

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Овчинникова Виктора Васильевича

на диссертационную работу Патрушева Александра Юрьевича
«Влияние добавок тугоплавких соединений на структуру и свойства волокон
и компактных материалов из сплавов на основе кобальта» на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 –
«Порошковая металлургия и композиционные материалы» (технические
науки)

Актуальность темы диссертации

В аэрокосмической технике и во многих отраслях промышленности для изготовления и упрочнения деталей, работающих в условиях износа при повышенных температурах или в агрессивных средах, а также в медицине используются сплавы и покрытия на основе кобальта системы Co-Cr-W(Mo).

Выделяются две группы износостойких материалов на основе кобальта по методу изготовления: литье по выплавляемым моделям с последующим нанесением, например, напайкой изделий на основной металл и наплавка порошковых сплавов, включающие лазерную (электронную) наплавку, газотермическое напыление, наплавку порошковой проволоки, ионную имплантацию. Для получения износостойких материалов весьма перспективным направлением является легирование твердого раствора за счет введения тугоплавких соединений, формирование интерметаллидных соединений и образование сложных карбидов.

Известно применение методов закалки расплава, которые позволяют за счет достижения сверхвысоких скоростей охлаждения добиться расширения пределов растворимости в твердом состоянии; измельчения зерен с возможной модификацией формы зерен и текстуры; уменьшения или исключения микросегрегаций упрочняющих фаз; образования метастабильных фаз. Среди многочисленных методов закалки расплава применяется метод экстракции висящей капли расплава (ЭВКР).

Поэтому проведение исследований по применению метода экстракции висящей капли расплава (ЭВКР), для повышения механических свойств высоколегированных кобальтовых сплавов с дисперсным упрочнением тугоплавкими частицами путем их высокоскоростной кристаллизации с целью повышения их износостойкости является актуальной научной и практической задачей.

Структура и объем диссертации

Представленная на оппонирование диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы (90

наименований) и содержит 112 страниц машинописного текста, в том числе 64 рисунка, 24 таблицы.

Автореферат диссертации представлен на 23 страницах и включает в себя общую характеристику работы, содержание работы, основные результаты работы и список основных работ, опубликованных автором по теме диссертации.

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, проанализирована степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту.

В первой главе автором достаточно подробно выполнен литературный обзор о равновесных и метастабильных диаграммах состояния систем на основе кобальта, таких, как Co–C, Co–B, Co–C–B–(Me). Рассмотрены основные группы износостойких сплавов на основе кобальта по фазовому составу: с карбидной фазой, с интерметаллидной фазой (Tribaloy), на основе твердых растворов. Отмечено, что стеллиты имеют неоднородное распределение карбидов по размерам и объему сплава, неоднородность кристаллической структуры, повышенные остаточные напряжения, приводят к снижению свойств. На основе выполненного литературного анализа соискателем сформулирована цель работы и поставлены конкретные задачи исследований.

Во второй главе автором осуществлен их выбор и подробно описаны методики исследования. Представлена общая схема проведения работ. В работе при проведении структурных исследований использованы оптическая микроскопия, дифференциальная сканирующая калориметрия, сканирующая электронная микроскопия, рентгенофазовый анализ, исследованы микротвердость по Виккерсу и твердость по Роквеллу, линейный износ и интенсивность изнашивания в паре трения с конструкционной сталью. Предложена методика испытаний на растяжение, учитывающая особенности геометрии волокон, изготовленных методом ЭВКР и исследованы прочностные характеристики.

В третьей главе автором приведены результаты исследования влияния введения тугоплавких частиц TiC, B₄C и Co₃B на структуру и свойства сплавов кобальта в условиях высокоскоростного затвердевания расплава и равновесной кристаллизации. Проведенный рентгенофазовый анализ сплава, полученного в условиях равновесной кристаллизации, показал, что присутствует одна линия ГПУ- α -фазы ($2\theta \approx 47^\circ$). Это самый интенсивный рефлекс (101) ГПУ- α -фазы, и его слабая интенсивность свидетельствует о том,

что в сплаве при кристаллизации с обычными скоростями присутствуют только следы равновесной ГПУ- α -фазы. Установлено, что отсутствие у γ -фазы текстуры. TiC способствует формированию однофазной структуры на основе ГЦК- γ -фазы как при обычной, так и при сверхбыстрой кристаллизации. Более высокая микротвердость волокон сплавов системы Co-TiC является следствием неравновесного затвердевания расплава в присутствии карбида TiC. Дополнительный эффект упрочнения при быстром охлаждении (методом ЭВКР) дают повышение искажения и фрагментация кристаллической решетки матрицы и карбидных частиц. Уменьшение значений микротвердости волокон в следствие отжига связано прежде всего с ростом зерна. При высокоскоростном затвердевании расплава исходного состава Co-6B₄C, являющимся заэвтектическим в системах Co-B и Co-C, в поперечном сечении волокон формируется столбчатая структура с сетчатыми выделениями боридов кобальта по данным МРСА. Присутствия карбида углерода не обнаружено. ДТА сплава Co-6B₄C, полученного экстракцией из расплава, выявил сложные фазовые превращения, протекающие в материале.

В результате проведенных исследований было установлено, что экстракция из расплава в целом увеличивает микротвердость сплавов; при добавлении в систему Co-B углерода происходит измельчение микроструктуры образцов и увеличение значений микротвердости. На основе полученных результатов для дальнейшей работы выбрана система (Co-Cr-W)-TiC-1,5B₄C.

В четвертой главе описываются эксплуатационные характеристики компактного материала, полученные на кольцевых образцах, изготовленных методом горячего прессования. Для получения кольцевых образцов была изготовлена пресс-форма из жаропрочного никелевого сплава ЭП648. На стенки прессформы для предотвращения схватывания наносили оксид хрома. Температуру прессования варьировали в пределах 750 – 1000 °С, а усилие прессования от 10 до 20 кН. Длительность изотермической выдержки составляла 15 мин. По результатам исследований была выбрана температура прессования 850 °С, давление прессования 70 МПа и длительность изотермической выдержки 15 мин, что обеспечивает достижение относительной плотности 98,5%. Твердость образцов материала исходного состава (Co-Cr-W)-5%TiC-1,5%B₄C находится в интервале 36 – 39 HRC.

Испытанию на трение-износ подвергались три образца, исследования проводились при следующих условиях: температура испытания 20 °С, давление – 0,26 кгс/мм², V – 0,3 м/с, длительность испытания – 3 ч. Перед и после испытаний замерялась масса каждого образца, оценивался внешний вид. Установлено, что материал (Co-Cr-W)-5TiC-1,5B₄C, полученный методом

закалки расплава и последующего горячего прессования по сопротивлению изнашиванию превосходит примерно в 4 раза сплав (Co-Cr-W), полученный методом порошковой лазерной наплавки.

В заключении сформулированы основные выводы по выполненной работе.

Научная новизна результатов диссертационной работы

В качестве наиболее важных научных результатов диссертационной работы Патрушева А.Ю. следует отметить: формирование однофазной структуры на основе ГЦК- γ -фазы при сверхбыстрой кристаллизации кобальтового сплава за счет введения добавок TiC в количестве до 12 ат. %; явление вторичной рекристаллизации в сплавах системы Co-Co₃B-B₄C при скоростях охлаждения расплава 10^5 К/с, которое вызвано существованием в расплаве нанокластеров боридной фазы.

Показана принципиальная возможность оценки прочностных свойств твердых сплавов на основе измерения прочности волокон, полученных методом экстракции висящей капли расплава.

Достоверность полученных результатов обеспечивается получением всех результатов на поверенном оборудовании с использованием лицензионного программного обеспечения. Стандартные испытания и исследования проводились в соответствии с требованиями научно-технической документации, действующей на территории Российской Федерации (ГОСТ и ISO).

Практическая значимость полученных результатов

1. Показана возможность применения методов горячего прессования для получения изделий из сложнолегированных кобальтовых сплавов, упрочненных дисперсными частицами тугоплавких соединений. Разработаны оптимальные режимы компактирования.

2. Разработана технологическая схема изготовления износостойких изделий из кобальтовых сплавов с упрочнением из тугоплавких соединений с использованием методов закалки расплава и горячего прессования.

3. Проведены триботехнические испытания, показавшие повышение эксплуатационных характеристик кобальтовых износостойких материалов при введении в их состав тугоплавких частиц и последующей закалки расплава с дальнейшим горячим прессованием.

4. Введена в эксплуатацию установка экстракции висящей капли расплава, позволяющая, за счет применения бестигельной плавки как в вакууме так в среде инертных газов, получать микрокристаллические и аморфные частицы практически из любых материалов подвергающихся плавлению, в том числе из химически активных материалов.

Замечания по диссертационной работе и предложения для дальнейших исследований

1. На стр. 72 в разделе 3.1 при анализе причин снижения микротвердости волокон кобальта с различным содержанием добавки TiC вследствие отжига автор полагает, что снижение связано с ростом зерна и распадом фазы Co₂C, однако данное заключение не обосновано результатами исследований.

2. Не понятно, почему автором выбрана температура термообработки сплава Co-3TiC-2V₄C 1100 °С, что немного ниже, чем нижняя температурная граница изучаемого эндотермического эффекта при температуре 1109 – 1142 °С.

3. На стр. 47–48 изложен принцип получения волокон исследуемых сплавов методом экстракции висящей капли, однако не приведены значения параметров (скорость вращения теплоприемника, размеры и скорость подачи заготовки и др.) данного технологического процесса.

4. В работе не исследована динамика износа при трибологических испытаниях горячепрессованных заготовок из сплава состава (Co-Cr-W)-5%TiC-1,5%V₄C.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки выполненной работы.

Заключение о соответствии диссертации критериям установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

В целом диссертационная работа «Влияние добавок тугоплавких соединений на структуру и свойства волокон и компактных материалов из сплавов на основе кобальта» является завершенной, хорошо оформленной, отличается достаточно глубокой проработкой и анализом теоретического и экспериментального материала, имеются необходимые иллюстрации и таблицы, комментирующие полученные автором результаты исследований. Она вносит заметный научный и теоретический вклад в развитие способов управления процессами формирования структуры кобальтовых жаропрочных сплавов, и соответственно, решения проблем повышения эксплуатационной надежности рабочих деталей ГТД.

На используемые заимствованные материалы приведены необходимые ссылки. Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты. Автореферат диссертации отражает основное содержание работы.

Диссертационная работа «Влияние добавок тугоплавких соединений на структуру и свойства волокон и компактных материалов из сплавов на основе кобальта» по тематике, содержанию и результатам соответствует области исследования паспорта научной специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы (технические науки).

Диссертационная работа «Влияние добавок тугоплавких соединений на структуру и свойства волокон и компактных материалов из сплавов на основе кобальта» соответствует требованиям п. 9...11, 13, 14 «Положение о порядке присуждения учёных степеней» Постановления Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 25.01.2024 г.), а ее автор, Патрушев Александр Юрьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы (технические науки).

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой
материаловедения
профессор, докт. техн. наук
по специальности 05.02.10
«Сварка, родственные
процессы и технологии»

Овчинников
Виктор
Васильевич

09.12.2024г

ФГАОУ ВО Московский
политехнический университет
107023, г. Москва, ул. Большая
Семеновская, д.38
E-mail: vikov1956@mail.ru
Телефон 8 962 967-55-11

Подпись Овчинникова В.В. удостоверяю:

ДЕЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬ
ПОГОРЕЛОВА В.В.

