

П.В. ПАНИН, Н.А. НОЧОВНАЯ, Д.Е. КАБЛОВ,
Е.Б. АЛЕКСЕЕВ, А.А. ШИРЯЕВ, А.В. НОВАК



ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО
ПО МЕТАЛЛОГРАФИИ СПЛАВОВ
НА ОСНОВЕ ТИТАНА
И ЕГО ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

**ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**П.В. Панин, Н.А. Ночовная, Д.Е. Каблов,
Е.Б. Алексеев, А.А. Ширяев, А.В. Новак**

**ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО
ПО МЕТАЛЛОГРАФИИ СПЛАВОВ
НА ОСНОВЕ ТИТАНА
И ЕГО ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ**

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

Допущено Федеральным Учебно-методическим объединением
по укрупненной группе специальностей и направлений 22.00.00 «Технологии материалов»
в качестве учебного пособия при подготовке бакалавров и магистров,
обучающихся по направлениям 22.03.01 и 22.04.01
«Материаловедение и технологии материалов» соответственно,
а также аспирантов, обучающихся по направлению
22.06.01 «Технологии материалов»

МОСКВА
ВИАМ
2020

УДК 669.295:669.017.165

ББК 34.2

П69

Рецензенты: заведующий кафедрой ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», доктор технических наук, академик РАН А.А. Ильин; руководитель научно-исследовательской лаборатории объемных наноструктурных материалов ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», доктор технических наук, профессор *Г.А. Салищев*

Панин П.В., Ночовная Н.А., Каблов Д.Е., Алексеев Е.Б., Ширяев А.А., Новак А.В.

П69 Практическое руководство по металлографии сплавов на основе титана и его интерметаллидов: учебное пособие / под общ. ред. Е.Н. Каблова. – М.: ВИАМ, 2020. – 200 с. : ил.

ISBN 978-5-905217-61-6

Рассмотрены прикладные аспекты оценки структурно-фазового состояния сплавов на основе титана и его интерметаллидов, в том числе легированных редкоземельными элементами, разрабатываемых в ВИАМ начиная с 1950-х гг. Описаны современные методы металлографического и рентгенодифракционного анализов структуры, включая методики пробоподготовки. Приведены особенности структурообразования и кристаллографические характеристики стабильных и метастабильных фаз. Представлен обширный иллюстративно-справочный материал, который структурирован в виде атласа типичных и нетипичных микроструктур более 30 отечественных титановых и интерметаллидных сплавов, приведенных как в литом состоянии, так и после различных видов обработки. Фотографии микроструктур сопровождаются краткими комментариями их структурных особенностей.

Издание рекомендовано в качестве учебного пособия для студентов, аспирантов и слушателей специализированных курсов повышения квалификации по материаловедческим специальностям. Книга также будет полезна практикующим металловедом-исследователям и технологам, работающим на предприятиях авиационной, космической, судостроительной и смежных с ними отраслей промышленности, а также представителям академической и вузовской науки.

УДК 669.295:669.017.165

ББК 34.2

ISBN 978-5-905217-61-6

© ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

От издателя	5
Предисловие	7
Введение	8
Глава 1. Общие сведения о титановых сплавах	10
1.1. Легирующие элементы в титановых сплавах	10
1.2. Классификация сплавов на основе титана и его интерметаллидов ...	13
1.3. Современные методы структурно-фазового анализа титановых сплавов	22
1.3.1. Классификация методов структурно-фазового анализа	24
1.3.2. Анализ макро- и микроструктуры методами оптической микроскопии	25
1.3.3. Рентгеноструктурный фазовый анализ	28
Литература	36
Вопросы к главе	40
Глава 2. Фазовый состав и структура титановых сплавов	42
2.1. Фазы на основе полиморфных модификаций титана	43
2.2. Фазы на основе интерметаллидных соединений	46
2.3. Особенности фазовых и структурных превращений в высоколегированных и интерметаллидных титановых сплавах ...	51
2.3.1. Фазовые превращения при закалке высоколегированных титановых сплавов	51
2.3.2. Фазовые превращения при старении (изотермической выдержке) высоколегированных титановых сплавов	52
2.3.3. Эвтектоидное превращение в высоколегированных титановых сплавах	53
2.3.4. Особенности кинетики, фазо- и структурообразования в интерметаллидных титановых орто-сплавах	55
2.3.5. Особенности структурообразования в интерметаллидных титановых γ -сплавах	58
Литература	60
Вопросы к главе	65
Глава 3. Атлас микроструктур титановых сплавов	66
3.1. Малолегированные титановые сплавы	67
3.1.1. Сплавы α -класса	67

3.1.2. Сплавы псевдо- α -класса	73
3.2. Сплавы с двухфазной структурой	82
3.3. Высокелегированные титановые сплавы	108
3.3.1. Сплавы псевдо- β -класса	108
3.3.2. Сплавы со стабильной β -структурой	121
3.4. Интерметаллидные титановые сплавы	140
3.4.1. Сплавы на основе α_2 -алюминиды титана Ti_3Al	146
3.4.2. Сплавы на основе O-алюминиды титана Ti_2AlNb	147
3.4.3. Сплавы на основе γ -алюминиды титана $TiAl$	174
Литература	190
Вопросы к главе	198