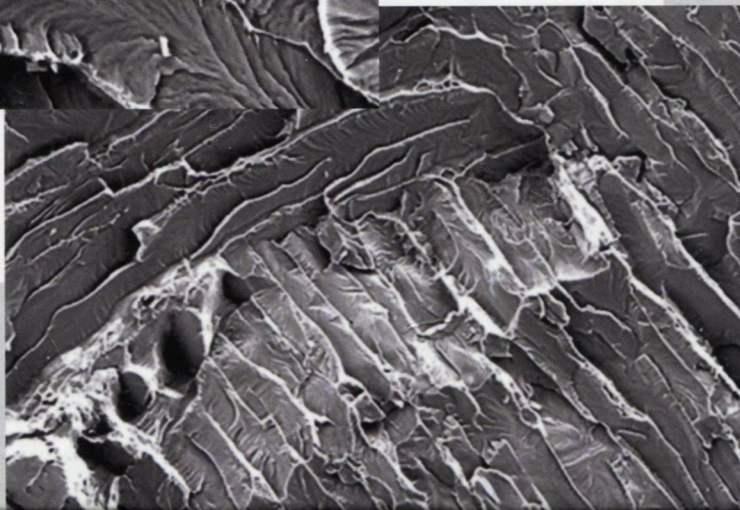
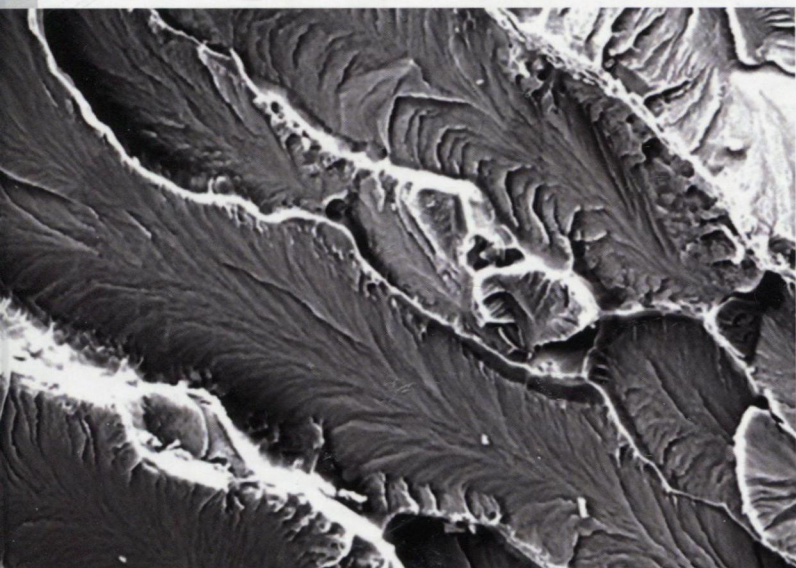


# ФРАКТОГРАФИЯ, МЕТАЛЛОГРАФИЯ И СВОЙСТВА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ И ДИФФУЗИОННО-СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

---



**В. В. Пешков, А. Б. Булков, А. Б. Коломенский**

**ФРАКТОГРАФИЯ, МЕТАЛЛОГРАФИЯ  
И СВОЙСТВА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ  
И ДИФФУЗИОННО-СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

Монография

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2022

УДК 621.791.4:539.378.3:621.295

ББК 34.641

П23

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *Ткаченко Ю. С.*;

доктор технических наук, профессор *Чертов Е. Д.*

(Воронежский государственный университет инженерных технологий)

**Пешков, В. В.**

**П23** Фрактография, металлография и свойства титановых сплавов и диффузионно-сварных соединений : монография / В. В. Пешков, А. Б. Булков, А. Б. Коломенский. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 328 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-0780-9

Рассмотрены некоторые титановые тонкостенные слоистые конструкции, применяемые в аэрокосмической технике. Приведены оригинальные методики фрактографических и металлографических исследований физико-химического состояния поверхностей, микроструктуры и топографии разрушения титановых сплавов и диффузионно-сварных соединений. Приведены закономерности влияния микроструктуры титановых сплавов на их высокотемпературную ползучесть, механические свойства и топографию поверхностей разрушения. Выявлены фрактографические признаки и кинетические закономерности формирования продуктов взаимодействия титана с остаточными газами вакуумированного пространства в условиях высокотемпературного нагрева.

Для инженеров, работающих в области сварки титана. Может быть полезно аспирантам и магистрантам.

УДК 621.791.4:539.378.3:621.295

ББК 34.641

ISBN 978-5-9729-0780-9

© В. В. Пешков, А. Б. Булков, А. Б. Коломенский, 2022

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1 ТИТАНОВЫЕ СЛОИСТЫЕ КОНСТРУКЦИИ .....	5
1.1 Применение и способы изготовления .....	5
1.2 Об образовании соединения при диффузионной сварке титана .....	14
1.3 Факторы развития и критерии качества процесса диффузионной сварки титана .....	17
2 МЕТОДИКИ ФРАКТОГРАФИЧЕСКИХ И МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	20
2.1 Выявление оксидов с помощью растрового электронного микроскопа .....	20
2.2 Определение величины газонасыщенных и охрупченных слоев .....	29
2.2.1 Определение величины газонасыщенного слоя металлографическим методом .....	29
2.2.2 Определение величины охрупченного слоя по излому поверхности разрушения .....	31
2.2.3 Определение величины охрупченного слоя по его растрескиванию при деформации .....	41
2.3 Методика металлографических исследований .....	47
2.4 Метод интерференционной индикации .....	64
3 МИКРОСТРУКТУРА И СВОЙСТВА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ .....	66
3.1 Закономерности формирования микроструктуры .....	66
3.1.1 Микроструктуры титановых сплавов в состоянии поставки .....	68
3.1.2 Влияние термического цикла диффузионной сварки на микроструктуру титановых сплавов .....	77
3.1.3 Влияние термдеформационной обработки на микроструктуру титановых сплавов .....	82
3.1.4 Микроструктурные композиты .....	91
3.2 Влияние микроструктуры на механические свойства .....	94
3.3 Топография поверхностей разрушения .....	100
3.4 Влияние микроструктуры на высокотемпературную ползучесть .....	124
3.4.1 Ползучесть сплавов с исходной глобулярной микроструктурой .....	124
3.4.2 Ползучесть титановых сплавов с исходной равноосной микроструктурой .....	126
3.4.3 Ползучесть сплавов с пластинчатой микроструктурой .....	132
3.4.4 Ползучесть сплавов со смешанной микроструктурой .....	136
3.4.5 Ползучесть слоистых микроструктурных композитов .....	137
4 ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНОЙ СРЕДЫ, ПРИМЕНЯЕМОЙ ПРИ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКЕ, НА СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ И СВОЙСТВА ТИТАНА .....	140
4.1 Топография, химический и фазовый состав поверхности титана .....	140
4.2 Газонасыщенные и охрупченные слои на поверхности титана .....	159
4.3 Взаимодействие поверхностей титана, находящихся в контакте друг с другом, с остаточными газами разреженного воздуха .....	164
4.4 Влияние газонасыщенных слоев на механические свойства титана .....	167

5	ТОПОГРАФИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАЗРУШЕНИЯ, МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИФфуЗИОННО-СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	189
5.1	Влияние физико-химического состояния контактных поверхностей на их взаимодействие при диффузионной сварке .....	189
5.1.1	Кинетика схватывания контактных поверхностей титана.....	190
5.1.2	Схватывание окисленных контактных поверхностей титана.....	192
5.1.3	Влияние окисления на качество диффузионного соединения .....	209
5.2	Влияние исходной микроструктуры титановых сплавов на взаимодействие контактных поверхностей при диффузионной сварке .....	215
5.2.1	Влияние механизма ползучести на взаимодействие контактных поверхностей.....	219
5.2.2	Влияние микроструктуры на развитие физического контакта.....	226
5.2.3	Влияние микроструктуры на развитие процесса диффузионной сварки и качество соединения.....	232
5.2.4	Диффузионная сварка с использованием давления на начальном этапе .....	244
6	ДИФфуЗИОННАЯ СВАРКА ТИТАНОВЫХ ТОНКОСТЕННЫХ СЛОИСТЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	251
6.1	Диффузионная сварка трехслойных конструкций с сотовым наполнителем .....	251
6.1.1	Выбор режима диффузионной сварки .....	251
6.1.2	Взаимодействие титана со стальной оснасткой при диффузионной сварке и его влияние на свойства титана .....	261
6.1.2.1	Восстановление оксидов в контакте титана со сталью .....	262
6.1.2.2	Схватывание титана со сталью .....	264
6.1.2.3	Служебные свойства титана после его контактного взаимодействия со сталью .....	278
6.2	Диффузионная сварка двухслойных оболочковых конструкций с тавровым соединением.....	281
6.2.1	Обоснование целесообразности замены пайки оболочек диффузионной сваркой .....	281
6.2.2	Выбор режима диффузионной сварки .....	283
6.2.3	Диффузионная сварка оболочковых конструкций с использованием активных газов для создания сварочного давления.....	293
6.3	Диффузионная сварка конструкций с нахлесточным соединением .....	305
6.3.1	Диффузионная сварка двухслойных конструкций .....	305
6.3.2	Диффузионная сварка трехслойных конструкций .....	308
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	318