

Учёному секретарю  
диссертационного совета Д. 002.060.01  
В. М. Блинову

---

119334, г. Москва, Ленинский проспект, д. 49,  
Институт металлургии и материаловедения им.  
А.А. Байкова Российской академии наук

### ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Бутрима Виктора Николаевича,  
выполненной на тему "РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ОСНОВ ТЕХНОЛОГИИ  
ПРОИЗВОДСТВА И МОДЕРНИЗАЦИИ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ  
СЕРИЙНЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ", и  
представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности  
05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Диссертация Бутрима В. Н. посвящена решению научно-технической проблемы создания нового поколения ракетных двигателей и энергетических двигательных установок космических аппаратов, что требует разработки материалов для длительной эксплуатации в условиях воздействия температуры свыше  $1250^{\circ}\text{C}$ , продуктов разложения топлива (азот, кислород), факторов космического пространства (вакуум) и поэтому, безусловно, является актуальной.

Целью работы В. Н. Бутрима является разработка научно-обоснованных материаловедческих и технических решений и создание комплексной технологии производства полуфабрикатов из хромоникелевых сплавов, организация малотоннажного производства металлопродукции для ответственных деталей двигателей серийных космических аппаратов, развитие научных основ разработки новых сплавов на основе хрома с улучшенными характеристиками для перспективных изделий космической техники. Для достижения указанной цели автором поставлен и полностью решен ряд теоретических и экспериментальных задач. В ходе выполнения исследований автором получены следующие основные результаты, составляющие научную новизну работы:

Впервые получены экспериментальные данные, определяющие зависимость напряжения и скорости деформационного разупрочнения двухфазного хромоникелевого сплава Х65НВФТ в диапазоне температур  $(950 \div 1250)^{\circ}\text{C}$  и скорости деформации  $(0,001 \div 1) \text{c}^{-1}$ .

Выявлены особенности изменения химического, фазового состава и структуры хромоникелевого сплава в условиях, имитирующих работу ТКД в космическом пространстве. При взаимодействии с азотом в продуктах разложения топлива на границе основного металла и поверхностного слоя образуется прослойка фазы  $\gamma\text{-Ni}$  толщиной 2-5 мкм, обедненная хромом, которая способствует замедлению процесса диффузии хрома и его испарения в рабочее пространство ТКД, а в поверхностном слое толщиной до 30 мкм, обогащенном азотом (до 8% мас.), образуются кристаллы фазы  $\epsilon\text{-Cr}$ , предотвращающие эрозию металла в процессе эксплуатации.

Предложены теоретически обоснованные подходы создания нового сплава: увеличение прочностных свойств сплава за счет увеличения содержания вольфрама до (5-10 мас.%) в твердом растворе хрома, повышение жаропрочности за счет увеличения температуры плавления и упрочнения сплава дисперсной фазой  $\text{Cr}_2\text{Ta}$  при замене никеля на тантал, улучшение пластических характеристик сплава за счет малого легирования гафнием и цирконием.

Работа выполнена с применением современных методов экспериментальных исследований: определение, химического состава сплавов методами рентгеноспектрального анализа (Cr, Ni, W, V, Ti, Fe, Si, Al, Mn), инфракрасной спектроскопии (C, S), восстановительного плавления (N, O); оптической, сканирующей и электронной микроскопии; рентгеноструктурного, микрорентгеноспектрального, дифференциально-термического анализа, физического моделирования деформационного поведения на установке «Gleeble 3800», механических испытаний на разрывных машинах «Instron» и «Schенck». Интерпретация результатов исследования базируется на современных представлениях о структуре, свойствах и механизмах деформации гетерофазных материалов.

Достоверность полученных результатов обеспечивается системным подходом при решении поставленных задач, большим объемом экспериментальных данных, полученных с использованием современных методов физического материаловедения, непротиворечивостью полученных результатов результатам других авторов, их соответствием известным теоретическим представлениям физики прочности, эффективностью предложенных технологических решений, и подтверждены успешной реализацией разработанной технологии в производстве металлопродукции для изделий космической техники.

Практическая значимость работы не вызывает сомнений и заключается в том, что комплексная технология изготовления полуфабрикатов из хромоникелевых сплавов, включающая вакуумно-индукционную выплавку слитка, рафинирующий электрошлаковый переплав, горячее прессование в капсуле, механическую и термическую обработку освоена на модернизированном металлургическом производстве ОАО «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 в работе технологические принципы и 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  $\text{Ø}16 \times 2 \text{ мм}$ ,  $\text{Ø}38 \times 3 \text{ мм}$  из сплава ХН43БМТЮ и  $\text{Ø}80 \times 5 \text{ мм}$  из жаропрочного сплава ХН77ТЮР для трубопроводов горячего тракта ракетных двигателей РД171 и РД191.

В качестве замечания можно отметить следующее.

1. В автореферате в рисунке 4 не приведены результаты статистической обработки эксперимента в виде доверительных интервалов, что не позволяет судить о

наличии перегибов на изменении зависимости пиковых напряжений от температуры и скорости деформации в области температур (1100—1150)°С.

Сделанные замечания не снижают высокой оценки, которой заслуживает диссертационная работа. Представленная диссертация является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную тему и имеющим высокий научный уровень. Работа содержит решение актуальной проблемы – разработки научно-обоснованных материаловедческих и технических решений и создания комплексной технологии производства полуфабрикатов из хромоникелевых сплавов, развития научных основ разработки новых сплавов на основе хрома с улучшенными характеристиками для перспективных изделий космической техники. Работа содержит новые научные результаты, имеющей важное теоретическое и прикладное значение, и отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям. Автор работы – Бутрим Виктор Николаевич заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Профессор кафедры «Технологии и системы автоматического проектирования металлургических процессов», д.т.н.

Михаил Михайлович Серов

Подпись М.М. Серова удостоверяю

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Адрес: Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, А-80, ГСП-3, 125993

Тел: +7 (495) 417-98-35

E-mail: [castingtp@mati.ru](mailto:castingtp@mati.ru)

Адрес в сети интернет: [mai.ru](http://mai.ru)

