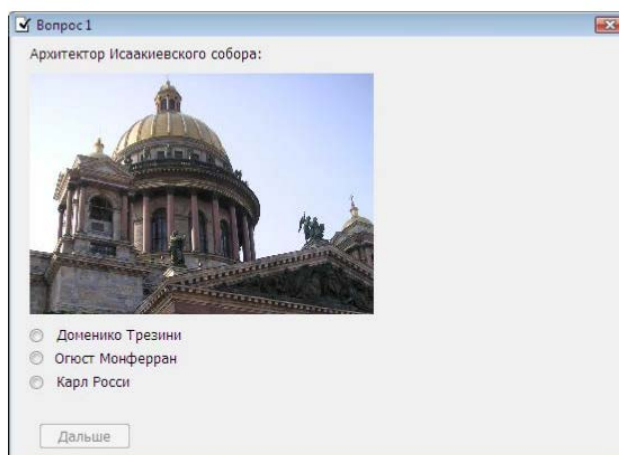


Рисунок 1 - Пример простой базы данных

Формирование технологий Net-программирования привело к выдвиганию на первое место специализированных языков программирования Python, Java-версий, но следует заметить, что знание базовых способов необходимо для любого инженера [3].

Дальнейшая эволюция знаний обязательно сведет друг к другу технологии инженерных расчетов и развитие технологий создания интерфейса. Моделирование работы оборудования следует проводить в оболочках визуального моделирования с возможностью отображения прогнозируемой картины отклика исследуемого объекта на тип передаваемой нагрузки (силы, сигнала). Это позволит исследователю ускорить процесс создания нужного материала (изделия). Нами предполагается крайне актуальным применение в учебном процесс специального ПО типа Scilab [4].

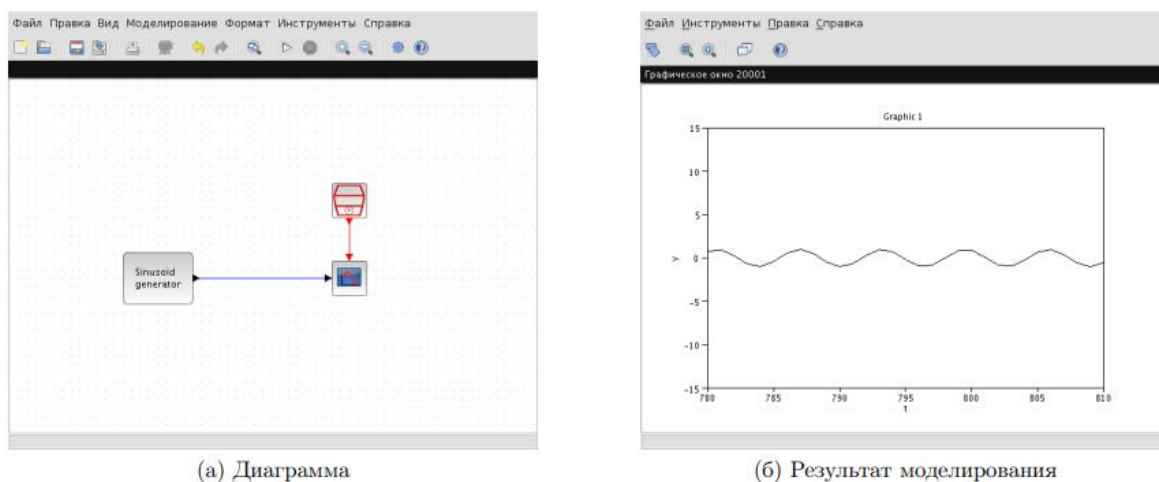


Рисунок 2 - Простейшая диаграмма реакции системы

Конечной целью учебного материала следует рассматривать создание программного продукта для определенной операционной системы с интерактивным интерфейсом. Например, при изучении дисциплины «Прикладная информатика» это может быть Windows-приложение, в котором для конкретного численного метода будет создана программа с пояснениями о применимости данного метода с демонстрацией вычислений. Такой подход вполне оправдан в силу выполнения требований «Университет 4.0».

В дополнение к вышесказанному можем добавить, что технология визуального моделирования бесконечно перспективна. Это можно подтвердить, прочитав прекрасный пример применения для разработки мобильных приложений на языке Delphi XE8 [5].

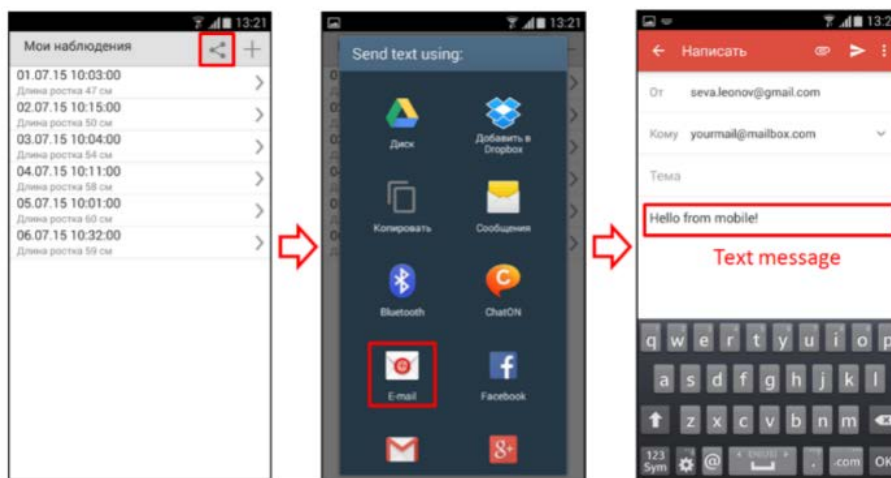


Рисунок 3 – Передача информации через Share Sheet

Литература

1. Культин, Н.Б. Delphi в задачах и примерах. // Н.Б. Культин. - СПб.: БХВ Петербург, 2012. – 288с.
2. Культин, Н.Б. Основы программирования на Delphi XE. // Н.Б. Культин. – СПб.: БХВ Петербург, 2012. – 416 с.
3. Шурута, В.В. Delphi 2005. Учимся программировать. // В.В. Шурута. – ИТ Пресс. 2005. – 352 С.
4. Чингава, А.Н. Визуальное моделирование в Scilab. // А.Н. Чингава. – Самара, 2012. – 24 с.
5. Леонов, В.В. Обучение мобильной разработке на Delphi. // В.В. Леонов. - 342

К вопросу организации электронного контроля знаний студентов материаловедов

Мельниченко В.В., Стефанович В.А., Пацеко Е.К.
Белорусский национальный технический университет

Целью настоящей работы является анализ технологий контроля знаний, с целью выработки рекомендаций проведения сквозного контроля знаний для студентов материаловедов по дисциплинам, преподаваемым на кафедре «Материаловедение в машиностроении».

Классическая форма контроля знаний на экзаменах и зачетах связана со спецификой создания вопросов и оценок ответов. При этом задача контроля знаний крайне трудоемка и требует значительных затрат времени сил и времени педагога.

Актуальность электронного тестирования объясняется широким распространением интернета в современном образовательном процессе. Научно обоснованный подход в создании тестов [1-4] позволяет получить объективные оценки уровня знаний. Правильно и хорошо подготовленный тестовый контроль повысит уровень образовательного процесса всего университета. Анализ результатов тестирования позволяет выявить пробелы в знаниях студентов, и при необходимости, необходимые способы доработки (улучшения) технологии изложения отдельных тем по тестируемой дисциплине.

Во время традиционного тестирования все испытуемые одновременно отвечают на одни и те же задания (вопросы), выбирая один или несколько ответов из предложенных. Последующая оценка результатов тестирования подразумевает использование заранее оговоренных правил, которые ни в коем случае не меняются и применяются ко всем ответам всех испытуемых.

На основе общепринятых принципов построения тестов можно выделить три основные вида тестов [4]:

- Задания в тестовой форме;
- Тестовые задания;
- Педагогический тест.

К заданиям в тестовой форме обязательно предъявляются требования:

- Логическая форма высказывания;
- Правильность формы;
- Краткость;
- Наличие определенного места для ответов;
- Правильность расположения элементов задания;
- Одинаковость правил оценки ответов и инструкции для всех тестируемых;
- Адекватность инструкции форме и содержанию задания.

Разберем принципы построения теста. В основе технологии разработки тестов лежат десять принципов:

- 1) Соответствие содержания теста целям тестирования;
- 2) Значимость проверяемых знаний в общей системе знаний;
- 3) Взаимосвязь содержания и формы;
- 4) Содержательная правильность теста;
- 5) Репрезентативность содержания учебной дисциплины в содержании теста;
- 6) Соответствие содержания теста уровню современного состояния науки;
- 7) Комплексность и сбалансированность содержания теста;
- 8) Системность содержания;

- 9) Вариативность содержания;
- 10) Соответствие уровня трудности содержанию цели тестирования.

Расшифруем содержание этих принципов.

Первый принцип - соответствие содержания теста целям тестирования – нельзя добавлять в тест задания, не связанные с изучаемыми темами.

Второй принцип – определение значимости проверяемых знаний – в тест включаем только те задания, в которых отображены наиболее важные вопросы по теме тестирования.

Третий принцип - Взаимосвязь содержания и формы – по многим показателям ответ может содержать вычисления.

Четвертый принцип - содержательная правильность теста – в тест следует включать только такая часть программы, которая хорошо поддается аргументации.

Пятый принцип – репрезентативность – заданий должно быть столько, сколько необходимо для надлежащего взвешенного вывода о полноте и достаточности знаний по тестируемой теме.

Шестой принцип - соответствие содержания теста уровню современного состояния науки – включаем только научно обоснованные положения на данный момент времени.

Седьмой принцип - комплексность и сбалансированность содержания теста – тест не должен быть громоздким и беспорядочным.

Восьмой принцип - системность содержания – ответы на задания теста должны выявить систему знаний, а не фрагменты.

Девятый принцип - вариативность содержания – возможность создания измененных тестов для различных групп студентов, в которых по-разному излагается одинаковые задания.

Десятый принцип - соответствие уровня трудности содержанию цели тестирования – задания следует располагать от более легкого к более сложному. Это дает возможность настроиться испытуемому и постепенно сосредоточиться, и показать свои знания.

Сейчас рассмотрим требования к содержанию теста. К стилю построения тестовых заданий предъявляются следующие требования: *недвузначности, автологичности, определенности, логической правильности, непротиворечивости и обоснованности*. Раскроем эти требования расширенно [4].

1. Тестовое задание не должно быть *двузначным*, оно должно восприниматься однозначно. Например, предложение «Осень сменяет лето» однозначно воспринимается только потому, что мы знаем о порядке следования времен года. Но это же предложение можно записать так: «Лето сменяет осень» и грамматически это будет также правильно. Если читатель плохо знает русский язык, его будет легко запутать. Это наглядный пример того, как подлежащее в именительном падеже легко спутать с прямым дополнением в винительном падеже. То есть при составлении предложения следует очень внимательно относиться к его построению, ведь если для составителя смысл заранее понятен, то это не значит, что предложение будет восприниматься однозначно.

2. Тестовое задание должно быть *автологично* (от греч. *αυτος* – сам и *λογος* – слово; букв. – «самословие»), то есть в нем слова должны быть использованы только в их прямом, непосредственном значении. Нельзя использовать метафоричность, образность определений, как в случае с загадкой. Следует убирать не только лишние слова, но и лишние знаки, строить формулировку из точных, выверенных терминов.

3. *Определенность* содержания теста. Определенность содержания теста образует предмет педагогического измерения. В гомогенном (др.-греч. *ὁμογενής* – «одного происхождения, рода», из *ὁμός* – «равный, одинаковый» + *γένος* – «род, происхождение» или поздн. лат. *homogeneus* – однородный по составу, свойствам, происхождению и т. п.) тесте все задания

должны быть сформулированы по определенной учебной теме. Но связь многих тем между собой затрудняет точное определение предметной принадлежности измеряемых знаний. Наиболее ярким примером является тест по физике, при создании которого довольно сложно обойтись без использования знаний по математике. Определенность содержания требуется в любых тестах. При создании гетерогенного (греч. heterogenēs – инородный – разный, неодинаковый, разнородный, состоящий из различных по составу или происхождению частей) теста определенность содержания может достигаться выделением заданий одной учебной дисциплины в отдельную шкалу. Требование **определенности** относится не только к тексту задания, но и к выбору правильного ответа. В каждом тестовом задании должен быть однозначно определен правильный ответ.

4. **Логическая правильность заданий.** При формулировании тестовых заданий необходимо добиваться их логической правильности. Для этого должны соблюдаться следующие условия.

4.1. **Соразмерность** объема определяющего понятия объему определяемого. Наглядно это можно показать на примерах из планиметрии в заданиях открытой формы, где требуется дополнить утверждение. Из-за того, что определяющее понятие «четырёхугольник» слишком объемно, требуемый ответ «квадрат» можно оспорить, так как ответом может быть и «прямоугольник».

Четырёхугольник, у которого все углы прямые, называется _____

Подразумеваемый ответ – квадрат.

В следующем примере объем определяющего понятия уже соответствует объему определяемого.

Прямоугольник, у которого все стороны равны, называется _____

Ответ: квадрат.

4.2. **Отсутствие тавтологии.** В нижеприведенных примерах [1–4] одна стоимость определяется через другую, что недопустимо.

Стоимость товара определяется стоимостью _____

Ответ: труда.

Стоимость труда определяется стоимостью _____

Ответ: товара.

5. **Утвердительная форма** тестового задания и его краткость. Подбор слов, символов, графиков должен обеспечить возможность минимумом средств добиться максимума ясности смыслового содержания задания. Ниже приведен пример такого краткого задания в утвердительной форме.

Скорость – это величина

1) векторная

2) скалярная

Ответ: 1).

При экзотермической реакции тепло

1) поглощается

2) выделяется

Ответ: 2).

6. Ответы должны быть подобраны по **определённому основанию**. Его отсутствие приводит к логической противоречивости содержания задания и ответов. Например, в следующем примере пятый ответ не совпадает по стилю с первыми четырьмя, то есть это задание построено некорректно.

Взаимодействие параллельных токов определяется законом

1) Кулона

2) Ампера

- 3) Лоренца
- 4) Фарадея
- 5) притяжения

Ответ: 2).

7. **Непротиворечивость** содержания заданий. Задание должно быть сформулировано так, чтобы не допустить существования двух исключających друг друга ответов.

На кафедре «Материаловедение в машиностроении» проводится именно такая разработка тестов, начиная курса «Информатика» - тесты по операционной системе, по пакету программ MS Office и завершая эту работу по специальным дисциплинам для студентов выпускников.

Литература

1. Аванесов, В.С. Композиция тестовых заданий: учебная книга для преподавателей вузов, техникумов и училищ, учителей школ, гимназий и лицеев, для студентов и аспирантов педагогических вузов / В.С. Аванесов. – М.: Центр тестирования, 2002. – 240 с.

2. Аванесов, В.С. Формы тестовых заданий: учебное пособие для учителей школ, лицеев, преподавателей вузов и колледжей / В.С. Аванесов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Центр тестирования, 2005. – 156 с.

3. Аванесов, В.С. Научные основы тестового контроля знаний / В.С. Аванесов. – М.: Исследовательский центр, 1994. – 135 с.

4. Аванесов, В.С. Композиция тестовых заданий: учебная книга для преподавателей вузов, учителей школ, аспирантов и студентов педвузов / В.С. Аванесов. – М.: Адепт, 1998. - 217 с.

Особенности насыщающих сред и температурно-временных параметров термодиффузионной обработки изделий из меди для повышения жаростойкости

Плетенев И.В., Дашкевич В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Медь и ее сплавы обладают хорошими механическими, технологическими и антифрикционными свойствами, однако не обладают достаточной стойкостью при эксплуатации в условиях повышенных температур, коррозии и интенсивного механического воздействия [1-3]. Для повышения эксплуатационных свойств изделий из меди и медных сплавов могут применяться различные защитные слои и покрытия.

Одним из наиболее рациональных способов защиты от высокотемпературного окисления и коррозии изделий на основе меди и ее сплавов является диффузионное насыщение поверхности элементами, образующими при окислении плотные, устойчивые оксидные слои [1, 4]. В частности, таким элементом является алюминий. Как свидетельствуют данные исследователей, диффузионный слой Cu-Al, структура которого алюминиды меди и твердый раствор, имеет, например, показатели жаростойкости в 4,0 раза выше по сравнению с технической медью [5].

Опыт исследователей и собственный в области разработки специализированных термодиффузионных покрытий свидетельствует о перспективности использования комплексного диффузионного легирования меди и медных сплавов для защиты от высоких температур и агрессивной среды [3]. Насыщающая среда при комплексном насыщении реализуется через оригинальные составы порошковых смесей, которые являются источником других, сопутствующих алюминию элементов. Эти элементы помогают повысить стойкость при работе в условиях высоких температур, образуя сложные оксидные пленки (шпинели), и кроме этого, что очень важно, технологичность, в частности реализовать процесс насыщения при более низких температурах и на плохо подготовленных поверхностях.

В настоящее время, существуют разнообразные порошковые смеси для термодиффузионного насыщения поверхности изделий на основе меди и ее сплавов, преимущественно алюминием, состоящие из насыщающих компонентов, инертной добавки и активатора процесса [2]. Однако они имеют, как правило, высокую рекомендуемую технологическую температуру насыщения 700 °С...800 °С, иногда вплоть до 1000 °С.

Главным недостатком такого подхода является то, что при высоких температурах обработки, вследствие больших скоростей диффузии, не достигается высокое содержание алюминия на поверхности изделия, что сказывается на последующей стойкости. Получается значительная глубина слоя, при термодиффузии она может достигать 1мм и более, а стойкость за счет образования только низших алюминидов на поверхности возрастает незначительно, поскольку защитными функциями обладает, прежде всего, оксид алюминия, а его на поверхности в процессе эксплуатации образуется мало.

Кроме этого, при наличии, например, припаянных элементов на медном изделии, температура обработки изделий в таком собранном виде неизбежно должна быть низкой, чтобы не повредилось паянное соединение и находится в диапазоне температур 550-650 °С, что не достижимо при использовании традиционных подходов.

Как показывает практика использование смесей насыщения, исходно рассчитанных на более высокую температуру, в условиях низкотемпературного дает резкое снижение качества. При промышленном применении известных технологических смесей в таких условиях, наблюдаются несплошности диффузионного слоя на поверхности обработанных изделий в местах с плохо удаленной оксидной пленкой.

Таким образом существует необходимость синтеза порошковой смеси для насыщения меди и медных сплавов обладающей высокой насыщающей способностью при низких температурах процесса поверхностного насыщения от 550 °С и обеспечивавшая достаточно хорошее качество поверхности (рисунок 1).

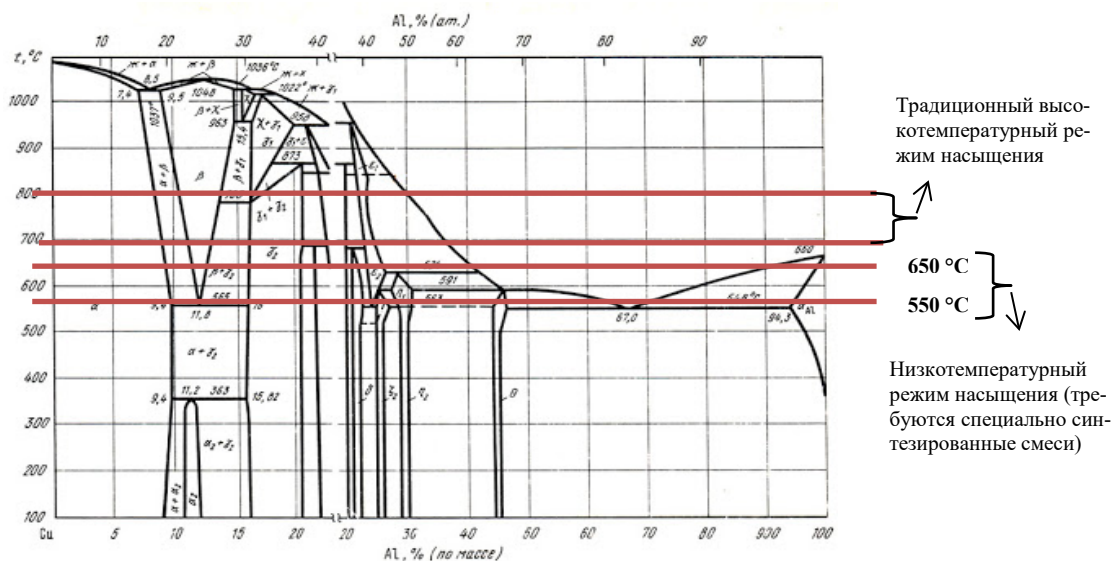


Рисунок 1 - Диаграмма состояния сплавов системы Cu-Al

Синтезируемая для низкотемпературного насыщения порошковая среда дополнительно кроме алюминия как основного элемента содержит продукты реакции алуминотермического восстановления оксидов бора и хрома и представляет собой конгломерат фаз (Al_2B , $CrAl_4$, аморфный бор и др.). Сами по себе продукты восстановления после измельчения имеют пористую структуру и соответственно развитую поверхность, повышая при этом газопроницаемость насыщающей среды. Активный бор в смеси, по нашему мнению, способствует лучшему растворению окислов меди на поверхности изделия при начальных стадиях химико-термической обработки, способствуя повышению качества процесса и снижению дефектности. Также дополнительное участие хрома и бора в составе порошковой смеси обеспечивается более высокие показатели жаростойкости и коррозионной стойкости изделий после обработки.

По результатам исследования установлено, что количество дополнительного компонента насыщающей среды в виде продуктов реакции алуминотермического восстановления оксидов бора и хрома не должно превышать 50% (масс.). Кинетика роста диффузионного слоя при использовании разработанной насыщающей среды для насыщения технической меди марки М1 представлена на рисунке 2.

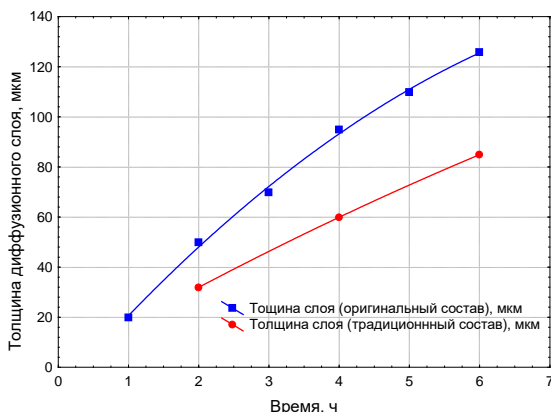


Рисунок 2 - Кинетика роста диффузионного слоя при обработке меди марки М1 в различных насыщающих средах

Таким образом, синтезируемая насыщающая среда для низкотемпературной обработки меди и медных сплавов, включающая продукты реакции алюминотермического восстановления оксидов бора и хрома, позволяет повысить кинетику роста диффузионного слоя в 1,3...1,5 раза, кроме этого, предполагается повышение показателей жаростойкости за счет дополнительного легирования бором и хромом поверхности изделия.

Литература

1. Коломыцев, П.Т. Жаростойкие диффузионные покрытия / П.Т. Коломыцев. – М.: Металлургия, 1979. – 272 с.
2. Минкевич, А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / А.Н. Минкевич. – М.: Машиностроение, 1965. – 491 с.
3. В.М. Константинов Исследование особенностей структуры и свойств термодиффузионных жаростойких покрытий на меди / В.М. Константинов, В.Г. Дашкевич, И.В. Плещенев // Литье и металлургия. №1, 2021. – С. 124 – 129.
4. Николаев А.К. Жаропрочные (низколегированные) сплавы на основе меди // В Сб. «Медь. Латунь. Бронза» под общей редакцией Ю.Н.Райкова. - М.: ОАО «Институт Цветметобработка», 2006. С. 21-52.
5. Украинцев А.Е. Разработка составов и создание на меди диффузионных слоев электродуговой металлизацией с последующей термообработкой: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.16.06 / А.Е. Украинцев; Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН. – Москва, 2010. – 22 с.

3D-моделирование поверхности изломов для реконструкционных подходов в экспертизе

Позняк И.Г., Макась О.Г.

Белорусский национальный технический университет

Анализ поверхности изломов при реконструкции механизма разрушения ответственных металлических деталей является первоначальным и весьма ответственным этапом на пути выяснения причин и хронологии процесса разрушения исследуемых объектов. Изломы изучают для оценки металлургического качества металлов. Фрактографический анализ (исследование поверхности излома) проводят также при изучении механизма и кинетики разрушения, то есть рассмотрение процесса в развитии. Изучение строения излома необходимо при исследовании причин и механизма эксплуатационного разрушения. В этом случае излом связывают с условиями нагружения и параметрами процесса разрушения, принимая во внимание строение и свойства материала. Здесь важно знание особенностей строения изломов.

В настоящее время совершенно очевидно, что излом представляет собой некоторый объем, в котором произошли поглощение и диссипация подводимой извне энергии, а его поверхность является следом пространственной траектории растущей трещины. Границей этого объема является граница зоны пластической деформации. Наиболее общая черта почти всех изломов состоит в макро- и микронеоднородности их строения. Простым объяснением причины неоднородности строения изломов можно считать наличие в структуре материала посторонних примесей и неметаллических включений. Основная причина неоднородности строения изломов связана с особенностями процесса разрушения и обусловлена возможной неоднородностью материала, а также изменением напряженно-деформированного состояния в процессе разрушения и скоростью развития трещины. Другая причина неоднородности строения изломов заключается в том, что процесс разрушения носит дискретный «скачкообразный» характер. Характерной особенностью изломов является наличие шероховатой поверхности. Шероховатость связана с размерами зерна, особенно это проявляется при межзеренном разрушении. Неровности на поверхности излома образуются слиянием многих трещин в единую трещину. Следы слияния в магистральную трещину проявляются на изломе в виде рубцов и ступенек. При исследовании микростроения изломов проявляется ямочный разрыв, образованный в результате роста и слияния микропор.

Наиболее распространенные методы изучения изломов заключаются в исследовании их строения с использованием различного увеличения, от визуального осмотра до рассмотрения их в электронном микроскопе [1-4]. В большинстве случаев любое исследование излома производят после визуального осмотра и осмотра с помощью бинокулярного микроскопа. При этом содержание используемых в экспертной практике методических разработок, включающих фрактографический анализ разрушенных деталей, носит лишь качественный описательный характер [5]. Поэтому корректность определения вида излома и установление механизма его образования полностью зависит от опыта и навыков специалиста, проводившего исследование.

Использование в экспертизе расчетных методов и технологии трехмерной визуализации изломов позволяет объективно оценивать характер разрушения металлических деталей и элементов конструкций при ударном воздействии на них внешних сил с учетом соответствующих граничных условий, а также многократности действия нагрузки при изменении ее величины и направления.

Авторами статьи проведены экспериментальные исследования по реконструкции трехмерных твердотельных моделей разрушенных деталей с максимальной степенью достоверности геометрических и топологических характеристик поверхности по отношению к исходному объекту-оригиналу, путем интеграции виртуального изображения, извлеченного из цифровой съемки при 3D-сканировании детали в пространство твердотельного моделирования САПР.

Исследование направлено на разработку некоторых инструментов и приемов, необходимых для осуществления такого подхода.

Литература

1 Гордеева, Г.А. Анализ изломов при оценке надежности материалов/ Г.А. Гордеева, И.П. Жегина. – М.: Машиностроение. 1978. – 198 с.

2 Шестопалова, Л.П. Методы исследования микро- и наноструктур материалов. Уч. пос./ Л.П. Шестопалова, Л.Г. Петрова. – М.: МАДИ, 2012. – 184 с.

3 Мерсон, Е.Д. Количественный анализ изломов при помощи конфокальной лазерной сканирующей микроскопии / Е.Д. Мерсон. В.А. Данилов, Д.Л. Мерсон // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2015. – №4(34). – С.68 – 75.

4 Фрактография и атлас фрактограмм: справ. изд./под ред. Ю.П. Солнцева. – СПб.: Профессинал, 2002. – 352 с.

5 Фактография. Металлы и сплавы: справ. изд./под ред. Дж. Феллоуза: пер. с англ. – М. Металлургия, 1982. – 489 с.

Некоторые аспекты комбинированных технологий упрочнения на основе термодиффузионного борирования

Судников М.А., Дашкевич В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Термодиффузионная обработка сталей, в различных ее вариантах, как технология поверхностного упрочнения используется широко и с большим успехом. Насыщающие среды для промышленного применения при этом, как правило, газовые, однако если речь идет о единичном и мелкосерийном производстве, то вполне пригодны порошковые, которые имеют свои преимущества. Борирование сталей достаточно хорошо изученная и эффективно применяемая термодиффузионная обработка, которая проводится часто из порошковых сред. Традиционно диффузионный слой после борирования состоит из двух фаз: на внешней поверхности изделия высокобористая фаза FeB , ниже низкобористая Fe_2B , а затем переходная зона, представленная твердым раствором бора в α -Fe [1, 2]. Кроме этого, между диффузионным слоем и основой может образовываться промежуточная прослойка цементита (бороцементита), которая образуется при оттеснении углерода в глубь изделия. Одна из главных проблем боридных слоев, сдерживающая их активное применение – повышенная хрупкость. Исследованию хрупкости боридных слоев посвящены многочисленные работы, например, работы М.Г. Круковича [3]. Традиционными путями снижения хрупкости слоя являются: дополнительное легирование слоя, получение однофазных слоев, смягчающая термическая обработка, получение боридных эвтектик и др. Наряду с ними эффективным приемом повышения работоспособности термодиффузионного боридного слоя является изменение его морфологии, получение дискретного строения с помощью предварительной обработки поверхности. В настоящей работе рассматривается вариант комбинированной обработки, заключающейся в предварительном электроискровом легировании (ЭИЛ), гальваническом осаждении (ГО) слоя и последующем термодиффузионном борировании.

При совмещении двух технологических процессов упрочнения нужно учитывать применяемые материалы и образующиеся структуры. Для рассматриваемого случая, покрытия (слои), формирующиеся при электроискровой или гальванической обработке можно разделить на две группы: 1 – покрытия, способствующие интенсификации процесса диффузии элемента, в нашем случае бора и 2 – барьерные покрытия, частично или полностью подавляющие процесс диффузии элемента вглубь изделия. Перспективным направлением сочетания рассматриваемой комбинации является второй вариант, поскольку существует возможность получения регулярных покрытий, состоящих из боридных участков, обособленных друг от друга фрагментами электроискрового или гальванического покрытия. При формировании участков боридных игл, обособленных между собой фрагментами другого покрытия полученного, например ЭИЛ, происходит частичная компенсация упругих деформаций в слое за счет соседних зон и как следствие снижение хрупкости.

Отметим, что специфика электроискровой обработки позволяет достаточно просто формировать обработку не всей поверхности, а участков, образуя, например, периодический (регулярный) профиль в виде параллельных друг другу линий. Причем шаг между участками обработки может варьироваться в широких пределах, способствуя образованию различных по морфологии структур слоя.

Второй тип покрытия подразумевает, в том числе покрытия, обеспечивающие некий период стойкости и обеспечения барьерных свойств. Безусловно, этот фактор, фактор стойкости крайне важен, поскольку позволяет управлять морфологией будущего слоя и его фазовым составом. В работе изучался характер взаимодействия и период стойкости получаемых барьерных слоев на основе меди при использовании для борирования алюмотермических смесей разработки сотрудников НИЛ упрочнения стальных изделий филиала БНТУ «НИПИ». В зависимости от технологии нанесения медного покрытия имеются отличия в периоде стойкости и

механизме его разрушения, обусловленные, в частности, особенностями химического взаимодействия смеси и покрытия (рисунок 1).

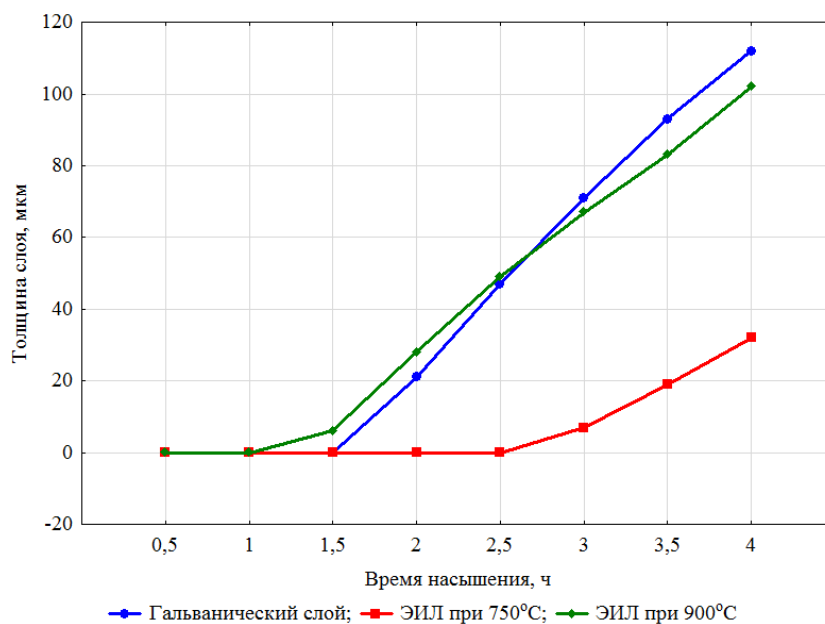


Рисунок 1 – Кинетика роста термодиффузионного боридного слоя через барьерное покрытие

При использовании медного покрытия, полученного гальваническим осаждением, его разрушение происходит с частичным его растворением в насыщающей среде и частичным переходом в глубину боридного слоя. В результате образуются обособленные включения, как в матричном материале, так и в порах боридов.

В свою очередь при получении барьера методом электроискрового легирования медным электродом, активного разрушения слоя не происходит, так как в процессе нанесения происходит перемешивание меди и матричного материала, что затрудняет перенос меди в насыщающую среду. Однако стоит отметить, что при насыщении он не может блокировать весь диффузионный поток, так как в процессе образования барьерного покрытия образуется большое количество дефектов.

Таким образом, в случае высокотемпературного борирования (900...920 °С) период стойкости для гальванической меди и медного слоя, полученного электроискровой обработкой, составляет 1...1,5 ч. При проведении низкотемпературного борирования (740...760 °С) период стойкости барьерного слоя резко увеличивается и для рассматриваемого случая, предварительно полученного электроискрового покрытия меди составляет 2,5 ч. В дальнейшем при превышении этого времени происходит разрушение барьерного слоя и начинается рост боридных игл по всей поверхности изделия.

Литература

1. Ворошнин Л.Г. Борирование стали: [Текст] / Л.Г. Ворошнин, Л.С. Ляхович. — М.: Металлургия, 1978. — 240 с.
2. 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.
3. Крукович, М.Г. Пластичность борированных слоев / М.Г. Крукович, Б.А. Прусаков, И.Г. Сизов. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 384 с.

Исследование параметров сварного шва при лазерной сварке тонколистового материала

Стефанович В.А., Голубцова Е.С., Мельниченко В.В.
Белорусский национальный технический университет

Лазерная сварка обеспечивает высокие показатели производительности и качества сварных соединений, особенно это касается сварки тонколистовых материалов, когда сварное соединение можно получить без использования присадочного материала. Две пластины накладываются одна на другую, и верхняя пластина лучом лазера проплавляется насквозь, а нижняя проплавляется на определенную глубину (Рисунок 1). Две пластины соединяются между собой зоной сплавления шириной a и глубиной проплавления второй пластины размером b . Микроструктура сварного соединения состоит из сварного шва и зоны термического влияния (ЗТВ), которые определяются параметрами лазерного луча — мощностью, длительностью импульса, диаметром светового пятна, а также положением фокуса линзы относительно свариваемой поверхности.

Целью данной работы является исследование влияния мощности лазерного луча на строение сварного соединения.

В качестве свариваемых материалов применялись пластины из сплава на основе железа, легированного Cr, Ni, Zn и Nd. Толщина верхней пластины — 0,84 мм, нижней - 1,32 мм.

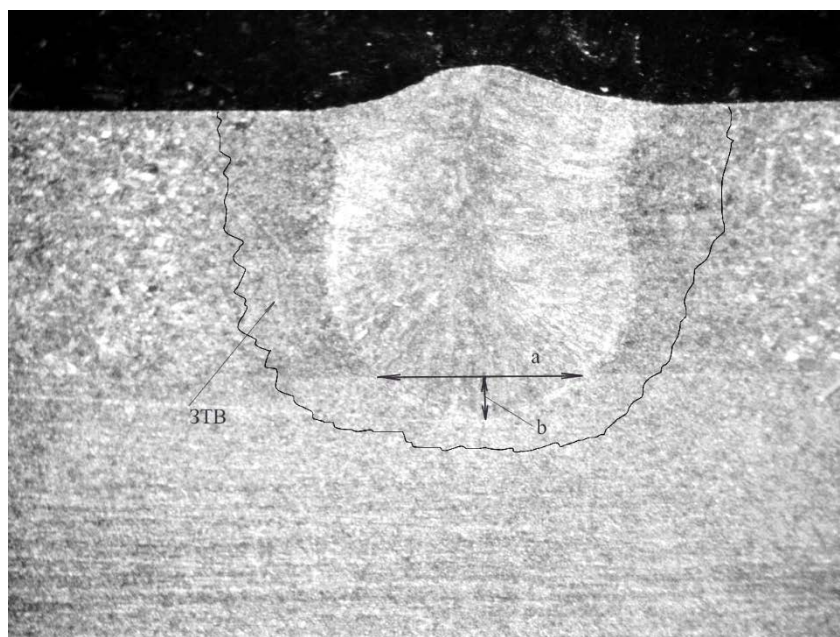


Рисунок 1- Микроструктура исследуемого сварного соединения ($\times 50$)

Размеры зон сварного соединения представлены в таблице 1. С уменьшением мощности лазерного луча с 2,3 до 2,0 кВт все параметры сварного соединения снижают значения: ширина сварного шва в середине верхней пластины с 1,0 до 0,89 мм; ширина ЗТВ в верхней пластине с 0,42 до 0,29 мм; ширина зоны ТВ в нижней пластине с 0,17 до 0,13 мм; ширина зоны сплавления пластин с 0,66 до 0,53 мм; глубина зоны проплавления в нижней пластине с 0,15 до 0,09 мм.

Таблица 1— Характеристики зон исследуемого сварного соединения

№ образца	Мощность лазерного луча Р, кВт	Фокусное расстояние, мм	Ширина сварного шва в середине верхней пластины, мм	Ширина зоны термического влияния (ЗТВ) в верхней пластине, мм	Ширина зоны термического влияния (ЗТВ) в нижней пластине, мм	Ширина зоны сплавления пластин а, мм	Глубина зоны проплавления в нижней пластине б, мм
1	2,3	0,6	1,0	0,42	0,17	0,66	0,15
2	2,3	-0,6	0,93	0,34	0,095	0,58	0,11
3	2,5	0	0,72	0,29	0,12	0,63	0,16
4	2,0	-1	0,89	0,29	0,13	0,53	0,09

По литературным данным [1] размеры ЗТВ в сварных швах, полученных другими методами сварки, составляют: при ручной дуговой сварке – 3...6 мм; при сварке в защитных газах – 1...3 мм; при газопламенной сварке – до 20 мм. Таким образом использование лазера при сварке тонколистовых материалов позволяет получить сварной шов с минимальными размерами ЗТВ, а, следовательно, и с минимальным изменением структуры основного металла около сварного шва.

Литература

1. Лифшиц Л.С., Хакимов А.Н. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. –М.: Машиностроение, 1989. – 336 с.

Методика контроля размеров штампованных деталей методом технического зрения

Костюченко Ю.А., Боярчук А.Н., Кулинич И.Л.
Белорусский национальный технический университет

Точность готовых изделий и полуфабрикатов, получаемых методами листовой штамповки, зависит от свойств используемого материала и условий деформирования. Эти факторы оказывают влияние на величину упругих деформаций, которые вызывают изменения размеров и формы детали, нередко приводящие к появлению неисправимого брака.

Контроль качества универсальными измерительными приборами может значительно усложнить процесс производства, так как требует наличия технических контролёров и в зависимости от разработанного технологического процесса получения изделий, может приводить к снижению производительности.

Современные системы технического зрения обеспечивают возможность для осуществления практически непрерывного контроля размеров получаемых изделий, однако, требуют значительных материальных затрат, и далеко не всегда могут быть использованы на современном производстве.

Целью проведённой работы стала разработка системы технического зрения, обеспечивающей возможность для контроля размеров полуфабрикатов и готовых изделий в листоштамповочном производстве на базе персональных компьютеров и ноутбуков, что обеспечивает компактность подобных систем.

В качестве языка программирования был выбран язык «Python», библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом «OpenCV» и библиотека поддержки многомерных массивов и высокоуровневых математических функций, предназначенных для работы с многомерными массивами с открытым исходным кодом «NumPy». В качестве средства визуального контроля была использована камера с разрешающей способностью 0,307 Мп, подключённая к персональному компьютеру под управлением ОС Windows 10.

С учётом разрешающей способности камеры и её расположения относительно объекта, была написана программа, обеспечивающая возможность обнаружения объектов и измерения их размеров. Результат проводимых измерений приводится в отдельном окне программы с отображением размеров в режиме реального времени (рисунок 1).

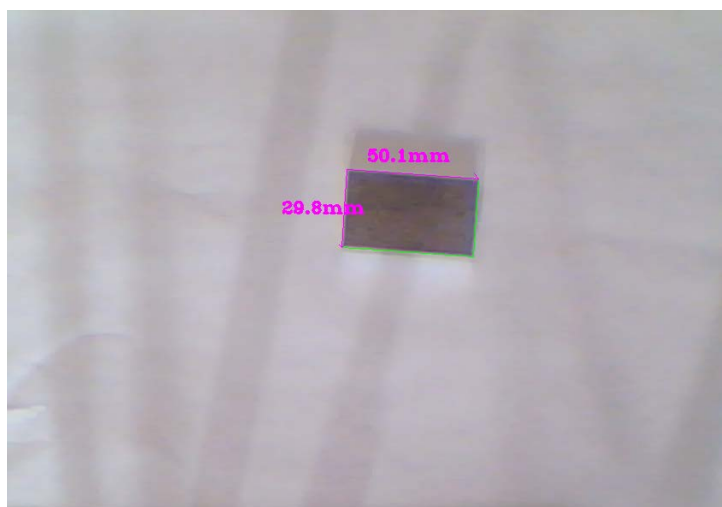


Рисунок 1 – Окно программы с отображением размеров измеряемой заготовки (измерение №4)

В рамках проводимой разработки были проведены физические измерения штампованной детали с размерами А=50,0 мм, Б=29,8 мм, а также измерения с использованием системы технического зрения. Результаты измерений представлены в таблице 1.

№ измерения	Измерения системой технического зрения		Абсолютная погрешность измерения, мм	
	Размер А', мм	Размер Б', мм	Δ_A	Δ_B
1	50,2	29,9	0,2	0,1
2	50,0	30,1	0,0	0,3
3	50,0	29,9	0,0	0,1
4	50,1	29,8	0,1	0,0
5	49,9	29,8	0,1	0,0
6	50,0	30,0	0,0	0,2
7	50,2	29,7	0,2	0,1
8	50,1	29,9	0,1	0,1
9	49,9	29,8	0,1	0,0
10	49,9	29,7	0,1	0,1

Таким образом, разработанная система технического зрения, предназначенная для измерения габаритных размеров штампуемых деталей, обеспечивает возможность проведения точных измерений.

Использование камер с более высокой разрешающей способностью обеспечивает возможность для получения более точных размеров измерений системой технического зрения, а также позволяет устанавливать дефекты на поверхности изделий, получаемых листовой штамповки.

Применение поперечно-винтовой прокатки при получении ступенчатых трубных заготовок

Томило В.А., Левкович В.В.

Белорусский национальный технический университет

Ступенчатые трубные заготовки широко используют на машиностроительных предприятиях при производстве деталей различного назначения. Для получения заготовок данной конфигурации была разработана технология горячей трехвалковой поперечно-винтовой прокатки с последующей калибровкой. Схема процесса приведена на рисунке 1.

Обработке подвергалась трубная заготовка $\varnothing 121 \times 18$ мм из стали 40Х.

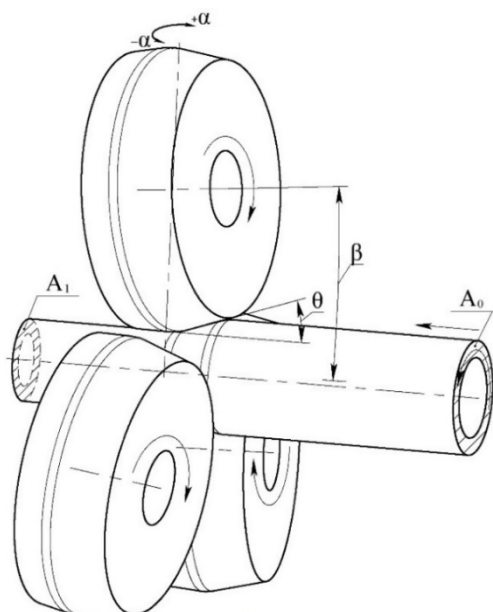


Рисунок 4 – Схема поперечно-винтового редуцирования

Трубную заготовку после нагрева концевого участка до температуры 1180-1200 °С подают в межвалковый зазор (диаметр вала в точке пережима $D=300$ мм). Вращающиеся валки проводят ее захват и осуществляют поперечно-винтовую прокатку (редуцирование) с углом подачи $\alpha=5^\circ$ и скоростью вращения валков $n=20$ об/мин до диаметра 88 мм. За счет ненулевого значения угла подачи заготовка осуществляет осевое перемещение. При достижении необходимой длины редуцированной части заготовки проводится уменьшение угла подачи α (со скоростью $V_{\text{п}}$) до нуля, а затем в область отрицательных значений. При уменьшении угла подачи α для получения редуцированного участка точной длины необходимо учитывать расстояние l , на которое за это время переместится заготовка. Это расстояние необходимо вычислять по уравнению:

$$l = \frac{3Dn}{V_{\text{п}}} \eta_x \cdot (1 - \cos \alpha)$$

где η_x – коэффициент осевой скорости.

На этом этапе усилие редуцирования составило 82 кН, момент 2550 Н×м и требуемая мощность на одном валке 5,35 кВт.

При уменьшении угла подачи также проводится реверсивная калибровка, которая представляет собой поперечно-винтовую прокатку в диапазоне малых углов подачи (от $-\alpha_{\text{кл}}$ до $+\alpha_{\text{кл}}$). Выбор значения $\alpha_{\text{кл}}$ зависит от требуемой геометрической точности полученной заготовки. Для осуществления реверсивной калибровки необходимо, чтобы заготовка совершила не менее одного оборота в области малых углов. Количество оборотов $n_{\text{к}}$, совершаемых заготовкой при калибровке, необходимо вычислять по уравнению:

$$n_{\text{к}} = \frac{D_c \cdot n}{d_c \cdot \pi} \cdot \frac{6 \sin \alpha_{\text{кл}}}{V_{\text{п}}}$$

где D_c , d_c – средние диаметры вала и заготовки в очаге деформации соответственно.

При скорости уменьшения угла подачи $V_{\text{п}}=3$ град/с и $\alpha_{\text{кл}}=2^\circ$ заготовка совершает 1,2 оборота, что достаточно для проведения калибровки переходного конусного участка. Этап уменьшения угла подачи характеризуется падением усилия редуцирования до 40 кН.

Уменьшение угла подачи продолжают и в области отрицательных значений осевая составляющая скорости меняет свое направление на противоположное, что способствует выводу заготовки из межвалкового зазора. Усилие редуцирования остается на уровне 40 кН.

Данная технология была апробирована в промышленных условиях. Ее внедрение позволило повысить производительность и увеличить коэффициент использования металла до 0,80-0,87.

Теплопередача в кристаллизаторе при вертикальном непрерывном литье стали

Демченко Е.Б.

Белорусский национальный технический университет

Ранее было показано [1], каким образом можно рассчитать значения взаимосвязанных между собой оптимальных тепловых и технологических параметров процесса непрерывного литья стальных заготовок в заданном диапазоне, необходимые для решения задачи затвердевания отливки, обеспечения стабильности литья и получения качественных заготовок.

К таким параметрам отнесли удельный тепловой поток и время формирования отливки в кристаллизаторе, температура заливаемого расплава и скорость течения охлаждающей воды. Исследования проводили методом термического анализа при литье отливки из стали 12Х18Н10ТЛ диаметром 80 мм в медный кристаллизатор длиной 300 мм с ребрёной водоохлаждаемой поверхностью. Толщина стенки кристаллизатора по впадинам составляла $X=7,5$ мм, по рёбрам $X=12,5$ мм. Термопары располагались в трёх поясах по высоте кристаллизатора и в двух поясах по толщине рабочей втулки. Технологические параметры литья приняли в диапазоне: средняя скорость вытяжки отливки $w_{cp}=(0,0062...0,0095)$ м/с, $T_{зал}=(1470...1650)$ °С, $w_{в}=(5,1...6,0)$ м/с. По усреднённым значениям температур рассчитали экспериментальные значения удельного теплового потока q на рабочей поверхности кристаллизатора, q_{2n} в первом и q_{3n} во втором поясе по толщине рабочей втулки.

Анализ выполненных исследований показал, что предложенная методика является эффективным средством управления процессом формирования отливки. Найденные зависимости и экспериментальные данные позволяют рассчитать для конкретного способа литья значения удельного теплового потока в заданном диапазоне значений технологических параметров литья и предельно допустимой толщины корки отливки на выходе из кристаллизатора. При этом значения параметров литья, соответствующие значению предельно допустимой толщины корки, и будут являться оптимальными параметрами. Имея результаты исследований температурного режима кристаллизатора при литье отливки определённого размера и профиля можно рассчитать тепловое состояние кристаллизатора для аналогичного процесса литья, но уже для получения отливок любого размера и профиля.

Что важно, объём сведений по температурному режиму кристаллизатора при различных параметрах литья может служить базой данных, содержащей необходимые сведения для решения задач затвердевания отливки [2]. При последующем проектировании оснастки и оборудования отпадает необходимость проведения дополнительных экспериментальных исследований и анализа полученных результатов.

Поскольку в ходе выполнения исследований провели серию заливок из шести экспериментов [1], рассмотрим эти результаты и проанализируем их с точки зрения влияния времени формирования отливки, температуры заливаемого расплава и скорости течения охлаждающей воды на удельный тепловой поток в кристаллизаторе. На рисунке 1,а-е представлены расчётные значения удельного теплового потока q в кристаллизаторе при различных параметрах литья.

Краткий анализ результатов показал следующее.

Видно, что изменение параметров литья влияет на удельный тепловой поток. Так повышение средней скорости литья с 0,0072 м/с до 0,0095 м/с при прочих равных условиях приводит к резкому снижению удельного теплового потока во всех зонах кристаллизатора (рисунки 1,а и 1,б). В зоне мениска расплава это снижение достигает 30 %.

Снижение температуры заливки расплава с $T_{зал}=1620\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $T_{зал}=1470\text{ }^{\circ}\text{C}$ при низкой скорости литья привело к незначительному повышению значений теплового потока в зоне вы-

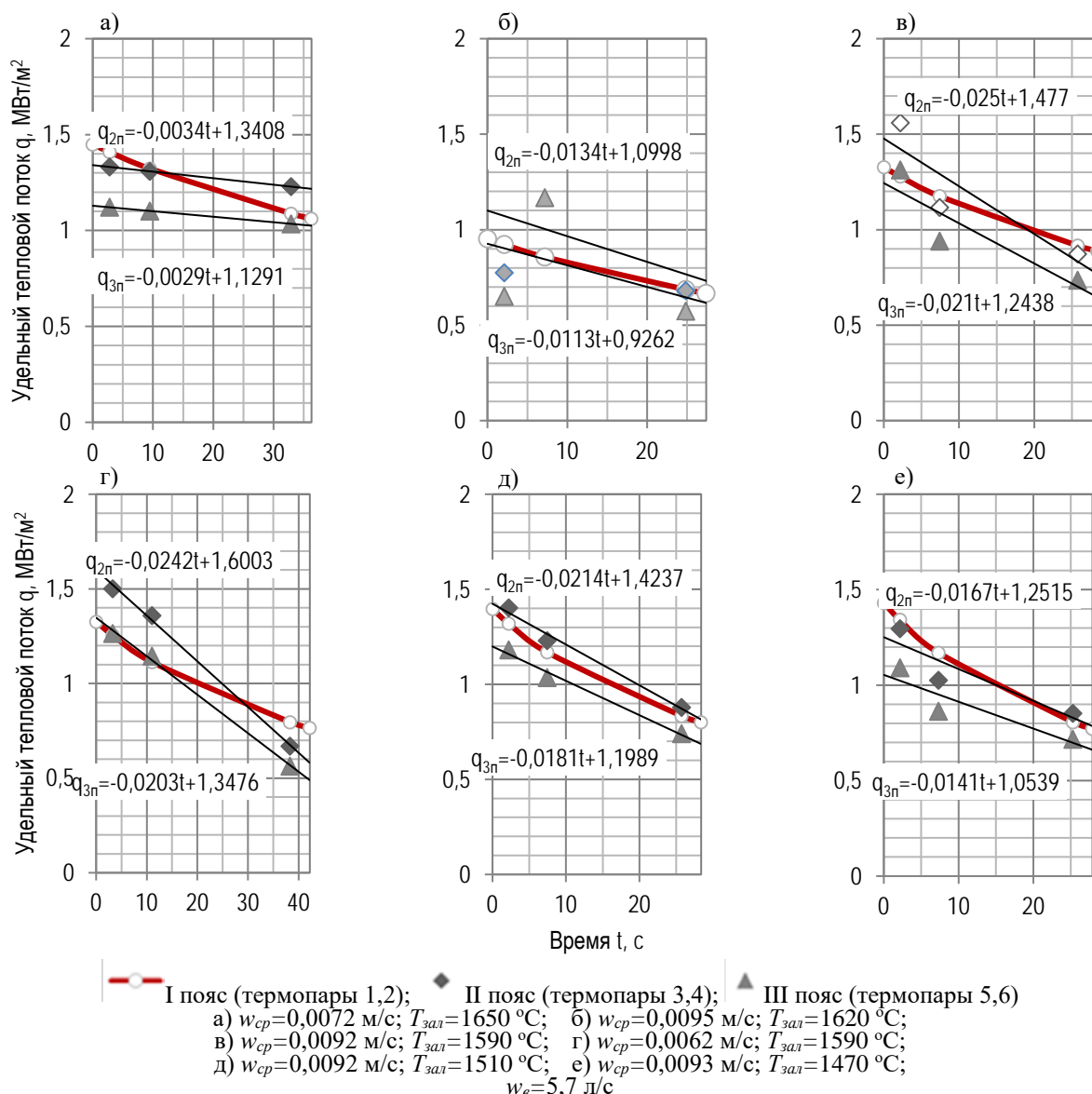


Рисунок 1. – Расчётные значения удельного теплового потока q в кристаллизаторе при различных параметрах литья

хода отливки из кристаллизатора (рисунки 1,б и 1,е). При этом тепловая нагрузка на рабочую втулку кристаллизатора несколько возросла.

Необходимо отметить, что уровень значений расчётных удельных тепловых потоков коррелируют с данными работ других исследователей [3].

Результаты исследования были использованы для расчёта кинетики затвердевания стальной отливки.

Литература

1. Демченко, Е.Б. Теплопередача в кристаллизаторе при вертикальном непрерывном литье стали / Е.Б. Демченко, Марукович Е.И. // *Литьё и металлургия*. - 2018. -№3 (62). -С.26-30.
2. Марукович Е.И., Демченко Е.Б. Тепловые явления при формировании непрерывной отливки. -Мн.: БНТУ, 2012. -208 с.
3. Liangliang GUO, Xudong WANG, Huiying ZHAN, Man YAO and Dacheng FANG. Mould Heat Transfer in the Continuous Casting of Round Billet. *ISIJ International*, Vol. 47 (2007), No. 8, pp. 1108–1116.

**Прочность сварных соединений разнородных материалов на основе
Al-сталь, полученных контактной точечной сваркой**

Караминадик И. Демченко Е.Б.

Белорусский национальный технический университет

Цель работы - поиск технологии, которая обеспечила бы образование ядра с оптимальным соотношением размеров (диаметра к высоте), надёжность сварного соединения в контакте металл-биметалл и биметалл-сплав при оптимальных параметрах режима сварки, физико-механических характеристиках зон сварных соединений и хорошем качестве наружных поверхностей деталей.

Эту цель можно достигнуть за счёт исследования процесса формирования зоны соединения разнородных материалов при контактной точечной сварке, разработки конструкции сварочных электродов, новых высокопрочных биметаллических материалов из композиции алюминий-сталь, а также исследования влияния параметров режима сварки на физико-механические характеристики, структурообразования и определения оптимальных параметров процесса сварки.

Исследования процесса контактной точечной сварки материалов «алюминий-сталь» [1] проводили на машине МТ-22 «Оливер». Для образцов использовали холоднокатаную листовую сталь марки «08 кп» толщиной 0,8 мм, технический алюминий марки А85 толщиной 1 мм и биметаллические переходники «алюминий-сталь» из тех же материалов толщиной 0,5 мм. Биметаллические переходники изготавливались способом сварки взрывом и затем прокатывались до нужных размеров. Электроды контактной сварки изготавливали из дисперсно-упрочненной меди марки М1.

Параметры режима сварки:

- величина сварочного тока $I_{св}=(10...14)$ кА;
- время сварки $t_{св}$ выбирали в зависимости от толщины тонкой детали; для толщины 0,8 мм время сварки составляло $t_{св}=0,24$ с; в ходе экспериментов $t_{св}$ устанавливали в диапазоне: 0,16; 0,20; 0,28; 0,32; 0,36 с;
- усилие сжатия электродов P : 500; 1500; 2000 Н.

Анализ геометрии формы и структуры точек показал, что с увеличением времени протекания сварочного тока происходит увеличение прочности соединения «Al»-«Al-сталь» (рисунок 1). Такой характер объясняется увеличением диаметра ядра с 3,3 до 4,8 мм за счёт выделения большего количества тепла в зоне контакта свариваемых деталей. При уменьшении $t_{св}$ увеличивается пластичность алюминия, а прочность снижается. Ядро смещено в сторону алюминия биметалла, форма эллипсоидная. При оптимальном режиме сварки $t_{св} = 0,24$ с усилие на срез составляет порядка 600 Н. Прочность образцов на срез при этом составила порядка 5 кг/мм².

Увеличение усилия сжатия электродов (рисунок 3) приводит к незначительному снижению прочности и увеличению пластичности материалов соединения. Это следствие уменьшения по высоте ядра зоны соединения. При этом практически не меняется диаметр ядра (3,5...4,2) мм и незначительно уменьшается высота с 0,9 до 0,5 мм. При таких нагрузках образование литого ядра в контакте «алюминий-биметалл» протекает стабильно, непроваров деталей не наблюдается. Ядро симметрично относительно поверхности контакта, форма эллипсоидная, при увеличении нагрузки практически не изменяется. Оптимальный режим процесса сварки определен при усилии сжатия 500 Н. Прочность образцов на срез при этом составила порядка 4,5 кг/мм².

При исследовании зоны контакта «биметалл-сталь» установлена возможность образования качественного соединения одновременно с формированием расплавленного ядра сварной точки в контакте «Al»-«Al-сталь» при оптимальных значениях параметров сварки ($t_{св} < 0,24$

с; $P < 1000$ Н). Как было установлено, при отклонении параметров сварки от оптимальных прочность соединений изменяется.

Проведённые теоретические и экспериментальные исследования формирования соеди-

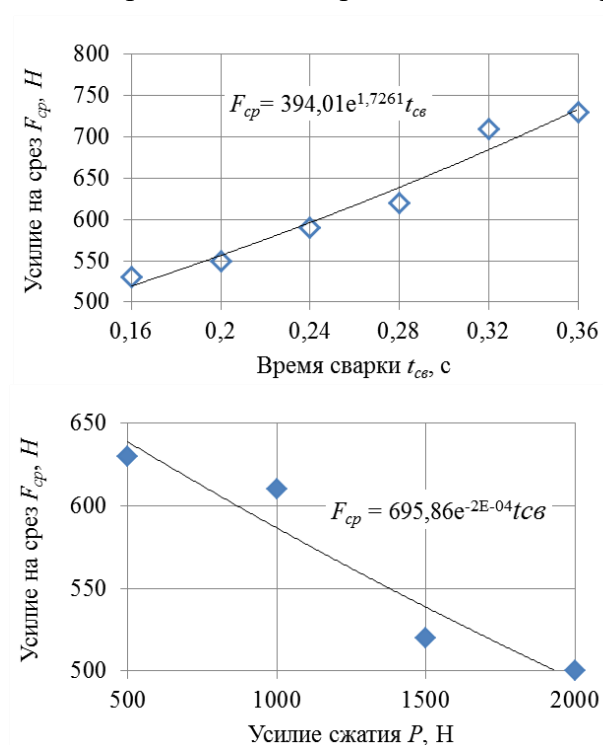


Рисунок 5– Влияние времени сварки и усилия сжатия электродов на усилие на срез

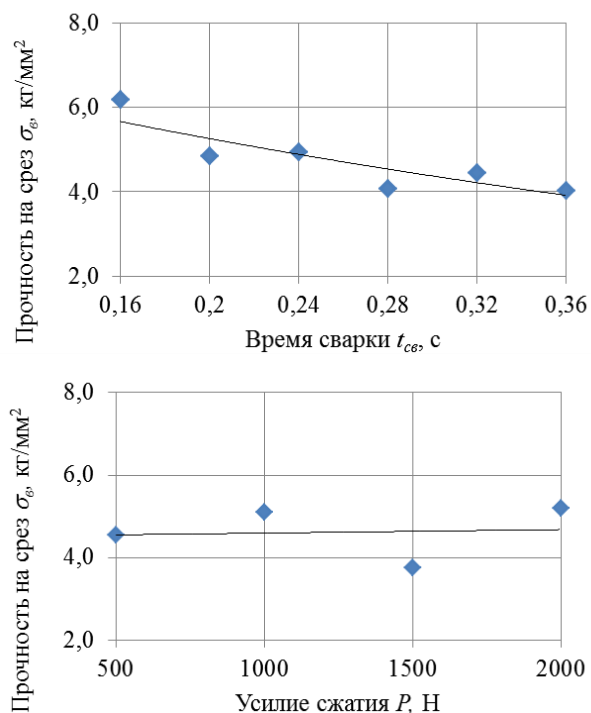


Рисунок 2 – Влияние времени сварки и усилия сжатия электродов на прочность на срез

нений «алюминий–переходник–сталь» показали принципиальную возможность получения качественных соединений при правильном расчёте и выборе параметров режима сварки.

Установлено, что при увеличении времени протекания сварочного тока происходит незначительное увеличение прочности соединений, что объясняется увеличением диаметра ядра стали за счёт выделения большего количества тепла в зоне контакта свариваемых деталей.

Литература

1. Караминадик, И . Демченко Е.Б. Технология контактной точечной сварки алюминия со сталью / Металлургия XXI столетия глазами молодых [Электронный ресурс] : [материалы VII Международной научно-практической конференции молодых учёных и студентов]: сборник докладов / Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет», факультет металлургии и теплоэнергетики; редкол.: С. М. Сафьянц (пред.) и др. – Электрон. дан. (1 файл: 10,4 Мб). – Донецк : ДОННТУ, 2021. - С.109-112.

Ушеренко С.М., Тарасевич А.Л., Панько А.Н.
Белорусский национальный технический университет

Установлена возможность синтеза новых химических элементов в рамках эффекта сверхглубокого проникания (СГП). Особый интерес вызван возможностью синтеза в зонах сварки экзотических химических элементов – лантаноидов.

Использование эффекта генерации дополнительной энергии позволяет реализовать возможность синтеза новых химических элементов. В зоне сварки металлических материалов (зоны локального плавления с изменённым уровнем свойств) - возможно создание новых металлических композитов. Внимание к аномалии синтеза новых химических элементов акцентируется на изменении импульсов давления. В современных условиях эффекты слипания ядер атомов стали эффективным инструментом создания новых материалов. Такой подход позволяет создать новый вариант процесса динамического массопереноса и синтеза новых химических элементов. В условиях такого воздействия обнаружены аномалии зоны сварки.

Оригинальным вариантом изменения уровня состава и свойств является прошивка объемов сваренных стальных заготовок сгустками микрочастиц (размеры меньше чем 100 мкм) [1]. Известно, что специфической особенностью процесса сверхглубокого проникания сгустков микрочастиц в объем твердого тела является генерация дополнительной энергии и за счет этого эффекта дополнительное проникание ударников [2].

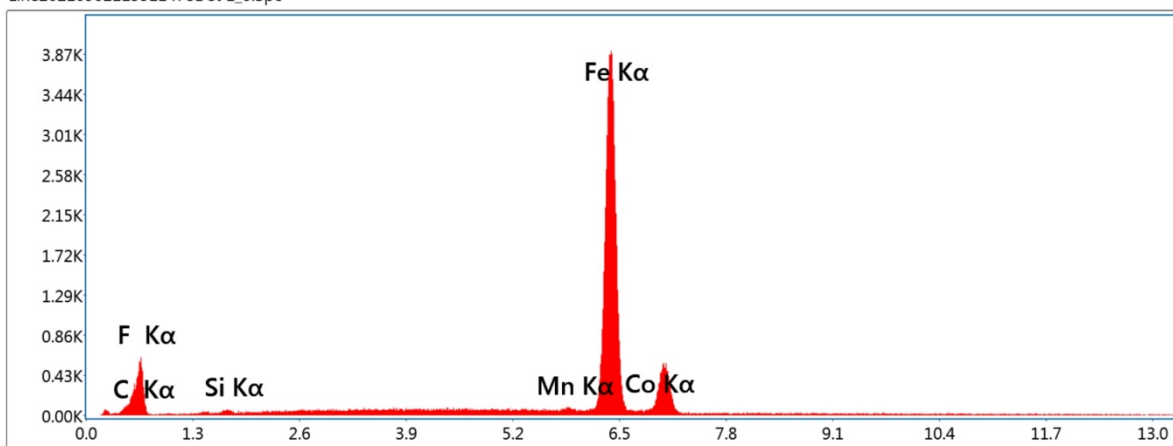
Аномалии синтеза новых химических элементов в объеме стали наблюдали при изменениях уровня динамического воздействия. При кумуляции энергии в локальных зонах реализуются качественные изменения в структуре и, соответственно, в свойствах материала. В зоны сварки дополнительную энергию можно вводить различными способами: в форме термической активации; в виде упругопластической деформации (механическая активация); в виде облучения.

Эффекты слипания атомных ядер являются эффективным инструментом для создания новых материалов. Импульсная перестройка материалов позволяет создать новые изменения в области механики деформируемого твердого тела. Генерируемая при проникании сгустков микроударников в стальную преграду энергия позволяла изменять атомы, например, синтезировать изотопы Mn⁵⁵ и Fe⁵⁵. Пульсации энергии внутри металлического твердого тела проявляются в форме «солитонов» высокого давления [1].

В экспериментальных исследованиях в качестве рабочего вещества использовали частицы карбидов кремния, окиси алюминия, свинца и меди. В режиме СГП сгустки частиц свинца или окиси алюминия формировали в объеме стали армирующие волокна. Сталь преобразовывалась в композиционный стальной материал. Применение сгустков из микрочастиц Рb для насыщения стали 40 было основано на том, что в этих экспериментах химический элемент Рb являлся маркером. В синтезированном армирующем волокне наблюдали разброс концентрации синтезированного марганца в диапазоне 32 – 40 масс. %, алюминия в диапазоне до 13,99 масс. %, свинца в диапазоне 16,11 – 19,03 масс. %.

Была создана зона сварки между сталью 10 и сталью 110Г13. Образец длиной 110 мм был подвергнут динамическому воздействию сгустком микрочастиц SiC. Результаты анализа показаны на рисунках 1 и 2.

Line20210902113511478Det 1_0.Spc



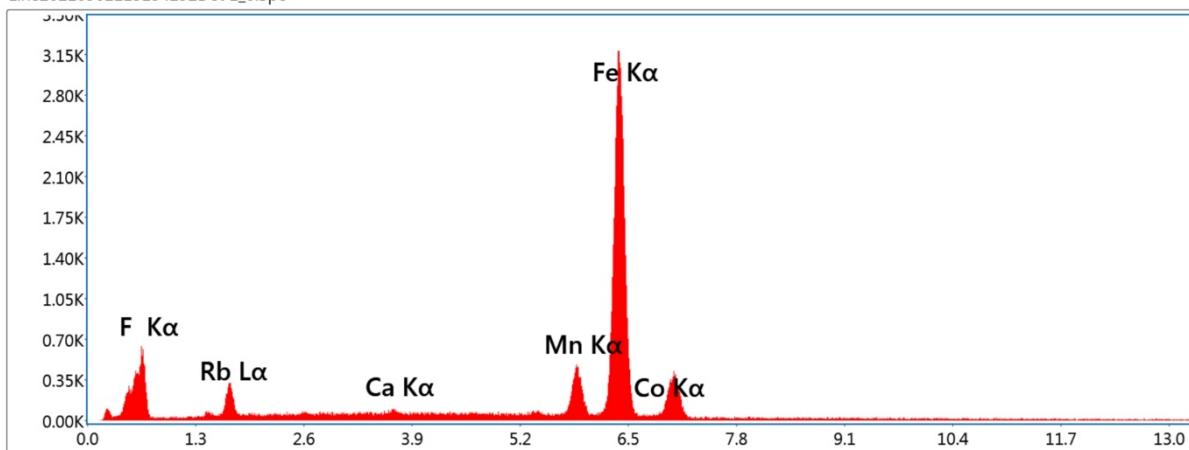
0 Cnts 0.000 keV Det: Element-C2B

Рисунок 1 - Результат микроанализа материала зоны сварки в зоне Сталь 10 – Сталь 110Г13 после прошивки сгустком SiC.

Таблица 1. Состав материала зоны сварки после прошивки сгустком частиц SiC

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Kratio	Z	A	F
C K	1.98	8.24	6.16	0.0053	1.3062	0.2029	1.0000
F K	2.13	5.60	43.32	0.0137	1.1706	0.5499	1.0000
SiK	0.44	0.79	7.15	0.0020	1.1548	0.3870	1.0029
MnK	0.63	0.58	8.38	0.0070	0.9712	0.9955	1.1388
FeK	93.36	83.56	980.93	0.9239	0.9879	1.0009	1.0008
CoK	1.46	1.23	13.00	0.0139	0.9667	0.9850	1.0026

Line20210902115154292Det 1_0.Spc



0 Cnts 0.000 keV Det: Element-C2B

Рисунок 2 - Результат микроанализа материала зоны сварки в зоне Сталь 10 – Сталь 110Г13 после прошивки сгустком SiC + Cu.

Таблица 2 - Состав материала зоны сварки после прошивки сгустком частиц SiC + Cu

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Kratio	Z	A	F
FK	2.92	8.23	34.29	0.0122	1.1842	0.3521	1.0000
RbL	4.54	2.84	31.85	0.0222	0.8978	0.5466	0.9997
CaK	0.57	0.75	9.35	0.0058	1.1119	0.8910	1.0369
MnK	8.83	8.59	99.25	0.0930	0.9831	0.9903	1.0822
FeK	81.94	78.48	772.02	0.8172	1.0002	0.9947	1.0024
CoK	1.21	1.10	9.60	0.0115	0.9788	0.9681	1.0047

При экспериментальном исследовании процесса прошивки сваренных стальных образцов Сталь 10 – Сталь 110Г13, подвергнутых динамическому нагружению в режиме сверхглубокого проникания сгустками микрочастиц SiC и SiC + Cu, были получены следующие основные экспериментальные результаты:

1. При прошивке сварной конструкции сгустками микрочастиц SiC в режиме СГП было установлено, что состав зоны сварки после динамической обработки включал в себе углерод - 1,98 %, кремний – 0,44%, марганец – 0,63%, а железо – 93,3%.
2. При прошивке сварной конструкции сгустками микрочастиц SiC + Cu в режиме СГП было установлено, что состав зоны сварки после динамической обработки включал в себе углерод - 0 %, рубидий – 4,54%, марганец – 0,83%, а железо – 81,9%.
3. Наиболее существенными отличиями результатов обоих экспериментов являются: во втором варианте отсутствовал углерод (из сталей - 0 %), концентрация железа уменьшилась на 10%, а также был синтезирован лантаноид – рубидий -4,5%.

Литература

1. Динамическая модификация металлов/ Е.И. Маркович, Ю.С.Ушеренко, С.М. Ушеренко; под общ. ред. Е.И. Маруковича; Национальная академия наук Беларуси, Институт технологии металлов. – Минск: Беларуская наука, 2021. – 153 с.

Сидоров В.А., Пантелеенко Ф.И.

Белорусский национальный технический университет

Для диагностирования с целью оценки остаточного ресурса работоспособности и пригодности для дальнейшей эксплуатации ответственных металлических конструкций самого различного назначения широко используются разрушающие и неразрушающие методы контроля. При этом одним из видов контрольных испытаний является измерение твердости в зонах максимальных силовых и тепловых нагрузок контролируемых конструкций. В настоящей работе предлагается алгоритм теоретической оценки характеристик прочности, пластичности и ударной вязкости металла контролируемых зон только по результатам измерения твердости по Бринеллю.

Твердость сталей при их деформировании от состояния поставки вплоть до разрушения возрастает, а значения пластичности и ударной вязкости уменьшаются. При этом максимальная твердость имеет место на поверхности разрушения. Поэтому для каждой конкретной плавки стали существует шкала твердости, с максимальным значением ее в состоянии поставки и максимальным на поверхности разрушения.

Для получения расчетных формул прочности, пластичности и ударной вязкости металла контролируемых зон связывают значения его сертификатных характеристик с результатами измерений твердости. На рисунке 1 представлен алгоритм оценки состояния конструкции измерением твердости по Бринеллю, включающий четыре этапа.

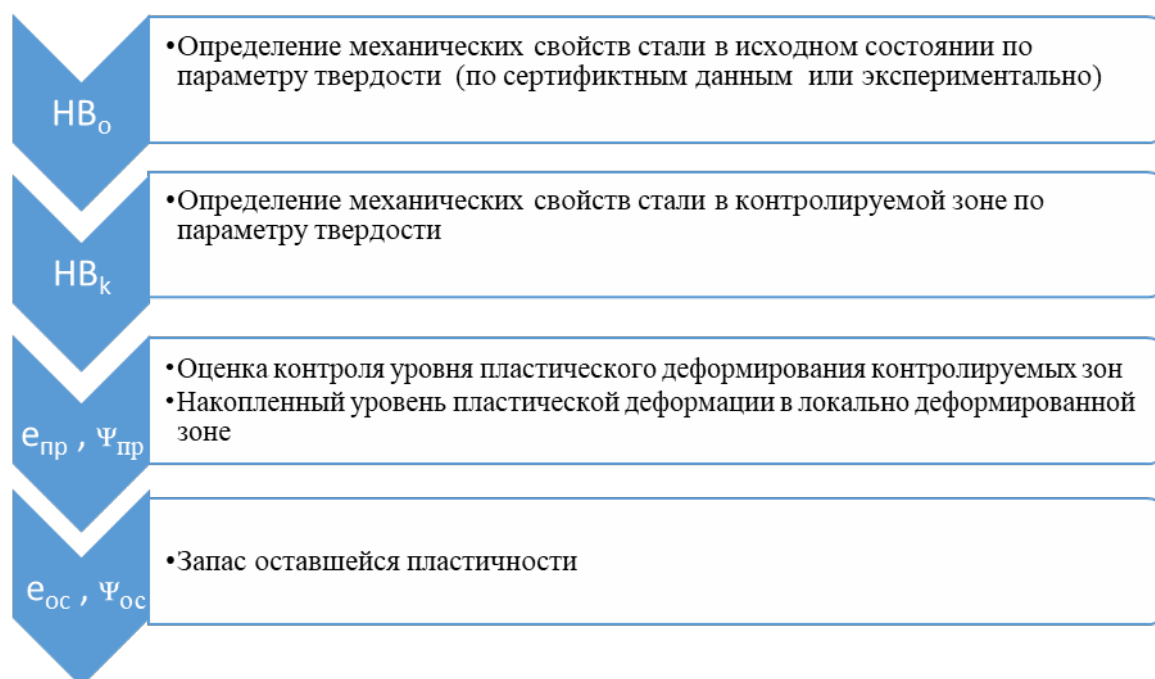


Рисунок 1 - Алгоритм оценки состояния конструкции

Накопленный уровень пластической деформации в локально деформированной зоне определяют по формулам

$$\psi_{пр} = \ln \frac{HB_k}{HB_0} = \ln \frac{h_0}{h_k}, \quad \epsilon_{пр} = \ln \frac{d_0}{d_k}, \quad (1)$$

где: HB_k - значение твердости, полученной при контроле; d_0 , d_k , h_0 , h_k диаметр и глубина отпечатка при измерении твердости для состояния поставки и контроля соответственно;

Если известны уровни накопленной пластической деформации $\varepsilon_{пр}$ и $\Psi_{пр}$, то запас оставшейся пластичности составит:

$$\varepsilon_{ос} = \varepsilon - \varepsilon_{пр}, \quad (2)$$

$$\Psi_{ос} = \Psi - \Psi_{пр}. \quad (3)$$

Экспериментальные исследования на растяжение стандартных образцов из малоуглеродистой и низколегированной сталей показывают, что при достижении остаточной пластической деформации значения порядка $\varepsilon_{ос} = 0,19 - 0,20$ и $\Psi_{ос} \geq 0,4$ равномерное удлинение образца заканчивается и начинается процесс образования шейки. В реальных же конструкциях такое значение остаточной деформации соответствует возникновению пор и внутренних микро-и макротрещин, которые под действием рабочих нагрузок увеличиваются и в результате становятся сквозными. В этом состоянии размер внутренних дефектов можно определить другими неразрушающими методами контроля, а по выявленным размерам трещин оценить состояние локально деформированных зон конструкций по законам линейной механики разрушения, особенно для конструкций, работающих в условиях усталостного режима. Следовательно, по результатам этих испытаний можно определить значение критического коэффициента интенсивности напряжений K_{Ic} , не прибегая к изготовлению и испытанию специальных контрольных образцов.

При применении изложенного алгоритма оценки состояния конструкций для измерения твердости их локально деформированных зон целесообразно применять портативные твердомеры. Из серии портативных твердомеров, применяемых для измерения твердости изделий из любых металлических материалов наиболее удобен в применении твердомер ультразвуковой ТКМ 459С «универсальный», позволяющий использовать два метода твердометрии. Прибор обладает широким диапазоном применения, позволяет производить измерение твердости на изделиях с плоскими, цилиндрическими и сферическими поверхностями в производственных и полевых условиях в любом пространственном положении исследуемой поверхности. Прибор позволяет выявлять изменение твердости для точек, расположенных на расстоянии 1-2 мм друг от друга, что дает возможность выявлять локально деформированные зоны металла с пиковой формой изменения твердости, а из таких зон, как правило, возникают и распространяются трещины.

Проблемы обеспечения чистоты воздуха рабочей зоны на предприятиях автомобильного профиля

Автушко Г.Л.

Белорусский национальный технический университет

В данной статье рассмотрены вопросы поддержания чистоты воздуха на участке линии государственного технического осмотра автомобилей МАЗ 6312. На участке отмечается повышенная запылённость и загазованность воздуха, что является вредным производственным фактором. При взаимодействии с организмом человека вредные химические вещества и пыли могут вызвать стойкие отрицательные изменения в состоянии здоровья человека и заболевания.

На участке линии государственного технического осмотра имеется следующее оборудование:

- Тормозной стенд МАНА IW2 Eurosystem;
- Дымомер МАНА MDO 2 Lon;
- Газоанализатор МАНА МНТ 5;
- Прибор для проверки света фар МАНА Lite;
- Люфтомер МАНА 3/х.

В воздух зоны углубленного диагностирования попадают вредные вещества от работы двигателей автомобилей. Концентрацию вредных веществ в воздухе рабочей зоны регламентируют СанПиН Требования к контролю воздуха рабочей зоны, ГН Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны, утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 11.10.2017 №92 [1]. Предельно допустимая концентрация вредных веществ, наиболее часто встречающихся в воздухе зоны углубленного диагностирования, представлена в таблице 1.

Угарный газ имеет особый специфический запах. Присутствие СО может привести к кислородному голоданию организма, вследствие чего нарушается функция центральной нервной системы. При продолжительном времени существенных концентраций СО в воздухе возможны серьезные заболевания человека или смерть. Если двигатели автомобилей работают 15 - 20 минут, концентрация оксида углерода в отработавших газах достигает предельно допустимой (в соответствии с санитарными нормами ПДК СО составляет 20 мг/м³) [1].

В отработавших газах также присутствуют оксиды азота (NO, NO₂), которые могут вызвать острые отравления. У работающего человека возникает сначала головная боль и небольшой кашель, затем - раздражение слизистых оболочек носа и глаз. Если вовремя не обратить на это внимание - симптомы быстро стихают, могут пройти незамеченными – через небольшое время на фоне нормального состояния у человека внезапно возникает отёк лёгких.

Озон (O₃) оказывает на работника раздражающее действие. Даже его небольшая концентрация может вызвать серьезные сердечно-сосудистые нарушения, чувство преждевременной усталости, головокружение. Человек ощущает боль в грудной клетке, у него появляется кашель, сухость во рту, раздражение слизистых оболочек носа и глаз.

Таблица 1. – Предельно допустимые концентрации наиболее часто встречающихся вредных веществ в воздухе зоны углубленного диагностирования

Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Агрегатное состояние
1	2	3	4
Азота оксиды	5	3	Газ
Акроелин	0,2	2	Аэрозоль

1	2	3	4
Ангидрид серный	1	2	Аэрозоль
Ангидрид сернистый	10	3	Аэрозоль
Ацетона пары	200	4	Аэрозоль
Бензина-растворителя	300	4	Аэрозоль
Бензина топливного	100	4	Аэрозоль
Бензола	5	3	Аэрозоль
Бензапирена	0,00015	1	Аэрозоль
Керосина	300	4	Аэрозоль
Кислоты серной	1	2	Аэрозоль
Ксилола	50	4	Аэрозоль
Кислоты соляной	5	3	Аэрозоль
Масел минеральных (нефтяных)	5	3	Аэрозоль
Озона	0,1	2	Газ
Свинца и его неорганических соединений	0,01	1	Аэрозоль
Соды кальцинированной	2	3	Аэрозоль
Тетраэтилсвинца	0,005	1	Аэрозоли
Оксид углерода	20	4	Газ
Углеводородов алифатических предельных	300	4	Аэрозоль
Пыль обычная	2-10	3	Аэрозоль

Для обеспечения нормализации параметров микроклимата и чистоты воздуха на участке линии государственного технического осмотра помимо местных отсасывающих устройств, обеспечивающих удаление вредных веществ (СОТС, пыли, аэрозолей) предусмотрена приточная вентиляция в сочетании с естественной вентиляцией, согласно СН 4.02.03-2019 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздух [2]. Подача приточного воздуха на участок осуществляется рассредоточено непосредственно в рабочую зону. При этом загрязненный воздух удаляется через дефлекторы, фрамуги и вентиляционные воздуховоды вследствие ветрового побуждения и теплового напора, а также, благодаря подпору, создаваемому приточной вентиляцией. Свежий приточный воздух по воздуховодам направляют в производственное помещение и через распределительные насадки он подает в рабочие зоны. Вентиляционные камеры постоянно содержатся в чистоте. Для осуществления аэрации помещение углубленного диагностирования снабжено регулируемые проемами с механическими приводами.

Для проветривания производственного помещения предусмотрена естественная вентиляция через оконные проемы, при этом открывающиеся створки переплетов составляют 20% общей площади оконных проемов.

Одним из важнейших мероприятий по защите от вредных веществ являются устройства общеобменной и местной вентиляции; применение средств индивидуальной защиты работающих в соответствии с Инструкцией о порядке обеспечения работников средствами индивидуальной защиты [3] (например, респираторы) и, безусловно, своевременный контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Для этой цели на участке диагностирования имеются дымомер МАНА MDO 2 Lon и газоанализатор МАНА МНТ 5.

На все вентиляционные системы составляются графики планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания, а также контроля эффективности работы вентиляционных систем.

Литература

1. Санитарные нормы и правила «Требования к контролю воздуха рабочей зоны», гигиенический норматив «Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 11.10.2017 № 92.
2. СН 4.02.03-2019 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздух.
3. Инструкция о порядке обеспечения работников средствами индивидуальной защиты. Постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 30.12.2008г. № 209.

Особенности обеспечения пожарной безопасности и взрывобезопасности при строительстве зданий и сооружений

Вершеня Е.Г., Батяновская И.А.

Белорусский национальный технический университет

Строительные объекты входят в зону риска из-за повышенной травмоопасности и пожароопасности. Это обусловлено спецификой работ, проводимых на строительных площадках, использование горючих материалов, непредвиденные случаи, человеческий фактор и т.д. Пожары и взрывы на объектах строительства наносят значительный экономический ущерб, становятся причиной порчи или уничтожения имущества, а иногда сопровождаются тяжелыми последствиями и гибели людей. Основными опасными факторами пожара являются высокая температура, тепловое излучение, отравляющее действие дыма и копоти, снижение видимости при задымлении.

Причины пожаров весьма разнообразны и многочисленны. Анализ пожаров и загораний, имеющих место на строительной площадке, показывает, что до 50% их происходит по причине несоблюдения и незнания рабочими и служащими правил пожарной безопасности, особенно в тех случаях, когда они не проходили инструктаж и проверку знаний по вопросам пожарной безопасности, а также при отсутствии общественных организаций по предупреждению и тушению пожаров или не удовлетворительной их работе. Также причинами пожаров являются: захламленность рабочей зоны, устройство несанкционированных площадок для хранения и сбора мусора, неправильное складирование огнеопасных материалов и легковоспламеняющейся ветоши пропитанной огнеопасными веществами, что приводит к самовозгоранию от прямого воздействия солнечных лучей, не правильной утилизации отходов, неосторожное обращение с огнем или неправильное действия при работе с открытым огнем, искр при выполнении электросварочных работ, неисправность и изношенность оборудования, несоблюдение пожарной безопасности при проведении строительно-монтажных работ, неграмотном монтаже и эксплуатации газовых, электрических и отопительных приборов, аварийной утечке взрывоопасных веществ, повреждение электропроводки, использование обогревателей кустарного изготовления в бытовых помещениях, курение в неустановленных местах и многое другое. Не редки случаи, когда строительная площадка и бытовые помещения не обеспечены первичными средствами пожаротушения и противопожарным водоснабжением, что приводит к быстрому развитию и распространению пожара, взрыву.

Для того, чтобы предотвратить пожароопасные ситуации, для защиты от пожара, организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности, в первую очередь, должны быть предусмотрены на этапах проектирования и строительства любого объекта. В этом случае предусматривается комплекс организационных и инженерно-технических мероприятий по противопожарной защите объекта, цель которого, в соответствии с установленными нормативами, фактически обеспечить и подтвердить безопасность на всех этапах. Основная задача: свести к минимуму вероятность возникновения пожара, обеспечить оперативность при тушении пожара. С учетом назначения здания определяется пожарная нагрузка, устойчивость конструкции к воздействию огня, предусматриваются пути и выходы для эвакуации, системы противопожарной сигнализации и защиты, и мн. др. Для оценки соответствия объекта требованиям пожарной безопасности, на основе анализа всех перечисленных выше факторов предусматривают расчет пожарных рисков. Если пожарный риск превышает предельно допустимые значения, то необходимо разработать дополнительные меры пожарной защиты.

Организация и выполнение противопожарных мероприятий на строительной площадке, объекте строительства, должны осуществляться в соответствии с разработанным и

утвержденным строительным генеральным планом, проектом организации строительства (ПОС) и проектом производства работ (ППР).

Требования пожарной безопасности и взрывобезопасности при производстве строительного-монтажных работ устанавливаются следующие документы:

- Закон Республики Беларусь «О пожарной безопасности» от 15 июня 1993 г. № 2403-ХІІ с изменениями согласно Закону Республики Беларусь от 11.11.19 г. № 251-3;

- Специфических требований по обеспечению пожарной безопасности взрывопожароопасных и пожароопасных производств, утвержденных постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 20 ноября 2019 №779.

Закон Республики Беларусь «О пожарной безопасности» определяет правовую основу и принципы организации системы пожарной безопасности и государственного пожарного надзора в Республике Беларусь.

Специфические требования по обеспечению пожарной безопасности взрывопожарных и пожароопасных производств устанавливаются основные требования пожарной безопасности на строительных площадках, а также требования к эксплуатации объектов со взрывопожароопасными и пожароопасными производствами.

На основании данных документов, все руководители строительного-монтажных организаций (руководители работ) должны:

- обеспечить контроль за выполнением на объекте требований пожарной безопасности, а также противопожарных мероприятий, установленных проектом организации строительства (ПОС) и проектом производства работ (ППР);

- не допускать производства строительного-монтажных работ при отсутствии или неисправности на строительной площадке противопожарного водоснабжения, пожарных подъездов, первичных средств пожаротушения, систем оповещения и связи.

Руководители работ, ответственные за пожарную безопасность объектов (участков) строек должны знать правила пожарной безопасности, уметь применять их на практике, обязаны:

- до начала работ провести противопожарный инструктаж с работающими на строительной площадке при производстве строительного-монтажных работ;

- ежедневно по окончании работ проверять выполнение требований пожарной безопасности и противопожарного режима на объекте (участке), проверять отключение электросетей и электрооборудования, а также места проведения огневых и других пожароопасных работ.

Согласно специфическим требованиям на строительной площадке расположение зданий и сооружений, площадок для хранения горючих материалов, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, горючего газа, строительных материалов и конструкций, отходов и мусора, оборудования, автомобильных дорог должно соответствовать строительному генеральному плану, разработанному в составе проекта организации строительства.

До начала работ по возведению, реконструкции и реставрации объекта строительства на строительной площадке следует провести устройство наружного противопожарного водоснабжения, пожарных подъездов и дорог, а также снос зданий и сооружений, подлежащих сносу и находящихся в противопожарных разрывах.

На строительной площадке площадью 5 гектаров и более следует устраивать не менее 2 рассредоточенных въездов (выездов) шириной не менее 4,5 метра. Все автомобильные дороги на строительной площадке должны обеспечивать свободный подъезд к объектам строительства и иметь покрытие, пригодное для проезда пожарных машин.

У въезда на строительную площадку должна быть схема автомобильных дорог, с указанием мест размещения зданий и сооружений, складирования горючих веществ, строительных материалов и конструкций, оборудования, мест для разворота пожарных машин, первичных средств пожаротушения, установки источников наружного противопожарного водоснабжения.

Каждое мобильное (инвентарное) здание и сооружение, должно иметь выход непосредственно наружу, со 2-го этажа должны быть предусмотрены две рассредоточенные эвакуационные лестницы из негорючих материалов.

Хранение горючих веществ, строительных материалов и конструкций, оборудования, отходов и мусора, должно быть в штабелях или группах площадью не более 100 кв. метров и высотой не более 2,5 метра.

В противопожарных разрывах не допускается устраивать здания и сооружения, складировать горючие вещества, строительные материалы и конструкции, оборудование, отходы и мусор.

Места для курения и разведения костров на строительной площадке должны быть только в специально отведенных местах, определенных инструкциями по пожарной безопасности и оборудованных в установленном порядке. Отведенные места для курения следует обозначать указателями «Место для курения». При разведении костров должен быть непрерывный контроль за процессом горения, размещения очагов горения на расстоянии, исключающем загорание ближайших строений и горючих материалов. По окончании использования очагов горения либо после прекращения постоянного контроля за процессом горения остатки горящих (тлеющих) материалов должны быть потушены до полного прекращения тления.

При реконструкции, капитальном ремонте, реставрации, технической модернизации объектов без прекращения их функционирования эксплуатируемая часть здания должна отделяться от строящейся противопожарными перегородками 1-го типа и перекрытиями 3-го типа. При этом эксплуатируемая часть здания должна быть обеспечена самостоятельными эвакуационными выходами.

В помещениях, в которых применяются, производятся или хранятся вещества и материалы, способные образовывать взрывоопасные концентрации газов и паров, не допускается проведение работ, связанных с применением открытого огня или вызывающих искрообразование. В таких помещениях необходимо размещать на стендах инструкции по пожарной безопасности.

На строительных площадках к эксплуатации допускаются теплогенерирующие аппараты и отопительные приборы только промышленного (заводского) изготовления (кроме теплостойких печей) при соблюдении определяемых Министерством по чрезвычайным ситуациям требований в части их размещения и эксплуатации. Для сушки одежды и обуви применять теплогенерирующие аппараты с открытыми нагревательными элементами не допускается. Сушку одежды и обуви следует производить только в специально приспособленных для этой цели помещениях, зданиях или сооружениях.

Тип и количество первичных средств пожаротушения необходимо определять в соответствии с нормами, установленными Министерством по чрезвычайным ситуациям, в зависимости от их огнетушащей способности, а также площади защищаемых помещений, открытых площадок и установок.

Таким образом, для того чтобы свести риск возгораний к минимуму, на строительных площадках при строительстве зданий и сооружений должны предъявляться повышенные требования к противопожарным мерам защиты. Ответственный подход и правильная организация противопожарных мероприятий, знание и соблюдение требований действующих ТНПА на всех этапах строительства, обеспечивают безопасные условия труда, защиту объектов и материальных ценностей.

Обеспечение безопасных условий труда при организации рабочих мест, участков работ в условиях строительной площадки

Батяновская И.А., Вершеня Е.Г.

Белорусский национальный технический университет

Согласно Закону Республики Беларусь «Об охране труда» (в ред. Закона Республики Беларусь от 18.12.2019 N 274-3) работник имеет право на рабочее место, соответствующее требованиям по охране труда, а наниматель обязан обеспечить на каждом рабочем месте условия труда, соответствующих требованиям по охране труда. Как уже неоднократно отмечалось, строительная отрасль является одной из самых травмоопасных. На строителей на рабочих местах оказывают воздействие довольно много опасных производственных факторов. Это связано с выполнением разнообразных видов работ (высотные работы - падение с крыш, строительных лесов, лестниц; земляные работы - обрушение грунта, эксплуатация землеройной техники, грузоподъемных машин и механизмов; электромонтажные работы – эксплуатация электрооборудования; выполнение работ с ручным механизированным инструментом и т.д.), в том числе работ с повышенной опасностью, которые требуют дополнительных мер по обеспечению безопасности при их производстве. Виды этих опасностей зависят от конкретной профессии, работы, трудового дня и даже времени работы. Как показывает анализ опасных факторов производственной среды в строительной отрасли при расследовании несчастных случаев, одной из основных причин травмирования работников является несоответствующая организация рабочих мест - 48,9%. Поэтому соответствующей организации рабочего места и участков работ на строительной площадке с точки зрения охраны труда уделяется особое внимание.

Вопросы организации рабочих мест и участков на строительной площадке отображаются в проектной, технологической документации, в технических нормативных правовых актах, технической документации. Основными документами являются:

- Проект организации строительства (ПОС);
- Проект производства работ (ППР);
- Строительные нормы и правила (СН, СП);
- Правила по охране труда при выполнении строительных работ, утвержденные постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь и Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь 31.05.2019 № 24/33.

Ниже, в табличном виде приведены основные вопросы, которые решаются в проектно – технологической документации, а также требования, установленные в ТНПА, для обеспечения безопасности труда на рабочих местах и участках работ в условиях строительной площадки

Название документа	Решаемые вопросы и установленные требования по обеспечению безопасных условий труда на участках работ и рабочих местах в условиях стройплощадки
Проект организации строительства (ПОС)	Предусматривает общие мероприятия по охране труда: устройство объектов санитарно-гигиенического и бытового обслуживания работников, основные устройства по безопасности производства строительно-монтажных работ, размещение установок и устройств, при эксплуатации которых, работники могут подвергнуться воздействию опасных факторов.
Проект производства работ (ППР) вопросы безопасности труда прорабатываются более детально	Указываются мероприятия, связанные с организацией строительной площадки и созданием безопасных условий труда для всех работающих на объекте: обеспечение электробезопасности работы на площадке, участках работ и на рабочих местах, выбор системы освеще-

	<p>ния; размещение противопожарного водопровода, противопожарных устройств, складских площадок, временных дорог, обеспечивающих безопасное движение автотранспорта.</p>
<p>Проект производства монтажных работ</p>	<p>Даются решения по безопасной технологической последовательности операций и организации рабочих мест; перечень всех необходимых приспособлений для безопасного производств работ (подмости, лестницы); указываются методы безопасной работы монтажников при установке крупных элементов; расположение и зоны действия машин и механизмов.</p>
<p>Правила по охране труда при выполнении строительных работ, утвержденные постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь и Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь 31.05.2019 № 24/33,</p>	<ul style="list-style-type: none"> - работодатель должен осуществить до начала строительства подготовку строительных площадок, участков работ, при этом организация строительной площадки, участков работ и рабочих мест должна обеспечивать безопасность труда на всех этапах выполняемых работ; - в процессе организации строительной площадки, размещении участков работ, рабочих мест, проездов строительных машин и транспортных средств, проходов для работников, определяются опасные для них зоны, в пределах которых постоянно действуют или потенциально могут действовать опасные производственные факторы, при этом места временного или постоянного нахождения работающих (санитарно-бытовые помещения, места отдыха и проходы для людей), должны быть расположены за пределами этих зон; - участки работ и рабочие места должны быть обеспечены видеонаблюдением, необходимыми средствами коллективной и индивидуальной защиты, первичными средствами пожаротушения, а также средствами связи, сигнализации и другими техническими средствами, которые обеспечивают безопасность труда; - проезды, проходы к рабочим местам, рабочие места, участки работ должны содержаться в чистоте и порядке, очищаться от мусора и снега, не загромождаться складироваемыми материалами и строительными конструкциями; строительные площадки и участки работ в населенных пунктах или на территории организации должны ограждаться; - строительные площадки, участки работ и рабочие места, проезды и подходы к ним в темное время суток должны быть освещены в соответствии с требованиями ТНПА; - при выполнении работ на открытом воздухе для работников должны быть предусмотрены навесы для укрытия от атмосферных осадков; - рабочие места и проходы к ним, расположенные на перекрытиях, покрытиях на высоте 1,3 м и более и на расстоянии менее 2 м от границы перепада по высоте, должны быть ограждены предохранительными или страховочными защитными ограждениями, а при расстоянии более 2 м – сигнальными ограждениями.

Неукоснительное выполнение решений и требований по обеспечению безопасности труда на рабочих местах и участках работ, проработанных и установленных как в проектной, технологической, так и в нормативной документации, работодателями и работниками, позволит снизить число несчастных случаев в строительной отрасли и исключить несоответствующую организацию рабочего места как одну из основных причин травмирования работников.

Особенности организации труда и анализ факторов производственной среды на рабочих местах водителей автобусов городских маршрутов

Закревский Д.С., Кот Т.П., Абметко О.В.
Белорусский национальный технический университет

Деятельность водителей автобусов, работающих на регулярных городских маршрутах, имеет свою специфику: организуется посменно, в различных графиках, но, как правило, с равномерным чередованием смен. Работа в первую смену начинается в интервале с 04:30 до 07:00 утра и оканчивается в интервале с 09:30 до 16:30, во вторую смену начинается в интервале времени с 13:00 до 16:30, оканчивается – с 19:00 до 01:30. В часы пик организуются специальные разрывные графики работы. Для обслуживания определенных городских маршрутов могут предусматриваться специальные режимы работы. В этом случае начало рабочей смены с 07:00 – до 11:00, а окончание с 16:00 до 20:00.

На рисунке 1 представлено распределение рабочего времени для водителей автобусов на регулярных городских маршрутах.



Рисунок 1 – Режимы работы водителей автобусов на регулярных городских маршрутах

Анализируя представленные данные, следует отметить то, что водителям, работающим в 1-ую смену, приходится вставать в очень раннее время (03.00-03.30). Это приводит к систематическому нарушению сна. Плохое качество сна у водителей вызывает психологический стресс. По данным исследований А. Anund более 39% водителей городских автобусов из-за нарушения режима сна страдают от сильной дневной сонливости [1].

Разрывной график работы водителей автобусов обуславливает высокие нервно-эмоциональные нагрузки. Которые также определяются также тем, что в течение рабочего дня водителям необходимо осуществлять непрерывное наблюдение. Длительность сосредоточенного наблюдения для водителя автобуса при управлении составляет до 98% рабочего времени (при норме до 75%). Напряженность трудового процесса определяется не только необходимостью постоянного наблюдения за проезжей частью, но также и необходимостью наблюдения за салоном автобуса, повышенной нагрузкой на слуховой анализатор, связанной с необходимостью восприятия речи диспетчера, пассажиров и сигналов от участников дорожного движения. В условиях крупного города водителю автобуса приходится сталкиваться с 4-5 раздражителями в минуту. После длительного управления у водителей возрастает время скрытого периода зрительно-моторной и слухо-моторной реакции, а также реакции на звук и свет.

По данным исследований к концу рабочего дня у водителей автобусов на городских маршрутах отмечается снижение фактической умственной производительности на 25% по сравнению с началом рабочего дня, скорости переработки воспринимаемой информации на 47%, концентрации внимания на 38,6% [2].

В значительной степени на самочувствие и работоспособность водителей автобусов оказывает воздействие повышенного уровня шума, вибрации, инфразвука.

Источниками шума в автобусах являются двигатель, трансмиссия, система выпуска отработавших газов, система охлаждения, трение шин о поверхность дорожного покрытия, воздушные потоки, обтекающие автобус при движении и др. Уровень шума в значительной мере зависит и от скорости движения. В соответствии с действующими в Республике Беларусь нормами уровень звука на рабочих местах и в салонах автобусов не должен превышать 70 дБА. Однако на практике зачастую нормы не выдерживаются. Обусловлено это несовершенством конструкции транспортных средств, их износом, ненадлежащим техническим обслуживанием и рядом других факторов. Длительное воздействие шума может вызывать различные патологические проявления. В частности, у водителей фиксируется 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.

Существенное влияние на водителей оказывает инфразвук. Нередко уровень инфразвука на рабочих местах водителей автобусов на частотах 2–16 Гц достигает значений 107–113 дБ, при допустимом 105 дБ. Негативное действие инфразвука заключается в угнетающем действии на центральную нервную и эндокринную системы.

Значительную опасность для здоровья водителей представляет и вибрация. Водители одновременно подвергается воздействию общей и локальной вибрации. Источниками локальной вибрации являются органы управления автобусом, общей вибрации – качество дорожного покрытия, скорость движения, конструктивные особенности ходовой части, сиденья, работа двигателя и системы охлаждения, длительный срок эксплуатации и др. Наибольшую опасность представляют вибрации в диапазоне частот от 1 до 5 Гц, так как могут привести к различным отклонениям, в первую очередь, со стороны опорно-двигательной системы. Воздействие вибрации проявляется также в виде расстройств зрительных восприятий, вестибулярного расстройства, вибрационной болезни, астеновегетативного синдрома, сопровождающего гипотонией, брадикардией [3].

Литература

1. ANUND A, IHLSTRÖM J, FORS C, KECKLUND G, FILTNESS A. Factors associated with self-reported driver sleepiness and incidents in city bus drivers. *INDUSTRIAL HEALTH* [Internet]. National Institute of Industrial Health; 2016;54 (4):337–46. Available from: <http://dx.doi.org/10.2486/indhealth.2015-0217>.
2. Федотова И.В., Аширова М.М., Некрасова, М.А. Субъективная оценка водителями грузопассажирского автотранспорта условий труда и влияния их на состояние здоровья. *Здоровье населения и среда обитания* 2017;10:27-3.
3. Профессиональные заболевания водителей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.trudohrana.ru /article/103779-19-m2-professionalnye-zabolevaniya-voditeley>.

Молош Т.В.¹, Филянович Л.П.²¹ УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»² Белорусский национальный технический университет

Холодильные установки широко применяются в различных отраслях агропромышленного комплекса, при этом неправильная их эксплуатация может привести к тяжелым последствиям в результате разрушений элементов оборудования и трубопроводов. Возникающие опасные и вредные производственные факторы при обслуживании холодильных установок характеризуют условия труда, влияющих на состояние здоровья работающих. Улучшение охраны труда при эксплуатации холодильных установок основано на анализе причин производственного травматизма и состояния условий труда работающих.

При эксплуатации холодильных установок могут возникать аварии, причинами которых могут быть: опасность гидравлического удара в результате попадания жидкого холодильного агента во всасывающую полость компрессора; увеличение давления в системе выше допустимого; уменьшение или прекращение смазки трущихся частей; неисправности контрольно-измерительных приборов и приборов автоматики; взрыв газовой смеси при ремонтных работах с открытым пламенем вследствие утечек аммиака или хладагента через неплотности соединений.

Опасными и вредными факторами, по отношению к которым следует обеспечить безопасные условия труда при обслуживании холодильных установок являются: подвижные части холодильных установок (компрессоры, насосы, вентиляторы); разлетающиеся осколки и брызги холодильного агента (при возможных разрушениях холодильного агента); расположение мест на значительной высоте; повышенная загазованность воздуха (утечка или пожар); повышенная и пониженная температура поверхностей установок; повышенная температура воздуха; повышенное давление холодильного агента; повышенный уровень шума на рабочих местах; повышенный уровень вибрации на рабочих местах; недостаточная освещенность; замыкание электрических цепей через тело человека.

Наибольшую опасность представляют аммиачные холодильные установки. Аммиак с воздухом при концентрациях от 16 до 26,8 % по объему может образовывать взрывоопасную смесь. Газообразный аммиак токсичен, оказывает сильное раздражающее воздействие на слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей. При превышении предельно допустимой концентрации следует пользоваться противогазом. Жидкий аммиак вызывает ожоги кожи и глаз, вызывая слепоту [1]. Защита работников от воздействия опасных и вредных производственных факторов должна осуществляться на основе выполнения требований пожарной безопасности, строительных и санитарных норм.

Обеспечение защиты работающих от последствий возможных разрушений элементов оборудования и трубопроводов холодильных установок следует предусматривать приборы противоаварийной автоматической защиты; предохранительные устройства; своевременное освидетельствование аппаратов (сосудов) и трубопроводов. При подготовке холодильной установки к автоматизации следует учитывать требования действующих основных технических нормативных правовых актов и правил техники безопасности на холодильных установках (с учетом вида хладагента) рекомендаций по повышению безопасности эксплуатации холодильных установок, а также по их проектированию и правил устройства электроустановок. Для обеспечения безопасности труда при обслуживании холодильных установок необходимо выполнять требования ТНПА [2].

На каждую установку нужно завести журнал, куда записывают показатели ее работы, все произведенные операции по устранению неисправностей, результаты проверки контрольно-измерительных и автоматических приборов.

В машинном отделении на видном месте следует вывесить схему холодильной установки. Эксплуатация холодильных установок разрешается только в том случае, если манометры и мановакуумметры освидетельствованы государственным поверителем.

У каждого компрессора должны быть установлены мановакуумметры и манометры для наблюдения за рабочими давлениями всасывания, нагнетания в системе смазки и в картере. Все установленные манометры должны быть запломбированы или иметь клеймо поверки. Поверку манометров необходимо проводить через каждые 12 месяцев, а также каждый раз после произведенного ремонта. Автоматические приборы проверяют не реже двух раз в год, и результаты проверки заносят в журнал работы холодильной установки. Аппараты (сосуды), работающие под давлением хладагента, нельзя испытывать на прочность и герметичность водой, так как попадание воды в систему может вызвать серьезные нарушения в работе установки, вплоть до аварии.

Предохранительные клапаны аппаратов (сосудов) на нагнетательной и всасывающей сторонах должны быть отрегулированы на начало открывания при давлении, указанном в паспортной документации завода-изготовителя. Предохранительные клапаны компрессоров должны проверяться не реже одного раза в год. Проверку исправности предохранительных клапанов на аппаратах (сосудах) необходимо производить не реже одного раза в 6 месяцев.

К обслуживанию холодильных установок допускаются работники, прошедшие обучение и имеющие удостоверение, подтверждающее их квалификацию. Периодическую проверку знаний персонала по обслуживанию холодильной установки, технике безопасности, инструкций по эксплуатации оборудования и практическим действиям по оказанию доврачебной помощи необходимо проводить не реже одного раза в 12 месяцев комиссией.

Для улучшения охраны труда при эксплуатации холодильных установок необходима: регулярная проверка состояния всех средств и проведение мероприятий, обеспечивающих безопасную работу установки; систематическое наблюдение за работой машин, аппаратов, приборов, которые должны фиксироваться в соответствующей отчетности; выявление причин, нарушающих нормальный режим работы; устранение обнаружившихся дефектов; проведение профилактических осмотров и ремонтов; изыскание путей повышения эффективности и надежности установки; совершенствование и модернизация действующего оборудования.

Литература

1. Федорчук, А.И. Охрана труда в организациях по переработке мясной и молочной продукции: пособие/А.И. Федорчук, Л.Т. Ткачева. -Минск: Беларусь, энцикл. імя П. Брукі, 2010. - 256 с.
2. Постановление министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь 28 декабря 2017 г. № 46 Об утверждении Правил по обеспечению промышленной безопасности, аммиачных холодильных установок и складов жидкого аммиака. // Консультант-Плюс: Беларусь [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2022.

Повышение безопасности труда при выполнении складских работМолош Т.В.¹, Корчик С.А.¹, Филянович Л.П.²¹ УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»² Белорусский национальный технический университет

Склады являются одним из важнейших элементов логистических систем, представляющие собой здания, сооружения и разнообразные устройства, предназначенные для приемки, размещения, хранения поступивших на них товаров. При проведении складских работ имеют место случаи производственного травматизма, в том числе и со смертельным исходом, связанные с недостаточной квалификацией работающих и их инструктированием по охране труда; нарушением требований безопасности при выполнении погрузочно-разгрузочных операций, эксплуатации грузоподъемных машин и механизмов и транспортных средств и др. В связи с этим изучение причин несчастных случаев при выполнении складских работ может служить основой для разработки предложений по повышению производственной безопасности.

Складирование материалов - технологический процесс приемки, выгрузки, размещения на хранение и выдачи материалов. Работа на складе во многом связана с передвижением различного рода груза. Погрузочно-разгрузочные работы могут проводиться вручную, а также с применением простейших приспособлений и инвентаря, ручных и механизированных тележек, специальных погрузчиков и штабелеукладчиков. Все эти технические средства относятся к группе складского оборудования, при этом выполнении работы на котором необходимо соблюдать требования охраны труда. Грузоподъемные механизмы существенно облегчают труд, однако они являются источником потенциальной опасности как для операторов (крановщиков, машинистов), так и для находящихся в рабочей зоне людей.

Каждый раз при ручном или автоматизированном перемещении грузов возникает риск несчастных случаев. При выполнении таких работ обычно несчастные случаи происходят в результате падения груза. Чаще несчастные случаи и аварии при эксплуатации подъемно-транспортных машин происходят вследствие неправильной организации работ и отсутствия надлежащего контроля, ошибок или несоответствия и выполняемой работы подъемно-транспортных механизмов и машин, отсутствия или неисправности предохранительных приспособлений, зацепления грузом во время его подъема, перемещения или опускания. Большинство машин и механизмов, предназначенных для подъема, перемещения грузов, оснащены электроприводами, поэтому часто причинами несчастных случаев и аварий является нарушение требований электробезопасности. Во время работы кранов чаще всего случаи падения грузов и вызванные этим несчастные случаи происходят из-за недостаточной прочности канатов и цепей, а также неудовлетворительной работы тормозных устройств [1].

Причинами несчастных случаев при проведении погрузочно - разгрузочных работ являлось: нахождение работника в зоне возможного падения грузов с подвижного состава при погрузке и разгрузке, перемещения грузов подъемно-транспортным оборудованием; допуск водителя погрузчика к выполнению работ без соответствующей профессиональной подготовки; допуск потерпевшего к работе без проверки знаний по вопросам охраны труда.

В связи с этим обеспечение охраны труда работающих в процессе выполнения складских и погрузо-разгрузочных работ имеет важное значение. Безопасность работ при транспортировании и складировании продукции должна обеспечиваться организацией работ и выполнением операций погрузки, разгрузки, транспортирования и хранения с исключением или сведением к минимуму контактов работников с опасными и вредными производственными факторами. Операции складирования грузов, материалов на складах и погрузочно-разгрузочных площадках должны производиться в соответствии с технологической планировкой, техническими условиями на груз и с соблюдением действующих санитарных норм, противопожарных правил и требований технических нормативных правовых актов [2,3].

Работники, занятые при выполнении складских работ должны обладать соответствующей квалификацией, быть аттестованными в области промышленной безопасности, не иметь медицинских противопоказаний к указанной работе и иметь допуск к выполнению работ

Конструкция стеллажей должна быть рассчитана на соответствующие нагрузки и обеспечивать устойчивое положение грузов. Для поддержания максимально безопасных условий труда выполняется регулярная проверка конструкции.

Для повышения уровня механизации погрузочно-разгрузочных работ, выполняемых на складе возможно применение отдельных видов технических средств, позволяющих снизить тяжесть труда и уменьшить риск травмирования работающих. Использование доквеллера (уровнительная платформа) является эффективным средством безопасности во время проведения данных работ. Для улучшения условий труда, работающих может применяться докшелтер - герметизатор проема, который предназначен для устранения зазора между проемом двери склада и грузовиком и защищает место погрузки от воздействия окружающей среды (дождя, снега, пыли, ветра, насекомых. При работе в относительно небольших складских помещениях в условиях дефицита складских площадей могут использоваться ручные гидравлические штабеллеры.

Внедрение комплексной механизации и автоматизации транспортно-складских работ дает значительный социальный эффект, уменьшает интенсивность работы грузчиков (физическая усталость, перенапряжение) и улучшает условия труда.

Для повышения безопасности труда при выполнении складских работ необходимо разрабатывать комплекс мероприятий, включающих организационные, инженерно-технические, санитарно-гигиенические и другие, направленные на профилактику травматизма, улучшение условий труда работающих.

Литература

1. Андруш, В.Г. Охрана труда: учебное пособие / В.Г. Андруш, Л.Т. Ткачев, Т.П. Кот; под ред. В.Г. Андруша. – Минск : РИВШ, 2021. – 620 с.

2. Об утверждении межотраслевых правил по охране труда при проведении погрузочно-разгрузочных работ, постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь, 26 января 2018 г., № 12// КонсультантПлюс: Беларусь [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2019.

3. Об утверждении типовой инструкции по охране труда при проведении погрузочно-разгрузочных и складских работ, постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь, 26 января 2018 г., № 10// КонсультантПлюс : Беларусь [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2019.

Взрывопожарная и пожарная опасность цехов с использованием топочного мазута

Ушакова И.Н.

Белорусский национальный технический университет

Топочный мазут довольно часто используется на предприятиях ТЭЦ в качестве котельного топлива. Топочный мазут – вид нефтяного топлива, получаемого из тяжелых остатков переработки нефти, угля и горючих сланцев.

Топочные мазуты различаются по следующим показателям:

1. Индекс вязкости;
2. Содержание серы;
3. Температура застывания;
4. Зольность (отложение золы на котлоагрегатах);
5. Плотность;
6. Температура вспышки (пожароопасность).

Данные показатели мазута влияют не только на технологические свойства, но и на взрывопожарную и пожарную опасность цеха. Наиболее распространенный топочный мазут, в основном, марки М-100 (ГОСТ 10585 – ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод»). Для этой марки температура вспышки в открытом тигле 110 °С (ГОСТ 4333). Температура вспышки – наименьшая температура конденсированного вещества (мазута), при которой над поверхностью образуются пары, способные вспыхивать в воздухе от источника зажигания, но скорость их образования еще недостаточна для устойчивого горения. Согласно температуре вспышки 110 °С топочный мазут относится к горючей жидкости (ГЖ).

Технологический процесс транспортировки мазута в цехах механизирован и автоматизирован с использованием контрольно-измерительных приборов, сигнализационных, предохранительных и блокировочных устройств. При этом возможно поражение электрическим током при неисправности электропроводки в электрическом оборудовании и возникает опасность взрыва от искры. При производстве ремонтных работ взрыв может быть при несоблюдении правил охраны труда.

На электростанциях определяется температура вспышки для выяснения взрывопожарной и пожарной опасности топочного мазута при хранении, а также для установления максимально-допустимой температуры подогрева. Эта температура должна быть не менее чем на 10 °С ниже температуры вспышки.

Использование жидких топлив с низкой температурой вспышки сопряжено с рядом трудностей: возрастает пожарная опасность, ухудшаются условия труда из-за выделения вредных паров. При всасывании мазутов насосами возникают перебои от образования паровых пробок, возможно вспенивание топлива при подогреве, особенно, если оно обводнено.

Температура воспламенения жидкого топлива обычно ненамного превышает температуру вспышки. Для одного и того же нефтепродукта разница между обеими температурами составляет не более 60 – 70 °С. Значительно выше лежит температура самовоспламенения жидкого топлива, характеризующая такую степень нагрева, при которой оно воспламеняется без внешнего источника пламени. Для мазута температура самовоспламенения находится в пределах 500 – 600 °С. В присутствии катализаторов и при обогащении воздуха кислородом температура самовоспламенения заметно снижается.

При транспортировке мазута насосом и его неисправности возникает опасность взрывопожароопасности.

Зачастую особенностями производственного процесса являются неблагоприятные метеорологические условия, работа с высокотемпературными расплавами, электрооборудованием.

Определение взрывопожарной и пожарной опасности и категории помещения цеха производят в соответствии с ТКП 474-2013 «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

Определение пожароопасной категории помещения осуществляется путем сравнения максимального значения удельной временной пожарной нагрузки. Пожарная нагрузка (Q), включающая в себя различные сочетания (смесь) горючих жидкостей, твердых горючих веществ и материалов в пределах пожароопасного участка рассчитывается по формуле:

$$Q = m \cdot H_T,$$

где m - масса вещества или материала, кг;

H_T – количество тепла, выделяемого при сгорании 1 кг вещества или материала, МДж/кг.

Масса топочного мазута М-100 в цехе принимаем 53532 кг/год.

Для мазута $H_T = 40$ МДж/кг.

$$Q = 53532 \cdot 40 = 2141280 \text{ МДж.}$$

Площадь размещения пожарной нагрузки (S) принимаем равной 25 м².

Удельная пожарная нагрузка определяется по формуле:

$$q = Q/S,$$
$$q = \frac{2141280}{25} = 85651,2 \text{ МДж/м}^2.$$

Согласно ТКП 474-2013 помещение цеха при удельной пожарной нагрузке свыше 2200 МДж/м² относится к классу В1. Это пожароопасная категория помещения.

Основные выводы:

- необходимо разогревать нефтепродукт минимум на 10 °С ниже температуры вспышки. Это исключит аварийную ситуацию при использовании данного вида топлива;
- растворителями пользоваться нельзя, особенно у источников открытого огня, где может быть возгорание;
- для топочных мазутов важно соответствие паспортам качества.

Защитные средства, обеспечивающие безопасность на производствеФилянович Л.П.¹, Молош Т.В.²¹Белорусский национальный технический университет² УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

В соответствии с нормативными и техническими документами для предприятий оформляется проектная и конструкторская документация для защитных средств, необходимых для обеспечения безопасности для всех видов производственных процессов. При этом учитываются специфические особенности всех видов оборудования, которые находятся в эксплуатации на производстве. Основными видами таких защитных средств, обеспечивающих безопасность, являются:

- 1) системы ограждения;
- 2) системы торможения;
- 3) приборы и устройства сигнализации и блокировки;
- 4) применение специальных сигнальных цветов и окраски;
- 5) плакаты и знаки безопасности;
- 6) дистанционное управление;
- 7) применение систем АСУ ТП;
- 8) применение взрывобезопасного оборудования;
- 9) обеспечение защиты от поражения электрическим током и др.

При использовании оградительных систем основным их назначением является обеспечение безопасности при эксплуатации такого технологического оборудования, при котором возможны наличие вредных выделений, опасных излучений, внезапное резкое воспламенение или взрыв, а также защита при наличии отлетающих частиц обрабатываемого металла, или др. материалов.

В том случае, когда производственное оборудование и работник находятся в одной зоне, то в случае особой опасности, согласно проектной документации, должно быть предусмотрено специальное устройство, блокирующее запуск этого оборудования. Выбор вида системы ограждения, а также необходимость применения систем блокировки, обеспечивающих отключение производственного оборудования, определяется согласно проектной документации, исходя из вида опасного фактора, его мощности, зоны воздействия, а также исходя из условий обеспечения надежной защиты и удобств персонала при его эксплуатации.

При эксплуатации специфического оборудования, которое является источником опасных и вредных производственных факторов (производственный шум, вибрация, запыленность, загазованность, наличие различных излучений, опасность поражения электрическим током, взрывопожароопасные условия и др.) системы ограждения представляют собой сложные сооружения.

Приборы и устройства сигнализации и блокировки, являются весьма важным элементом при эксплуатации производственного оборудования, поскольку они должны своевременно предупредить персонал о возможной опасности. При этом предусмотрены системы световой, звуковой сигнализации, а также последующее за этим отключение оборудования и прекращение его действия.

В качестве световых и звуковых систем сигнализации используются специальные лампы различных цветов (зеленый, красный), которые подают сигнал при нормальном течении производственного процесса (зеленый) и о грозящей аварии (красный). Например, если в электроустановке, на каком-то из ее участков, подано высокое напряжение, или существует аварийная ситуация, то загорается красный сигнал, а также подается звуковой сигнал об опасности. При эксплуатации оборудования работающего под избыточным давлением газа, пара, воды, применяют системы сигнализации, которые срабатывают при аварийных уровнях значений параметров.

В процессе проектирования производственных процессов, обязательным является применение специальной сигнальной окраски и знаков безопасности. Применение этих средств в условиях эксплуатации производственного оборудования, является дополнением к другим техническим средствам, которые позволяют напомнить персоналу о соблюдении правил безопасной эксплуатации оборудования, помогают правильно ориентироваться в опасной производственной среде и снизить вероятность травмирования персонала.

Системы дистанционного управления при эксплуатации сложного и опасного технологического оборудования обеспечивают условия, при которых человек выводится из опасной среды и позволяют улучшить условия труда за счет изоляции его от опасных и вредных факторов производственной среды. При этом во многом облегчается труд персонала при использовании систем автоматизации управления производством.

Особенно важную роль в решении проблем обеспечения безопасности такие системы имеют в случае применения опасных вредных веществ, различных излучений, взрывчатых, легковоспламеняющихся, горючих материалов и др. В связи с этим, дистанционное управление приобретает все большее значение не только в области решения проблем обеспечения безопасности, но и решаются задачи повышения производительности труда, а также качество выпускаемой продукции.

Обеспечение электробезопасности в условиях производственных процессов решается за счет применения мер защиты от поражения электрическим током (применение защитного зануления, защитного заземления, применение плакатов и знаков безопасности, малых напряжений, а также соблюдение организационных и технических мероприятий, обеспечивающих безопасность электротехнического персонала при эксплуатации электроустановок и др.).

Применение средств, обеспечивающих взрывопожаробезопасность позволяет исключить процессы возникновения пожарной и взрывоопасной среды, не допускает образования источников, которые инициируют эти процессы. К таким средствам относятся: оборудование в герметичном исполнении; применение систем вентиляции, которые функционируют в условиях, как нормальной эксплуатации оборудования, так и в аварийной ситуации; обеспечиваются пути вывода взрывоопасной среды; контроль температуры нагрева оборудования; использование электрооборудования, защищенного от взрыва и др. При этом учитываются специфические особенности условий эксплуатации технологических процессов и условий труда персонала.

Для обеспечения взрывобезопасных условий эксплуатации оборудования согласно проектной документации предусматривается применение электрооборудования во взрывозащищенном исполнении. К таким видам оборудования относятся: исполнение с взрывонепроницаемой оболочкой, продуваемые под избыточным давлением воздухом или инертным газом, а также применяется методика автоматического отключения аварийного электрооборудования от сети.

При использовании электрооборудования в исполнении непроницаемом для взрыва, применяется специальное исполнение корпуса, которое защищает электрооборудование от наружных воздействий, при этом исключается появление искрения, а также каких-либо замыканий. Прочность применяемой оболочки рассчитывается на возможное аварийное давление взрыва. Фланцевые соединения в таком электрооборудовании выполняются с высокой степенью надежности в случае возникновения искрения, электрической дуги, в зоне работы электрооборудования.

Если применяется электрооборудование, продуваемое под избыточным давлением, то корпус этого оборудования заключен в плотные оболочки. Внутри этих оболочек, в течении всего времени работы электрооборудования, поддерживается избыточное давление воздуха или инертного газа. Продувка машины осуществляется также перед пуском ее в работу, а затем включается в работу электроустановка.

Для обеспечения взрывобезопасности электрооборудования может применяться также специальное исполнение защиты от взрыва. При таком исполнении применяется защитная оболочка, а также продувка под избыточным давлением воздуха или инертного газа.

Одним из видов защиты от взрыва является также кварцевое заполнение замкнутой оболочки электрооборудования. При этом кварцевый песок имеет зернистую структуру, весьма эффективно препятствует распространению пламени газовых смесей в производственных условиях. Свойства кварцевого песка такие, как постоянство химического состава и негорючесть, обеспечивают его большие возможности по защите электрооборудования от взрыва и пожара.

Организация безопасных условий труда при монтаже электрооборудования

Филянович Л.П.

Белорусский национальный технический университет

Методы выполнения работ по монтажу электрооборудования на подстанциях или рас­предустройствах предусматриваются проектной документацией в соответствии с действующими нормативными документами.

При выполнении работ учитываются требования к подстанциям, расположенным в помещениях цехов, производств, а также подстанциям, которые пристроены к производственным зданиям, либо являются отдельно стоящими на территории предприятий. Необходимо учитывать, что широкое применение получили также комплектные трансформаторные подстанции (КТП) и комплектные рас­предустройства (КРУ). Эти объекты являются отдельно стоящими и комплектуются из специальных шкафов, содержащих необходимую аппаратуру и приборы.

Монтаж КТП или КРУ основывается на установке в специальном помещении или на специальном участке, определенных видов электрооборудования, которые соединены друг с другом с помощью кабельных или воздушных линий. Электромонтажный персонал выполняет слесарные, сборочные и др. виды работ. Здесь принимаются меры защиты персонала от различных травм, ожогов, а также ударов электрическим током. При таких работах могут произойти механические травмы при переноске, транспортировании, установке различных видов электрических аппаратов.

Все виды работ по монтажу, установке, наладке электрооборудования выполняются в соответствии с планом производства работ, а также оформляется наряд. В наряде и плане производства работ указывается: все меры безопасности, которые необходимо соблюдать на всех этапах выполнения работ; состав бригады с указанием наличия группы по электробезопасности; лица, ответственные за безопасное проведение работ; сроки работ; порядок проведения инструктажа.

При допуске бригады к работе, допускающий указывает бригаде: места установки ограждений; наличие опасных и вредных факторов, которые присутствуют на рабочем месте; меры безопасности при выполнении погрузочных и разгрузочных работ; безопасные приемы работы в зоне грузоподъемных машин и механизмов.

При выполнении работ по подъему крупногабаритного электрооборудования (разъединителей, выключателей) во избежание травмирования, работы выполняются не менее чем двумя лицами. С целью предотвращения поражения персонала электрическим током, применяются электрозащитные средства.

В период монтажа электрооборудования на территории ТП, с помощью специального настила из прочных материалов, накрывается маслоприемник, во избежание падения персонала.

При монтаже электрооборудования в помещениях цехов большая вероятность получения механических травм при передвижении и установке электрооборудования на фундаменты и специальные площадки, а также при выполнении монтажных работ на внутренних электрических сетях. Для предотвращения травмирования персонала, лицо ответственное, должно ознакомить работников с планом производства работ, а также провести инструктаж. При этом особое внимание уделяется наличию опасных зон, траншей, открытых проемов.

При работах по прокладыванию проводов или кабелей сквозь различные конструкции (проемы, трубы, короба), руководитель работ, должен выдавать четкие команды для всех видов персонала, находящегося в опасной зоне. Обязательным является применение средств защиты.

При выполнении работ по монтажу и ремонту на воздушных и кабельных линиях, расположенных на территории предприятия и за его пределами, необходимо учитывать наличие следующих опасных факторов:

- 1) при выполнении рытья котлованов существует опасность получения механических травм;
- 2) опасность травмирования при удалении старых опор и установке новых;
- 3) опасность подъема на высоту, при работе на опоре и подвешивании проводов;

Электротехнический персонал должен быть обучен и проинструктирован перед выполнением работ по установке опор и протягиванием проводов. Руководитель работ обязан вести контроль в процессе выполнения работ и предотвращать появление посторонних лиц в зоне работ.

При выполнении подъема опоры необходимо установить ее положение специальными оттяжками. Запрещено персоналу находиться в зоне подъема или опускания опоры, если его функции не связаны с выполняемой работой, также запрещено оканчивать работу до выполнения всех действий согласно плану производства работ.

При подъеме на железобетонную опору применяют специальные лазы, а в верхней части опоры необходимо закрепление с помощью специального монтерского пояса. Применение телескопической вышки значительно снижает опасность несчастных случаев, различных ушибов, ранений при возможных падениях с высоты. Если выполняется подъем на верхнюю часть опоры тяжелых деталей, элементов оборудования, используются прочные канаты, перекинутые через блок. А регулирует подъем груза персонал, стоящий внизу, в стороне от поднимаемого груза.

При необходимости выгрузки силового трансформатора с железнодорожной платформы, она выполняется по специальному наклонному скату, выполненному из металлического профиля, или с применением бревенчатого ската, с обязательным углом наклона не более 15 градусов. Монтажные работы на силовых трансформаторах выполняются по инструкциям завода-изготовителя, которые идут в комплекте с техническими документами трансформатора. При установке трансформатора, во время его осмотра, ревизии и контроля его отдельных элементов, соблюдаются все требования завода-изготовителя. При необходимости промывки бака трансформатора, а также его арматуры, запрещено использовать горючие и легковоспламеняющиеся жидкости. На период монтажных работ силового трансформатора маслоприемник (специально подготовленная бетонированная яма) под трансформатором накрывается специальным настилом из прочного материала, во избежание падения персонала в эту яму.

При выполнении работ по монтажу электрооборудования, в цехах необходимо предусматривать меры безопасности во избежание травмирования персонала, ушибов и др. во время перемещения и установки электрических аппаратов. Для этого персонал должен быть ознакомлен перед началом работ с планом производства работ, необходимо выполнение всех требований наряда, оформленного для проведения работ. При этом, обязательным является проведение допуска к работам, инструктажа по охране труда. При допуске особое внимание обращают на наличие опасных и вредных факторов, имеющих место при выполнении работ; опасных зон; открытых проемов, каналов; указываются места установки переносного электрооборудования, электроинструмента, освещения, лесов, подмостей и др.

Работы по протягиванию проводов, кабелей через специальные проемы, трубы, короба, выполняются под контролем наблюдающего, который, при необходимости, подает четкие команды персоналу. Если выполняется перемещение, сборка, разборка малогабаритных электрических аппаратов, требуется использование специальных лебедок, которые обеспечивают безопасность при выполнении таких работ и предотвращают травмирование персонала.

Об использовании модификаторов на основе меди разной степени дисперсности, для получения отливок ответственного назначенияРудницкий Ф.И.¹, Шумигай В.А.², Куликов С.А.²¹Белорусский национальный технический университет²ОАО «Минский тракторный завод»

Разнообразные условия, предъявляемые к качеству и свойствам отливок, в совокупности с различием технологических схем их производства, обуславливают необходимость создания прогрессивных технологий повышения качества чугуна для отливок. На ОАО «Минский тракторный завод» остро стоит задача повышения эксплуатационных свойств изделий при минимальных затратах. Важной является проблема обеспечения стабильности качества литья. С этой целью проводится поиск эффективных технологических приемов. Как правило, методом для улучшения структуры и повышения физико-механических и эксплуатационных свойств чугунов при изготовлении отливок является модифицирование расплава. Под модифицированием чугуна понимают ввод в жидкий чугун перед заливкой в литейные формы специальных твердых, порошкообразных или жидких добавок, мало изменяющих химический состав, но значительно улучшающих свойства чугуна. Модифицирование является одним из наиболее эффективных методов воздействия на кристаллизацию с целью получения благоприятной структуры матрицы и формы графита. Основными факторами, определяющими эффективность модифицирования чугуна, по мнению Ребиндера П.А. и Липмана М.С. принято считать [1]:

- состав, количество и очередность ввода модификаторов;
- качество исходных шихтовых материалов и способ их переплава;
- химический состав расплава чугуна;
- способ подачи металла в литейную форму;
- скорость и условия затвердевания чугуна в различных зонах отливок.

Одним из возможных путей повышения эффекта модифицирования может служить применение дисперсных модификаторов. По своему механизму модифицирование дисперсным модификатором, совмещает как модифицирование I рода, так и модифицирование II рода. Модифицирование I рода проявляется в том, что образование новых структур блокирует растворение углеродных частиц, а модифицирование II рода проявляется в том, что эти структуры способствуют агрегатированию углеродных частиц в полноценные центры кристаллизации графита [2,3].

Существует мнение [3,4], что дисперсный модификатор эффективно влияет на кристаллизацию не только графитной фазы, но и на фосфидную эвтектику, и на первичное зерно чугуна, и на фазу неметаллических включений, активизируя последнюю в качестве дополнительных гетерогенных центров графитизации. Модифицирование чугуна дисперсными частицами, носит единый и всеобщий характер воздействия как на жидкий, так и на кристаллизующийся чугун, независимо от его предыстории. Другой важнейшей особенностью является его низкая чувствительность к значительным колебаниям химического состава расплава чугуна и к способам плавки, а также противодействует явлению увядания инокулирующего эффекта в процессе выдержки расплава в ковше перед заливкой формы, что увеличивает технологический цикл живучести расплава чугуна [4,5,6].

Модифицирование чугуна медью повышает его твердость, такой способ получил распространение при производстве антифрикционных тонкостенных отливок, в частности, для изготовления чугунных деталей цилиндропоршневой группы двигателей и гидроаппаратуры. С повышением углеродного эквивалента чугуна влияние меди на кристаллизацию графита уменьшается. В отливках блоков цилиндров, головок блоков из чугуна с низким углеродным

эквивалентом медь предотвращает отбел в поверхностных слоях и повышает твердость к середине, а в чугунах, близких к эвтектическим, легирование медью повышает и выравнивает твердость по сечению литых изделий, увеличивает их износостойкость [6,7].

Однако опыт применения дисперсных модификаторов на основе меди ограничен. С целью подтверждения целесообразности использования был проведен производственный эксперимент по модифицированию серого чугуна марки СЧ20 медью разной степени дисперсности. К таким модификаторам были отнесены: кусковая медь (КМ, диски Ø 40 x 2 мм) и дисперсная медь (ДМ, размер фракции 0,1-4 мм). На дно ковша емкостью 100 кг подавали предварительно взвешенный конверт с модификатором, в количестве: 0,1 кг – 0,1% массы и 0,5 кг – 0,5% массы. От каждого ковша в форму ХТС отливались образцы для определения механических свойств. Результаты испытаний приведены в таблице №1 и рисунках 1 и 2.

Таблица 1. Механические свойства образцов

Примечание	Твердость (min и max значения), НВ	Временное сопротивление при растяжении, МПа	Среднее значение твердости, НВ	Среднее значение временного сопротивления при растяжении, МПа	Содержание меди в образцах, %
Контрольный	197	203	192	205	0,12
	187	207			
КМ 0,1%	207	218	209,5	218,5	0,19
	212	219			
КМ 0,5%	207	215	212	217	0,48
	217	219			
ДМ 0,1%	215	227	210,5	228	0,21
	206	229			
ДМ 0,5%	217	232	212	232,5	0,53
	207	233			

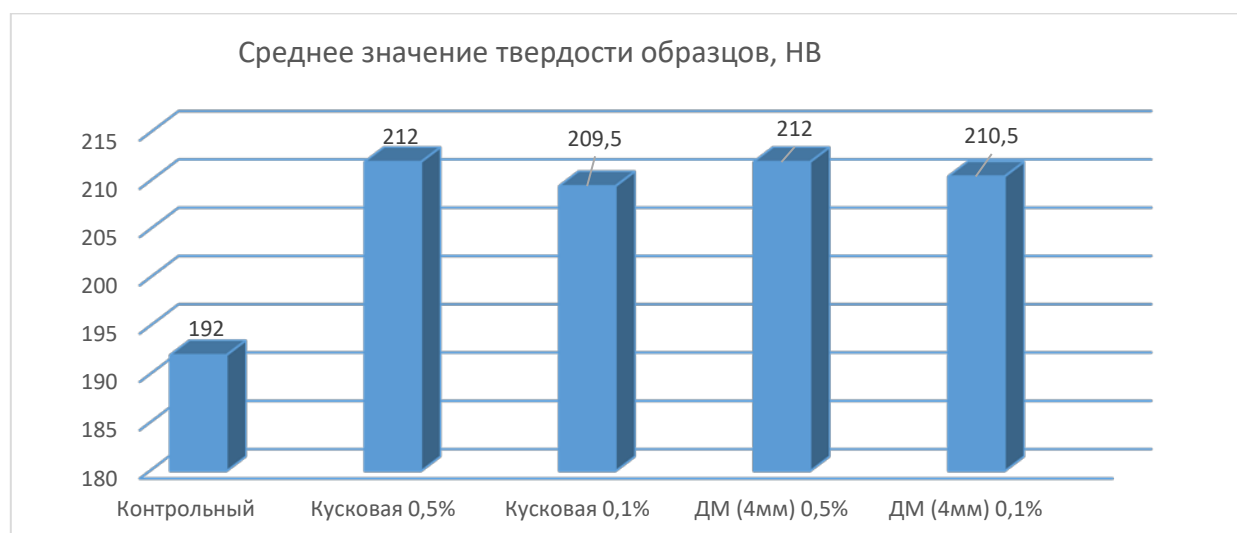


Рисунок 1 - Сравнение значений твердости образцов

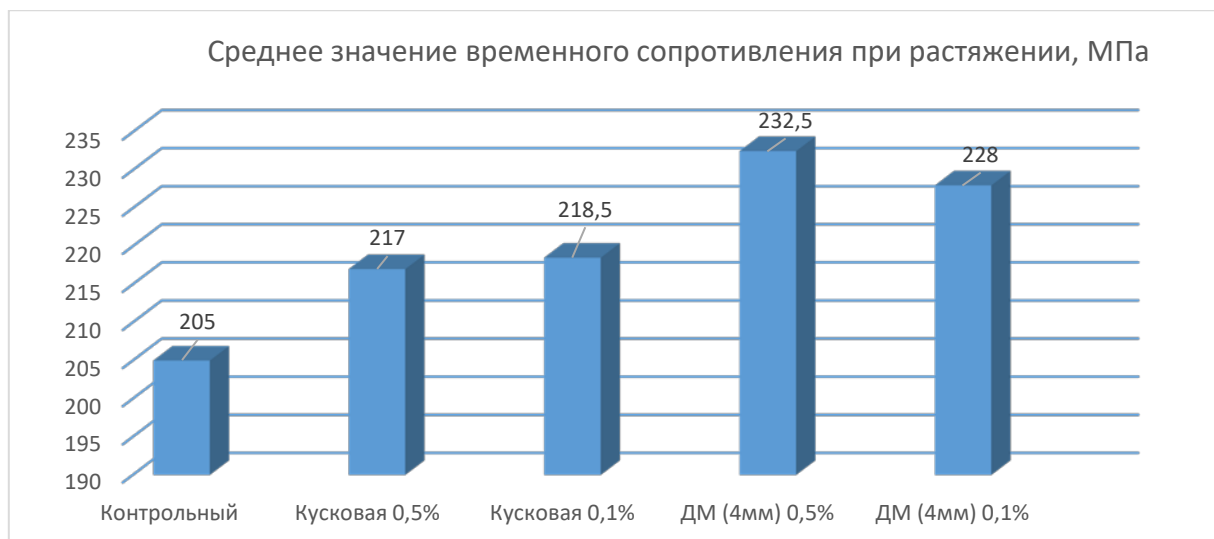


Рисунок 2 - Сравнение значений прочности образцов

Анализ результатов показывает следующее:

Изменение твердости образцов достигает максимума уже при 0,1% модификатора. Таким образом, перлитизирующая способность меди оказывает влияние на формирование металлической матрицы в пределах до 0,1 % по массе добавки и дальнейшее увеличение содержания меди с этой целью нецелесообразно.

Влияние степени дисперсности модификатора на основе меди на временное сопротивление при растяжении показывает, что по сравнению с кусковыми материалами, дисперсный модификатор позволяет получить более значительное увеличение механических свойств при одинаковом количестве водимой добавки. Это может быть связано с особенностью дисперсных систем – избытком поверхностной энергии.

Выводы. В случае применения дисперсных модификаторов, в том числе на основе меди, с учетом их размерного фактора, можно получать отливки повышенного качества при уменьшении расхода дорогостоящих материалов.

Литература

1. Ребиндер П. А., Липман М. С., Физико-химические основы модификации металлов и сплавов малыми поверхностно активными примесями, в кн.: Исследования в области прикладной физико-химии поверхностных явлений, М. - Л., 1936. – С. 164-166
2. Гольдштейн Я. Е., Мизин В.Г. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. М.: Металлургия, 1986. – С. 269 - 272.
3. Иванов В.Н. Словарь-справочник по литейному производству. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
4. Леках С. Н., Бестужев Н. И. Внепечная обработка высококачественных чугунов в машиностроении. Мн.: Наука и техника, 1992. – 269 с.
5. Рудницкий Ф.И., Куликов С.А., Шумигай В.А. «Использование энергии поверхности ультрадисперсных частиц при разработке наномодифицирующих комплексов», -Металлургия машиностроения. 2019.№6. – С. 9-13.
6. Рудницкий Ф.И., Куликов С.А., Шумигай В.А. «Об отличиях ультрадисперсных модификаторов от их макроразмерных аналогов» - Литейщик России.2021 №1. – С.25-28.
7. Рудницкий Ф.И., Куликов С.А. «Модифицирование чугунов ультрадисперсными добавками», - Литейное производство, №1(86), 2017. – С. 11-15.

Применение центробежного литья в машиностроении

Садоха М.А.

Белорусский национальный технический университет

В конструкциях современных машин значительная часть деталей изготавливают из отливок, полученных из различных материалов (стали, чугуна, алюминиевых, медных и других сплавов) – корпусные детали, детали двигателей, корпуса редукторов и многие другие изготавливают различными методами литья [1-3]. Доля литых деталей в отдельных видах техники может достигать 60-80% от общего веса машины.

По конструкции и технологической сложности литые детали машин существенно различаются. Значительная часть таких деталей представляют собой тела вращения. Это различного рода трубы, втулки, кольца, корпусные изделия, подшипники скольжения, венцы червячных колес, вкладыши, муфты, фланцы, цилиндры компрессоров, диски, ступицы и др.

Именно такие детали являются наиболее востребованными не только для основного производства, но и в качестве запасных частей, так как большая часть из них относятся к быстроизнашиваемым деталям машин.

Известно, что эксплуатационные свойства деталей и узлов машин существенно зависят от различных факторов, в том числе от свойств применяемого материала, структуры материала в изделии и от наличия дефектов в структуре, качества поверхности детали и др. [3,4].

Анализ существующих процессов литья с точки зрения оптимального варианта получения именно таких отливок показывает, что наиболее перспективным для организации их производства является метод центробежного литья.

Данный метод литья широко применяется при получении литых заготовок деталей, имеющих форму тел вращения [5]. Метод является достаточно универсальным и позволяет изготавливать отливки из различных металлов и их сплавов массой от нескольких килограммов до нескольких тонн. Размеры отливок также могут варьироваться в широком диапазоне. На рис. 1 представлена отливка диаметром 250 мм электротехнического назначения, изготовленная из меди марки М1.



Рисунок 1 - Отливка из меди марки М1, полученная центробежным методом литья (а) и заготовки, вырезанные из нее (б)

Наиболее существенными преимуществами метода центробежного литья по сравнению с литьем в стационарные формы (разовые или постоянные), можно определить следующие [5]:

- высокая плотность материала отливки (отсутствие пор и раковин, минимальное количество неметаллических и шлаковых включений) в теле отливки;

- более высокие физико-механические свойства материала отливки в прилегающей к наружной поверхности зоне;
- возможность на одном и том же оборудовании производить отливки из различных металлов и сплавов;
- небольшие производственные площади под размещение оборудования;
- высокая производительность;
- повышенный выход годного из-за отсутствия литниковой системы;
- возможность получения тонкостенных отливок из сплавов с низкой жидкотекучестью.

В настоящее время широкое применение центробежное литьё находит при изготовлении чугунных гильз цилиндров, цилиндрических втулок из алюминиевых и медных сплавов.

Для реализации метода центробежного литья используется специальное оборудование. Подбор оборудования по производительности, техническим параметрам осуществляется исходя из задач, стоящих перед производством: номенклатуры, размеров и массы отливок, материала отливок и т.п.

Среди разработок различных компаний имеется гамма машин для центробежного литья [3]. Основные виды оборудования для центробежного литья:

- однопозиционные машины;
- двухпозиционные машины.
- многопозиционные (карусельные машины).

Многопозиционные машины используются при организации массового производства отливок одного или нескольких наименований. Двухпозиционные – при серийном и единичном производстве нескольких наименований отливок. Однопозиционные – при единичном и мелкосерийном производстве отливок из различных сплавов.

Важной особенностью центробежного литья является возможность его организации для ремонтных целей на относительно небольших производственных площадях. Центробежное оборудование, как правило, может быть использовано без конструктивных изменений для получения отливок из различным металлов и сплавов. При этом эффективным может быть не только серийное и крупносерийное производство, но и изготовление единичных отливок и мелких серий.

Литература

1. Садоха М.А. Тенденции развития современных технологий литейного и металлургического профиля// Литье и металлургия. 2009. №4. С.14-17.
2. Садоха М.А. Технологические факторы повышения энергетической эффективности производства отливок из алюминиевых сплавов// Труды девятого съезда литейщиков России, 20-24 апреля 2009г./ под общ. Ред. И.А. Диброва: Уфа, 2009.- С. 333-335
3. Мельников А.П. Садоха М.А. Новые научно-технические разработки для модернизации и технического переоснащения литейных производств// Литье и металлургия. 2011. №3. С.7-10.
4. Садоха М.А., Мельников А.П. Повышение эффективности производства отливок из цветных и черных сплавов// Литье и металлургия. 2014. №2. С.47-50.
5. Андрушевич А.А., Охотский А.Д., Садоха М.А. Получение литых деталей для сельскохозяйственных машин центробежным методом// Литейное производство. 2020. №2. С.31-33.

Установка для автоматического контроля физико-механических свойств сырой песчано-глинистой формовочной смеси в процессе смесеприготовления

Голуб Д.М., Яцевич Н.А., Римошевский С.Л.
ОАО «БЕЛНИИЛИТ», г. Минск, Беларусь

В литейном производстве, в силу его технологических особенностей, брак продукции находится на более высоком уровне по сравнению с технологиями металлообработки. Около 50 % всего брака отливок прямо или косвенно связано с качеством формовочных материалов и смесей. Приготовление смесей стабильно высокого качества при низких затратах требует большего, чем просто хорошие смесители и формовочные материалы. Контроль свойств формовочной смеси играет важную роль в этой системе.

Отсутствие системы оперативного контроля и управления свойствами формовочной смеси на стадии смесеприготовления является одной из самых острых проблем в современном литейном производстве, что связано, в первую очередь, с трудностью автоматизации контроля параметров формовочной смеси и наличием ряда факторов, влияющих на ее свойства. При создании систем автоматического управления процессами смесеприготовления основным контролируемым параметром в большинстве случаев выбирается влагосодержание, а основным инструментом оперативного воздействия - дозирование воды, вводимой в состав. Остальные факторы, определяющие свойства приготавливаемой смеси: количество и соотношение подаваемых в смеситель компонентов (связующее, наполнитель, спецдобавки при этом сохраняются в большинстве случаев неизменными) задаются избранной технологией и требованиями, предъявляемыми к литейной форме.

Разработан метод и автоматическое устройство для контроля и управления качеством сырой песчано-глинистой формовочной смеси, который основывается на принципах комплексного замера - уплотняемости формовочной смеси, замера влажности и прочности в сыром состоянии, температуры прямо в процессе смесеприготовления (проба автоматически отбирается из смесителя). Оборудование встраивается в существующие автоматизированные смесеприготовительные комплексы, выпускаемые ОАО «БЕЛНИИЛИТ», возможна установка на смесители старой конструкции. Общий вид установки – смотрите на рис.1, технические характеристики – в таблице 1.

Пределы значений контролируемых свойств смеси:

- предел прочности на сжатие в сыром состоянии 0,4-2 кг/см²;
- уплотняемость – 25 - 50%;
- влажность (косвенный показатель) 2 – 6%;
- температура – 0-100 градусов по Цельсию.

Одной из задач проекта была разработка изготовления и внедрение локализованного автоматизированного лабораторного комплекса для оснащения практически всех литейных участков смесеприготовления, только визуализация. Вторая задача полный процесс автоматизации процесса управления качеством смесей во время смешивания.

Цель - создать простое по конструкции устройство, которое сообщит оператору о физико-механическом состоянии формовочной смеси, находящейся в смесителе, что создаст возможность корректировки и исключения выгрузки некачественной формовочной смеси и направления ее на формовочный участок.

Панель оператора (7 дюймов) имеет до 10 вкладок для удобства работы и обслуживания оборудованием, ведения статистики, определения неисправностей, ввода технологических настроечных параметров.

Таблица 1. Технические характеристики установки

Наименование параметров и размерность	Значение
Режим работы установки	автоматический
Тип установки	двухпозиционная
Способ формирования пробы	прессование
Тип привода	пневматический, электрический
Время цикла, с, не более	20
Размер гильзы, мм	диаметр высота
	50 100
Удельное давление прессования, N/cm^2 ($кгс/cm^2$)	100(10,2)
Род тока питающей сети	переменный трехфазный
Частота тока, Гц	50
Напряжение силовой цепи, В	220/380
Установленная мощность, кВт	
Рабочее давление сжатого воздуха в пневмосистеме, МПа, не менее	0,5...0,6
Расход сжатого воздуха, $m^3/ч$, не более	4

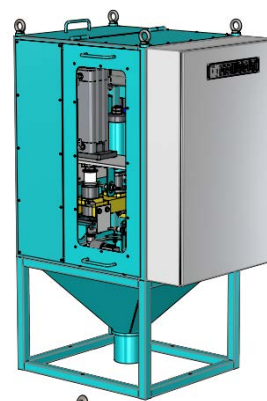
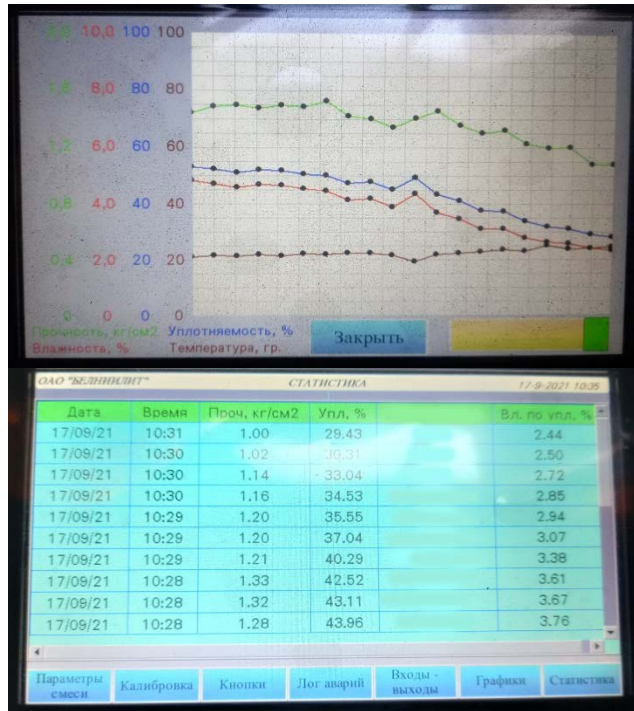


Рисунок 1 - Установка для определения свойств сырых песчано-глинистых формовочных смесей модели П1937, смонтированная на вихревом смесителе ОАО «БЕЛНИИЛИТ»

Получаемые результаты интересны тем, что дают возможность мгновенного сопоставления изменения свойств смеси на одной мнемосхеме. Разработанное ПО и применение современного контроллера в системе управления устройством предоставляет возможность анализа статистических данных свойств смеси в широких пределах, рис.2. Скорость измерения всех замеров – 15 секунд, что позволяет произвести до 5 замеров за 1 цикл смесеприготовления, если есть такая необходимость.



ОАО "БЕЛНИЛИТ"		СОСТОЯНИЕ ВХОДОВ - ВЫХОДОВ		17-9-2021 10:42
Входы				
0.02	SO1	Механизм перемещения на прессовании		
0.03	SO2	Механизм перемещения на загрузке		
0.04	SO3	Шибер втянут		
0.05	SO4	Шибер выдвинут		
0.06	SO5	Пробка отбора смеси открыта		
0.07	SO6	Пробка отбора смеси закрыта		
0.08	KM1	Привод ворошилки ВКЛ		
Выходы				
100.00	KM1	Привод ворошилки ВКЛ		
100.03	Y1	Поворот механизма перемещения на прессование		
100.04	Y2	Поворот механизма перемещения на загрузку		
100.05	Y3	Шибер втянут		
100.06	Y4	Шибер выдвинут		
100.07	Y5	Пробка отбора смеси		
101.00	Y6	Механизм уплотнения вверх		
101.01	Y7	Механизм уплотнения прессование		
101.02	Y8	Обдув бункера		
101.03	Y9	Обдув гильзы		
Параметры смеси Калибровка Кнопки Лог аварий Входы - выходы Графики Статистика				

Рисунок 2 - Панель оператора и примеры мнемосхем на панели

Система управления установки обеспечивает надёжное и стабильное определение требуемых параметров свойств формовочной смеси. Входными значениями для определения свойств смеси служат измеренные величины линейного перемещения, массы и температуры.

Постоянный контроль параметров свойств формовочной смеси будет обеспечивать: предупреждение образования брака отливок, уменьшение затрат на формовочные материалы и очистку отливок, повышение эффективности литейного производства.

Устройство может использоваться со смесителями любого типа, оно полностью устраняет ручной труд по управлению контролем качества смеси.

Влажность, температура, уплотняемость, сырая прочность каждого замеса автоматически определяется и сообщается оператору.

Конструкция устройства предусматривает стационарную его установку на смесителях различной конструкции.

Программное обеспечение блока контроля записывает и обрабатывает все заданные (требуемые) параметры смеси и данные, полученные в результате испытаний образцов, сопоставляет их и выдает управляющий сигнал на рабочие исполнительные органы.

Предусмотрено 2 версии ПО:

1. Обеспечивающее отображение свойств на панели;
2. Расширенная версия программного обеспечения блока, которая позволит регулировать дополнительную подачу воды и бентонита в песчаную смесь по результатам измерений свойств смеси в смесителе.

Разработка и изготовление установки в Республике Беларусь осуществлены впервые, в России подобных разработок нет.

Переработка и использование окалины

Телешова Е.В., Ровин С.Л.

Белорусский национальный технический университет

Окалина – продукт высокотемпературного окисления металла, представляющий собой чешуйчатые частицы различной толщины и размера. Железная окалина образуется при получении и высокотемпературной обработке (как правило при 700°C и выше) стальных и чугунных заготовок: непрерывной разливке и горячей прокатке, термообработке и ковке. Наибольшее количество окалины (до 1,5% от массы заготовки) образуется на машинах непрерывного литья заготовок, на литейно-прокатных станах на станах горячей прокатки. Каждый проход заготовки по вальцам сопровождается отшелушиванием слоя окалины и формированием нового слоя. После охлаждения и очистки проката из окалины, смазочных материалов и воды образуется металлургический отход – шлам, представляющий собой влажную замасленную окалину. Такой тип отходов относится к 3 классу опасности и при захоронении наносит существенный вред окружающей среде. Под действием осадков загрязняющие вещества проникают в глубь почвы и возникает вероятность заражения грунтовых вод. Восстановление природы занимает десятки лет при условии полной консервации полигона.

Для рециклинга (возвращения в производство) промасленной окалины с применением традиционного доменного производства или технологий внедоменной металлургии железа перед брикетированием, окатыванием или агломерацией необходимо удалить содержащиеся в ней нефтепродукты и влагу. Существуют различные технологии, такой очистки:

- биологические методы удаления нефтепродуктов (с помощью микроорганизмов), являются наиболее простым, но не отличаются 100% эффективностью и требуют значительного времени;

- химические методы удаления из окалины нефтепродуктов – применение поверхностно-активных моющих средств, эти методы эффективнее биологических, но приводят к образованию токсичных стоков, которые в свою очередь требуют дорогостоящей очистки;

- инсинерация – выжигание нефтепродуктов, как правило проводится во вращающихся печах, этот метод обеспечивает высокую производительность и 100% удаление влаги и масел, но требует мощной и дорогой системы пылегазоочистки;

- пиролиз – нагрев при дефиците кислорода, при этом происходит удаление нефтепродуктов, испаряющихся в реакторе и затем конденсируемых теплообменнике. Эффективность удаления нефтепродуктов таким методом также достигает 100%, кроме того, в сухом остатке образуется некоторое количество углерода, который потом вместе с окалиной смешивается с рудным концентратом и играет положительную роль при формировании брикетов или спекании агломерата. Недостатки данного метода: высокая стоимость оборудования, относительно низкая производительность процесса и сложности обеспечения его герметичности [1].

Некоторые разработчики предлагают и иные технологии решения задачи рециклинга окалины, которые условно можно отнести к специальным методам, однако они, как правило, имеют локальное значение. Так в статье [2] представлено комплексное решение задачи по совместной утилизации замасленной прокатной окалины и красного шлама с получением ликвидной продукции. Технология основана на взаимодействии в водных растворах продуктов термического окисления индустриальных масел на поверхности прокатной окалины и щелочных реагентов, содержащихся в красном шламе. Выход чугуна при плавке окатышей из полученной в итоге смеси окалины и красного шлама, вдвое превышает выход металла при отдельной плавке красного шлама. Предложенный вариант технологии может быть распространен на переработку других видов отходов черной металлургии, например, доменных и конвертерных шламов. В технологической схеме используется замкнутый цикл водооборота с компенсацией

потерь влаги с осадком и отработанным фильтратом, что повышает эффективность использования растворителя. Первичную обработку окалины предлагается проводить на месте ее получения, а вторичную (совместно с красным шламом) – на предприятии, перерабатывающем бокситы [2].

Развитие одностадийных способов получения стали из руды, минуя доменный передел, может служить базой для создания аналогичных процессов при переработке железосодержащих отходов, учитывая, что окалина содержит до 75% железа и по этому показателю не уступает обогащенным рудным концентратам. В настоящее время отработаны четыре основных способа переработки рудного сырья, которые с определенными оговорками и после предварительной подготовки могут быть использованы и для рециклинга отходов: получение металлизированных окатышей или агломерата, производство губчатого железа в твердом виде, кричного железа в пластичном состоянии, жидкого чугуна или полупродукта.

Рециклинг дисперсных металлоотходов без предварительного брикетирования или окускования представляется наиболее простым технологически и не требующим значительных капиталовложений. Работы в этом направлении привели к созданию систем Redsmelt, Hismelt, Ромелт и некоторых аналогичных. Системы предусматривают получение жидкого металла (чугуна или полупродукта). Из них лишь Ромелт основан на непосредственной переплавке дисперсных материалов. Прочие фактически на предварительных стадиях процесса осуществляют окомковывание, обжиг и частичное восстановление сырья [3].

Новая альтернатива появилась в последнее время в связи с разработкой технологии малотоннажного рециклинга дисперсных металлоотходов в ротационных наклоняющихся печах (РНП), авторство которой принадлежит белорусским ученым БНТУ и ГГТУ им. Сухого. Предлагаемая технология позволяет перерабатывать как металлические, так и оксидные дисперсные отходы практически в их исходном виде, без предварительной подготовки и окомкования, обеспечивая рентабельность даже при небольших объемах – до 1000-500 тонн в год, причем непосредственно на предприятиях, где эти отходы образовались, т.е. без их централизованного сбора, транспортировки и накопления [3].

Для оценки возможности и определения оптимальных режимов переработки в РНП окалины кузнечных и термических цехов ОАО «МТЗ» были проведены лабораторные исследования структуры и физических характеристик этих материалов, включавшие в себя определение влажности, размеров частиц, потерь при прокаливании, пористости, насыпной плотности. Кроме того, с целью определения оптимальных режимов рециклинга окалины, исследовались процессы ее твердофазного восстановления. В качестве восстановителя при этом использовался скрытокристаллический графит.

Образцы окалины имели среднюю насыпную плотность 2200-2500 кг/м³, влажность – не более 0,6%, потери при прокаливании – около 1%. Частицы окалины в образцах отличались большим разбросом размеров: от 1-2 до 10-20 мм, при толщине от 0,05 до 2-3мм, значительной пористостью и большим количеством поверхностных дефектов.

При проведении исследований процесса восстановления навеска окалины смешивалась с восстановителем в пропорциях 2/1. Подготовленные образцы помещались в муфельную печь. Температура нагрева образцов варьировалась в пределах 850–1150°C. Время пребывания материала в печи составляло от 20 до 60 мин. После извлечения образцов из печи они взвешивались. Контроль процесса восстановления осуществлялся по убыли массы, которая, в случае с сухой и обезжиренной окалиной, может быть связана только с удалением кислорода – металлизацией. Исследование проводили отдельно для мелкой (с размерами до 2-3 мм и толщине пластинки не более 0,5 мм) и крупной окалины (размеры не менее 5-10мм при толщине частички – не менее 1 мм). Данные проведенных исследований представлены на рисунке 1.

Из представленных данных видно, что скорость восстановления окалины значительно увеличивается при температурах выше 1000°C, а при температуре 1150 °C уже через 20 минут степень металлизации достигает 61,5%. В тоже время исследования показали, что при температурах около 1250°C окалина начинает активно спекаться. Таким образом, оптимальными

для восстановления окалины твердым восстановителем являются температуры в интервале 1000-1200°C, с увеличением температуры скорость восстановления растет (рис. 1.а).

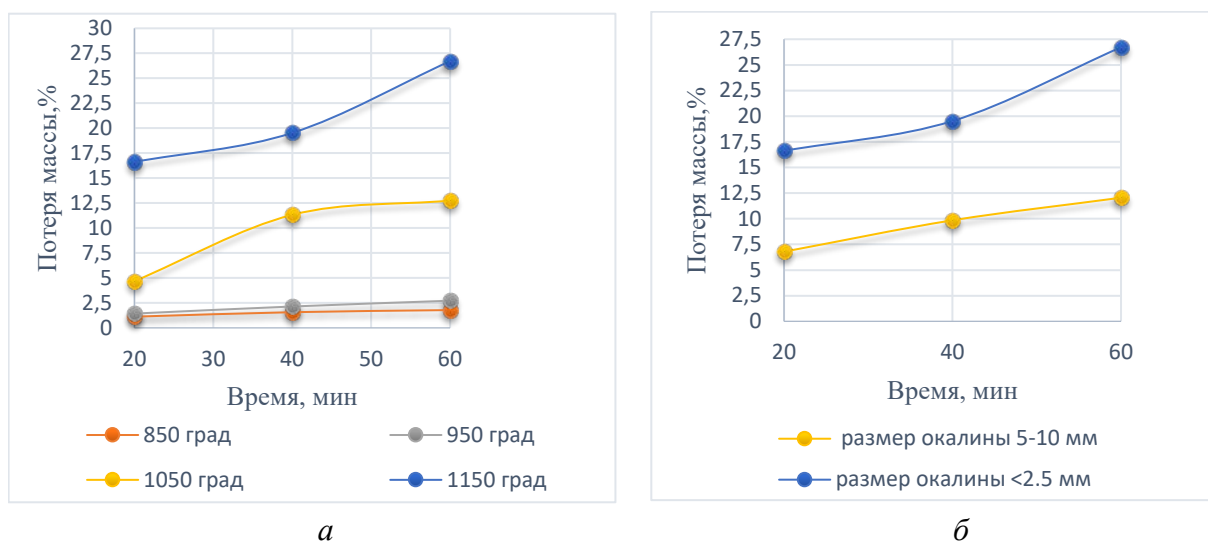


Рисунок 1 - Зависимость степени восстановления окалины от температуры (а) и размера частиц при температуре 1050°C (б)

Важную роль при твердофазном восстановлении играют также предварительная подготовка шихты: измельчение материалов – увеличение площади поверхности контакта (рис. 1.б), и тщательное смешивание частиц оксидов железа и восстановителя, приводят к значительному ускорению процесса восстановления. Это позволяет сделать вывод, что процессы нагрева и восстановления в динамическом слое при постоянном перемешивании, где каждая частичка контактирует с газом-восстановителем-теплоносителем, должны проходить еще более интенсивно. Таким образом, наиболее рациональным способом переработки окалины, образующейся на ОАО «МТЗ», представляется использование предлагаемого способа малотоннажного рециклинга с применением РНП [3].

Несмотря на усилия ученых, инженеров, экологов, промышленников проблема переработки и утилизации железосодержащих техногенных отходов по-прежнему остается чрезвычайно острой, объемы образования и накопления этих отходов продолжают расти. Перечень продукции, которая при современном развитии науки и техники может быть безотходно получена и потреблена, является весьма ограниченным. Поэтому усилия индустриально развитых стран сегодня направлены, во-первых, на предупреждение и минимизацию образования отходов, во-вторых, на их рециркуляцию и вторичное использование, и, наконец, на разработку эффективных методов переработки и полного обезвреживания отходов с тем, чтобы в отвалы попадали только материалы, не загрязняющие окружающую среду.

Литература

1. Липаев, А.А. Обращение с отходами производства и потребления: учебное пособие / А.А. Липаева, С.А. Липаев. – Москва; Волгоград: Инфа-Инженерия, 2021. – 408 с.
2. Танутров, И.Н., Свиридова, М.Н., Чесноков, Ю.А., Маршук, Л.А. Технологическое моделирование совместного выщелачивания замасленной прокатной окалины и красного шлама / Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2020. Том 63. № 11-12. С. 891 – 898.
3. Ровин, С.Л. Рециклинг металлоотходов в ротационных печах / С.Л. Ровин. – Минск: БНТУ, 2015. 382с.

Ровин С.Л.¹, Коренюгин С.В.¹, Насевич И.С.²

¹Белорусский национальный технический университет

²УП «Технолит», г. Минск

Литейные цеха являются наиболее опасными производственными объектами машиностроительных предприятий. С 2016 года все литейные, литейно-механические, гальванические и металлургические цеха, где производится или используется не менее 500 тонн жидкого металла в год, в соответствии Законом Республики Беларусь «О промышленной безопасности» от 05.01.2016 г. № 354-З [1], относятся к производственным объектам II типа опасности, подлежат обязательной регистрации в Государственном реестре опасных производственных объектов (ОПО) и должны иметь Декларацию промышленной безопасности – документ, в котором охарактеризованы все потенциально опасные агрегаты и технологические процессы, используемые на объекте; дана оценка вероятности возникновения и масштабов возможных аварийных ситуаций (риска аварий); отражены мероприятия по обеспечению промышленной безопасности объекта, направленные на предотвращение аварий, готовность к действиям при их возникновении и ликвидацию их последствий [2].

Согласно указанному закону эксплуатация опасных производственных объектов I и II типов опасности без наличия декларации промышленной безопасности запрещается [1].

В зависимости от тяжести аварийной ситуации и ее последствий принято различать: *инцидент* – отказ в работе или повреждение потенциально опасного оборудования, отклонение от параметров, обеспечивающих безопасность ведения технологического процесса, на опасном производственном объекте; *аварию* – разрушение опасных производственных объектов или потенциально опасного оборудования на ОПО, неконтролируемые взрыв и/или выброс опасных веществ; *промышленную катастрофу* – крупная промышленная авария, повлекшая за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей, либо разрушение и уничтожение объектов, материальных ценностей в значительных размерах, приведшая к серьезному ущербу окружающей природной среде [3].

Оценка риска аварий включает в себя два важнейших аспекта:

- определение вероятности возникновения аварийно опасного события и выявление его причин;
- анализ возможных последствий аварий, включая воздействие на людей, работающих на ОПО и находящихся за его пределами, на сам производственный объект и окружающую среду, а также расчет ущерба, нанесенного аварией.

При оценке риска аварии на ОПО важнейшее значение имеет определение надежности применяемых на объекте оборудования и технических устройств, тем более на таких энергонасыщенных с большим количеством технологического и вспомогательного оборудования производствах, как литейное и металлургическое [4].

Общая структурная схема проведения анализа опасностей и оценки риска аварий на опасном производственном объекте представлена на рис. 1.

Как правило авария сопровождается воздействием на окружающих людей и объекты поражающих факторов: термического, барического (ударно-волнового), токсического, радиационного действия.

Наиболее характерными на ОПО литейного и металлургического производства являются аварии, связанные с получением и использованием жидкого металла (плавкой, транспортировкой и разливкой расплава): взрывы, вызванные контактом расплава с водой; взрывы закрытых емкостей, заполненных жидкостью, попавших в расплав вместе с шихтой, а также пожары, вызванные возгоранием горючих материалов при контакте с расплавом [5].

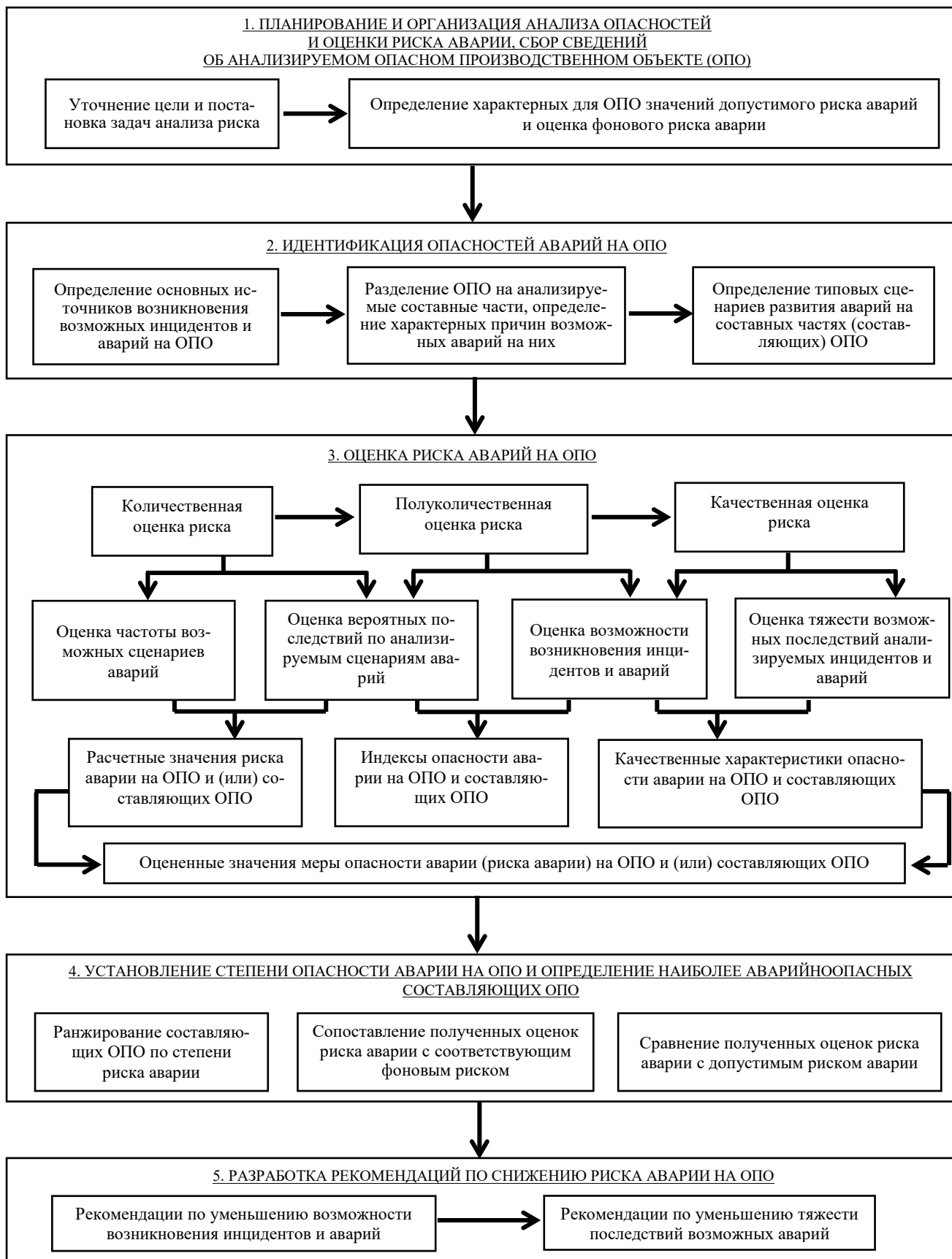


Рисунок 1 - Общая схема анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО

Типичными в литейных и металлургических цехах являются также аварии, связанные: с коротким замыканием в системах электроснабжения (в первую очередь плавильных электропечей); с эксплуатацией кранов и другого грузоподъемного оборудования; взрывы и возгорания

ния, связанные с эксплуатацией газопотребляющего оборудования, а также оборудования, потребляющего жидкое топливо; взрывы и возгорания пылегазовых смесей в системах аспирации, рекуперации и пылегазоочистки.

К наиболее тяжелым последствиям приводят взрывы, вызванные контактом расплава с водой. При контакте воды с расплавленным металлом (при загрузке влажной шихты в плавильные печи; попадании расплавленного металла на влажный пол, например, при транспортировке ковша, или приямком аварийного слива расплава или прогаре футеровки печи; заливке расплава в непросушенные ковши или скачивании шлака во влажные изложницы) возникает вероятность возникновения физического взрыва, связанного с мгновенным закипанием (испарением) воды в замкнутом объеме, ограниченном окружающим расплавом, который можно описать в соответствии с моделью взрыва резервуара с перегретой водой (BLEVE). При разрыве оболочки резервуара давление в нем резко падает до внешнего давления среды, окружающей резервуар. Перегретая вода, имеющая большой запас энергии, мгновенно вскипает. Происходит адиабатное (изоэнтропическое) расширение воды, мгновенно образуется большое количество пара – происходит физический взрыв. При таких взрывах кроме воздействия ударной волны персонал подвергается опасности термического ожога от разлетающихся брызг расплавленного металла и пара, а также физического поражения от разлетающихся с огромной скоростью кусков шихты и обрушающихся конструкций. Все вышеперечисленные факторы могут привести к тяжелым травмам вплоть до смертельных исходов [5,6].

Следует отметить, что анализ большинства аварий на производстве показывает, что их наиболее характерными причинами являются:

- нарушения обслуживающим персоналом требований промышленной безопасности, технологических инструкций и инструкций по охране труда;
- отказы и неполадки в работе оборудования и автоматики безопасности;
- износ, несвоевременный ремонт и замена технологического оборудования, автоматики безопасности и КИП;
- недостаточный контроль со стороны руководства за соблюдением требований безопасности и технологических инструкций.

Литература

1. Закон Республики Беларусь О промышленной безопасности от 05.01.2016г. № 354-3.
2. Положение о порядке разработки, оформления и представления декларации промышленной безопасности, внесения в нее изменений и (или) дополнений и учета таких деклараций. (утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь №627 от 10.08.2016).
3. Белов С.В., Ильницкая А.В., Козьяков А.Ф. и др. Безопасность жизнедеятельности. 7 изд. – М.: Высшая школа, 2007. – 616 с.
4. Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М. и др. Надежность технических систем и техногенный риск. – М: Деловой экспресс, 2002. – 367 с.
5. Бабайцев И.В., Попова Е.В., Джемилев Н.А., Карнаух Н.Н. Методические указания по оценке последствий взрывов при аварийных выходах расплавов металлов. // Безопасность труда в промышленности. – 1995. – №4. – С.36-40.
6. Кузнецов О.В. «Разработка методов прогнозирования и предотвращения последствий взрывов при аварийном взаимодействии расплавленного металла с водой и кислородсодержащими материалами» дисс. к.т.н. специальность 05.26.03 Пожарная и промышленная безопасность (металлургия), Москва, МИСИС, 2001. – 171с.

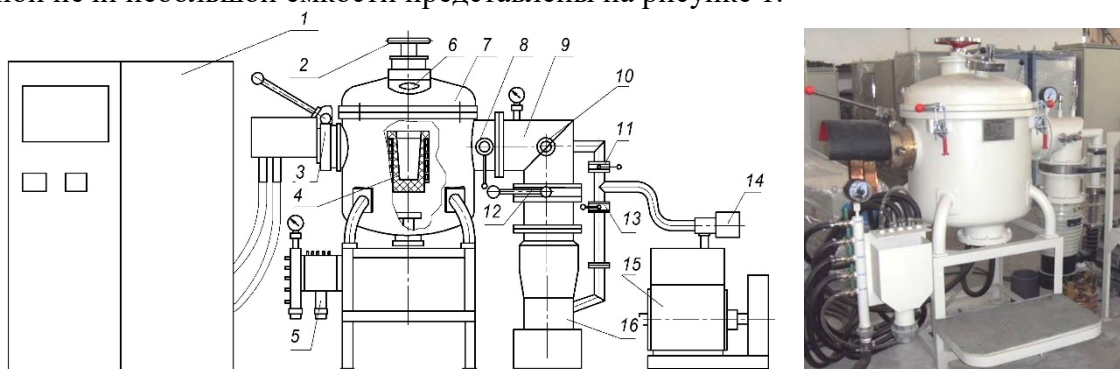
Конструкции современных вакуумных индукционных плавильных печей

Корнеев С.В.

Белорусский национальный технический университет

Многообразные конструкции вакуумных индукционных плавильных печей можно разделить на группы по конструктивным признакам, среди которых основными являются расположение индуктора относительно вакуумного пространства (с индуктором расположенным в вакуумном пространстве и вне вакуумного пространства), способ разлива сплава (с донным разливом и с разливом через носок), режим работы и конструкции загрузочных устройств и изложниц (периодического, полунепрерывного и непрерывного действия), возможность работать с избыточным давлением (вакуумно-компрессионные печи) и др.

Основные элементы наиболее простой по конструкции однокамерной вакуумной индукционной печи небольшой емкости представлены на рисунке 1.



1 – шкаф с источником питания индуктора и контрольной и измерительной аппаратурой; 2 – устройство для загрузки сплава; 3 – поворотная оправка; 4 – индуктор с установленным тиглем; 5 – выходы для подключения системы водяного охлаждения; 6 – смотровое окошко; 7 – крышка вакуумной камеры; 8 – органы управления устройством измерения температуры; 9 – вакуумный блок; 10 – клапан вентиляции; 11 – клапан предварительного насоса; 12 – главный клапан; 13 – вспомогательный клапан; 14 – клапан надува; 15 – двухступенчатый механический вакуумный насос; 16 – диффузионный насос

Рисунок 1 – Основные элементы однокамерной вакуумной индукционной печи малой емкости

Корпус плавильной камеры вакуумной печи представляет собой двустенную вертикальную емкость, между стенками которой протекает охлаждающая вода. Крышка камеры также имеет двойные стенки. Устройство для подачи сплава содержит специальный многосеточный питатель с заранее помещенными необходимыми сплавами (элементами) для добавления которых необходимо повернуть маховик на определенный угол. Индукционная катушка (индуктор) изготовлена из прямоугольной медной трубки. В катушке находится тигель. Катушка соединяется с входным и выходным подводами гайками. Вращающаяся оправка одновременно подводит ток и воду к индуктору. Точка входа концентрической оправки в корпус вакуумной печи герметизирована с помощью вакуумной резины, что обеспечивает возможность совместного вращения катушки и тигля с расплавленным металлом. Смотровое окно крышки состоит из кварцевых стекол и защитной заслонки. Устройство измерения температуры представляет собой рычажный механизм с установленной термопарой для ввода ее в тигель поворотом ручки. Также печь оснащается вакуумметрами для измерения низкого вакуума и высокого вакуума. Главный клапан предназначен для создания в камере печи высокого вакуума при помощи диффузионного насоса в сочетании с двухступенчатым механическим насосом.

Современные производители оснащают печи пневматическими системами, позволяющими автоматизировать основные операции и выполнять плавку по заранее заданным программам.

В настоящее время разработано и эксплуатируется значительное количество камерных индукционных вакуумных печей разнообразных конструкций:

VIM (однокамерная ВИП);

VIM-МС (movable mold chamber) – с передвижной камерой. Двухкамерная система с отдельной передвижной камерой-шлюзом для изложниц;

VIM-НМС / VIM-VMC – с отдельной горизонтальной или вертикальной камерой форм;

VIM-МТ – с модулем подготовки форм;

VIM-VCC – с вертикальным непрерывным литьем;

VIM-НСС – с горизонтальным непрерывным литьем;

VIM-ДС – с направленной кристаллизацией;

VIM-FC – с отливом пластин;

VIM-ВР (bottom purging) – с донной продувкой;

VIM-LS (launder system) – с лотковой системой. Используется сменный подогреваемый лоток для разлива расплава;

VIM-DD (double-door arrangement) – с двухдверной компоновкой;

VIM-Р – с режимом работы под избыточным давлением

VID (vacuum induction degassing) – вакуумная индукционная дегазация. Используется для плавления и дегазации специальных сталей и сплавов с разливкой в ковш или литейные формы.

VIDP (Vacuum Induction Degassing and Pouring) – печь вакуумной дегазации и разливки сплава под вакуумом (рисунок 2).

Установка VIDP включает источник электропитания, плавильную камеру, устройство для загрузки, разливочный желоб, разливочную камеру, вакуумные насосы, а также дополнительные устройства.

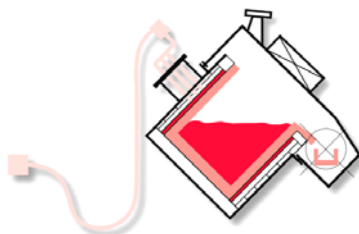


Рисунок 2 – Конструкция печи типа VIDP

Достоинства печей типа VIDP: компактная конструкция, меньшее потребление инертного газа при заполнении, более экономичная вакуумная система, меньшая высота и занимаемая площадь; минимизация или удаление нежелательных газов при утечках из гидравлической и системы охлаждения, дегазации тигля, десорбции с поверхности корпуса и т.д.; использование шлаковых затворов и керамических фильтров с разливочным желобом для повышения чистоты металла; расположенные снаружи механизмы наклона, разъемы для подключения подводов для снабжения энергией и рабочими средами облегчают доступ и уменьшают затраты на обслуживание.

Помимо выплавки специальных сталей и сплавов для узких областей применения имеется тенденция к расширению области применения вакуумных индукционных печей в машиностроении, металлургии и других отраслях. Большинство известных производителей индукционных вакуумных печей имеют близкие конструктивные решения для аналогичных областей применения печей. Отметим некоторые особенности технических решений печей для вакуумной плавки и дегазации.

Компания Consarc, входящая в группу Inductotherm (США) производит VIM емкостью от 1 до 10 тонн для выплавки лигатур для последующего прецизионного литья. Трехступенчатая вакуумная система обеспечивает достижение окончательного уровня вакуума до $1 \cdot 10^{-5}$ Па. Для

выплавки переплавляемых электродов имеются решения с емкостью тигля более 30 тонн. Печи VCAP (емкостью от 50 кг до 20 тонн) предназначены для индукционной плавки твердой шихты в воздушной атмосфере (или в вакууме) с конечной стадией дегазации под вакуумом. Окончательную заливку металла производят на воздухе или в защитной атмосфере инертного газа. Конфигурация основана на линейке индукционных печей Inductotherm, которые адаптированы компанией Consarc для вакуумной обработки жидкого металла.

Компания Otto Junker (Германия) предлагает две концепции вакуумных печей MFT Vac с индуктором в вакуумной среде (до 25 тонн по стали, вакуум $0,5 \dots 10^{-2}$ мбар, а по запросу до 10^{-4} мбар) и вне вакуумной среды (до 10 тонн по стали, вакуум 0,5-200 мбар) [2]. Преимущества первого варианта: закрытая конструкция (катушка внутри вакуума) позволяет работать при 10^{-2} мбар при плавке, легировании и обработке металла, а также разливке под вакуумом. Преимущества второго варианта: индукционные катушки с соединениями подвода мощности и охлаждающей воды находятся вне вакуумной среды, свободно доступны и находятся в открытой атмосфере; обеспечивается максимальная безопасность работы; предотвращается образование электрического тлеющего разряда и не требуется сложных вакуум-плотных оправок для подвода мощности и охлаждающей воды; ниже инвестиции и др.

Конструкция печи MFT Vac с индуктором вне вакуумной среды представлена на рисунке 3.

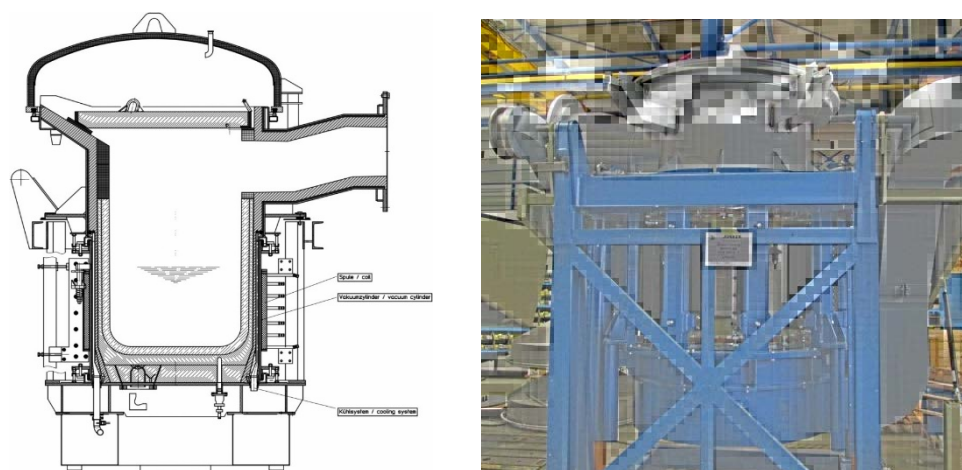


Рисунок 3 – Конструкция печи MFT Vac с индуктором вне вакуумной среды [2]

Компания ALD Vacuum Technologies (Германия) предлагает установки вакуумной индукционной дегазации VID емкостью до 30 тонн способные обеспечить функции одновременно двух агрегатов, широко применяемых в металлургии, таких как ковш-печь (LF) и установки вакуумной дегазации и вакуум кислородного обезуглероживания (VD/VOD).

Печи оснащаются продувкой расплава инертным газом (Ar). Стандартное рабочее давление составляет от 0,5 до 5 мбар. Компанией предлагается три варианта конструкции установок вакуумной дегазации: VID (разливка расплава в условиях окружающего воздуха), VID Pro (разливка расплава в условиях защитного газа), VID Oxy (подача кислорода и обработка шлака) [3]. Варианты конструкции печей представлены на рисунке 4.

Анализ условий схватывания частиц меди и медных сплавов с поверхностью углеродистой стали при прокатке

Минько Д.В., Апишев В.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время, наряду с известными усовершенствованными технологическими процессами получения композиционных полуфабрикатов, в металлургии отводят место такой технологии, как сварка давлением. Она основана на интенсивной пластической деформации металлов без нагрева, что позволяет сваривать термически разупрочняемые металлы без снижения механических свойств вблизи зоны сварного шва. Известно, что поверхность металла покрыта окисными плёнками, адсорбированными газами, органическими молекулами. Сварка давлением происходит в результате разрушения этих слоёв и развития физического контакта между чистыми поверхностями двух металлов.

К процессу холодной сварки, в том числе относят плакирование прокаткой стальной основы порошками других металлов, что позволяет получать композиционный многослойный материал, используемый в дальнейшем для изготовления подшипников скольжения, ленточных тормозов, изделий с защитными покрытиями, фторопластовые антифрикционные ленты и т.п. Обычно в качестве антифрикционного материала применяют баббиты, алюминиевые и медные сплавы [1]. Такой метод нанесения покрытия является высокопроизводительным и имеет малую энергоёмкость вследствие отсутствия печного спекания порошка. Основной проблемой данной технологии является получение качественного схватывания частиц меди со стальной лентой, так как качество соединения во многом обеспечивает эксплуатационные характеристики получаемого соединения.

Целью исследования является анализ условий, благодаря которым осуществляется схватывание частиц меди со стальной полосой методом прокатки.

В работах [2, 3] приведено условие получения качественного соединения между слоями биметалла при объёмном взаимодействии для сварки с усилиями различной степени интенсивности. В [4] это условие использовали для аналитического определения адгезии при плакировании прокаткой, которое имеет вид:

$$t_d \geq t_a \geq t_p, \quad (1)$$

где t_d – время совместной пластической деформации; t_a – время активации поверхности менее деформируемой основы в зоне соединения; t_p – время релаксации остаточных напряжений в покрытии.

Авторами аналитически определена интенсивность сдвиговой деформации γ_i на контактной плоскости деформируемой основы для зон отставания и опережения; из уравнения теплового баланса Q_i получена формула для определения средней температуры в очаге деформации при прокатке.

С целью подтверждения возможности практического использования полученного аналитического условия были проведены эксперименты с нанесением алюминиевого, никелевого и хромового порошка на поверхность полосы из стали 08 кп шириной 15 мм, и толщиной 1,5 мм при одинаковых режимах прокатки: скорости $\vartheta_{II} = 2,2$ мм/с, и относительном обжатии $\varepsilon = 15$ %.

Эксперименты показали, что при одинаковых режимах прокатки и при температуре, равной комнатной, происходило отслоение всех материалов покрытия от стальной полосы (в работе не уточняется то, как подготавливалась поверхность). При анализе причин отслоения использовали условие (1), где учли все параметры, определяющие основные компоненты этого условия. Во всех трёх случаях условие не выполнялось.

Для устранения отслоения для всех приведенных материалов была увеличена начальная температура прокатки до $T_0 = 867$ К, что поспособствовало адгезии между покрытием из

алюминиевого порошка и основой и соблюдению условия (1), однако для покрытий из порошков никеля и хрома увеличение T_0 и условие (1) не было соблюдено, что не поспособствовало адгезии.

В работе [5] определяли продолжительность релаксации напряжений t_p с использованием выражения:

$$t_p = t_0 \exp\left(\frac{U}{RT}\right), \quad (2)$$

где t_0 – период собственных колебаний атомов около равновесного положения; U – энергия активации процесса, контролирующего релаксацию внутренних напряжений; R – универсальная газовая постоянная; T – средняя объемная температура в очаге деформации [2].

Время релаксации t_p определяли при плакировании прокаткой пластины из стали 08 кп толщиной 5 мм медным порошком марки ПМС-1 при температуре 20 °С. Теоретическая зависимость (1) для t_p при этом хорошо согласовывалась с результатами эксперимента.

Подготовка поверхностей материалов, подвергаемых холодной прокатке, является одним из основных критериев для их успешного схватывания. В работах [6, 7] продемонстрированы примеры подготовки поверхности, применяемые на производстве. К ним относятся:

- механическая зачистка вращающимися стальными щётками до металлического блеска или шабрением;
- обезжиривание поверхности;
- сушка поверхности;
- нанесение твёрдых гальванических покрытий.

Условие (1) дает возможность учитывать при плакировании прокаткой используемые материалы и технологические режимы, которые в последующем можно будет корректировать для достижения необходимой адгезии между слоями биметалла, и использовать это условие непосредственно при плакировании частицами меди и медных сплавов. Также стоит учитывать необходимость подготовки поверхности для лучшего схватывания частиц меди и углеродистой стали.

Литература

1. Кобелев, А.Г. Технология слоистых металлов / А.Г. Кобелев, И.Н. Потапов, Е.В. Кузнецов. – М.: Металлургия, 1991. – 248 с.
2. Каракозов Э.С., Орлова Л.М., Пешков В.В. Диффузионная сварка титана. - М.: Металлургия, 1977. – 272 с.
3. Бобарикин Ю.Л., Стрикель Н.И., Урбанович А.М. Основные закономерности плакирования стали прокаткой металлическими порошками // Материалы, технологии, инструменты. – 2000. – Т. 5. – № 1. – С. 62-65.
4. Селивончик, Н.В. Анализ условия достижения адгезии между слоями биметалла при плакировании прокаткой / Н.В. Селивончик, Ю.Л. Бобарикин // Вестн. Гомельск. гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. – 2003. – № 1. – С. 29 – 38.
5. Бобарикин, Ю.Л. Определение продолжительности релаксации напряжений в покрытии при плакировании прокаткой / Ю.Л. Бобарикин, Н.В. Иноземцева, А.М. Урбанович // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Прикладные науки. Промышленность. – 2008. – № 2. – С. 102-106.
6. Изготовление сталелатунного биметалла холодным плакированием / А.В. Колмаков, Ю.В. Плужников, А.П. Пудовкин, В.Н. Чернышов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2003. – Т. 9. – № 4. – С. 698-703.
7. Стройман, И.М. Холодная сварка металлов / И.М. Стройман. – Л.:Машиностроение : Ленингр. отд-ние, 1985. – 224 с.

Выбор оптимальных вариантов переработки оловянно-свинцовой изгари

Трибушевский Л.В., Немененок Б.М., Шейнерт В.А.
Белорусский национальный технический университет

Практика переработки оловянно-свинцовой изгари показывает, что содержание основных компонентов и примесей в составе получаемого сплава колеблется в широком диапазоне: 40,03-62,0 % Sn; 39,0-59,26 % Pb; 0,05-0,87 % Cu; 0,1-0,31 % Fe; 0,03-0,11 % Sb; 0,02-0,04 % Ag; 0,01-0,05 % Bi, при этом в отдельных партиях встречается до 0,1 % Ni; 0,01 % As; 0,05 % Ca; 0,12 % Si [1]. Это в значительной степени затрудняет выбор схемы для переработки поступающих отходов.

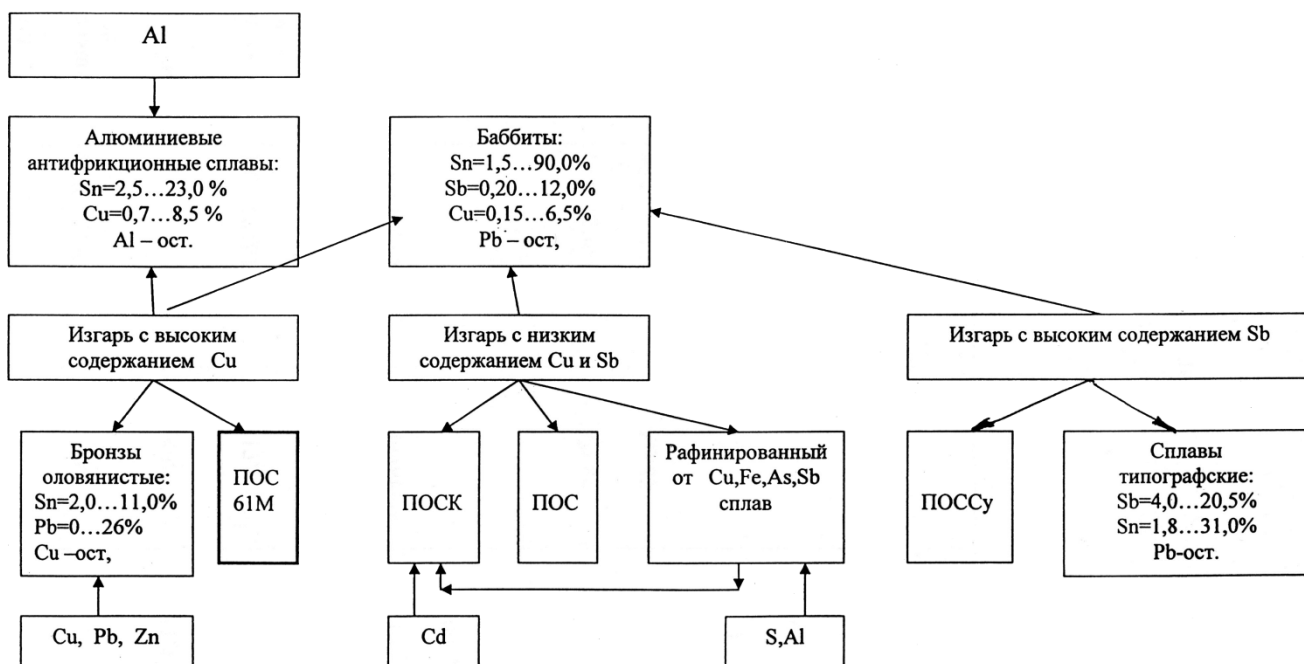
Для большинства оловянно-свинцовых припоев известны температуры их фазовых переходов, что позволяет индексировать состав по кривым охлаждения. Основываясь на данных работы [2] были выбраны температуры фазовых переходов основных оловянно-свинцовых припоев (таблица 1).

Таблица 1 - Температуры фазовых переходов оловянно-свинцовых припоев [2]

Марка припоя	Температура, °С	
	солидус	ликвидус
ПОС 90	183	220
ПОС61		190
ПОС 40		238
ПОС 10	268	299
ПОС 61 М	183	192
ПОСК 50-18	142	145
ПОССу 61-0,5	183	189
ПОССу 50-0,5		216
ПОССу 40-0,5		235
ПОССу 35-0,5		245
ПОССу 30-0,5		255
ПОССу 25-0,5		266
ПОССу 18-0,5		277
ПОССу 95-5	234	240
ПОССу 40-2	185	229
ПОССу 35-2		243
ПОССу 30-2		250
ПОССу 25-2		260
ПОССу 18-2		270
ПОССу 15-2	184	275
ПОССу 10-2	268	285
ПОССу 8-3	240	290
ПОССу 5-1	275	308
ПОССу 4-6	244	270

Определение критических точек сплава с точностью $\pm 1,3$ °С на термограммах охлаждения проводили с использованием прибора термического анализа, разработанного на кафедре «Металлургия черных и цветных металлов». Время анализа составляло 3-6 минут с интервалом замера температуры 0,05 сек.

Если установленный состав сплава и возможности его очистки от примесей не позволяли использовать сплав в качестве рабочего по ГОСТ 1930-76, то его задействовали для производства лигатур, необходимых при плавке других цветных сплавов. Возможные схемы использования сплавов, получаемых из оловянно-свинцовой изгари, приведены на рисунке 1.



Литература

1. Влияние примесей на свойства оловянно-свинцовых припоев и способы их удаления при рециклинге изгари / Г.В. Довнар [и др.] // *Металлургия: Респ. межвед. сб. науч. тр. / БНТУ*; редкол.: И.А. Иванов (гл. ред.) [и др.]. - Минск, 2021. - Вып. 42. - С. 35-47.

2. *Машиностроительные материалы: Краткий справочник* / В.М. Раскатов [и др.]. - М.: Машиностроение, 1980. - 175 с.

Концепция создания искробезопасных термодиффузионных слоев комбинированной обработкой

Судников М.А.

Белорусский национальный технический университет

Образование фрикционных искр при трении и ударе может привести к аварийным ситуациям, связанным с воспламенением легковоспламеняющихся, горючих жидкостей и пр. Сами по себе фрикционные искры это частицы вещества, образующиеся в результате трения и соударения, при этом они раскаляются до высокой температуры, как правило, до температуры видимого свечения.

Во многих странах, как отмечается исследователями, до 50 % случаев, источниками пожаров и взрывов являются именно механические искры от фрикционного взаимодействия [1, 2]. На предприятиях, где такая вероятность существует, проводятся мероприятия по снижению рисков. Они реализуются, в частности через применение материалов, которые полностью или частично исключают образование искр при фрикционном взаимодействии.

Требования по использованию искробезопасных материалов вытекают обычно из требований к помещениям или производственным зданиям, где производится тот или иной небезопасный продукт.

Известно, что зажигание при ударе и трении возможно в результате [1]:

- зажигания нагретой поверхностью в местах удара и трения;
- зажигания искрами, образующимися при ударе и трении;
- нагрева газовой среды в ограниченном пространстве теплом, выделяющимся при ударе и трении.

Основным является первый механизм, однако второй механизм в окислительной среде воздуха является тоже чрезвычайно опасным для возможного искрообразования [1].

Отметим, что особенностью фрикционного контакта является его дискретность, т.е. взаимодействие лишь в фактическом пятне контакта, в котором концентрируется вся механическая энергия.

В настоящее время в отечественной и международной практике используется достаточно большое количество искробезопасных материалов, в частности практикуется использование алюминиевых и медных сплавов. Как правило, структурная особенность такого рода материала это гетерогенная структура подчиненная правилу Шарпи, т.е. обычно состоит из твердых частиц (фаз), распределенных в пластичной матрице, которая должна обладать рядом дополнительных характеристик – повышенной теплопроводностью и способностью окисляться с образованием защитной оксидной пленки [3, 4].

Предыдущими исследовательскими работами отмечено, что применение покрытий и слоев, в том числе диффузионного типа с экономической точки зрения оправдано и эффективно [5]. Однако, имея определенную толщину они, как правило, не обеспечивают долговременную защиту изделий от возможного образования опасных фрикционных искр, при постоянном взаимодействии слой способен достаточно быстро изнашиваться. А если речь идет об ударных нагрузках, слои диффузионного типа, обычно толщиной до 0,5 мм, способны лишь на однократную защиту.

Из слоев диффузионного типа, для стальных изделий из конструкционных углеродистых сталей, в настоящее время, по нашим данным, лучшие показатели по искробезопасности имеет слой после боросилицирования [5]. Однако из-за высокой хрупкости такой слой не может эффективно работать в условиях ударных нагрузок.

Конкурирующими процессами при создании искробезопасных слоев на сталях также являются однокомпонентное диффузионное легирование бором, цинком, кремнием и многокомпонентное, более затратное, но обеспечивающее более высокий комплекс механических свойств и износостойкости - карбозотирование, бороалитирование и др. [6, 7].

Отметим важную особенность - диффузионный тип слоя традиционно имеет градиент только по глубине, не предполагая какой-либо неоднородности по поверхности.

Создание искробезопасных термодиффузионных слоев комбинированной обработкой формирует возможность создания слоя с чередующимися структурными составляющими регулярного и нерегулярного характера по поверхности. В результате такого композиционного строения происходит фрагментация поверхности на участки с разными физико-механическими свойствами. Следовательно, при активном фрикционном взаимодействии формирование искры происходит в объеме равном или менее того объема, который определяется дискретностью структуры, поскольку механика разрушения будет происходить преимущественно по границам раздела фаз (структурных составляющих). Т.е. фрагментация поверхности на участки с разными физико-механическими свойствами, будет, по нашему мнению, влиять на размер искр. Тогда при существенной фрагментации, дроблении отделяющегося объема искр вероятность достижения высоких температур в процессе горения ниже и соответственно выше искробезопасность слоя.

Следующим важным преимуществом комплексной технологии включающей термодиффузионное борирование это расширение функциональных возможностей материала в широких пределах, не только повышение его искрозащищенности, например, а и других свойств, в частности, коррозионной стойкости. Существующие наработки в области комбинированных технологий с участием термодиффузионного борирования позволяют создать конгломерат фаз с количеством железобористой фазы 20...95 %, соответственно и свойства таких слоев будут существенно различаться.

Таким образом, новым этапом развития технологий создания искробезопасных термодиффузионных слоев, прежде всего боросодержащих, может являться получение композиционного строения такого слоя с высокой степенью дискретности по поверхности за счет комбинированных технологий.

Литература

1. Экспериментальное исследование зажигания горючих газовых смесей фрикционными искрами / А. Ю. Шебеко, Ю. Н. Шебеко, А. В. Зубань, Н. В. Голов // Физика горения и взрыва. – 2018. – Т. 54. – № 3. – С. 13-24.
2. Розловский А.И. Основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами парами/ А.И. Розловский. – М.: Химия, 1980. – 376 с.
3. Proust C., Hawksworth S., Rogers R., Beyer M., Lakic D., Raveau D., Herve P., Pin V., Petitfrere C., Lefebvre X. Development of a method for predicting the ignition of explosive atmospheres by mechanical friction and impacts (MECHEX) // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2007. V. 20. pp. 349–369.
4. Komai T., Uchida S., Umezumi M. Ignition of methane- air mixtures by frictional sparks from light alloys // Safety Science. 1994. V. 17. № 1. pp. 91–102.
5. Константинов, В. М. Искробезопасные термодиффузионные слои на сталях / В. М. Константинов, В. Г. Дашкевич, М. В. Ситкевич // Перспективные материалы и технологии : монография : в 2 т. / Национальная академия наук Беларуси (Минск) ; под ред. В. В. Клубовича. – Витебск : ВГТУ, 2017. – Т. 2, гл. 19. – С. 363-377.
6. Земсков, Г.В. Многокомпонентное диффузионное насыщение металлов и сплавов / Г.В. Земсков, Р.Л. Коган. – М.: Металлургия, 1978. – 208 с.
7. Ситкевич, М.В. Бельский, Е.И. Совмещенные процессы химико-термической обработки с использованием обмазок / М.В. Ситкевич, Е.И. Бельский. – Мн.: Выш. шк., 1987. – 156 с.

Изучение особенностей формирования диффузионного слоя в условиях печного и ионно-плазменного нагрева

Ткаченко Г.А.

Белорусский государственный университет

Азотированный слой на стали, как известно, обеспечивает износостойкость, коррозионную стойкость в неагрессивных средах, разгаростойкость и т.д. Существенным недостатком азотирования является продолжительность формирования диффузионного слоя, которая составляет от 12 и более часов в зависимости от марки стали и требуемой толщины слоя. Растворимость азота в феррите не более 0,115 %, трудно образуются нитриды железа. На углеродистых сталях твердость азотистого слоя не превышает 300 HV0.1, на легированных 700 HV0.1 и более.

Сложность интенсификации азотирования заключается в низком коэффициенте диффузии ($0,35 \times 10^{-7}$ см²/с) азота в железе, что обусловлено температурой процесса (450...650 °С).

В исследованиях по циклическому азотированию углеродистых сталей были определены режимы: № 1 – заключался в нагреве стального образца до 600 °С выдержке в течение 2 часов и последующего переноса в печь с температурой 400 °С с выдержкой в 1 час; № 2 – заключался в нагреве до 600 °С, выдержке в 1 час и охлаждении в печи с температурой 400 °С с выдержкой в течение 0,5 часа. № 3 – представлял собой нагрев до 600 °С с выдержкой 0,5 часа при 300 °С. Продолжительность режимов циклического азотирования составила 8 часов. Толщина слоя (сталь 40X) составила 0,2 мм по стационарному режиму. Циклическая обработка проводилась с использованием порошковой среды в металлическом контейнере под плавким затвором.

Перед азотированием образцы 40X были подвергнуты полному отжигу на микроструктуру соответствующую доэвтектоидной стали (феррит и перлит).

Азотирование образцов из стали 40X по режиму № 1 привело к формированию диффузионного слоя толщиной 0,15 мм (сталь 40X). Данный результат можно объяснить тем, что температурный градиент по сечению образца быстро нивелировался и формирование, напряженно-деформированного состояния (источник интенсификации диффузионных процессов при ТЦО) на поверхности образца, не происходило. Отсутствие фазовых превращений компенсируется растягивающими напряжениями в слое, под действием которых происходит интенсификация.

Азотирование по режиму № 2 в условиях циклического нагрева позволило получить более высокий уровень механических свойств и диффузионный слой большей толщины (рисунок 1). Однако в условиях термоциклирования на поверхности образца (сталь 40X) твердость слоя ниже (650 HV0.1), чем в стационарном режиме (700 HV0.1). Снижение твердости обусловлено превышением скорости диффузии атомов азота вглубь материала над скоростью адсорбции атомов.

Диффузионное насыщение азотом по режиму № 3 дает больший градиент твердости по толщине слоя по сравнению со стационарным режимом. На поверхности твердость образца стали 40X после термоциклирования невысокая, однако по толщине слоя повышается, что обусловлено скоростью диффузии атомов азота вглубь материала (рисунок 1). В переходной зоне, на расстоянии 0,3 мм от поверхности образца, твердость составила 380 HV0.1, в то время как при стационарном нагреве твердость в данной точке соответствовала основному материалу (250 HV0.1).

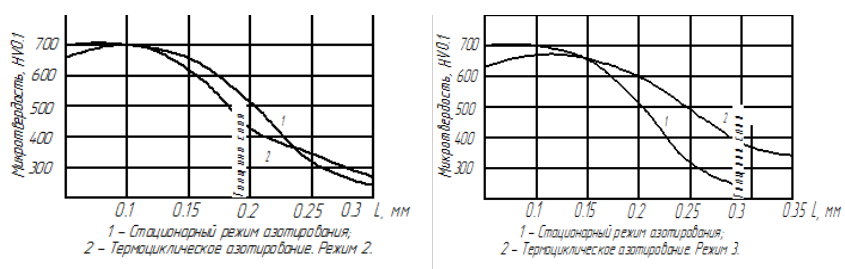


Рисунок 1 – Распределение микротвердости по толщине диффузионного слоя на стали 40X (режим 2 и 3)

Таким образом термоциклическое азотирование в условиях печного нагрева позволяет интенсифицировать диффузию атомов азота. Это обеспечивает за равный промежуток времени (8 часов) большую толщину слоя (15-20 %) и высокую твердость по толщине слоя (на 200 HV0.1). Морфология слоя и сердцевины стали 40X различается. В азотсодержащем слое перлит состоит из зернистого цементита, а в сердцевине из пластинчатого цементита.

Учитывая положительный опыт [1-3] интенсификации диффузионных процессов при азотировании с печным нагревом можно утверждать, что применение циклической ионно-плазменной термической обработки позволит сформировать диффузионный слой требуемой толщины за меньшее время.

С целью установления влияния ионно-плазменного азотирования на закономерности, зависимости структурообразования диффузионного слоя в матрице основного материала (инструментальные стали) в условиях термогазоциклического воздействия реализованы исследования следующего содержания. В частности, установлены зависимости толщины нитридной зоны от длительности полуциклов насыщения и «рассасывания».

Температурный интервал термоциклирования при газоциклическом азотировании инструментальных сталей представлял собой нагрев до 600 °С, выдержку в течение 2 часов и перенос в печь с температурой 400 °С с последующей выдержкой 1 час (режим 1). Режим 2 (1 час на 1,5 часа), режим 3 (0,5 часа на 0,5 часа). Режим стационарного насыщения имел продолжительность 8 часов при температуре 600 °С, что обеспечило толщину слоя 168 мкм на стали 4X5МСФ (рисунок 3).

Проведение термоциклирования с частотой 4 термоцикла позволяет сравнить значения с полученными при термоциклировании с выдержкой. В результате термоциклического азотирования формируются композиционные нитридные слои с чередующимися прослойками высокоазотистых и низкоазотистых фаз, азотистого феррита. Толщина слоя составляет 124 мкм (рисунок 3).

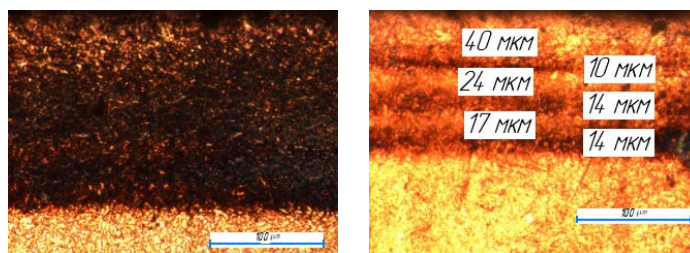


Рисунок 3 – диффузионные слои при ИПА (с левой стороны – стационарный процесс; с правой стороны – циклический процесс)

Термоциклирование с частотой 6 термоциклов позволяет сформировать композиционные нитридные слои с чередующимися прослойками высокоазотистых и низкоазотистых фаз, азотистого феррита с толщиной азотированного слоя 138 мкм. Что значительно меньше, чем при термоциклировании с выдержкой, но при этом на 14 мкм больше, чем после 4 циклов теплосмен.

Особенности формирования диффузионных слоев в условиях циклического нагрева в контейнере (порошковая среда) и по режиму термогазоциклирования с использованием ионно-плазменного нагрева представляют собой следующее.

При термоциклировании в контейнере, на стадии охлаждения (ниже температуры интенсивной химической реакции в порошковой среде) количество носителей молекулярного азота уменьшается и за счет этого наблюдается «рассасывание» слоя (за счет температуры и релаксации напряженно-деформированного состояния). Последующий цикл нагрева запускает процесс химической реакции между компонентами среды. Увеличивается концентрация активных атомов, интенсифицируются сорбционные процессы. В металлическом образце при нагреве процесс «разгонки слоя» интенсифицируется с ростом температуры.

Во время термогазоциклирования в ионно-плазменной среде концентрация атомарного азота находится на постоянном уровне. Это обеспечивает все стадии диффузионных процессов. Во время охлаждения образцов в печи насыщающая среда отсутствует и наблюдается незначительный процесс «разгонки слоя». Стадия нагрева образцов в печи с ионно-плазменной атмосферой приводит к росту диффузионного слоя, поверх сформировавшегося ранее азотсодержащего слоя. Это связано с высокой концентрацией компонента в насыщающей атмосфере и быстрым поверхностным нагревом, также химическим составом стали (диффузия азота из сформированных нитридов легирующих элементов затруднительна, так как соединение стабильно при высоких температурах). Преобладающим становится процесс формирования слоя, а не диффузии вглубь металла.

Таким образом, термоциклический нагрев по предложенным режимам в отличие от стационарного процесса позволяет за равный промежуток времени (8 часов) сформировать диффузионные слои, обладающие повышенной микротвердостью по толщине слоя, большей концентрацией компонента по толщине слоя. Также получить уникальные композиционные слои с чередующимися прослойками высокоазотистых и низкоазотистых фаз.

Исследования выполнены в рамках задания 6.3 ГПНИ 9, подпрограмма 9.6 «Механизация агропроцессов и «точное» сельское хозяйство»

Литература

1. Износостойкость стали 40X13 после упрочнения методом термоциклического ионно-плазменного азотирования в условиях абразивного изнашивания / А. В. Рутковский // Материалы МНПК, Институт проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, 2009 – С. 240–250
2. Кидин, И.Н. Электро-химико-термическая обработка металлов и сплавов / И.Н. Кидин, В.И. Андрюшечкин, В.А. Волков. – М.: Металлургия, 1978. – 320 с.
3. Константинов В.М., Ткаченко Г.А. Упрочнение быстроизнашиваемых деталей почвообрабатывающих плугов нитроцементацией с локальным циклическим индукционным нагревом / В.М. Константинов, Г.А. Ткаченко // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2011. – №2. – С. 44 – 50.
4. В.М. Константинов, Исследование особенностей структурообразования доэвтектидных конструкционных сталей при различных режимах термоциклической обработки // В. М. Константинов, Д.М. Бердиев, А.А. Юсупов, Г.А. Ткаченко / Металлургия: Республ. Межведом. Сб. науч. Тр. Вып.42 – Минск: БНТУ, 2021. С. 176-189.

**Некоторые актуальные направления развития прикладных исследований в области
многофункциональных и композиционных материалов в рамках
ГПНИ «Новые материалы и технологии»**

Константинов В.М., Астрейко Л.А.
Белорусский национальный технический университет

Промышленность страны является гарантом ее безопасности и косвенно обеспечивает достаточный уровень жизни населения. Основу такого развития составляют предприятия, активно осуществляющие разработку, внедрение новых или модернизированных продуктов, услуг, технологических процессов. Ситуация последних месяцев является ярким тому подтверждением. Число инновационно активных промышленных предприятий в Республике Беларусь увеличивается, однако это количество пока недостаточно. От общего числа предприятий они составляют 17,6%: 46% таких предприятий ориентируются на инновации только в технологических процессах, около 17 % используют наукоемкую продукцию и инновационные технологические процессы, около 35% ориентируются только на продукт. Для сравнения, значение данного показателя во Франции составляет около 40%, в Германии около 50%. [1] Есть основания полагать, что данные 2010 года близки к нынешним.

Одни из самых наукоемких отраслей – это машиностроение и металлообработка (43,9% от всех организаций). Затем пищевая промышленность (13,4%) и производство строительных материалов (8,3%). Предприятия химической и нефтехимической отрасли, по известным данным, составляют 6,5% от общего числа предприятий, использующих новые наукоемкие разработки. [1]

Существенной причиной, замедляющей инновационное развитие, является недостаток собственных средств. Потому финансирование технологических разработок осуществляется, как за счет собственных средств, так и на средства бюджета с обязательным внебюджетным софинансированием.

Ведутся активные разработки по таким традиционным научно-техническим направлениям, как конструкционные материалы; био- и наноматериалы и технологии; аддитивные технологии; материалы и технологии для сельского хозяйства, в том числе и с использованием «зеленой» химии.

ГПНИ «Новые материалы и технологии», государственными заказчиками которой являются НАН Беларуси и Министерство образования, имеет своей целью предоставление финансовой и информационной поддержки отечественным разработчикам новых направлений, а также углубление исследований и создание новых образцов с заданными эксплуатационными свойствами.

Ниже представлены характерные примеры научно-технических разработок, проводимых по заданиям подпрограммы «Многофункциональные и композиционные материалы». Активно разрабатывается направление по созданию многофазных покрытий на основе оксидов, нитридов и аморфного углерода, например [2]. При формировании покрытий используют золь-гель и плазмохимические методы. Целью разработки таких покрытий является получение высоких антифрикционных и защитных свойств. Это позволит увеличить ресурс работы пресс-форм, пуансонов, рабочих поверхностей режущего инструмента, а композиционные многослойные покрытия обеспечат механическую защиту полимерных материалов. В рамках этих исследований проводят комплексные исследования влияния условий синтеза на адгезионные, структурные, оптические свойства получаемых материалов.

Важным является направление разработки материалов для работы в условиях пульсирующих контактных нагрузок. Проводятся исследования влияния режимов термохимической обработки на структурообразование и фазовый состав поверхностно-модифицированных слоев легированных конструкционных сталей. Планируемые результаты позволят повысить долговечность конструкций [3]

Представляет отдельный интерес разработка защитных покрытий для металлических конструкций термических печей. В нынешней ситуации ограничения импорта это особенно актуально. Это направление интересно не только своей практической направленностью, но и используемыми для этого золь-гель технологиями. [4]

Традиционно большое внимание уделяется развитию технологий сварочных процессов. Например, исследование, направленное на создание функционально-градиентных газовых сред, которые, при их использовании в процессе сварки, позволят управлять структурой и свойствами сварного соединения. Изучаются структура и свойства, как сварного шва, так и зоны термического влияния. Разработка находится на стадии макета установки [5].

Отдельную нишу занимают композиционные материалы в состав которых входят микроразмерные и волоконные армирующие элементы. Такие композиции позволят получать материалы с заданными свойствами, а метод получения армирующих волокон, основанный на сверхскоростном затвердевании, позволит из одного состава получать компоненты, имеющие различные свойства. [6]

Отходы производства являются одним из самых активно разрабатываемых направлений, как с целью минимизации их количества, так и с целью их переработки и последующего использования и в составах новых материалов, и как самостоятельный материал. В рамках подпрограммы ведутся работы по возможности переработки, например, фосфогипса на композиционное минеральное вяжущее. Этот композиционный материал позволит усовершенствовать технологию производства сухих строительных смесей за счет упрощения оборудования [7]. Проблема экологии затронута и в работах по созданию биоразлагаемых композиционных материалов, в т.ч. с использованием сельскохозяйственных и промышленных отходов. Например, таких, как кукурузный крахмал, древесная мука, гречишная шелуха. [8]

Таким образом, активные научные исследования в направлении изучения структурно-фазового состояния и механических свойств композиционных покрытий и функциональных материалов, позволят обеспечить повышение научно-технического уровня, наукоемкости и, в конечном счете, конкурентоспособности ряда материалов и технологий.

Выполнение заданий Подпрограммы позволит рационально использовать имеющиеся в Республике Беларусь технические, энергетические и природные ресурсы; обеспечит надежность и безопасность конструкций, в т.ч. пожаробезопасность, что важно при эксплуатации конструкций, созданных при использовании разработанных композиционных материалов, человеком; даст возможность развивать и далее актуальное направление композиционных материалов самого различного назначения. Существенным является импортозамещающий потенциал разработок.

Литература

1. Заруба, С.В. Приоритеты развития промышленности Республики Беларусь в условиях инновационной экономики / С.В. Заруба // Управление в социальных и экономических системах : материалы XIX международной научно-практической конференции, г. Минск, 18 мая 2010 г. / Минский ин-т управления ; редкол.: Н.В. Суша [и др.]. – Минск, 2010. – С. 40–41.
2. J. Fang, D. G. Piliptsov , A. V. Rogachev , X.-H. Jiang, N.N. Fedosenko, E. A. Kulesh. Structure and Properties of Metal-Carbon a-C Coatings Alloyed with Ti, Zr and Al with a High Concentration / Lecture Notes in Networks and Systems. 2022, V.422. P. 195-202.

3. Stepankin, I., Kuis, D., Naizabekov, A., Pozdnyakov, E., Lezhnev, S. On the issue of improving the structure of tool steels. / *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. – 2022. V.57(1), №3. P.205-210
4. Розенберг Е.В. Комаров О.С. Золь-гель технология как основа для защитных покрытий в литейном производстве./ *Современные технологии для заготовительного производства. БНТУ*. – Минск, 2022. - №1.- С.56-59.
5. Фетисова Е. А., Коротеев А. О., Коротеева А. А. Особенности металлургических процессов при дуговой сварке с модификацией защитной газовой атмосферы галоидными соединениями/ *Вестник Белорусско-Российского университета: науч.-метод. журнал – Могилев*, 2022.- Т.74, №1. – С.87-96.
6. Abdрахман В. Naizabekov, Dmitry V. Kuis, Andrey V. Kasperovich. Microstructure Evolution and Mechanical Properties of Titanium Nickelide During Pressing in Equal-Channel Angular Matrix with Quasi-Small Angle of Channels Intersection./ *Defect and Diffusion Forum*, 2021. – V.410. – P.123-127.
7. Кузьменков Д.М., Сакович А.А., Хололова В.Д. Полиминеральное гипсовое вяжущее из фосфогипса/ *Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Химия. Экология. Урбанистика»*. – Пермь, 2022. – С.74-77
8. Подденежный, Е. Н.; Дробышевская, Н. Е.; Бойко, А. А.; Шаповалов, В. М.; Дробышевский, Н. С.; Ашрапова, Т.Ф. Биоразлагаемые композиционные материалы на основе крахмала и смеси полиолефинов / *Вестник ГГТУ им.П.О.Сухого*. – Гомель, 2021. - №1. – С.53-60.

Исследование боросульфидирования доэвтектоидных углеродистых сталей

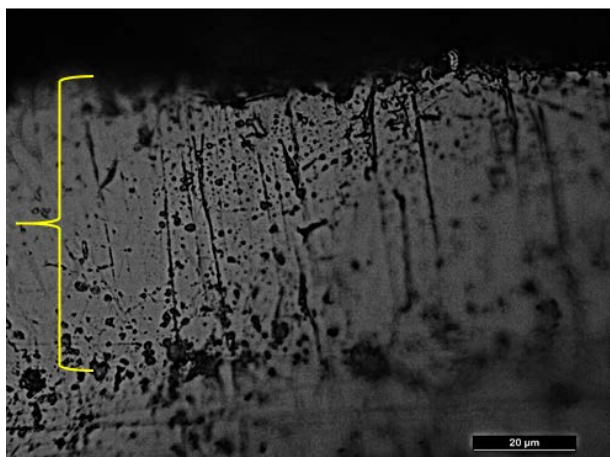
В.М. Константинов, В. А. Лешок
Белорусский национальный технический университет

Термодиффузионное борирование сталей известно с первой половины 20 века. Многочисленные исследования и разработки в области насыщения поверхностей бором [1-9 и др.]. Общеизвестен факт применения термодиффузионных боридных слоёв для повышения поверхностной твёрдости, износостойкости различных деталей и пар трения [4].

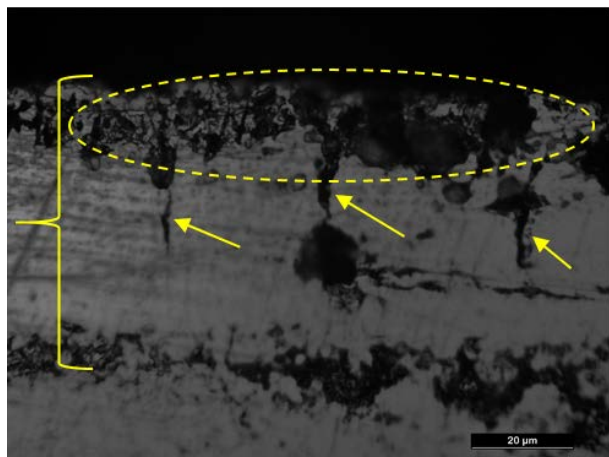
Известные недостатки борирования привели к активным исследованиям по повышению специальных эксплуатационных свойств боридных слоёв. Свойства боридного слоя позволяют в ряде случаев применять термодиффузионное борирование для упрочнения стальных пар трения, работающих при условиях отсутствия смазочных материалов. Одно из перспективных направлений совершенствования термодиффузионного борирования – повышение задиростойкости в узлах сухого трения. Известен факт образования вторичных структур оксидного типа при сухом трении на стальных поверхностях [3, 7]. Образование вторичных структур способствует существенному снижению коэффициента трения в условиях установившегося трения. Однако, обсуждаемый эффект реализуется в узком диапазоне режимов и не всегда может обеспечить задиростойкость.

Данное исследование посвящено изучению влияния дополнительного сульфидирования боридных слоев на углеродистых сталях 20 и 45. Установлены определенные изменения в морфологии при применении технологии боросульфидирования по сравнению с традиционным термодиффузионным порошковым борированием (рисунок 1). Традиционная морфология боридного слоя [5] (фигурная скобка, рисунок 1 а, в) изменяется после термодиффузионного сульфидирования. Отмечается слой столбчатых зёрен на поверхности и внутри зоны боридов железа. Геометрия сульфидных включений представлена в виде круглых и вытянутых структурных составляющих. Цвет данных включений - тёмно-коричневый. Отмечается закономерность ориентации в расположении данных включений. Они прежде всего расположены по границам зёрен боридной зоны (пунктирная область, рисунок 1 б, г).

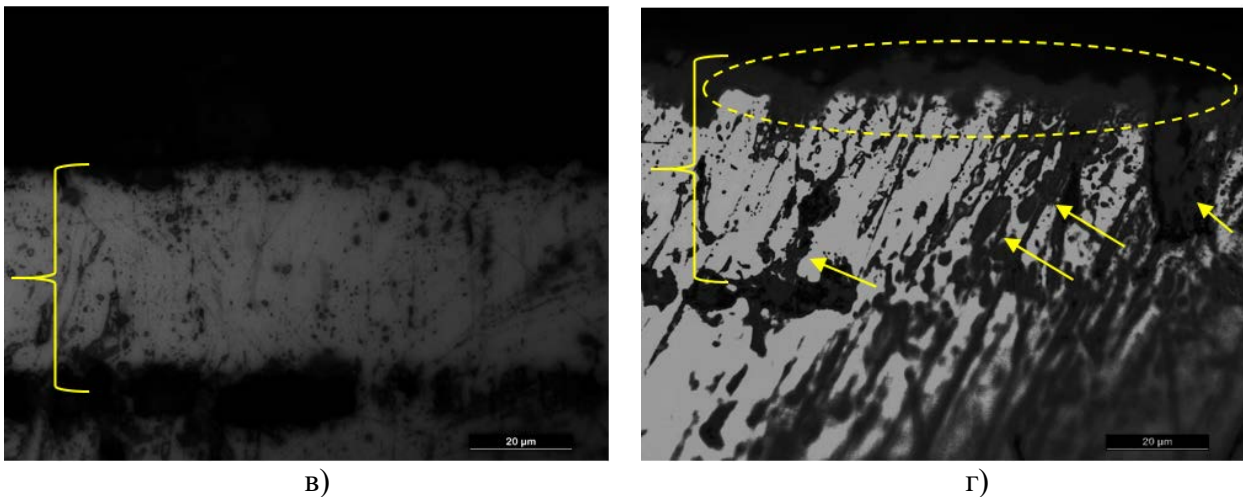
Отмечено наличие дефектной структуры сульфидного слоя, представленной в виде определённого рода несплошностей, трещин и сколов (стрелки, рисунок 1 б, г). Зона сульфидов железа FeS имеет многочисленные разрывы. Термодиффузионное сульфидирование не изменяет изначальную толщину боридного слоя. Образованный слой сульфидов железа FeS имеет толщины на анализируемых сталях 15 мкм и 20 мкм соответственно. Общая толщина боросульфидированного слоя составляет 45 мкм и 60 мкм для сталей 20 и 45 соответственно. Наряду с боридными фазами в слое обнаружены сульфиды железа (рисунок 2).



а)



б)



в)

г)

Рисунок 1 – Микроструктуры термодиффузионных слоёв при увеличении $\times 1000$: а) сталь 45, борирование, в) сталь 20, борирование, б) сталь 45, боросульфидирование, г) сталь 20, боросульфидирование

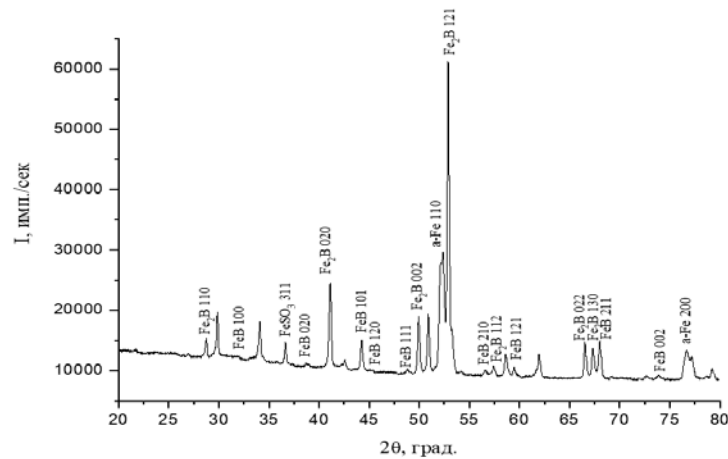


Рисунок 2 – Рентгеноструктурный фазовый анализ боросульфидированных образцов из стали 45

Поверхностный термодиффузионный слой сульфидов железа на стали 20 имеет значение поверхностной микротвердости $1224 \text{ HV}_{0,02}$, а для стали 45 – $1071 \text{ HV}_{0,02}$. В свою очередь, микротвердость боридной зоны для сталей 20 и 45 традиционна и составляет $1466 \text{ HV}_{0,02}$ и $1584 \text{ HV}_{0,02}$ соответственно.

Исследования боросульфидированных образцов позволяют предполагать повышение задиростойкости поверхностей трения, работающих в сухих узлах трения. Отсутствие задира будет обусловлено наличием на поверхности зоны сульфидов железа FeS пониженной микротвердости.

Литература

1. Ляхович Л.С. Борирование стали / Л. С. Ляхович, Л. Г. Воронин. – М: Металлургия, 1967. – 119 с.
2. Ляхович Л.С. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник / Л.С. Ляхович. – М.: Металлургия, 1981. – 424 с.
3. Пантелеенко Ф.И. Влияние структуры защитных покрытий на их износостойкость / Ф.И. Пантелеенко, Л.Г. Ворошнин, С.Н. Любецкий // Трение и износ, 1991. Т.12, №2. С. 310-314.
4. Ворошнин Л.Г. Борирование промышленных сталей и чугунов: справ. пособие / Л.Г. Ворошнин. – Минск.: Беларусь, 1981. – 205 с.

5. Ворошнин Л.Г. Борирование стали / Л.Г. Ворошнин, Л.С. Ляхович. — М.: Металлургия, 1978. — 240 с.
6. Крукович, М. Г. Пластичность борированных слоев / М. Г. Крукович, Б. А. Прусаков, И. Г. Сизов. — М.: Физматлит, 2010. — 381 с.
7. Лабунец В.Ф. Износостойкие боридные покрытия / В.Ф. Лабунец. — М.: Металлургия, 1973. — 135 с.
8. Соркин Л.М. Упрочнение деталей борированием / Л.М. Соркин. — М.: Машиностроение, 1972. — 63 с.
9. Самсонов, Г.В. Бориды / Г.В. Самсонов, Т.И. Серебрякова, В.А. Неронов. — М.: Атомиздат, 1975. — 376 с.

**Компьютерное моделирование оценки ударного
воздействия испытываемых объектов**

Пацеко Е.К., Белов А.Р.

Белорусский национальный технический университет

Традиционно испытания конструкционных материалов в условиях ударного нагружения проводятся в специализированных лабораториях, однако использование 3D-технологий дает возможность значительной экономии времени и уменьшения финансовых затрат. Одной из таких программ, позволяющих как создавать трехмерные модели изделий различной степени сложности, формы, конфигурации, так и проводить различные испытания и прочностные расчеты спроектированных деталей, является Solidworks. В течение последних десяти лет SolidWorks уверенно присутствует среди наиболее востребованных систем автоматизированного проектирования в машиностроении [1].

Процесс построения геометрических моделей в SolidWorks начинается с создания эскиза, а создание эскиза начинается с выбора конструктивной плоскости, в которой будет строиться этот двумерный эскиз. Впоследствии этот эскиз можно легко преобразовать в твердое тело. При создании эскиза доступен полный набор геометрических построений и операций редактирования. Нет никакой необходимости сразу точно выдерживать требуемые размеры, достаточно примерно соблюдать конфигурацию эскиза. Позже, если потребуется, можно изменить значение любого размера и наложить связи, ограничивающие взаимное расположение элементов эскиза – отрезков, дуг, окружностей и т. п. Эскиз может быть легко отредактирован в любой момент работы над моделью [2].

Анализ модели в SolidWorks Simulation выполняется в следующем порядке:

- создается конечно-элементная сетка, которая делит исследуемую модель на много малых конечных элементов простых форм. Конечные элементы эффективно заменяют сложную задачу несколькими простыми, которые необходимо решить совместно;

- каждый узел конечного элемента полностью описывается рядом параметров, зависящих от типа анализа и используемого элемента. Для расчетов конструкции реакция узла представляется в общем случае тремя перемещениями и тремя вращениями. Они называются степенями свободы;

- реакция в любой точке элемента интерполируется из реакции узлов элементов (интерполяция – способ нахождения промежуточных значений величины по имеющемуся дискретному набору известных значений);

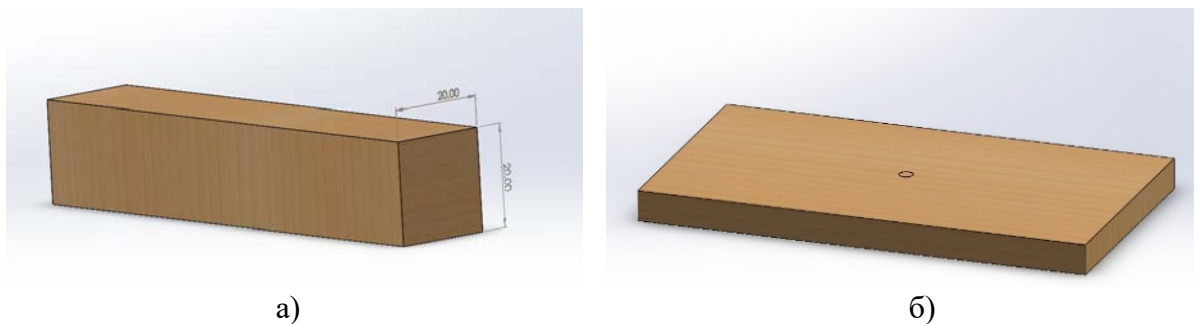
- программное обеспечение создает уравнение, управляющее поведением каждого элемента с учетом его связей с другими элементами. Эти уравнения связывают реакцию со свойствами материала, ограничениями и нагрузками;

- уравнения всех элементов объединяются в большую систему совместных алгебраических уравнений и определяются неизвестные. Например, для расчета напряжений программа находит перемещения в каждом узле, затем вычисляет деформации и напряжение [3].

В качестве опытных образцов для проведения испытаний были выбраны спроектированные модели бруска сечением 4 см² и плиты ДСП (рисунок 1). Так же были спроектированы 3D-модели подобранных макетов для проведения испытаний: ударная часть молота маятникового копра и стальные шары различного веса (для испытаний свободно падающим грузом) для деревянного бруска и плиты ДСП, соответственно (рисунок 2,3).

Для получения корректных результатов были заданы физические характеристики анализируемого материала из базы данных. В SolidWorks имеется библиотека предварительно определенных материалов, которую можно также использовать при работе в SolidWorks Simulation. Также, зная характеристики материалов, их можно задать самостоятельно.

При проведении моделирующих испытаний в SolidWorks Simulation были получены данные по распределению напряжений при традиционных ударных испытаниях (рисунок 4).



а)

б)

Рисунок 1 – 3D-модели:
а – бруска сечением 4 см²; б – плиты ДСП

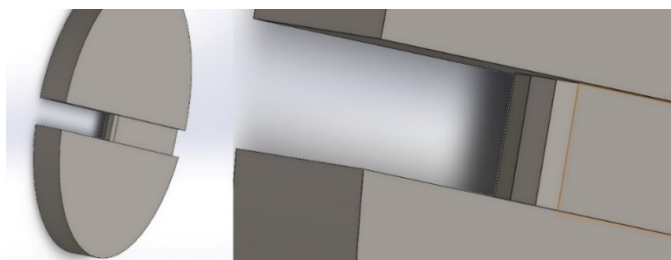


Рисунок 2 – 3D-модель ударной части маятникового молота

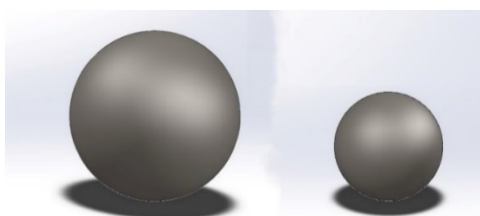


Рисунок 3 – 3D-модели стальных шаров

Направление ударной нагрузки показано стрелками, а распределение напряжений видно по распределению цвета на модели образца после удара. Установлено, что максимальные напряжения наблюдаются в месте удара (зона концентратора напряжений). Это приводит к деформации образцов, как и при испытаниях на маятниковом копре с физическими образцами. Также на рисунке 4 представлена шкала распределения напряжений в Н/м².

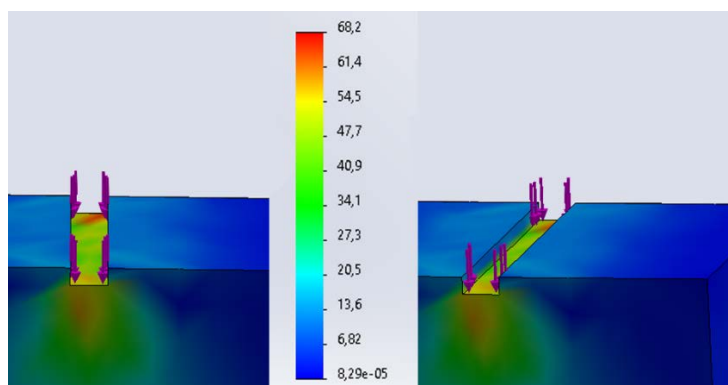


Рисунок 4 – Распределение напряжений на деревянном бруске сечением 4 см²

При моделирование ударного воздействия свободно падающим грузом (шар) получена иная картина. Распределение ударных нагрузок при испытаниях в условиях свободного падения стального шара на плиту ДСП представлено на рисунке 5.

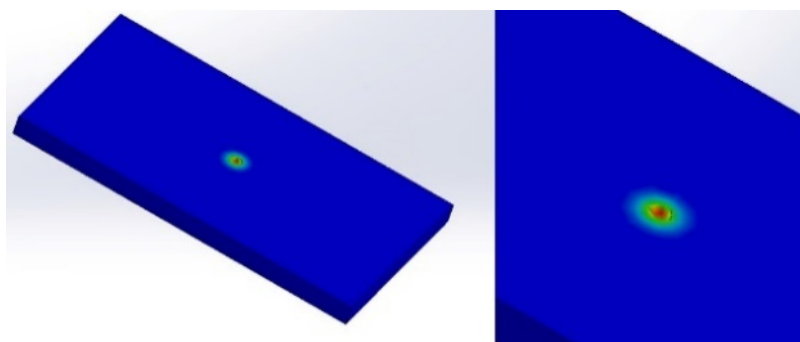


Рисунок 5 – Распределение ударной нагрузки на плите ДСП

При ударном нагружении брусков большего сечения были получены данные, показанные на рисунке 6. Для построения модели бруска был использован 3D-сканер образца, используемого при физических испытаниях в лаборатории. Моделирование было проведено с использованием различной энергии удара молотом маятника.

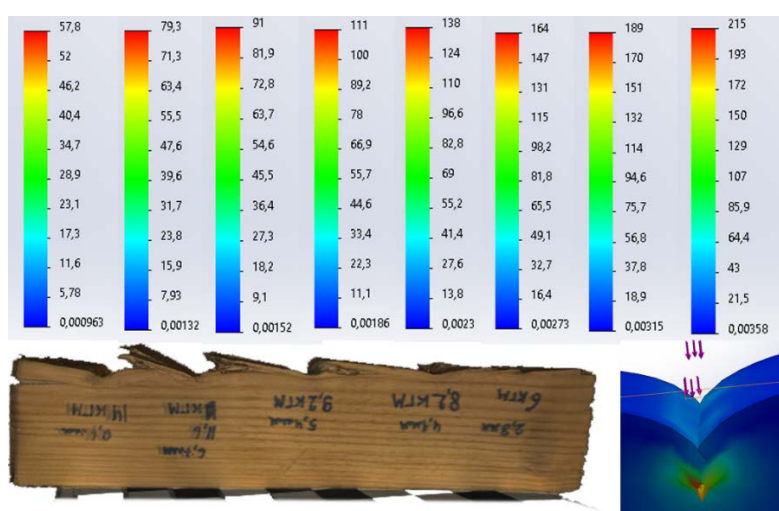


Рисунок 6 – Полученные результаты ударного нагружения деревянного бруска увеличенного сечения

Полученные результаты в программе Solidworks в большинстве случаев совпадают с данными, полученными при проведении физических испытаний в лабораторных условиях. Таким образом, использование моделирования с задействованием 3D-технологий для анализа ударных воздействий позволяет существенно облегчить проведение исследований и уменьшить объем экспериментальных работ.

Литература

1. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи / А. А. Алямовский – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 448 с.
2. П. И. Бегун, Е. А. Лебедева, Д. А. Лобачева, О. В. Щепилина. Компьютерное моделирование в прикладной и биомеханике: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. 159 с.
3. Лукинских, С.В. Компьютерное моделирование и инженерный анализ в конструкторско-технологической подготовке производства: учебное пособие / С.В. Лукинских; М-во науки и высш. обр. РФ.– Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2020. – 168 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Корнеев С.В., Урбанович Н.И., Розенберг Е.В. Возможность использования продуктов переработки электросталеплавильной пыли при производстве цементного клинкера (Белорусский национальный технический университет)	4
2	Шейнерт В.А., Слуцкий А.Г., Девойно О.Г., Зык Н.В. Литейно-металлургический способ получения порошков для защитных покрытий (Белорусский национальный технический университет)	7
3	Иванов И.А., Шейнерт В.А., Слуцкий А.Г., Бежок А.П. Технологические особенности плавки и получения термонапряженных слитков из комплексных силицидов (Белорусский национальный технический университет)	10
4	Румянцева Г.А., Неменёнок Б.М., Арабей А.В. К вопросу образования пористости в отливках из силуминов, модифицированных стронцием (Белорусский национальный технический университет)	13
5	Бежок А. П., Неменёнок Б. М., Румянцева Г. А. Оценка накопления стронция в расплаве при модифицировании силуминов (Белорусский национальный технический университет)	15
6	Арабей А.В., Рафальский И.В., Немененок Б.М. Легирование алюминиевых сплавов кремнием путем его прямого восстановления из металлооксидных композиций (Белорусский национальный технический университет)	17
7	Лущик П.Е., Рафальский И.В., Нисс В.С. Применение сплавов системы Со-Сг для производства изделий медицинского назначения (Белорусский национальный технический университет)	19
8	Лущик П.Е. ¹ , Рафальский И.В. ¹ , Покровский А.И. ² Построение моделей пластической деформации графита в высокопрочном чугуне (¹ Белорусский национальный технический университет, ² Физико-технический институт НАН Беларуси)	22
9	Лущик П.Е., Рафальский И.В., Руленков А.Д., Девойно О.Г., Пилипчук А.П. Гибридные процессы термического упрочнения материалов на металлической основе (Белорусский национальный технический университет)	25
10	Рафальский И.В., Лущик П.Е., Руленков А.Д., Долгий Л.П. Переработка литейных шлаков, образующихся при плавке алюминиевых сплавов (Белорусский национальный технический университет)	26
11	Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Паршутто А.Э., Сорока Е.В. Структура и свойства оксидных покрытий, полученных высокочастотным микродуговым оксидированием (Белорусский национальный технический университет)	27
12	Нисс В.С., Алексеев Ю. Г., Королёв А.Ю., Паршутто А.Э., Будницкий А.С. Полирование металлических материалов в управляемых импульсных режимах электролитно-плазменной обработки (Белорусский национальный технический университет)	30
13	Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Сенченко Г.М., Будницкий А.С., Янович В.А. Формирование черных МДО покрытий на внутренних поверхностях длинномерных трубчатых изделий (Белорусский национальный технический университет)	33
14	Алексеев Ю.Г. ¹ , Королёв А.Ю. ¹ , Калиниченко А.С. ² , Будницкий А.С. ¹ , Сенченко Г.М. ¹ Структура поверхностного слоя титана после цементации с применением электролитно-плазменного нагрева (¹ Белорусский национальный технический университет, ² Белорусский государственный технологический университет)	35
15	Нисс В.С. ¹ , Кособуцкий А.А. ¹ , Гавриленко В.В. ¹ , Качанов Н.В. ¹ ,	38

	Ленкевич С.А. ¹ , Ивановская М.И. ² Разработка перспективных решений для изделий медицинского назначения (¹ Белорусский национальный технический университет, ² Белорусская медицинская академия последипломного образования)	
16	Урбанович Н.И., Корнеев С.В., Розенберг Е.В., Волосатиков В.И. Изучение возможности обогащения пылевидных железо-цинксодержащих отходов систем газоочистки от различных типов печей (Белорусский национальный технический университет)	41
17	Нисс В.С. ¹ , Григорьев С.В. ¹ , Волосатиков В. И. ¹ , Урбанович В.С. ² Оценка применимости основных методов научных исследований к исследованию композитов на основе нано- и микрочастиц порошков бора, углерода, алмаза, а также порошков оксидов редкоземельных элементов (¹ Белорусский национальный технический университет, ² ГО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»)	44
18	Нисс В.С. ¹ , Григорьев С.В. ¹ , Урбанович В.С. ² Исследование фазового состава, структуры, морфологии частиц и шихты из порошков бора, алмаза и графита для создания композита при высоких давлениях (¹ Белорусский национальный технический университет, ² ГО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»)	46
19	Волосатиков В. И. ¹ , Григорьев С.В. ¹ , Урбанович В.С. ² Исследование структуры, однородности, фазового состава и шихты порошков оксидов редкоземельных элементов для синтеза композитов в условиях высокого давления (¹ Белорусский национальный технический университет, ² ГО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»)	48
20	Барановский К.Э., Урбанович Н.И., Розенберг Е.В. Измельчение структуры легированных чугунов и сталей за счет модифицирования (Белорусский национальный технический университет)	50
21	Урбанович Н.И., Барановский К.Э., Розенберг Е.В., Волосатиков В.И. Изучение возможности использования цинксодержащих отходов для получения цинковых покрытий методом термодиффузионного цинкования (Белорусский национальный технический университет)	53
22	Комаров О.С., Розенберг Е.В. Золь-гель технология как основа для защитных покрытий в литейном производстве (Белорусский национальный технический университет)	56
23	Розенберг Е.В., Барановский К.Э. Влияние комплексных модификаторов на низкоуглеродистые износостойкие стали (Белорусский национальный технический университет)	59
24	Урбанович Н.И., Розенберг Е.В., Волосатиков В.И. Компактирование пылевидных отходов (Белорусский национальный технический университет)	62
25	Урбанович Н.И., Розенберг Е.В. Утилизация отходов литейных цехов (Белорусский национальный технический университет)	64
26	Ситкевич М.В. Сравнительный анализ структуры и свойств поверхностных слоев низколегированных горячештамповых сталей после борирования и боросилицирования в порошковых смесях и обмазках (Белорусский национальный технический университет)	67
27	Мельниченко В.В., Стефанович В.А. Применение средств визуального программирования Delphi XE при подготовке инженеров материаловедов (Белорусский национальный технический университет)	69
28	Мельниченко В.В., Стефанович В.А., Пацеко Е.К. К вопросу организации электронного контроля знаний студентов материаловедов (Белорусский национальный технический университет)	71

29	Плетенев И.В., Дашкевич В.Г. Особенности насыщающих сред и температурно-временных параметров термодиффузионной обработки изделий из меди для повышения жаростойкости (Белорусский национальный технический университет)	75
30	Позняк И.Г., Макась О.Г. 3D-моделирование поверхности изломов для реконструкционных подходов в экспертизе (Белорусский национальный технический университет)	78
31	Судников М.А., Дашкевич В.Г. Некоторые аспекты комбинированных технологий упрочнения на основе термодиффузионного борирования (Белорусский национальный технический университет)	80
32	Стефанович В.А., Голубцова Е.С., Мельниченко В.В. Исследование параметров сварного шва при лазерной сварке тонколистового материала (Белорусский национальный технический университет)	82
33	Костюченко Ю.А., Боярчук А.Н., Кулинич И.Л. Методика контроля размеров штампованных деталей методом технического зрения (Белорусский национальный технический университет)	84
34	Томило В.А., Левкович В.В. Применение поперечно-винтовой прокатки при получении ступенчатых трубных заготовок (Белорусский национальный технический университет)	86
35	Демченко Е.Б. Теплопередача в кристаллизаторе при вертикальном непрерывном литье стали (Белорусский национальный технический университет)	87
36	Караминадик И. Демченко Е.Б. Прочность сварных соединений разнородных материалов на основе а1-сталь, полученных контактной точечной сваркой (Белорусский национальный технический университет)	89
37	Ушеренко С.М., Тарасевич А.Л., Панько А.Н. Изменения материала зоны сварки при изменениях состава сгустка микрочастиц (Белорусский национальный технический университет)	91
38	Сидоров В.А., Пантелеенко Ф.И. Алгоритм оценки состояния конструкции измерением твердости по Бринеллю (Белорусский национальный технический университет)	94
39	Автушко Г.Л. Проблемы обеспечения чистоты воздуха рабочей зоны на предприятиях автомобильного профиля (Белорусский национальный технический университет)	96
40	Вершеня Е.Г., Батяновская И.А. Особенности обеспечения пожарной безопасности и взрывобезопасности при строительстве зданий и сооружений (Белорусский национальный технический университет)	99
41	Батяновская И.А., Вершеня Е.Г. Обеспечение безопасных условий труда при организации рабочих мест, участков работ в условиях строительной площадки (Белорусский национальный технический университет)	102
42	Закревский Д.С., Кот Т.П., Абметко О.В. Особенности организации труда и анализ факторов производственной среды на рабочих местах водителей автобусов городских маршрутов (Белорусский национальный технический университет)	104
43	Молош Т.В. ¹ , Филянович Л.П. ² Улучшение охраны труда при обслуживании холодильных установок в АПК (¹ УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», ² Белорусский национальный технический университет)	106
44	Молош Т.В. ¹ , Корчик С.А. ¹ , Филянович Л.П. ² Повышение безопасности труда при выполнении складских работ (¹ УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», ² Белорусский национальный технический университет)	108

45	Ушакова И.Н. Взрывопожарная и пожарная опасность цехов с использованием топочного мазута (Белорусский национальный технический университет)	110
46	Филянович Л.П. ¹ , Молош Т.В. ² Защитные средства, обеспечивающие безопасность на производстве (¹ Белорусский национальный технический университет, ² УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»)	112
47	Филянович Л.П. Организация безопасных условий труда при монтаже электрооборудования (Белорусский национальный технический университет)	115
48	Рудницкий Ф.И. ¹ , Шумигай В.А. ² , Куликов С.А. ² Об использовании модификаторов на основе меди разной степени дисперсности, для получения отливок ответственного назначения (¹ Белорусский национальный технический университет, ² ОАО «Минский тракторный завод»)	117
49	Садоха М.А. Применение центробежного литья в машиностроении (Белорусский национальный технический университет)	120
50	Голуб Д.М., Яцевич Н.А., Римошевский С.Л. Установка для автоматического контроля физико-механических свойств сырой песчано-глинистой формовочной смеси в процессе смесеприготовления (ОАО «БЕЛНИИЛИТ», г. Минск)	122
51	Телешова Е.В., Ровин С.Л. Переработка и использование окалины (Белорусский национальный технический университет)	125
52	Ровин С.Л. ¹ , Коренюгин С.В. ¹ , Насевич И.С. ² Промышленная безопасность и анализ рисков в литейном производстве (¹ Белорусский национальный технический университет, ² УП «Технолит», г. Минск)	128
53	Корнеев С.В. Конструкции современных вакуумных индукционных плавильных печей (Белорусский национальный технический университет)	131
54	Минько Д.В., Апишев В.В. Анализ условий схватывания частиц меди и медных сплавов с поверхностью углеродистой стали при прокатке (Белорусский национальный технический университет)	135
55	Трибушевский Л.В., Немененок Б.М., Шейнерт В.А. Выбор оптимальных вариантов переработки оловянно-свинцовой изгари (Белорусский национальный технический университет)	137
56	Судников М.А. Концепция создания искробезопасных термодиффузионных слоев комбинированной обработкой (Белорусский национальный технический университет)	139
57	Ткаченко Г.А. Изучение особенностей формирования диффузионного слоя в условиях печного и ионно-плазменного нагрева (Белорусский национальный технический университет)	141
58	Константинов В.М., Астрейко Л.А. Некоторые актуальные направления развития прикладных исследований в области многофункциональных и композиционных материалов в рамках ГПНИ «Новые материалы и технологии» (Белорусский национальный технический университет)	144
59	В.М. Константинов, В. А. Лешок Исследование боросульфидирования доэвтектоидных углеродистых сталей (Белорусский национальный технический университет)	147
60	Пацеко Е.К., Белов А.Р. Компьютерное моделирование оценки ударного воздействия испытуемых объектов (Белорусский национальный технический университет)	150