



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ОБЪЕДИНЕННАЯ
ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ»

ПРОСПЕКТ БУДЕННОГО, 16, КПП 997450001
МОСКВА, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ, 105118 ОГРН 1107746081717
ИНН 7731644035

Т.: +7 495 232-55-02 УЕCRUS.COM
Ф.: +7 495 232-69-92 INFO@UECRUS.COM

№ _____
на № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель генерального директора -
руководитель приоритетного
технологического направления
«Технологии двигателестроения»

М.М. Бакрадзе



(Signature)

2024 г.

М.П.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

по диссертационной работе **Ярошенко А.С.** «Волокна из кобальтовых высоколегированных сплавов полученные методом экстракции висящей капли расплава для применения в щеточных уплотнениях», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 – порошковая металлургия и композиционные материалы.

Актуальность работы

Совершенствование газотурбинных двигателей (ГТД) и установок (ГТУ) невозможно без применения новых материалов, конструктивных и технологических решений. Одним из таких решений является разработка и применение перспективных щеточных уплотнений (ЩУ), позволяющих повысить коэффициент полезного действия (КПД) ГТД и ГТУ, за счет снижения вредных утечек рабочего тела (воздуха, газа) в пространство между ротором и статором. ЩУ являются одним из вариантов эффективных контактных уплотнений, в роли уплотняющих элементов в ЩУ выступают наборы проволок микронного диаметра, при этом в зависимости от температуры эксплуатации выбираются проволоки из нержавеющей стали, никелевых и кобальтовых сплавов. В отличие от проволок из сплавов на никелевой основе, проволоки из сплавов на основе кобальта обладают повышенными стойкостью к окислению, термической стабильностью при высоких температурах и износостойкостью. За рубежом для этих целей широко применяется износостойкий жаропрочный сплав на основе кобальта Haynes25.

В нашей стране разработками в области жаропрочных износостойких сплавов на основе кобальта практически не занимались. Разработанные же высокотемпературные износостойкие сплавы представляют собой сплавы

типа «стеллит» системы Co-Cr-W с дополнительным легированием. Получение проволоки из данных сплавов затруднено, в виду их высокой твердости. Применение традиционных методов получения проволок из данных сплавов, таких как волочение, сопряжено с издержками и множеством межоперационных переделов. Решить данную проблему позволяет метод вытягивания волокон из капли расплава, получивший название высокоскоростного затвердевания расплава (ВЗР) и его разновидность – экстракция висящей капли расплава вращающимся теплоприемником (ЭВКР). Применение данного метода позволяет избавиться от межоперационных переделов и получать проволоки или волокна микронного диаметра практически за одну операцию, с последующей сепарацией.

Выбранная тема диссертационной работы А.С. Ярошенко по исследованию технологии получения волокон из отечественных износостойких кобальтовых сплавов методом ЭВКР для их применения в составе ЩУ является **актуальной**. В ней поставлена и решена научно-техническая задача по научно-методическому обоснованию и оценке возможности применения в составе ЩУ волокон из кобальтовых высоколегированных сплавов, полученных методом ЭВКР, определению влияния высоких скоростей охлаждения на структуру и механические свойства волокон. Внедрение полученных результатов направлено на повышение эффективности работы ЩУ для повышения КПД отечественных ГТД и ГТУ.

Общая характеристика работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка цитируемой литературы. Объем диссертации составляет 158 страниц, включая 53 рисунка, 32 таблицы и список литературы из 113 наименований. В диссертации проведены исследования о возможности применения метода ЭВКР для получения волокон из кобальтовых высоколегированных сплавов системы Co-Cr-W, при этом произведена оценка влияния параметров процесса ЭВКР на геометрию получаемых волокон, исследовано влияние высоких скоростей охлаждения на структуру и механические характеристики волокон из кобальтовых высоколегированных сплавов. В диссертации приведена методика оценки эксплуатационных свойств материала проволоки для ЩУ, с целью прогнозирования возможности применения полученных образцов в составе перспективных ЩУ.

Научная новизна

Показана возможность замены классических методов обработки металлов давлением при получении проволок из сплавов системы Co-Cr-W на их получение методом экстракции висящей капли расплава, при этом существует достаточно широкие возможности варьирования механических характеристик путем термической обработки.

Впервые установлено, что в результате высокоскоростного затвердевания расплава в сплавах системы Co-Cr-W происходит фиксация аморфного состояния, с образованием твёрдых растворов на основе Co различных модификаций и карбидов различного состава, в зависимости от содержания легирующих элементов. При этом установлено, что соотношение кристаллической и аморфной фаз зависит от типа сплава: в сплаве В3К доля аморфной фазы составляет 57 %, в сплаве В4К - 40 %, а в сплаве В5К - 37 %. Показано, что с увеличением содержания легирующих элементов доля аморфной фазы в сплавах увеличивается.

Ценным вкладом в изучение влияния фиксации аморфной фазы в кобальтовых высоколегированных сплавах системы Co-Cr-W на механические характеристики являются полученные данные. Так установлено, что для сплава В3К фиксация аморфного состояния приводит к повышению физико-механических характеристик ($HV = 800$, $E = 225$ ГПа, $\sigma = 1276$ МПа). В сплаве В4К происходит двукратное повышение микротвердости и снижение нормального модуля упругости, что связано с высокой долей карбидов WC в структуре волокна ($HV = 1376$, $E = 114$ ГПа, $\sigma = 1170$ МПа). В сплаве В5К происходит двукратное повышение предела прочности при растяжении и микротвердости, при относительно небольшом снижении нормального модуля упругости, что связано с большим содержанием аморфной фазы ($\approx 60\%$) и наличием карбидов Cr_3C_2 ($HV = 1039$, $E = 194$ ГПа, $\sigma = 1556$ МПа).

Важные результаты получены при исследовании эксплуатационных свойств полученных образцов, разработана предварительная методика оценки эксплуатационных свойств проволок и волокон, применяющихся в качестве контактной детали ЩУ. Данная методика позволяет на этапе выбора материала проволоки определить рабочие температуры и механические свойства материала ЩУ.

Практическая значимость работы

В работе показана эффективность метода экстракции висящей капли расплава для получения микропроволок из кобальтовых высоколегированных сплавов по сравнению с методами волочения, главным достоинством метода экстракции висящей капли расплава является отсутствие необходимости множества межоперационных переделов, таких как – ступенчатый отжиг, химической травление, применение разного сортамента фильер и т.д. При применении метода экстракции висящей капли расплава также отсутствует необходимость применения дорогостоящего оборудования, алмазных фильер, происходит сокращение производственных мощностей.

Разработаны рациональные режимы получения волокон из кобальтовых высоколегированных сплавов системы Co-Cr-W, обеспечивающие получение образцов с требуемой геометрией для их последующего применения в составе ЩУ.

Разработаны режимы термической обработки, обеспечивающие кристаллизацию аморфной фазы в исследуемых сплавах, что приводит к

повышению их эксплуатационных характеристик – для сплава ВЗК отжиг при температуре 600 °С, для сплава В4К отжиг при температуре 800 °С, для сплава В5К отжиг при температуре 700 °С, время выдержки для всех сплавов одинаковое – 1 ч.

В работе также произведена отработка методики определения эксплуатационных характеристик волокон ЩУ, в рамках которой, показана перспективность полученных образцов для их применения в ЩУ.

Достоверность результатов и выводов

Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, достаточно обоснованы и экспериментально проверены. Все результаты получены на поверенном и сертифицированном оборудовании с использованием лицензионного программного обеспечения. Исследования и испытания проводились в соответствии с требованиями научно-технической документации, действующей на территории Российской Федерации (ГОСТ), достоверность результатов подтверждается хорошим совпадением экспериментальных данных и теоретических расчетов, использованием методов математической статистики при обработке результатов в полном соответствии с современными концепциями материаловедения порошковых и композиционных материалов.

Замечания по работе

1. В работе приведен метод определения прочности образцов по ГОСТ 32667-2014 «Волокно углеродное. Определение свойств при растяжении элементарной нити» однако данный ГОСТ распространяется на элементарные углеродные нити и устанавливает методы определения механических свойств при растяжении элементарной углеродной нити: предел прочности при растяжении, модуль упругости при растяжении. Вероятно, стоило использовать ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение» применяющийся для металлических образцов.

2. В диссертации (стр. 94) приведено сечение волокна из сплава ВЗК после травления реактивами, для травления применялись следующие реактивы: раствор трех кислот (92% HCl + 5 % H₂SO₄ + HNO₃); реактив Васильева (25% CuSO₄ + 50 % H₂SO₄ + 25% HNO₃), реактив Марбле (45% HCl + 45% H₂O + 10% CuSO₄); реактив Каллинга. Показано, что травление данными реактивами не привело к выявлению микроструктуры волокна. Время травления при этом не указывается, вероятно, стоило увеличить временной интервал выдержки образцов в контакте с реактивами.

3. В работе приведены кривые ДТА для двух диапазонов температур (стр. 99, рис. 28, 29, стр. 110, рис. 38, 39, стр. 119, рис. 45, 46), при этом не ясно с чем связано данное разделение, возможно стоило привести кривые ДТА к единообразию.

Сделанные замечания имеют дискуссионный или уточняющий характер и не снижают общей высокой оценки диссертации. Диссертационная работа

Ярошенко А.С. выполнена на высоком научно-техническом уровне. Она представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, в которой решены важные задачи по формированию новых научных подходов к исследованию материалов применяющихся в ЩУ, произведена оценка возможности применения полученных образцов в составе ЩУ, выявлено влияние ВЗР на структуру и механические свойства высоколегированных кобальтовых сплавов системы Co-Cr-W. Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 13 научно-технических конференциях, опубликованы в 8 печатных работах, в том числе 3 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и систему цитирования RSCI. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в области авиационного двигателестроения при разработке эффективных щеточных уплотнений проточной части двигателя и масляных полостей.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 положения о присуждении ученых степеней, утвержденном постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор Ярошенко Александр Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5. – порошковая металлургия и композиционные материалы.

Отзыв рассмотрен на заседании НТС филиала АО «ОДК» «НИИД».

Протокол № 22-58/1 от 27.08.13.2014г.

Главный специалист филиала
АО «ОДК» «НИИД», д.т.н.


А.И. Евдокимов

Руководитель группы перспективных
методов создания неразъемных соединений
АО «ОДК»


Е.В. Родин