

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель НТС,

главный конструктор АО КБХА,

Д.Т.Н.

В.Д. Горохов



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

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»

Создание нового поколения ракетных двигателей и энергетических двигательных установок космических аппаратов требует разработки материалов для длительной эксплуатации от 60 до 130 тысяч часов в условиях воздействия температуры свыше 1250°C, продуктов разложения топлива и факторов космического пространства.

Актуальность диссертационной работы выражается в модернизации существующих (ВХ4) и разработке новых хромоникелевых сплавов за счет легирования тугоплавкими металлами, карбидами и нитридами в рамках повышения рабочей температуры до (1300-1800) °С, а также разработке технологии и организации малотоннажного производства полуфабрикатами, в том числе трубными элементами, для обеспечения создания опережающего научно-технического задела перспективных изделий космической техники (КТ).

В рамках диссертационной работы решались задачи по разработке научно-обоснованных материаловедческих и технических решений изготовления новых

хромоникелевых сплавов с улучшенными характеристиками, выплавке слитков и создании комплексной технологии производства полуфабрикатов сплавов на основе хрома, организации малотоннажного производства металлопродукции для ответственных деталей двигательных серийных космических аппаратов.

В работе автора представлена научная новизна:

- научно обоснованы и экспериментально подтверждены эффективность новых способов выплавки слитков, горячей деформации и термической обработки хромоникелевого сплава модернизированного состава, что позволило разработать комплексную технологию изготовления прессованных прутков с высокой однородностью химического состава и структуры сплава, минимальным содержанием в металле газовых примесей, количеством и размером неметаллических включений, реализовать изготовление из них деталей с требуемой точностью геометрических размеров и шероховатости размеров и обеспечить надежную работоспособность Термокаталитических двигателей (ТКД) в течение более 7 лет эксплуатации в условиях космического пространства;

- установлены закономерности поведения двухфазного хромоникелевого сплава Х65НВФТ в условиях горячей деформации в интервале температур (950-1250) °С и скоростях деформации (0,001, 0,01, 0,1 и 1) с⁻¹. С использованием методов математической статистики аппроксимированы экспериментальные данные параметров горячей деформации хромоникелевого сплава и получены уравнения регрессии, из которых выведены аналитические выражения для пиковых и установившихся напряжений деформирования.

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

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

Личный вклад автора заключается в :

- разработке конкретных технических решений в создании новых хромоникелевых сплавов, режимов и способов выплавки, деформации, термической обработки и обработки резанием, научном руководстве комплексного исследования структуры, механических, технологических и эксплуатационных свойств, анализе результатов экспериментального изучения деформационного поведения, особенностей деформации и изменения структуры сплавов в зависимости от термической обработки и условий эксплуатации сплава, освоении технологии изготовления и организации малотоннажного производства полуфабрикатов из сплавов Х65НВФТ и ХН50ВМТЮБ на производственном участке ОАО «Композит».

Результаты диссертационной работы доведены до стадии промышленного внедрения:

- разработанные способы и режимы выплавки слитков и прессования прутков обеспечили повышение выхода годной продукции с 30% до 70% на этапе производства полуфабриката и с 70% до 100% на этапе изготовления деталей ТДК;

- оптимизированные режимы резания, новый материал режущего инструмента для механической обработки (патент РФ № 2521747) и режим термической обработки (патент № 2514899) обеспечили высокое качество поверхности ($Ra < 3,2$) после механической обработки и снижение трудоемкости изготовления деталей ТДК на 20%;

- развитые в работе технологические принципы и подходы реализованы при разработке технологии и организации малотоннажного производства трубных заготовок для изготовления бесшовных капиллярных трубок малого диаметра ($\varnothing_{вн.} = 0,18-0,975$ мм) из высокохромистого сплава ХН50ВМТЮБ для трубопроводов подачи топлива ТДК, труб $\varnothing 16 \times 2$ мм и $\varnothing 38 \times 3$ мм из сплава ХН43БМТЮ и $\varnothing 80 \times 5$ мм из жаропрочного сплава ХН77ТЮР для трубопроводов горячего тракта ракетных двигателей РД171 и РД191.

Основное содержание диссертации опубликовано в 57 печатных работах, в том числе в 20 статьях в журналах, рекомендованных ВАК РФ, в 10 патентах РФ.

Представленная работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, имеет важное народно-хозяйственное значение и отвечает требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Бутрим В.Н. заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Главный металлург АО КБХА



27.07.18

В. М. Астрединов

Подпись главного металлурга

Заверяю
Секретарь НТС, д.т.н.



27.07.18

А.Ф. Ефимочкин