

Н.А. НОЧОВНАЯ, О.А. БАЗЫЛЕВА,
Д.Е. КАБЛОВ, П.В. ПАНИН



ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫЕ СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ ТИТАНА И НИКЕЛЯ

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Н.А. Ночовная, О.А. Базылева,
Д.Е. Каблов, П.В. Панин**

**ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫЕ
СПЛАВЫ
НА ОСНОВЕ
ТИТАНА И НИКЕЛЯ**

Под общей редакцией
академика РАН, профессора Е.Н. Каблова

МОСКВА
ВИАМ
2018

УДК 669.017.165

ББК 34.33

Н86

Рецензенты: заведующий кафедрой ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)», доктор технических наук, академик РАН *А.А. Ильин*; руководитель лаборатории ФГБУН «Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук», доктор технических наук, академик РАН *О.А. Банных*

Ночовная Н.А., Базылева О.А., Каблов Д.Е., Панин П.В.

Н86 Интерметаллидные сплавы на основе титана и никеля / под общ. ред. Е.Н. Каблова. – М.: ВИАМ, 2018. – 308 с. : ил.

ISBN 978-5-905217-23-4

В монографии обобщен накопленный опыт отечественных и зарубежных ученых в области разработки, исследования и промышленного внедрения интерметаллидных титановых и никелевых сплавов для газотурбинных двигателей и энергетических установок. Приведены исторические аспекты появления и развития сплавов на интерметаллидной основе. С точки зрения авиационного материаловедения изложены основные принципы классификации существующих и создания новых жаропрочных сплавов на основе алюминидов титана и никеля. Рассмотрены актуальные вопросы освоения технологий производства полуфабрикатов и изделий из интерметаллидных сплавов. Отдельное внимание уделено опыту ВИАМ: приведены результаты оригинальных исследований авторов монографии с коллегами в области разработки и апробации интерметаллидных сплавов на основе TiAl и Ni₃Al в сопоставлении с результатами зарубежных исследователей.

Издание предназначено для работников авиационной, космической, судостроительной и смежных с ними отраслей промышленности, в сферу научных интересов которых входят вопросы разработки и применения интерметаллидных сплавов. Книга также может быть полезна для студентов и аспирантов в качестве дополнительной учебной литературы по металлургическим специальностям.

УДК 669.017.165

ББК 34.33

ISBN 978-5-905217-23-4

© ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

От издателя	6
Предисловие	9
Введение	10
Глава 1. Предпосылки создания сплавов на интерметаллидной основе	13
1.1. Исторические аспекты появления сплавов на интерметаллидной основе	13
1.2. Роль ВИАМ в истории развития интерметаллидных сплавов	23
Литература	33
Глава 2. Физические основы создания интерметаллидных сплавов ...	37
Литература	53
Глава 3. Интерметаллидные сплавы на основе титана	57
3.1. Материаловедческие принципы создания сплавов на основе интерметаллидов титана и алюминия.	57
3.1.1. Классификация интерметаллидных сплавов на основе алюминидов титана	58
3.1.2. Двойная система Ti–Al	63
3.1.3. Выбор легирующих элементов, обеспечивающих повышение технологических и эксплуатационных свойств сплавов на основе алюминидов титана	69
3.2. Сплавы на основе эквиатомного соединения TiAl – γ -сплавы. Принципы легирования и пути повышения пластичности	74
3.3. Особенности металлургии γ -сплавов. Металловедческие и физические основы получения отливок	91
3.3.1. Оборудование и технологии для получения слитков	91
3.3.2. Оборудование и технологии для получения литых деталей	108
3.3.3. Дефекты отливок из γ -сплавов	113

3.4. Эксплуатационные свойства γ -сплавов	121
3.5. Перспективы развития технологий γ -сплавов	132
3.5.1. Совершенствование механизмов управления структурно-фазовым состоянием	132
3.5.2. Возможности применения перспективных технологий для получения деталей из γ -сплавов.	135
Литература	136
Глава 4. Интерметаллидные сплавы на основе никеля	151
4.1. Основы выбора композиций жаропрочных интерметаллидных никелевых сплавов с учетом обеспечения термостабильности	151
4.2. Сплавы на основе интерметаллида Ni_3Al , разработанные по принципу твердорастворного механизма упрочнения	154
4.2.1. Однофазный сплав ВКНА-1ЛК на основе соединения Ni_3Al	154
4.2.2. Интерметаллидный сплав ВКНА-4 для литья деталей с поликристаллической (равноосной) структурой	157
4.2.3. Исследование влияния рения на фазовый состав и микроструктуру интерметаллидной композиции системы $Ni_3Al-Cr-Mo-W-Ti-Re$	161
4.2.4. Расчет химического состава интерметаллидного сплава	167
4.3. Технология изготовления интерметаллидных никелевых сплавов	171
4.3.1. Технология выплавки сплавов	171
4.3.2. Технология получения отливок	176
4.3.3. Зависимость структурно-фазовых показателей от технологических параметров отливки монокристаллов интерметаллидного сплава	179
4.4. Разработка технологии термической обработки литейных интерметаллидных сплавов на основе алюминид никеля с выбором режимов термообработки	186
4.4.1. Исследование влияния режимов термической обработки на фазовый состав, структуру и свойства интерметаллидного сплава ВКНА-1В	186

4.4.2. Оценка термической стабильности структурно-фазового состояния и свойств гетерофазных литейных интерметаллидных сплавов	188
4.4.3. Исследование влияния термической обработки на ликвационную неоднородность интерметаллидного сплава ВИН2	191
4.4.4. Исследование влияния термической обработки на структурно-фазовые параметры сплавов	196
4.5. Оценка коррозионной стойкости интерметаллидных материалов в агрессивных средах	210
4.6. Технологическое опробование интерметаллидных сплавов	216
4.6.1. Технологическое опробование интерметаллидного сплава на основе соединения Ni_3Al при отливке тонкостенных деталей	216
4.6.2. Отработка технологии изготовления отливок блоков соплового аппарата второй ступени ТВД из интерметаллидного сплава ВКНА-4	217
4.6.3. Технологическое опробование интерметаллидного сплава на основе соединения Ni_3Al при отливке тонкостенных сегментов камеры сгорания	246
4.6.4. Отработка технологии изготовления отливок блока сопловых лопаток второй ступени ТВД из интерметаллидного сплава ВКНА-1В	266
Литература	277
Глава 5. Перспективы развития сплавов на основе интерметаллидов титана и никеля	283
5.1. Основные тенденции и перспективы развития γ -сплавов	283
5.2. Перспективы развития интерметаллидных никелевых сплавов	287
Литература	295