



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное  
бюджетное учреждение  
«Всероссийский научно-  
исследовательский и проектный институт  
тугоплавких металлов  
и твердых сплавов»  
(ФГБУ «ВНИИТС»)

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о директора  
ФГБУ «Всероссийский научно-  
исследовательский и проектный  
институт тугоплавких металлов и  
твердых сплавов»



Говорушенко А.П.

2024 г.

Варшавское ш., д. 56, Москва, 117638  
тел. (499) 6135577 факс (499) 6132033

E-mail: [vniits@rambler.ru](mailto:vniits@rambler.ru)

28 ОКТ 2024 № 143/24

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский и проектный институт тугоплавких металлов и твердых сплавов» на диссертационную работу Патрушева Александра Юрьевича на тему «Влияние добавок тугоплавких соединений на структуру и свойства волокон и компактных материалов из сплавов на основе кобальта», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5. «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

#### Актуальность работы

Износостойкие кобальтовые сплавы и покрытия, в том числе на основе системы Co-Cr-W(Mo), используются в различных отраслях промышленности, а именно в аэрокосмической, нефтедобывающей, в медицине. Широкое применение сплавов на основе системы Co-Cr-W(Mo) обусловлено их стойкостью в условиях износа при повышенных температурах или в агрессивных средах.

Для повышения эксплуатационных свойств деталей из износостойких кобальтовых сплавов, в том числе механических свойств, требуется совершенствование способов физико-химического упрочнения сплавов. Ввиду своей энергоэффективности, перспективным направлением является

легирование сплавов путем введения частиц тугоплавких соединений; образование интерметаллидных соединений; образование сложных карбидов.

Совершенствование технологического процесса изготовления износостойких материалов всегда является актуальным направлением работ. Так, применение методов закалки расплава позволяет за счет достижения сверхвысоких скоростей охлаждения добиться изменений в структуре материала, приводящих к повышению механических характеристик материала.

В своей диссертации автор применяет метод экстракции висящей капли расплава (ЭВКР), который позволяет создавать исходные композиции сочетающие металлические основы и добавки тугоплавких фаз, а также добиваться формирования однородной структуры благодаря бестигельной плавке материала и возможности достижения скоростей охлаждения до  $10^6$  К/с.

Поэтому проведенное автором исследование с применением метода ЭВКР для повышения механических свойств и износостойкости высоколегированных кобальтовых сплавов с дисперсным упрочнением тугоплавкими частицами путем их высокоскоростной кристаллизации **представляет несомненную актуальность** как с научной, так и с практической точки зрения.

### **Общая характеристика работы**

Диссертационная работа представляет собой структурированный, последовательно изложенный экспериментальный материал. 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. Графическая часть диссертационной работы хорошо визуализируема и понятна.

А.Ю. Патрушевым в диссертационной работе показана принципиальная возможность получения волокон из кобальтовых сплавов системы Co-Cr-W с добавками TiC,  $V_4C$ ,  $Co_3W$  методом ЭВКР.

Достоинством диссертационной работы является то, что автору удалось подробно исследовать структурные особенности кобальтовых сплавов, получаемых при сверхвысоких скоростях охлаждения. По результатам исследований методами рентгенофазового и дифференциально-термического анализа установлено, что введение в состав кобальтового сплава системы Co-Cr-W добавок TiC до 12 ат. % при сверхбыстрой кристаллизации приводит к

формированию однофазной структуры на основе ГЦК- $\gamma$ -фазы. С применением методов микрорентгеноспектрального анализа и электронной микроскопии показано, что в сплавах системы Co-Co<sub>3</sub>В-В<sub>4</sub>С при скоростях охлаждения расплава 105 К/с наблюдается вторичная кристаллизация, что вызвано существованием в расплаве нанокластеров боридной фазы.

Представляет интерес предложенная автором методика оценки прочностных свойств твердых сплавов на основе измерения прочности волокон, полученных методом экстракции висящей капли расплава, учитывающий их геометрические особенности. Автором предложен способ крепления волокна при испытаниях и расчетно-графический метод исследования волокон серповидного сечения. Предлагаемая методика апробирована и подтверждена при испытаниях волокон из титанового сплава ВТ1-0, полученных методом ЭВКР.

Автором разработан оптимальный режим горячего прессования изделия типа «кольцо» из сплава (Co-Cr-W)-5%TiC-1,5%B<sub>4</sub>C, выбранного по результатам комплекса исследований: прессование при давлении 70 МПа и нагреве до температуры 850 °С и безусадочной изотермической выдержке 15 мин. Автором достаточно подробно изложен технологический процесс и показаны его особенности, в том числе необходимость предварительного измельчения волокон перед операцией горячего прессования с целью повышения насыпной плотности материала. Оптимальный режим получения обеспечивает достижение изделия типа «кольцо» из сплава (Co-Cr-W)-5%TiC-1,5%B<sub>4</sub>C уровня относительной плотности 98,5%.

Результаты испытаний на трение-износ демонстрируют положительные результаты исследований структурных особенностей кобальтовых сплавов с упрочнением из тугоплавких соединений с использованием методов закалки расплава и горячего прессования: полученное изделие типа «кольцо» из сплава (Co-Cr-W)-5%TiC-1,5%B<sub>4</sub>C имеет показатель интенсивности изнашивания в условиях сухого трения  $2,2 \cdot 10^{-8}$ , что примерно в 4 раза превосходит сплав (Co-Cr-W-Ni), полученный методом порошковой лазерной наплавки.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

- автором показана возможность применения методов горячего прессования для получения изделий из сложнолегированных кобальтовых сплавов, упрочненных дисперсными частицами тугоплавких соединений, диссертантом разработаны оптимальные режимы компактирования;

- разработана технологическая схема изготовления износостойких изделий из кобальтовых сплавов с упрочнением из тугоплавких соединений с использованием методов закалки расплава и горячего прессования;

- 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;

- 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.

### **Наиболее важные полученные результаты**

Научная новизна диссертационной работы Патрушева А.Ю. не вызывает сомнения и заключается в следующем:

- впервые установлено, что введение в состав кобальтового сплава добавок TiC до 12 ат. % при сверхбыстрой кристаллизации приводит к формированию однофазной структуры на основе ГЦК- $\gamma$ -фазы;

- установлено, что в сплавах системы Co-Co<sub>3</sub>B-B<sub>4</sub>C при скоростях охлаждения расплава  $10^5$  К/с наблюдается вторичная кристаллизация, что 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.

### **Рекомендации по практическому использованию основных результатов диссертации**

Представленные в диссертационной работе новые научные результаты и практические разработки в области порошковой металлургии и технологии изготовления износостойких изделий из кобальтовых сплавов с упрочнением из тугоплавких соединений с использованием методов закалки расплава и горячего прессования могут быть использованы в качестве основы для дальнейших исследований, направленных на совершенствование существующих и создание новых износостойких сплавов на основе кобальта и изделий из них, применяемых в аэрокосмической, нефтедобывающей, медицинской и других наукоемких отраслях. Научные и методические

разработки автора могут найти применение при создании новых износостойких сплавов на основе кобальта в ведущих отраслевых институтах (НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ и др.) и вузах (МАИ и др.).

### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность полученных в диссертационной работе научных результатов подтверждается применением современных методов исследования - металлографический анализ, сканирующая электронная микроскопия (МРСА), дифференциальная термический анализ (ДТА), рентгенофазовый анализ (РФА). Все результаты получены 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).

### **Замечания**

Отмечая достоинства диссертационной работы А.Ю. Патрушева, в качестве замечаний следует указать:

1. Целесообразно было бы включить в диссертацию исследования структурных и механических свойств износостойких промышленных кобальтовых сплавов, например, ВЗК, полученных методом ЭВКР с последующим горячим прессованием, для сравнения с исследуемыми композициями сплавов.

2. Испытания на трение-износ в диссертации завершаются определением показателя интенсивности изнашивания в условиях сухого трения, при этом фазовый состав и состояние поверхности изделий в ходе и после испытаний не исследуется.

3. В работе не содержатся выводы о корреляции уровня микротвердости и прочности металлических волокон до и после термической обработки.

Отмеченные недостатки не снижают научной и практической значимости диссертации и общей высокой оценки работы.

### **Заключение**

Представленная диссертационная работа выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены закономерности влияния

добавок тугоплавких соединений TiC, B<sub>4</sub>C, Co<sub>3</sub>W на структуру и свойства волокон и компактных материалов из сплавов на основе кобальта, которые позволили автору разработать оптимальный режим горячего прессования изделия типа «кольцо» и достичь значений твердости получаемого материала 36 – 39 HRC, а также показателя интенсивности изнашивания получаемых изделий «кольцо» в условиях сухого трения  $2,2 \cdot 10^{-8}$ , что примерно в 4 раза превосходит сплав (Co-Cr-W-Ni), полученный методом порошковой лазерной наплавки.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 20 научно-технических конференциях. Содержание диссертации изложено в 5 статьях в рецензируемых изданиях перечня ВАК при Минобрнауки России, 2 статьи опубликованы в международных журналах, индексируемых в международных реферативных базах данных Scopus и Web of Science.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.


По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-16 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Патрушев Александр Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5. «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Отзыв рассмотрен на заседании Ученого Совета ФГБУ «ВНИИТС» и принят при единогласном голосовании.

Заместитель директора  
по науке к.т.н.

 С.Ю. Лукьянычев

Ученый секретарь к.э.н.

 Н.Н. Тамбовцева

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский и проектный институт тугоплавких металлов и твердых сплавов» (ФГБУ «ВНИИТС»)  
117638, г. Москва, Варшавское шоссе, дом 56.  
Тел. +7 (499) 613-55-77  
Факс: +7 (499) 613-20-33  
E-mail: vniits@rambler.ru