

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Бутрима Виктора Николаевича «Развитие научных основ технологии производства и модернизации хромоникелевых сплавов для серийных и перспективных изделий космической техники», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Развитие космической техники предъявляет повышенные требования к конструкционным материалам, в первую очередь, двигательных установок.

Новые поколения двигателей коррекции орбиты и ориентации космических аппаратов должны обеспечить надежную и эффективную эксплуатацию изделий в течение длительного временного периода от 10^5 часов и более, при количестве включений двигателя до $5 \cdot 10^5$ раз. Условия работы элементов конструкции двигателей ТКД (термокаталитические двигатели), применяемых для коррекции орбиты – весьма сложные:

- воздействие температур более 1250°C ;
- воздействие продуктов сгорания топлива (азот, кислород);
- воздействие перепадов температур от близких к температуре открытого космоса до 1300°C .

Для работы в условиях высоких температур и агрессивных сред имеется успешный опыт применения сплавов на основе хрома, обладающих жаропрочностью в азот- и кислородсодержащих средах на уровне 1200 - 1300°C .

Повышение жаростойкости и жаропрочности сплавов на основе хрома обеспечивает легирование тугоплавкими металлами, их карбидами, нитридами, окислами и интерметаллидами.

Высоколегированные хромоникелевые сплавы типа Cr-35Ni-2W-0,3V-0,2T (ВХ4) являются двухфазными с малопластичной матрицей α -фазы и более пластичной γ -фазы.

Промышленное производство изделий из сплавов на основе хрома сталкивается со значительными технологическими проблемами, обусловленными низкой пластичностью, трудностями обработки давлением и обработки резанием (из-за высокого износа инструмента). Выход в годное уже готовых деталей составляет для данных сплавов не более 15-20%, кроме того наличие крупных неметаллических включений (в основном оксидов Cr, Ti, Al), содержание которых определяется технологией выплавки, обуславливает частый аварийный выход из строя термокаталитических двигателей при стендовых испытаниях.

Для решения этих материаловедческих и технологических задач был проведен большой цикл работ, которые представлены в диссертации Бутрима В.Н. В работе был применен комплексный подход для решения вопросов повышения работоспособности тракта двигателей ТКД за счет обоснования системы легирования сплавов на основе хрома, поведения при

горячей деформации двухфазного сплава с учетом размеров структурных составляющих основы, упрочняющих фаз и включений.

В диссертации была обоснована новая технологическая схема выплавки полуфабрикатов, определены рациональные режимы плавок, позволяющие провести горячую деформацию с приемлемым выходом в годное.

Детально исследованы механизмы деформаций и разрушения хромоникелевого сплава в широком диапазоне температур и скоростей деформации, в том числе и при температурах фазовых превращений. На основе аппроксимации экспериментальных данных аналитическими зависимостями пиковых и установившихся напряжений от температуры и скорости деформации определены оптимальные температурно-скоростные параметры обработки давлением (горячее прессование в оболочке) литых заготовок сплава типа ВХ4, обеспечивающих высокий выход в годное.

В работе подробно изучено влияние термической обработки на структуру и механические свойства хромоникелевого сплава, а также исследовано влияние структуры сплава на механизмы взаимодействия с газовыми средами, что позволило выбрать режимы термообработки и получить наиболее стойкое к взаимодействию с азотом структурное состояние металла.

Для решения вопросов обработки резанием хромоникелевого сплава проведен комплекс исследований по оптимизации режимов и подборе твердых сплавов. Предложена новая марка твердого сплава ВР7К6, имеющая более высокую стойкость при резании по сравнению с ВРК15.

По результатам исследований разработана и освоена комплексная технология производства заготовок изделий из хромоникелевого сплава и проведено опробование изделий со сплавом, полученным по модернизированной технологии при стендовых испытаниях ТКД.

Подтверждена эффективность применения хромоникелевого сплава, полученного по разработанной автором технологии, на срок эксплуатации более 10 лет.

Практическая ценность настоящей работы обусловлена разработкой комплексной сквозной технологии получения заготовок из сплавов на основе хрома, позволяющих управлять формированием структуры сплавов, обеспечивающую необходимую работоспособность изделий, состоящая из технологий выплавки в печи ВИП, рафинирующего электрошлакового переплава, горячего прессования слитка в капсуле, термической и механической обработки.

Данная технология освоена на малотоннажном металлургическом производстве АО «Композит».

Новым вкладом в расширение научных знаний являются:

- исследования по процессам изменения структуры хромоникелевого сплава в условиях, моделирующих работу двигателя в космосе;
- установление взаимосвязей структуры сплава с работоспособностью ответственных деталей ТКД;

- обоснование новых подходов к повышению жаропрочности и улучшению технологичности сплавов на основе хрома.

Автором впервые получены экспериментальные зависимости напряжения и деформации хромоникелевого сплава от температуры в широком интервале скоростей $(0,001-1)C^{-1}$ и температур $(950-1250^{\circ}C)$.

Результаты были аппроксимированы с высокой достоверностью аналитическими выражениями зависимости пиковых и установившихся напряжений от параметра Зинера-Холломона.

Автором получены новые данные по формированию структуры сплава при термической обработке и установлены взаимосвязи структуры, с механическими свойствами, жаростойкостью и механизмами разрушения хромоникелевого сплава.

Достоверность результатов работы обусловлена:

- большим объемом экспериментальных работ;
- использованием современного оборудования и установок;
- использованием результатов работ на АО «Композит», что отражено в производственной технологической документации;
- отсутствием противоречий существующим представлениям о процессах, протекающих при выплавке и деформации двухфазных и однофазных сплавов;
- находящимися на орбите Земли в длительной эксплуатации спутников с установками ТКД.

Основные результаты работы опубликованы во многих научных периодических изданиях, доложены на научных конференциях. Техническая новизна и оригинальность предлагаемых решений подтверждена 10 патентами.

По рассмотренному материалу можно сделать следующие замечания:

1. В представленных материалах автором уделено мало внимания методическим вопросам исследования свойств и структуры металла, не всегда указано оборудование и методические вопросы получения результатов.

2. Автором недостаточно подробно рассмотрены процессы рафинирования металла при ЭШП-переплаве и влияние на эти процессы снижения частоты тока, которые являются важной составляющей комплексной технологии.

Указанные замечания не снижают общей научной и практической значимости работы.

Диссертационная работа Бутрима В.Н. выполнена на высоком уровне и имеет научное и практическое значение.

Данная работа является законченной научной квалификационной работой, в которой изложены научные разработки, обеспечивающие решение важных задач в области производства сплавов с высокой жаростойкостью и жаропрочностью и вносящие заметный вклад в развитие космической отрасли страны.

Данная диссертационная работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор Бутрим Виктор Николаевич заслуживает присуждения ученой степени по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Заместитель генерального директора
АО «НПО «ЦНИИТМАШ»
по научной работе,
доктор технических наук
тел. 675-83-02

e-mail: KlKosyrev@cniitmash.com



К.Л. Косырев

Заместитель генерального директора –
директор ИМиМ
кандидат технических наук
тел. 677-18-71

e-mail: oms@cniitmash.ru

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "А.Г. Лебедев".

А.Г. Лебедев