

Смирнов Леонид Андреевич
академик

Тел.: +7(343)374-03-91; +7(343)374-84-47; факс: +7(343)374-14-33;
e-mail: sekretar@uim-stavan.ru; smirnov@uim-stavan.ru

ОТЗЫВ
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию Гавриловой Татьяны Олеговны
«Совершенствование технологии получения азотированных хромистых СВС-лигатур для специальных сталей и сплавов для аддитивного производства»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов

Актуальность темы исследования

В настоящее время в связи с увеличением доли производства специальных сталей и сплавов повышаются требования к их качеству и эксплуатационным свойствам. Повышение этих свойств можно достигнуть за счет введения более эффективных легирующих добавок, разработки новых способов и оптимизации технологических параметров производства азотсодержащих сплавов.

Повышение качества азотсодержащих СВС-лигатур позволяет более точно дозировать и обеспечивать содержание в металле легирующих элементов и азота в узких концентрационных пределах, что делает возможным получение специальных сталей и сплавов с уникальными характеристиками для различных областей применения, в том числе для аддитивных технологий.

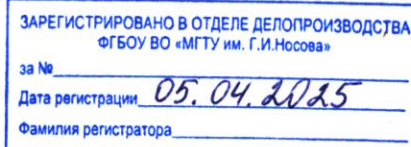
В связи с изложенным тема диссертации Гавриловой Т.О. является актуальной.

Объем, структура и содержание диссертации

Диссертация изложена на 121 странице, содержит 21 таблицу, 52 рисунка, 3 приложения. Она состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 122 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, направленного на повышение качества азотированных хромистых лигатур за счет научно обоснованного подхода к совершенствованию СВС-технологии производства лигатур. Сформулированы цель и задачи работы, представлены ее научная новизна и практическая значимость.

В первой главе «Классификация специальных сталей и способы улучшения их свойств при азотировании» представлен обзор научной и технической литературы по вопросам состояния базы легирующих элементов Российской



Федерации и их классификация по степени дефицитности; проанализированы основные факторы, влияющие на технико-экономическую эффективность использования спецсталей для изготовления изделий, сформулированы современные требования к металлургическим характеристикам спецсталей, разработана их классификация в современных условиях. Обоснована целесообразность применения азота в качестве легирующей добавки, описан механизм влияния азота на качество и свойства стали, приведена классификация азотистых сталей по применению. Проанализированы основные способы азотирования стали, показаны преимущества введения в расплав азотированных лигатур, способы их производства, представлена классификация использования азотсодержащих материалов для легирования стали азотом, рассмотрены особенности применения аддитивных технологий в металлургии. Показана необходимость разработки требований к исходному сырью для производства азотированных хромсодержащих лигатур СВС-методом, оптимальных технологических параметров синтеза особо чистых азотированных хромсодержащих лигатур и состава лигатур для дальнейшего их применения в аддитивных технологиях.

Во второй главе «Особенности технологии производства азотированных хромистых материалов СВС методом» рассмотрены особенности технологического процесса производства азотированных хромсодержащих материалов СВС-методом. Для проведения экспериментальных исследований разработан усовершенствованный лабораторный реактор (подана заявка на изобретение № 2024 130 220 РФ). Изучены закономерности горения хрома и феррохрома при СВС-процессе, получена зависимость адиабатической температуры горения Cr и Fe-Cr от давления в реакторе, приведены параметры образования нитридов хрома, обобщена зависимость влияния температуры на растворимость азота в твердом хrome в интервале 1050÷1450°C. Получена и математически описана экспериментальная зависимость линейной скорости горения хрома и феррохрома и степени азотирования от давления азота. Разработана технологическая карта и технологическая схема производства СВС-лигатур на основе информатизации и поэтапного контроля качества, позволяющие обеспечить особую чистоту получаемых продуктов. Определены требования к исходным материалам и необходимому оборудованию. Приведены показатели опытных партий азотированного хрома.

В третьей главе «СВ-синтез азотированного хрома особой чистоты для специальных сталей» проанализированы особенности СВС-процесса в существующих производственных условиях НТПФ «Эталон», приведена классификация режимов СВС-процесса в безгазовом и газовом режимах. Решена технологическая проблема образования нитридов хрома вследствие их низкого теплового эффекта, что затрудняет их синтез. Эта задача решена применением в синтезе тонкодисперсных порошков хрома и феррохрома, подогревом подаваемого газообразного азота, электроподогревом исходной шихты, а также применением «доноров тепла» по принципу «химической печи» в условиях СВС-процесса и при синтезе в условиях спутного потока, используя собственную

теплоту экзотермической реакции. Определены требования к исходным компонентам и технологические параметры СВ-синтеза для промышленного производства азотированного хрома в спутном потоке. Практически доказана возможность получения на базе СВС-технологии порошка азотированного хрома заданного состава и особой чистоты.

В четвертой главе «Экспериментальные исследования получения металлоизделий с помощью аддитивных технологий» представлены результаты экспериментальных исследований получения металлоизделий с помощью аддитивных технологий. Показана возможность использования азотированного порошка марки ПР-АН55Х45 при аддитивном производстве деталей из азотированных сплавов методом их прямого лазерного выращивания. Определены оптимальные параметры 3D печати металлоизделий, рассмотрено влияние гранулометрического состава порошка на качество изделий. Показано, что дополнительный подогрев платформы построения до 200°C обеспечивает лучшее качество образцов.

Научная новизна полученных результатов:

- Впервые исследован процесс спутного горения порошков алюмотермического хрома и феррохрома в токе азота с его предварительным подогревом. Показано, что при одинаковом расходе реагирующего газа повышение его начальной температуры до 300-600°C приводит к увеличению температуры СВС-процесса на 230-380°C, что в свою очередь положительно влияет на концентрацию в продуктах вредных примесей: S, C, O и др.

- Установлена и математически описана зависимость влияния давления азота на степень азотирования хрома и феррохрома в СВС-реакторе. Предложены и использованы для анализа полученных экспериментальных данных формулы для определения линейной и массовой скорости твердофазного горения хрома и феррохрома при повышенном давлении азота.

- Получена зависимость линейной скорости горения от давления азота в диапазоне от 1 до 10 МПа.

- Математически описана зависимость растворимости азота в твердом хrome от температуры в интервале 1000÷1450°C и показана необходимость повышения давления при СВС-процессе до 8÷9 МПа.

Практическая значимость работы:

- показана возможность получения на базе использования СВС-технологии азотированного хрома и феррохрома особой чистоты и точного состава; определены требования к исходным компонентам и технологические параметры СВ-синтеза для промышленного производства азотированного хрома в спутном потоке азота; разработана технологическая карта производства азотированного хрома и феррохрома; разработан усовершенствованный лабораторный СВС-реактор, обеспечивающий более широкий диапазон исследований; доказана возможность получения плотных деталей с применением 3D-печати металлом по аддитивной технологии SLM (селективное лазерное плавление) с применением металлического порошка азотистого никель-хромового сплава марки ПР-

АН55Х45 при условии соблюдения требований к гранулометрическому составу порошка;

- разработана СВС-технология получения композиционных порошков азотированного хрома для применения при выплавке азотистых сплавов. Исследованы структурные особенности и отдельные физико-механические свойства композиционных порошков азотированного хрома в зависимости от объемного содержания азотной связки в порошке;

- полученные результаты исследования внедрены в ООО «НТПФ «Эталон» г. Магнитогорска, ООО «Кристалл» г. Магнитогорска, что подтверждено соответствующими актами.

Достоверность и степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Выносимые на защиту научные положения являются достоверными и обоснованными, что подтверждается использованием современных теоретических и экспериментальных методов исследований, применением методов математической статистики с использованием современных статистических программных пакетов при обработке данных. Достоверность проведенных исследований базируется также на использовании современных сертифицированных приборов и подтверждается большим объемом экспериментальных исследований и положительными результатами апробации аддитивной технологии получения деталей из азотированных сплавов.

Замечания и вопросы по диссертации

- Не оспаривая в принципе вывод диссертанта о повышении качества азотированных хромсодержащих лигатур при применении газообразного азота высокой чистоты, хотелось бы при защите привести более подробные экспериментальные данные по этому вопросу.

- На стр. 67 диссертации автор делает вывод о выборе чистого хрома металлического (ГОСТ 5905-2004) с размерами частиц 0-0,315мм. В то же время, в последующем при изготовлении порошков азотированного сплава фактический гранулометрический состав отклоняется от рекомендованного. Требуется уточнение.

- Экспериментальные результаты по получению изделий аддитивным способом немногочисленны. Необходимо при защите более аргументировано обосновать оптимальность технологических параметров процесса с точки зрения качества получаемого изделия. Можно согласиться с выводом диссертанта (стр. 110) о целесообразности продолжения исследований в этом направлении.

Заключение о соответствии диссертации установленным критериям

По теме диссертации опубликовано 11 научных трудов, из них 6 публикации – в рецензируемых журналах из перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ, и 1 статья – в журнале, индексируемом в международных базах Scopus и Web of Science.

Рассматриваемая диссертация является законченной научно-квалификационной работой и соответствует паспорту научной специальности 2.6.2 Metallургия черных, цветных и редких металлов, выполнена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Она содержит совокупность новых результатов и положений, имеет внутреннее единство, имеет теоретическую ценность и практическую значимость.

Содержание автореферата отражает основные положения и выводы диссертации.

Сделанные выше замечания носят частный характер и не снижают в целом научную и практическую значимость выполненной диссертационной работы.

Диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, согласно пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», а её автор, Гаврилова Татьяна Олеговна, достойна присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент Смирнов Леонид Андреевич, доктор технических наук, профессор, академик РАН, АО «Уральский институт металлов», научный руководитель института, г. Екатеринбург

« 4 » апреля 2025 г. [подпись]
подпись

620062, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Гагарина, д.14.
Тел.: +79122415831, e-mail: smirnov@uim-stavan.ru

Шифр и наименование научной специальности оппонента Смирнова Л.А.: «Metallургия черных, цветных и редких металлов» 05.16.02.

Я, Смирнов Леонид Андреевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Гавриловой Татьяны Олеговны, и их дальнейшую обработку.

Подпись Смирнова Л.А. заверяю:

Секретарь-референт

АО «Уральский институт металлов»



Н.В. Захаровская