

Экзотермическая смесь состоит из: окисляемых компонентов, окислителей и термостойких наполнителей. Смесь предназначена для чугунов и сталей. После засыпки в прибыль на жидкий металл смесь медленно разгорается и увеличивается в размерах, на поверхность выносится легкая низкотеплопроводная часть, в глубине смеси продолжается горение и нагрев термостойкого наполнителя, удерживающего тепло в течение 10 – 25 минут в зависимости от размера прибыли и температуры сплава. Как видно из рисунка 1 покровная экзотермическая смесь значительно повышает эффективность прибыли.

Данная смесь может быть использована литейными предприятиями для утепления открытых прибылей, ковшей. Экзотермическая утеплительная смесь позволяет не только повысить качество литья, но и уменьшить металлоемкость прибылей на 20 – 30% за счет увеличения их эффективности.

УДК 621.762

### **Изготовление катодов-мишеней из силицидов тугоплавких металлов методом внепечной металлургии**

Магистрант Ковалевич Э.В.

Научный руководитель – Иванов И.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Нанесение покрытий на поверхность изделий металлургического производства позволяет повысить их эксплуатационные характеристики за счет оптимального сочетания свойств основного материала и специальных характеристик поверхностных слоев готового изделия. Наиболее известными и широко применяемыми являются покрытия на основе титана с кремнием [1]. Среди методов, позволяющих эффективно формировать защитные покрытия и упрочняющие поверхностные слои, значительное место занимают методы вакуумно-плазменной обработки и нанесения покрытий, доля которых, среди технологий постоянно растет [2].

Получение вакуумно-плазменных покрытий состоящих из силицидов тугоплавких металлов или их смеси с нитридами кремния и металла требует использования в качестве расходных катодов-мишеней сплавов металл-кремний. Изготовление катодов из сплавов металл-неметалл с большим содержанием неметалла достаточно подробно описано в литературе [2, 3]. Однако для расширения области внедрения вакуумно-плазменных методов нанесения кремнийсодержащих покрытий в производстве необходима отработка технологии изготовления катодов-мишеней с содержанием кремния в пределах 5...20%.

Целью данной работы является анализ процесса получения кремнийсодержащих сплавов для изготовления катодов-мишеней методами металлотермического восстановления.

Металлотермическое восстановление компонентов относится к наиболее перспективному методу. Метод металлотермического восстановления компонентов может обеспечить в получаемом катоде высокую плотность, химическую и структурную однородность, характерным для таких процессов является восстановление металлов и неметаллов из их оксидов, хлоридов, сульфидов более активными элементами [4].

В металлотермии в качестве восстановителей обычно используют два элемента алюминий и кремний. Применение алюминия в качестве восстановителя позволяет осуществлять процесс в большинстве случаев без внешнего подогрева. При использовании Si выделяемого тепла обычно недостаточно для внепечного осуществления процесса, и плавку ведут в электрической печи. Наряду с этими элементами можно использовать магний.

Реакции протекают с образованием металлической и шлаковой фаз и, как правило, с образованием значительного количества тепла. Основное значение металлотермии состоит в получении безуглеродистых металлов и сплавов. В случае присутствия в шихте двух или не-

скольких окислов удельное количество тепла для смеси находится на основании величин для отдельных окислов. При этом соответственно должны быть учтены весовые соотношения окислов.

Реакция металлотермического восстановления:  $\text{MX} + \text{M}' \rightleftharpoons \text{M} + \text{M}'\text{X}$  протекает слева направо при условии более высокого сродства металла-восстановителя (M') к компоненту X, чем у восстанавливаемого металла (M). Энергия Гиббса металлотермического процесса отрицательна. В качестве восстановителей могут использоваться лишь металлы, образующие термически стойкие соединения с кислородом, хлором, фтором.

Результаты проведенных термодинамических расчетов процесса металлотермического восстановления некоторых металлов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Термодинамические расчеты реакций металлотермического восстановления

Реакция восстановления	$\Delta H$ , Дж/моль	$\Delta G$ , Дж/моль	Термичность $q$ , Дж/г
$\text{TiO}_2 + 4/3 \text{Al} = 2/3 \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ti}$	-173367	-126167	1492
$1/2 \text{TiO}_2 + 1/2 \text{Si} = 1/2 \text{SiO}_2 + 1/2 \text{Ti}$	16475	24875	не идет
$1/2 \text{TiO}_2 + 1/2 \text{Mg} = \text{MgO} + 1/2 \text{Ti}$	-129850	-98450	2019
$\text{SiO}_2 + 4/3 \text{Al} = 2/3 \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Si}$	-206267	-142267	2148
$1/2 \text{SiO}_2 + \text{Mg} = \text{MgO} + \text{Si}$	-146325	-106525	2695
$1/3 \text{MoO}_3 + 2/3 \text{Al} = 1/3 \text{Al}_2\text{O}_3 + 1/3 \text{Mo}$	-310267	-273467	4701
$2/3 \text{MoO}_3 + \text{Si} = \text{SiO}_2 + 2/3 \text{Mo}$	-414217	-404617	3341
$1/3 \text{MoO}_3 + \text{Mg} = \text{MgO} + 1/3 \text{Mo}$	-353433	-309033	4888
$\text{CuO} + 2/3 \text{Al} = 1/3 \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cu}$	-396823	-374023	4069
$\text{CuO} + 1/2 \text{Si} = 1/2 \text{SiO}_2 + \text{Cu}$	-293665	-302765	3141
$\text{CuO} + \text{Mg} = \text{MgO} + \text{Cu}$	-439990	-409390	4239
$2 \text{NiO} + 4/3 \text{Al} = 2/3 \text{Al}_2\text{O}_3 + 2 \text{Ni}$	-638067	-597867	3442
$\text{NiO} + 1/2 \text{Si} = 1/2 \text{SiO}_2 + \text{Ni}$	-215875	-203975	2434
$\text{NiO} + \text{Mg} = \text{MgO} + \text{Ni}$	-362200	-334400	3659
$\text{MnO} + 2/3 \text{Al} = 1/3 \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Mn}$	-173583	-110583	1950
$\text{MnO} + 1/2 \text{Si} = 1/2 \text{SiO}_2 + \text{Mn}$	-70425	-39325	829
$\text{MnO} + \text{Mg} = \text{MgO} + \text{Mn}$	-216750	-145950	2274

Анализ полученных результатов показал, что процесс восстановления рассмотренных металлов возможен за счет алюминия, кремния и магния. Титан можно восстановить из соединения только за счет алюминия и магния. Кремний восстанавливается как алюминием, так и магнием.

Важным показателем такого процесса является термичность восстановительной смеси. Расчеты показали, что высокой термичностью обладают смеси на основе оксида молибдена, меди, никеля с алюминием, магнием и кремнием, а также оксида кремния с магнием. Для таких смесей не требуется предварительный подогрев с целью иницирования восстановительной реакции. Для остальных смесей из-за низкой термичности требуется предварительный подогрев. Поэтому при получении силицидов данных металлов потребуются разработка дополнительных мероприятий, позволяющих иницировать восстановительную плавку, обеспечивающую стабильность процесса и получение качественной отливки катодов.

Таким образом, проведенный анализ показал, что получение кремнийсодержащих сплавов методом металлотермического восстановления является перспективным для изготовления катодов-мишеней.

### Список литературных источников

1. Перспективы применения вакуумно-плазменных технологий в машиностроении и инструментальном производстве / И.П. Филонов [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 1999. – № 1. – С. 32 – 40.

2. Мрочек, Ж.А. Плазменновакуумные покрытия: Монография / Ж.А. Мрочек [и др.]. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 369 с.
3. Иванов, И.А. Влияние геометрических размеров катода вакуумного электродугового испарителя плазмы на величину допустимого тока дугового разряда / И.А. Иванов // Наука и техника. – 2015. – №3. – С. 25 – 29.
4. Дубровин, А.С. Металлотермия специальных сплавов / А.С. Дубровин. – Челябинск: Изд-во ЮУр ГУ, 2002. – 254 с.

УДК 621.74.043.2

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

Студент гр.104111 Волосевич Я.В.  
Научный руководитель – Михальцов А.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Отливки, изготавливаемые методом литья под давлением (ЛПД), имеют сложную конфигурацию и, как правило, содержат всевозможные внутренние полости и отверстия, которые выполняют с помощью металлических стержней. В момент извлечения отливки из пресс-формы в зоне контакта стержня и отливки возникают силы трения, обусловленные обжатием стержня затвердевающей отливкой, которые приводят к образованию задиоров на поверхности отливки. Для предотвращения образования задиоров на теле отливки необходимым условием является использование разделительных покрытий (смазок), позволяющих беспрепятственно извлекать отливки из пресс-формы.

Удовлетворительная работа разделительных покрытий для литья под давлением зависит от выбора компонентов, используемых для их приготовления.

При разработке состава разделительного покрытия следует также обращать внимание на экологическую безопасность компонентов входящих в его состав. Корректно подобранные компоненты позволяют снизить количество вредных выбросов выделяющихся при деструкции покрытий и тем самым способствуют улучшению санитарно-гигиенических условий на рабочем месте заливщика.

Современные отечественные разделительные покрытия для пресс-форм при литье под давлением чаще всего представляют собой водные эмульсии термостойких масел или воска и не в полной мере отвечают предъявляемым к ним требованиям по термической устойчивости, качеству поверхности отливок. В настоящее время, в большинстве случаев, в качестве основы смазок выступают кремнийорганические материалы (полиметилсилоксановые жидкости с вязкостью от 100 до 1000 сСт.

Взятая за основу полиметилсилоксановая жидкость марки ПМС300 обладает высокой термостойкостью и экологически безопасна. При этом она имеет существенный недостаток – сравнительно высокую гидрофобность, так как полярная полиметилсилоксановая цепь экранирована неполярными метильными группами. Это сильно затрудняет получение эмульсии типа масло в воде (М/В) при использовании традиционных ПАВ.

При разработке состава разделительного покрытия было опробовано свыше десяти всевозможных ПАВ, используемых в различных отраслях народного хозяйства. Из их числа был выбран неионогенный ПАВ – оксиэтилированный моноалкилфенол на основе триммеров изононила (неонол) марки АФ 9–12 (ТУ2483–077–05766801–98).

Высокочастотное перемешивание исследуемых составов осуществляли с использованием специально изготовленного лопастного смесителя, позволяющего изменять частоту вращения лопатки от 900 до 12 000 мин<sup>-1</sup>.

Изменяя температуру и продолжительность перемешивания, а также частоту вращения лопаток подбирали оптимальные параметры приготовления эмульсии по седиментационной