

В диссертационный совет Д 212.092.01
ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет» по адресу:
681013, г. Комсомольск-на-Амуре,
пр. Ленина, 27

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию **Балахонова Дениса Игоревича**

«Разработка технологии получения тугоплавких металлов и их карбидов из минеральных концентратов в потоке низкотемпературной плазмы», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 «Материаловедение (в машиностроении)»

Актуальность темы диссертационного исследования

Комплексное использование многокомпонентного минерального сырья с применением концентрированных потоков энергии в диапазоне от $g > 10^3 - 10^4$ Вт/см², в частности плазмы, решают одну из важных материаловедческих задач. Подобные технологии в перспективе могут исключить гидрометаллургическую переработку, и является одним из перспективных направлений исследований в области современного материаловедения. Карбиды вольфрама и титана, образующиеся в результате высокотемпературного воздействия, могут отличаться особыми свойствами от уже известных материалов, получаемых по классическим технологиям и, как правило, они имеют более низкую себестоимость, а применение специальной техники позволит производить переработку более безопасными в производстве способами. Примером подобных технологий является экстрактивная металлургия с применением высокотемпературной плазмы.

Использование плазменных технологий для получения функциональных материалов и покрытий непосредственно из минерального сырья до настоящего времени носит неоднозначный характер. Имеются публикации отражающие вопросы переработки различных руд и рудных концентратов, направленных на разрушение кристаллической решетки минерала в целях облегчения химического выделения извлекаемого элемента и обеспечения полноты его извлечения. Проводятся исследования по получению новых материалов и покрытий на поверхности деталей с применением концентрированных источников нагрева, что позволяет получать улучшенную структуру и свойства обрабатываемых деталей и материалов, которые недостижимы при ранее известных способах.

На основании проведённых исследований автором выдвигается гипотеза о

том, что получение карбидов вольфрама и титана из минеральных концентратов возможно производить при комплексном использовании всех компонентов, входящих в состав концентрата, с применением плазменной технологии. В соответствии с этим при решении поставленных задач автор исследовал условия протекания процессов химических реакций в высокотемпературной среде плазменного потока, природу движения и взаимодействия частиц в плазменном потоке, а также свойства и структуру получаемых в ходе плазмохимического синтеза материалов. При этом в диссертационном исследовании затрагивается проблема описания природы плазмохимических процессов, протекание реакций разделения и синтеза.

Научная новизна. Достоверность основных выводов и полученных результатов

В результате исследований автор получил ряд важных результатов:

1. Получена имитационная (компьютерная) модель процессов плазмохимического синтеза и математическая модель, позволяющие исследовать и прогнозировать влияние параметров плазмы, на процесс получения W, Ti и их карбидов.
2. Установлены и научно обоснованы закономерности изменения состава, структуры, свойств и концентрации полученных тугоплавких металлов W, Ti и их карбидов в процессе плазменного синтеза при высокоэнергетическом воздействии на минеральные концентраты потока плазмы с показателем $g > 10^4 \dots 10^5 \text{ Вт/см}^2$ и температурах 3380...7650 К.
3. Выявлены и научно обоснованы закономерности формирования структуры и свойств вольфрама, карбида вольфрама, полученных при высокоэнергетическом воздействии на вольфрамсодержащие минеральные концентраты Дальневосточного (ДВ) региона – шеелитового (55,4 масс. % WO_3) и вольфрамата кальция (78,9 масс. % WO_3).
4. Выявлены и научно обоснованы закономерности формирования структуры и свойств синтезированного металлокерамического сплава, полученного при воздействии энергиями высокой плотности $g > 10^4 \dots 10^5 \text{ Вт/см}^2$ в среде инертного газа.
5. Установлены и научно обоснованы закономерности формирования структуры и свойств титана и карбида титана при воздействии плазменным потоком на титаносодержащие минеральные концентраты ДВ региона (рутиловый – 75,5 масс. % TiO_2 и ильменитовый – 48,64 масс. % TiO_2). Температура плазменного потока составила 3380...7650 К, масса добавленного графита варьировалась от 10 до 50 масс. % от массы шихты.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка. Текст диссертации изложен на 197 страницах, содержит 5 глав, включает 84 рисунка, 34 таблицы, библиографический список, включающий 145 наименований и приложение.

По теме диссертационного исследования опубликовано 14 печатных работах, в том числе 3 статьи входящих в перечень журналов ВАК РФ; 2 статьи опубликовано в журналах, входящих в международную систему цитирования Scopus; и получен 1 патент на изобретение.

Во введении рассмотрено состояние проблемы переработки вольфрам- и титансодержащих минеральных концентратов, обоснована потребность в продуктах из титана и вольфрама, актуальность и значимость выбранной темы диссертации, сформулированы цели, определены практическая ценность и научная новизна полученных результатов.

В главе 1 представлены обзор литературных источников и поставлены задачи исследования. В научных работах отечественных и зарубежных авторов подробно описаны предпосылки и развитие плазменных технологий в области переработки руд и рудных концентратов, которым первоначально предшествовали задачи и цели ядерной энергетики и порошковой металлургии. В ходе анализа автором установлено, что плазменный синтез соединений из концентратов с низким содержанием основного оксида металла может стать не только наиболее эффективным способом, но и экологически безопасным при переработке руд и рудных концентратов.

Раскрыты недостатки гидрометаллургических способов получения тугоплавких металлов W и Ti из руд и концентратов. Проанализированы результаты ученых и специалистов в области плазменной и экстрактивной металлургии тугоплавких металлов, карбидов вольфрама и титана, отмечены их достоинства и недостатки.

В главе 2 представлена методика проведения экспериментов и экспериментальная установка, являющаяся прототипом для проведения плазмохимического синтеза, и шихта на основе минеральных концентратов. С целью определения параметров эксперимента и предполагаемых результатов разработана математическая модель оптимизации процесса плазменного синтеза тугоплавких металлов и их карбидов из вольфрам- и титансодержащих концентратов. При разработке модели применялся метод Бокса–Уилсона.

Объектами изучения являются концентраты: шеелитовый, с содержанием WO_3 до 55,4 масс. % ; рутиловый, с содержанием TiO_2 до 75,4 масс. %; ильменитовый, с содержанием TiO_2 до 48,64 масс. %; вольфрамат кальция WO_3 до 77,98 масс. %.

Теоретическими и экспериментальными методами определены

электрические и термодинамические показатели плазмы. Разработана имитационная модель взаимодействия частиц шихты с плазмой. Математическим и имитационным моделированием доказано, насколько устойчив и контролируем процесс плазменного синтеза, более того, при каких условиях будет протекать восстановление тугоплавких металлов и их соединений из деструктурированных элементов, входящих в состав минеральных концентратов.

В главе 3 представлены результаты исследований структуры и свойств материалов, полученных при плазмохимическом синтезе карбидов вольфрама при использовании высококонцентрированных потоков энергии ($g > 10^4 \dots 10^5$ Вт/см²) из вольфрам содержащих минеральных концентратов Дальневосточного региона с различной концентрацией оксида вольфрама – шеелитового (55,4 масс. % WO₃) и вольфрамата кальция (78,9 масс. % WO₃).

В главе 4 приведены результаты исследований структуры и свойства синтезированных материалов – керамических сплавов, полученных при воздействии высококонцентрированных потоков энергии ($g > 10^4 \dots 10^5$ Вт/см²) в среде инертного газа из шихты на основе вольфрам содержащих минеральных концентратов и восстановителя – графита.

В главе 5 приведены результаты исследований по восстановлению титана и образованию карбида титана и описаны условия проведения плазмохимического синтеза карбида титана из титаносодержащих концентратов (рутилового – 75,5 масс. % TiO₂ и ильменитового – 48,64 масс. % TiO₂). Температура плазмы 3580...7650 К, концентрация графита варьировалась от 10 до 50 масс. % от массы шихты.

Практическая значимость работы

- Впервые разработан способ получения тугоплавких металлов W, Ti и их карбидов из многокомпонентных минеральных концентратов с использованием плазменных технологий, отличие которого заключается в том, что процесс синтеза происходит в один технологический приём.
- Разработана экспериментальная плазменная установка и способ получения мелкодисперсных карбидов W и Ti из многокомпонентных минеральных концентратов, позволяющий получать не только карбиды вольфрама различной дисперсности от 1 до 1000 нм, но и гетерогенные композиции, имеющие в своем составе карбиды.
- Установлено, что мелкодисперсные порошки карбидов W и Ti, полученные в ходе экспериментов из вольфрам- и титаносодержащих концентратов, при воздействии на них низкотемпературной плазмой $4 \cdot 10^3 - 8 \cdot 10^3$ К при различных условиях плазменного синтеза, отличаются физико-химическими

свойствами: микротвердостью до 20 ГПа; жаростойкостью порядка 550 °С; размером частиц от 1 до 1000 нм.

Замечания по диссертационной работе

Не совсем понятны зависимости массы восстановленного вольфрама из вольфрамата кальция и шеелита от температуры плазменного потока, массы введенного графита и размера фракции шихты, представленные на рис 3.14 и 3.15.

В тексте диссертации не представлены результаты исследований структуры, подтверждающие вывод о наличии в полученных материалах сложного карбида вольфрама W_6C .

Не совсем понятно, на каком основании сделан вывод о размере и структуре порошка карбида вольфрама, представленного на рис 4.11.

Отмеченные замечания лишь незначительно снижают качество материала диссертации, и не влияют на основные результаты исследования и выводы.

Оценка содержания работы

Работа Балахонова Дениса Игоревича написана технически грамотным языком, логично и доказательно изложены полученные результаты, иллюстративный материал дает наглядное представление об использованных методах и установленных закономерностях.

Заключение

С учетом проведённого автором научно-технологического исследования, решённых практически важных задач большой практической значимости, научной обоснованности, оригинальности и новизны технологических разработок можно сделать вывод о том, что диссертация Балахонова Дениса Игоревича «Разработка технологии получения тугоплавких металлов и их карбидов из минеральных концентратов в потоке низкотемпературной плазмы» является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком современном научно-техническом уровне. Считаю, что диссертация Балахонова Дениса Игоревича на тему **«Разработка технологии получения тугоплавких металлов и их карбидов из минеральных концентратов в потоке низкотемпературной плазмы»** соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а также п. 9 «Положение о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. и паспорту специальности 05.16.09, а ее автор, Балахонов Денис Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении).

Официальный оппонент доктор технических наук,
(02.00.05 Электрохимия) профессор, заведующий
лабораторией защитных покрытий и морской коррозии
Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Института химии Дальневосточного отделения
Российской академии наук

Павел Сергеевич Гордиенко

690022, Приморский край, г. Владивосток, пр. 100-летия
Владивостока, 159

Тел: 8-914 703 77 89

e-mail: pavel.gordienko@mail.ru

Подпись д.т.н., профессора П.С. Гордиенко заверяю. Ученый секретарь
Институт химии ДВО РАН, к.х.н.  Д.В. Маринин

