

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Бутрима Виктора Николаевича «РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ОСНОВ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И МОДЕРНИЗАЦИИ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ СЕРИЙНЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Отзыв составлен на основании рассмотрения диссертации, автореферата, а также публикаций автора по материалам исследований.

**Целью диссертационной работы** является разработка материаловедческих и технических решений по созданию комплексной технологии производства полуфабрикатов из хромоникелевых сплавов для ответственных деталей двигателей серийных космических аппаратов, а также разработка новых сплавов на основе хрома с улучшенными свойствами для перспективных изделий космической техники.

**Актуальность** работы автора обусловлена прежде всего тем, что традиционно используемые в авиационных и ракетных двигателях жаропрочные сплавы имеют существенные температурные ограничения по длительной работе в заданных условиях эксплуатации летательных аппаратов. Отсутствие надёжных материалов способных обеспечить длительную эксплуатацию ракетных двигателей нового поколения, а также энергетических установок космических аппаратов при температурах выше 1250<sup>0</sup>С, существенно тормозит работы по обеспечению потребности увеличения ресурса от 60 до 130 тысяч часов. В связи с этим работа автора по разработке принципов модернизации технологии выплавки хромоникелевых сплавов, теоретическое и экспериментальное обоснование выбора системы легирования, термической обработки и деформирования сплавов на основе хрома, представляется достаточно актуальной.

Актуальность работы подтверждается ее выполнением в рамках важных программ и государственных контрактов с Федеральным космическим агентством: № 836-М102/09 от 26.06.2009 «Разработка технологических процессов изготовления прессованных прутков из сплава ВХ4...» ( Федеральная целевая программа «Разработка, восстановление и организация производства стратегических дефицитных и импортозамещающих материалов и малотоннажной химии на 2009-2011 годы и на период 2015 года»); №836-Т491/10 от 19.04.2010 «Разработка технологических процессов получения материалов для элементов конструкций термokatалитических (ТКД) двигателей...»; №836-Т510/11 от 04.04.2011г «Разработка новых специальных конструкционных материалов и

технологий получения из них полуфабрикатов, деталей, элементов конструкций для перспективных изделий космической техники...»; №836-0510/12 от 04.05.2012г «Исследования для обеспечения создания опережающего научно-технического задела по разработке материалов и покрытий для перспективных изделий КТ» (Федеральная космическая программа России на 2006-2015 годы, № 419-рп - СЧ ОКР «ТЭМ-ЭБ-СПЭ-Композит» ) по распоряжению президента России от 22 июня 2010 г. (Специальная программы «Реализация проектов Комиссии при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России»).

**Научная новизна** работы состоит прежде всего в научном обосновании и экспериментальном подтверждении новых способов выплавки, деформации и термической обработки хромоникелевого сплава модернизированного состава, которые послужили основанием для получения высококачественных прессованных заготовок с высокой однородностью состава и структуры. Теоретический и экспериментальный анализ химического состава и структуры известных сплавов позволил автору выявить недостатки существующей системы легирования и обоснованно рекомендовать дополнительное микролегирование хромоникелевых сплавов гафнием и цирконием, а также повысить содержание вольфрама до 5-10 масс. %.

В результате проведенных исследований автором разработаны химические составы и технологии производства новых хромистых сплавов, новизна которых защищена патентами РФ, установлены закономерности горячей деформации двухфазного хромоникелевого сплава Х65НВФТ в интервале температур  $(950-1250)^{\circ}\text{C}$  и скоростей деформации  $(0,001, 0,01, 0,1 \text{ и } 1) \text{ с}^{-1}$ . Полученные деформационные характеристики и аналитические выражения для пиковых и установившихся напряжений деформирования обеспечили надежное прогнозирование деформационного поведения хромоникелевых сплавов указанного класса.

Автором выявлены новые закономерности изменения химического, фазового состава и структуры хромоникелевого сплава в условиях, имитирующих работу термokatалитического двигателя в условиях космического пространства. Полученные данные позволили выявить механизм повышения эрозионной стойкости сплава в реальных условиях эксплуатации.

Всё выше перечисленное следует отнести к научной новизне работы. Научные положения, изложенные автором в диссертационной работе, достаточно обоснованы.

**Достоверность и обоснованность** выводов и рекомендаций, полученных в работе, не вызывает сомнений, поскольку работа выполнена с применением современных стандартных методов исследований на поверенном и аттестованном оборудовании с удовлетворительным совпадением расчетных

и экспериментальных данных и подтверждены успешной реализацией в производстве металлопродукции для изделий космической техники.

**Практическая значимость работы** подтверждается тем, что автором разработана комплексная технология изготовления полуфабрикатов из хромоникелевых сплавов, включающая вакуумно-индукционную выплавку слитков, рафинирующий электрошлаковый переплав, горячее изостатическое прессование в капсуле, механическую и термическую обработку, которая освоена на модернизированном металлургическом производстве АО «Композит». Малотоннажное производство, организованное в рамках настоящей работы, обеспечило выполнение государственного заказа комплектации ТКД космических аппаратов системы «ГЛОНАСС», геостационарных телекоммуникационных спутников «Экспресс», «Луч», «Sesat», спутников гидрометеорологического обеспечения «Электро» и др.

Развитые автором технологические подходы реализованы при разработке технологии и организации малотоннажного производства трубных заготовок для изготовления бесшовных капиллярных трубок малого диаметра из высокохромистого никелевого сплава ХН50ВМТЮБ для трубопроводов подачи топлива ТКД, труб  $\varnothing 16 \times 2$  мм,  $\varnothing 38 \times 3$  мм из сплава ХН43БМТЮ и  $\varnothing 80 \times 5$  мм из жаропрочного сплава ХН77ТЮР для трубопроводов горячего тракта ракетных двигателей РД171 и РД191..

Результаты диссертационной работы В.Н. Бутрима представлены в 20 статьях, опубликованных в журналах из списка ВАК и материалах 37 работ, опубликованных в других отечественных и международных изданиях, по результатам работы получено 10 патентов РФ. Основные результаты работы доложены на 10 научно-технических конференциях.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов в следующих разделах:

а. Изучение взаимосвязи химического и фазового составов (характеризуемых различными типами диаграмм), в том числе диаграммами состояния с физическими, механическими, химическими и другими свойствами сплавов.

б. Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях.

в. Теоретические и экспериментальные исследования влияния структуры (типа, количества и характера распределения дефектов кристаллического строения) на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов.

г. Разработка новых и совершенствование существующих технологических процессов объемной и поверхностной термической, химикотермической, термомеханической и других видов обработок, связанных с термическим воздействием, а также специализированного

оборудования.

е. Изучение взаимодействия металлов и сплавов с внешними средами в условиях работы различных технических устройств, оценка и прогнозирование на этой основе работоспособности металлов и сплавов.

ф. Разработка новых принципов создания сплавов, обладающих заданным комплексом свойств, в том числе для работы в экстремальных условиях.

#### **Замечания по работе.**

- 1) Представляется неоправданным излишне подробное описание хорошо известных диаграмм состояния двухкомпонентных сплавов – Fe-Cr, Cr-Mo, Cr-W, Cr-Ta, Cr-Ni и др. Действительно, особенности диаграммы Cr-Ni всесторонне обсуждались и исследовались многими авторами в связи с разработкой сплава ВХ4 (см., например, Перепелкин А.В. и др. ФММ. 1979, т. 48, № 3, с. 588-593 и др.); диаграмма Cr-Ta – в работах М.Р. Brady et al. в связи с разработкой жаропрочного хромистого сплава без никеля, сохраняющего специфику Cr- тугоплавкость, утраченную в Cr-Ni сплавах) и т.п.
- 2) В диссертационной записке и работах автора отсутствует экспериментальное подтверждение его заключения о том, что «...доля включений с размером менее 1 мкм составляет более 60%, а максимальный размер единичных включений не превышает 20 мкм», хотя задача уменьшения размера и количественного содержания неметаллических включений в сплавах на основе хрома представляется весьма актуальной.
- 3) Автором практически не рассмотрены вопросы защиты поверхности деталей из Cr-Ni сплавов в условиях, имитирующих работу термokatалитических двигателей в космическом пространстве. В мировой практике металл в критическом сечении сопла подобных двигателей обычно защищаются высокотемпературными покрытиями.
- 4) В представленных новых сплавах на основе хрома не исследованы характеристики трещиностойкости, которые ограничивают возможности их практического использования в нагруженных элементах конструкции высокотемпературных двигателей.

В целом диссертационная работа Бутрима В.Н. представляет собой законченный научно-квалификационный труд, результаты которого имеют важное хозяйственное значение, вносят существенный вклад в создание нового поколения термokatалитических двигателей.

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, что свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

Сформулированные выводы подтверждаются материалами исследований.

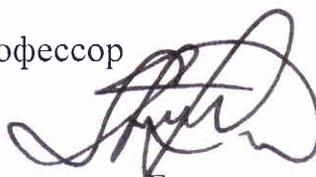
Содержание автореферата достаточно полно отражает основные положения диссертации.

#### Вывод

Диссертационная работа соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным Постановлением правительства РФ от 20.06.2011г. №475, а её автор Бутрим В.Н. заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Начальник отдела АО «НПЦ газотурбостроения «Салют»,

доктор технических наук, профессор



Н.В. Абраимов

Рабочий адрес: 105118, г. Москва, пр. Буденного, 16, к.2. АО «НПЦ газотурбостроения «Салют».

Тел.7-(499) 785 80 29, e-mail: diagnostika@salut.ru

Подпись доктора техн. наук, проф. Абраимова Н.В. удостоверяю.

Врио начальника ОЦТ  Абраимов А.Н.

16.07.18

