

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Ярошенко Александра Сергеевича
«Волокна из кобальтовых высоколегированных сплавов, полученные методом экстракции висящей капли расплава, для применения в щеточных уплотнениях», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5. «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Актуальность темы диссертации. Диссертационная работа Ярошенко А.С. посвящена проблеме выбора и апробации материала щеточных уплотнений авиационных и наземных газотурбинных установок и двигателей. Щеточные уплотнения (ЩУ) призваны снизить утечки рабочего газа при работе газотурбинных двигателей и увеличить его КПД. Данный вид уплотнений получил широкое распространение за рубежом, однако в отечественном авиастроении практически не применяется ввиду отсутствия материала так называемых «щетинок» щеточного пакета. Щеточный пакет выполняется из набора близкорасположенных друг к другу проволок микронного диаметра, как правило изготовленных из высоколегированных сплавов на основе кобальта. За рубежом для этих целей широкое распространение получил сплав Haynes 25, ближайшими отечественными аналогами которого являются высоколегированные кобальтовые сплавы ВЗК, В4К, В5К разработки НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ. Получение проволок микронного диаметра из данных сплавов традиционными методами (например, волочение) затруднено и связано с высокими экономическими издержками, что обусловлено низкой обрабатываемостью сплавов на основе кобальта. Решить данную проблему позволяет предложенный в данной работе метод экстракции висящей капли расплава (ЭВКР) вращающимся теплоприемником, реализованный на базе установки ЭВКР-РН с резистивным нагревом. Данный метод является относительно эффективным и экономически выгодным по сравнению с традиционными методами

получения проволок. А применение бестигельной плавки дает возможность получать волокна практически из всех материалов, подверженных плавлению, в том числе и из химических активных металлов благодаря возможности проведения процесса в среде защитных газов.

Научная новизна работы:

1. Впервые установлено, что в результате высокоскоростной закалки расплава в трех сплавах системы Co–Cr–W дополнительно легированных Ni, Fe, V, Zr, Ti происходит фиксация аморфного состояния. Соотношение кристаллической и аморфной фаз в системе Co–Cr–W при добавлении Ni и Fe (сплав В3К) составляет 43/57 %, при добавлении V (сплав В4К)– 60/40 %, и введении Zr, Ni и Ti (сплав В5К) – 63/37 %, при этом с увеличением содержания легирующих элементов в сплавах системы Co–Cr–W количество аморфной фазы увеличивается.

2. Установлено, что в трех исследуемых сплавах системы Co–Cr–W при легировании Ni и Fe (сплав В3К) фиксация аморфного состояния приводит к повышению физико-механических характеристик данного сплава ($HV = 800$, $E = 225$ ГПа, $\sigma = 1276$ МПа). В сплаве системы Co–Cr–W дополнительно легированного V (сплав В4К) происходит двукратное повышение микротвердости и снижение нормального модуля упругости ($HV = 1376$, $E = 114$ ГПа, $\sigma = 1170$ МПа). В сплаве системы Co–Cr–W дополнительно легированного Zr, Ni и Ti (сплав В5К) происходит двукратное повышение предела прочности при растяжении и микротвердости, при относительно небольшом снижении нормального модуля упругости, что связано с большим содержанием аморфной фазы $\approx 60\%$ ($HV = 1039$, $E = 195$ ГПа, $\sigma = 1556$ МПа).

3. Показана возможность замены классических методов ОМД при получении проволок из сплавов системы Co–Cr–W на их получение методом вытягивания из расплава вращающимся теплоприемником, при этом существует достаточно широкие возможности варьирования механических характеристик путем термической обработки.

4. Показана принципиальная возможность применения волокон из двух сплавов системы Co–Cr–W в составе ЩУ, волокон из сплава системы Co–Cr–W дополнительно легированных Ni и Fe при температурах до 600°С, волокон из сплава системы Co–Cr–W дополнительно легированного Zr, Ni и Ti при температурах до 700°С.

Практическая ценность диссертации. Практическая ценность диссертационной работы Ярошенко А.С. заключается в том, что установленные Ярошенко А.С. закономерности позволили определить эффективные режимы получения волокон из кобальтовых сплавов методом ЭВКР и их последующей термической обработки. Для отдельных сплавов системы Co–Cr–W показано, что ЭВКР с последующей термической обработкой дает возможность получения механических свойств волокон на уровне литого материала. По совокупности научно-технических результатов обоснована возможность замены методов обработки давлением методом ЭВКР с последующей термической обработкой при получении волокон из кобальтовых сплавов. По результатам исследований структуры и эксплуатационных свойств материала установлено, что волокна из сплавов ВЗК и В5К можно рекомендовать к применению в составе щеточных уплотнений при температурах от 500 °С и до 700 °С.

Общая характеристика работы. Автором приведена классификация материалов и методов получения из них проволок, применяемых в составе щеточных уплотнений газотурбинных двигателей и установок. Обоснован выбор кобальтовых высоколегированных сплавов системы Co–Cr–W для проведения дальнейших исследований, показана перспективность метода экстракции висящей капли расплава вращающимся теплоприемником для получения волокон микронного диаметра из кобальтовых высоколегированных сплавов.

Важным практическим вкладом диссертационной работы Ярошенко А.С. является отработка и определение оптимальных с точки зрения геометрии получаемых волокон режимов получения волокон из

кобальтовых высоколегированных сплавов системы Co-Cr-W для применения их в составе щеточных уплотнений.

Немаловажными с научной точки зрения являются полученные автором данные о фиксации аморфного состояния в образцах исследуемых сплавов в результате высокоскоростной закалки расплава. Установлено, что фиксация аморфного состояния повышает их механические свойства, но снижает эксплуатационные. Для повышения эксплуатационных свойств автором выбраны и обоснованы режимы термической обработки, обеспечивающие кристаллизацию аморфной фазы и повышение модуля упругости исследуемых образцов.

В диссертации Ярошенко А.С. предложена методика оценки эксплуатационных свойств контактного материала щеточных уплотнений, заключающаяся в оценке термостойкости, жаростойкости и проведении оценки эксплуатационных свойств при высокоскоростном контактом взаимодействии. Экспериментально обоснована и подтверждена возможность применения в составе щеточных уплотнений волокон из кобальтовых высоколегированных сплавов марок ВЗК и В4К.

Достоверность полученных данных. Достоверность результатов работы подтверждается необходимым объемом экспериментальных исследований, применением комплекса современных методов исследования структуры и свойств материалов, использованием сертифицированного оборудования, воспроизводимостью результатов измерений.

Публикации. Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 13 научно-технических конференциях и семинарах, опубликованы в 10 научных работах, в том числе в 3 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, из которых 1 статья опубликованы в журналах, включенных в международные системы цитирования.

Объем и структура диссертации. 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 115 наименований.

Замечания по диссертационной работе:

1. В работе представлен объемный эксперимент по отработке режимов изготовления волокон необходимой формы и размеров. Какой размер оптимальный для ваших волокон? Какой разброс по волокнам допускается, с чем это связано и на что влияет?

2. В работе представлены результаты механических испытаний исследуемых волокон. При этом в работе говорится, что одним из основных критериев эффективности волокна является обеспечение уменьшения утечки рабочего газа. Каким образом можно проконтролировать эффективность данных волокон в части обеспечения герметичности двигательной установки? Существуют ли стенды для проведения подобных исследований?

3. В работе сообщается, что на свойства волокна влияет количество, размеры, морфология и тип карбидов. Получилось ли установить перечисленные характеристики для исследуемых сплавов?

4. На рисунке 34 представлена микроструктура волокна сплава В4К. Сообщается, что в верхней части волокна наблюдается область, обогащенная карбидами. Каким образом было установлено, что данные выделения соответствуют карбидам и в связи с чем происходит их неравномерное распределение в структуре и в таком количестве? Каким образом данная особенность влияет на свойства волокна? Если ли необходимость устранять данную особенность?

Заключение. Сделанные замечания имеют дискуссионный или уточняющий характер и не снижают общей высокой оценки диссертации. Тема диссертации соответствует заявленной специальности, а полученные результаты соответствуют поставленной цели и задачам работы. Диссертация выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной, практической ценностью, является самостоятельной и законченной научно-исследовательской работой. В диссертационной работе решена актуальная

задача по апробации применения в составе щеточных уплотнений волокон полученных методом экстракции висящей капли расплава, получение которых традиционными методами затруднено. Результаты работы могут использоваться в авиационной и других отраслях промышленности.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2015 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.

Официальный оппонент:

начальник сектора аддитивных технологий отдела металлических порошковых материалов и аддитивных технологий, АО «Композит», кандидат технических наук

Басков Федор Алексеевич

Подпись Баскова Федора Алексеевича удостоверяю
Директор по кадрам АО «Композит»



Б.Н. Елаков

Адрес: 141070, Московская область, г. Королёв, Пионерская ул., д. 4
Акционерное общество «Композит»

Дата 12.11.2024 г.

Телефон: 8 (916) 235-13-15

Адрес электронной почты: baskov_fa@mail.ru