

Таким образом, установлено, что эвтектика в четверной системе Mo–Co–Si–Y плавится при температуре $T_{\text{эвт}} = 1170$ °С и содержит 14,12 мас. % Mo, 22,97 мас. % Co и 52,8 мас. % Si и 10,11 мас. % Y.

Заключение. Установлено, что высококремнистая эвтектика в системе Co–Mo–Y–Si имеет температуру плавления 1170 °С, что ниже, чем у существующих резистивных сплавов серии РС, температуры плавления которых составляют от 1250 до 1570 °С. Снижение температуры плавления повышает вероятность получения трещиностойких заготовок мишеней из сплавов этой системы методом литья.

Список литературы

1. Синтезирование специальных сплавов и получение на их основе катодов-мишеней для вакуумно-плазменного нанесения защитных покрытий на металлические изделия, разработка новых резистивных сплавов на основе силицидов, технологий изготовления из них мишеней методами литья: отчет о НИР (промежуточный) / ФТИ НАН Беларуси; рук. темы А.Т. Волочко. – Минск, 2016. – 29 с. – № ГР 20160879.

2. Крукович, М.Г. Расчет эвтектических концентраций и температуры в двух и многокомпонентных системах / М.Г. Крукович // МиТОМ, 2005. – № 10. – С. 9–17.

УДК 669.714

А.Г. СЛУЦКИЙ, канд. техн. наук,
В.А. ШЕЙНЕРТ,
Н.В. ЗЫК, канд. хим. наук,
И.Л. КУЛИНИЧ, А.И. ИВАНОВ (БНТУ)

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИГАТУР НА ОСНОВЕ МОЛИБДЕНА, ХРОМА И МАРГАНЦА

Целью настоящих исследований является разработка технологических принципов получения лигатур на основе молибдена, хрома и марганца.

Легированные литейные сплавы широко применяются практически во всех отраслях промышленного производства. Для их получения используются ферросплавы и лигатуры, поставляемые в Республику Беларусь по импорту. Ранее выполненные исследования показали перспективность применения для этих целей отходов смежных производств, в виде отработанных катализаторов, шламов гальванического производства, оловянно-свинцовой изгари, а также шлаков цветно-литейного производства [1, 2].

В промышленных условиях ферросплавы и лигатуры получают в основном с использованием восстановительных процессов за счет газов, либо твердых веществ (углерод, алюминий, кремний, магний). Например, методом косвенного восстановления можно получать металлы только из оксидов первой и второй групп (медь, никель, железо). Для третьей группы металлов (молибден, хром, марганец) используется метод прямого восстановления твердым углеродом. Термодинамический анализ различных способов восстановления таких металлов как молибден, хром, марганец показал, что рациональной технологией получения на их основе лигатур является выпечная металлотермия [3].

В металлотермии в качестве восстановителей обычно используют алюминий и кремний. При этом основное значение данного процесса состоит в получении безуглеродистых металлов и сплавов, необходимых в ряде производств. Применение алюминия в качестве восстановителя позволяет осуществлять процесс в большинстве случаев без внешнего подогрева. Процессы металлотермического восстановления осуществляются в области весьма высоких температур и для успешного течения, например, алюминотермического процесса без внешнего подогрева, необходимо, чтобы приход тепла составлял не менее 2300 Дж на 1 г шихты.

Ранее выполненные термодинамические расчеты [4] показали, что значения термичности восстановительных смесей изменяются в широких пределах от 1495 Дж/г для реакции восстановления титана до 4700 Дж/г для молибдена.

Сопоставление расчетных значений термичности показало, что без внешнего подогрева можно восстановить за счет алюминия никель, медь, молибден, а для таких металлов как хром, титан, марганец требуется предварительный подогрев смеси. Это было под-

тверждено результатами лабораторных экспериментов на чистых оксидах [5].

При изучении процесса получения лигатур на основе молибдена, хрома, марганца использовались восстановительные смеси, в состав которых, наряду с чистыми оксидами, входили и вторичные материалы (отработанные медь и хром, содержащие катализаторы, молибденовый концентрат и др.).

Расчетное количество компонентов загружали в специальный ковш-реактор, который устанавливали под вентиляционным зонтом. Затем смесь поджигали специальным запалом и вели наблюдение за ходом процесса. После полного охлаждения из тигля извлекали продукты реакции в виде слитка и шлака с последующим их взвешиванием.

Подбирая варианты восстановительных смесей, содержащих оксиды молибдена, марганца, хрома и меди, была проведена серия экспериментальных плавков методом СВС-процесса и получены образцы различных лигатур (рисунок 1) [6].



a – хром-молибден; *б* – медь-хром; *в* – медь-марганец; *г* – железо-молибден

Рисунок 1 – Опытные образцы лигатуры, полученные CDC-процессом

Установлено, что металлургический выход полученных слитков лигатур достаточно высокий и составил 90–94 %. Химический анализ показал, что в шлаковой части практически отсутствуют оксиды меди, молибдена, хрома и марганца, а полученная лигатура соответствует расчетному составу.

На следующем этапе были проведены лабораторные испытания лигатур при получении различных литейных сплавов. Так лигатуры хром-молибден, железо-молибден использовались в качестве легирующей присадки при плавке чугуна и стали на высокоскоростной

индукционной установке. Лигатуры медь-хром и медь-марганец применялись взамен чистого хрома и электролитического марганца при плавке высокопрочной бронзы марок БрКМц 3-1 и БрХ1.

В дальнейшем планируется изготовление опытных партий таких лигатур с целью проведения промышленных испытаний при получении специальных гильзовых чугунов, низколегированной молибденосодержащей стали, высокопрочной бронзы.

В целом технологическая схема получения лигатур с использованием, в том числе, вторичных материалов методом СВС представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Технологическая схема получения и применения лигатур на основе молибдена, хрома и марганца

Таким образом, на основании термодинамических расчетов и экспериментальных исследований подтверждена возможность получения методом внепечной металлургии различных лигатур. Это позволит не только отказаться от импорта ферросплавов, но и расширить объемы производства легированных литейных сплавов. Использование в составе смесей вторичных материалов, содержащих оксиды молибдена, хрома, меди и марганца, обеспечит существенное сокращение себестоимости лигатур и обеспечит конкурентоспособность продукции машиностроения.

Список литературы

1. **Экономное** легирование железоуглеродистых сплавов / С.Н. Леках [и др.]. – Минск: Навука і тэхніка, 1996. – 173 с.
2. **Процесс** получения лигатуры на основе меди с использованием вторичных материалов / А.Г. Слуцкий [и др.] // Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2017. – Вып. 38. – С. 96–100.
3. **Дубровин, А.С.** Металлотермия специальных сплавов / А.С. Дубровин. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – 254 с.
4. **Исследование** особенностей выплавки безжелезистых лигатур методом внепечной металлотермии / А.Г. Слуцкий [и др.] // Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2009. – Вып. 32. – С. 55–62.
5. **Слуцкий, А.Г.** Исследование процесса получения молибденсодержащей лигатуры методом внепечной металлургии / А.Г. Слуцкий, А.С. Калиниченко, В.А. Шейнерт // Наука и техника: междунар. науч.-техн. журнал. – 2012. – № 4. – С. 13–16.
6. **Перспективы** использования молибденсодержащих материалов для легирования железоуглеродистых сплавов при получении отливок ответственного назначения / А.Г. Слуцкий [и др.] // Литье и металлургия. – 2015. – № 2. – С. 64–69.