

Литература

1. **Экономное** легирование железоуглеродистых сплавов / С.Н. Леках [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1996. – 286 с.
2. **Слущкий, А.Г.** Исследование особенностей легирования гильзового чугуна медьсодержащими отходами / А.Г. Слущкий, Р.Э. Трубицкий, В.А. Сметкин // *Литье и металлургия*. – 2005. – № 2, ч. 1. – С. 113–116.
3. **Разработка** состава и технологии выплавки экономнолегированного чугуна для гильз цилиндров автомобильных двигателей / А.Г. Слущкий [и др.] // *Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр.* – Вып. 30. – Минск: БНТУ, 2006. – С. 71–74.
4. **Термодинамические** особенности процесса восстановления легирующих элементов из соединений / А.Г. Слущкий [и др.] // *Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр.* – Вып. 32. – Минск: БНТУ, 2009. – С. 94–97.

УДК 621.745.669.13

А.Г. СЛУЦКИЙ, канд. техн. наук,
А.С. КАЛИНИЧЕНКО, д-р техн. наук,
Н.В. ЗЫК, канд. хим. наук,
А.А. АНДРИЦ, канд. техн. наук,
А.Н. ГЛУШАКОВ (БНТУ),
И.Л. ПОБОЛЬ, д-р техн. наук (НАНБ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ СПЕЦИАЛЬНОГО СПЛАВА

Целью настоящих исследований является изучение процесса получения литых заготовок из специального сплава Со–Ст–Мо медицинского назначения. При изготовлении изделий медицинского назначения широкое применение нашли безникелевые сплавы системы Со–Ст–Мо (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав Co–Cr–Mo-сплава

Химический элемент	Co	Cr	Mo	C	N	Mn	Si	Ni	Fe	O	P	S
Содержание элемента, %	61,79	29,5	6,6	0,23	0,14	0,7	0,7	0,14	0,07	0,011	0,002	0,004
Примечание – содержание Cu, Al, Ti, W, B по 0,001 массы % каждого												

Технологические эксплуатационные свойства кобальтовых сплавов во многом зависят от фазового состава, который определяется количественным содержанием легирующих элементов и условиями обработки [1].

Одним из методов извлечения легирующих элементов из соединения является металлотермическое восстановление. Данный процесс широко используется в металлургии для получения ферросплавов на основе трудновосстановимых оксидов титана, вольфрама, ниобия, хрома и др. В качестве восстановителей используются элементы, имеющие более высокое сродство к кислороду (алюминий, магний, кальций и др.). Реакция сопровождается выделением значительного количества теплоты, за счет которого обеспечивается формирование слитка восстановленного металла либо сплава. Важным показателем процесса является термичность смеси, которая определяется по формуле

$$g = - \frac{\Delta H}{\sum M_{\text{исх. веществ}}},$$

где g – термичность, кал/г; ΔH – тепловой эффект реакции, кал/моль; $\sum M_{\text{исх. веществ}}$ – сумма атомной и молекулярной массы исходных веществ, г/моль.

Для успешного протекания металлотермического восстановления без внешнего подогрева термичность смеси должна быть не менее 2300 Дж/г [2]. Термодинамические исследования показали возможность металлотермического восстановления большинства металлов за счет алюминия. На рисунке 1 представлены результаты расчетов термичностей смесей на основе различных оксидов.

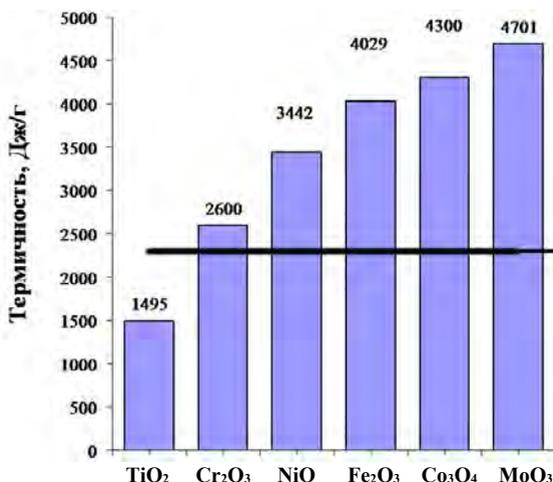
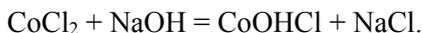
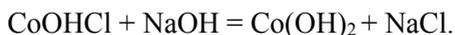


Рисунок 1 – Термичность восстановительных смесей на основе различных оксидов

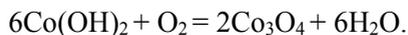
На основе полученных расчетов подобраны составы смесей для получения слитков чистого хрома, а также лигатур хром–молибден и хром–кобальт. В качестве основных компонентов смесей использовали чистые оксиды хрома и молибдена. Предварительно оксид кобальта Co_3O_4 получали из его соли $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ путем осаждения едкой щелочью NaOH из холодного раствора по реакции:



Полученный осадок нагревали с избытком основания, при этом образовывался гидроксид кобальта (II) по реакции:



Гидроксид кобальта (II) подвергали дальнейшему нагреванию при температуре $500\text{ }^\circ\text{C}$ в присутствии кислорода воздуха до получения оксида кобальта Co_3O_4 в виде порошка черного цвета по реакции:



На первом этапе исследовали процесс восстановления чистого хрома. Ввиду низкой термичности использовали подогрев смеси в печи. Установлено, что максимальный металлургический выход по хрому обеспечивается при температуре 750 °С (рисунок 2).

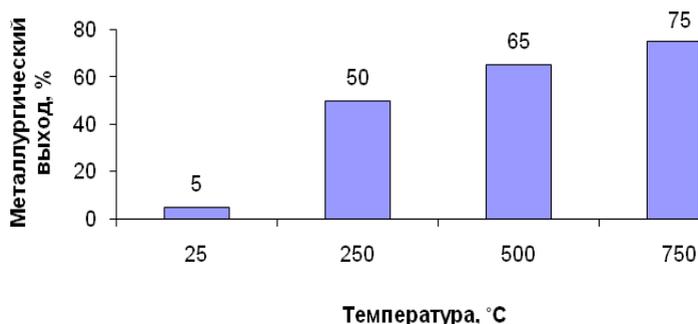


Рисунок 2 – Влияние температуры подогрева смеси на металлургический выход хрома

Исследование процесса получения лигатур хром–молибден и хром–кобальт осуществлялось подбором состава восстановительной смеси, обеспечивающей активное протекание реакции с максимальным металлургическим выходом. В таблице 2 приведены результаты экспериментов по лигатуре хром–молибден.

Таблица 2 – Результаты экспериментов

Содержание в смеси, %		Термичность, Дж/г	Ход реакции	Металлургический выход, %
Cr ₂ O ₃ +Al	MoO ₃ +Al			
70	30	3100	Не активно	39
60	40	3440	Активно	58
50	50	3650	Очень активно	74
40	60	3860	Бурно	35

Анализ полученных результатов показал, что при содержании в смеси до 30% оксида молибдена из-за недостаточно высокой термичности процесс протекал не активно, что не позволило получить компактный слиток лигатуры. И только при добавках в смесь от 40–50 % оксида молибдена процесс восстановления протекал

активно, что обеспечило достаточно высокий металлургический выход (58–74 %). При дальнейшем увеличении в смеси оксида молибдена реакция протекала очень бурно, с выбросами продуктов за пределы тигля. В качестве примера на рисунке 3 представлен общий вид полученной лигатуры.

В результате проведенных экспериментов и анализа характера протекания восстановительных процессов установлено, что оптимальное соотношение оксида хрома и оксида молибдена в смеси, обеспечивающее максимальный металлургический выход, составляет 50:50 %.

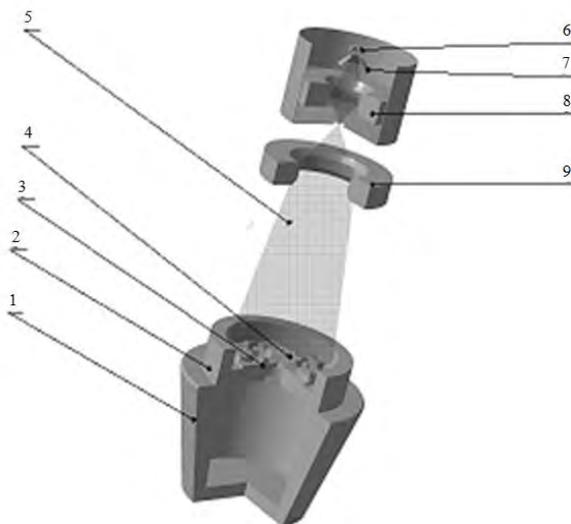


Рисунок 3 – Общий вид лигатуры Cr–Mo

Аналогичные результаты достигнуты и по процессу получения лигатуры хром-кобальт.

Полученные по такой методике чистый хром и лигатуры на его основе, содержащие кобальт и молибден, были использованы в качестве шихты для последующего переplava на электронно-лучевой установке в заготовки нужного размера.

В условиях ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси» была проведена опытная плавка Co–Cr–Mo сплава на аксиальной электронно-лучевой пушке с плазменным источником электронов на основе дугового разряда (рисунок 4). Компонентами шихты являлись чистый хром, а также лигатуры Cr–Mo и Co–Cr, конечным продуктом переplava являлись цилиндрические заготовки из специального сплава Co–Cr–Mo для последующей штамповки изделий медицинского назначения (например, чашки имплантата).



1 – графито-шамотный тигель; 2 – медный водоохлаждаемый кокиль; 3 – пластина из Co–Cr–Mo; 4 – компоненты шихты; 5 – электронный луч; 6 – эмитирующая плазменная поверхность; 7 – ускоряющий электрод; 8 – электромагнитная линза; 9 – фокусирующая электромагнитная линза

Рисунок 4 – Схема установки

Таким образом, проведенные предварительные исследования подтверждают возможность получения сплавов специального назначения с использованием высокотемпературного металлотермического восстановления исходных компонентов и последующим их сплавлением на установке электронно-лучевого переплава.

Литература

1. Красиков, В.Л. Закономерности формирования структуры и свойств имплантатов при скоростном нагреве и пластическом деформировании сплава системы кобальт–хром–молибден: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / В.Л. Красиков. – Минск, 2008. – 161 с.

2. Казачков, Е.А. Расчеты по теории металлургических процессов / Е.А. Казачков. – М. Металлургия, 1988. – 288 с.