

М. И. АЛЫМОВ

Ю. В. ЛЕВИНСКИЙ

Е. В. ВЕРШИНИНА

# ВНУТРЕННЕЕ ОКИСЛЕНИЕ И ВНУТРЕННЕЕ АЗОТИРОВАНИЕ СПЛАВОВ



«Инфра-Инженерия»

М. И. Алымов, Ю. В. Левинский, Е. В. Вершинина

# **ВНУТРЕННЕЕ ОКИСЛЕНИЕ И ВНУТРЕННЕЕ АЗОТИРОВАНИЕ СПЛАВОВ**

Монография

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2022

УДК 620.18:669.2  
ББК 24.5+34.3  
А45

**Рецензенты:**

доктор физико-математических наук, профессор *Столин А. М.*;  
доктор технических наук *Касимцев А. В.*

*Издание монографии рекомендовано к печати ученым советом Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А. Г. Мерджанова Российской академии наук*

*Для оформления обложки использована картина В. В. Кандинского «Оранжевое», 1923 г.*

**Алымов, М. И.**

**А45** Внутреннее окисление и внутреннее азотирование сплавов : монография / М. И. Алымов, Ю. В. Левинский, Е. В. Вершинина. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 384 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-0973-5

Рассмотрен один из перспективных методов получения дисперсноупроченных материалов – внутреннее насыщение низколегированных сплавов кислородом и азотом. Приведен подробный анализ процесса насыщения. Содержатся сведения о внутреннем окислении сплавов на основе меди, серебра, железа, никеля, молибдена, вольфрама, платины и внутреннем азотировании сплавов на основе молибдена, вольфрама, железа и других металлов. Представлены материалы о термической стабильности дисперсной структуры, механических и некоторых служебных свойствах сплавов после насыщения.

Для научных работников, конструкторов и инженеров, специализирующихся в области металловедения и материаловедения, а также студентов и аспирантов металлургических и машиностроительных направлений подготовки.

УДК 620.18:669.2  
ББК 24.5+34.3

ISBN 978-5-9729-0973-5

© Алымов М. И., Левинский Ю. В., Вершинина Е. В., 2022  
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2022  
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	5
Введение .....	7
<b>ГЛАВА 1. Механизм и кинетика внутреннего окисления.....</b>	<b>10</b>
1.1. Скорость перемещения фронта внутреннего окисления .....	10
1.2. Одновременное внешнее и внутреннее окисление.....	23
1.3. Внутреннее окисление при переменных температуре и давлении кислорода.....	37
1.4. Зависимость величины оксидных частиц от глубины зоны внутреннего окисления .....	43
1.5. Появление полос Лизеганга при внутреннем окислении .....	54
1.6. Внутреннее окисление двухфазных сплавов.....	62
1.7. Последовательное и одновременное внутреннее насыщение двумя и более элементами.....	67
1.8. Внутреннее окисление многокомпонентных сплавов.....	69
1.9. Влияние геометрии образца на его внутреннее окисление .....	78
1.10. Внутреннее окисление пористых изделий .....	80
1.11. Морфология частиц, выделяющихся при внутреннем окислении .	83
1.12. Роль структуры матрицы в процессах внутреннего окисления .....	92
1.13. Стабильность структуры внутреннеокисленных сплавов .....	94
<b>ГЛАВА 2. Внутреннеокисленные сплавы.....</b>	<b>104</b>
2.1. Матрицы сплавов, легирующие элементы и условия внутреннего окисления.....	104
2.2. Внутреннее окисление сплавов на основе меди .....	107
2.3. Внутреннее окисление сплавов на основе серебра .....	155
2.4. Внутреннее окисление сплавов на основе железа .....	201
2.5. Внутреннее окисление сплавов на основе никеля.....	213
2.6. Внутреннее окисление сплавов на основе молибдена .....	233
2.7. Внутреннее окисление сплавов на основе вольфрама .....	244
2.8. Внутреннее окисление сплавов на основе тантала.....	255
2.9. Внутреннее окисление сплавов на основе платины .....	259
2.10. Внутреннее окисление сплавов на основе палладия.....	262
<b>ГЛАВА 3. Внутреннеазотированные сплавы.....</b>	<b>268</b>
3.1. Матрицы сплавов, легирующие элементы и условия внутреннего азотирования .....	268

3.2. Внутреннее азотирование сплавов на основе молибдена .....	271
3.3. Внутреннее азотирование сплавов на основе хрома .....	279
3.4. Внутреннее азотирование сплавов на основе вольфрама .....	280
3.5. Внутреннее азотирование сплавов на основе железа.....	283
3.6. Внутреннее азотирование сплавов на основе никеля.....	295
<b>ГЛАВА 4. Внутреннее насыщение сплавов углеродом, водородом, серой и другими элементами .....</b>	<b>308</b>
<b>ГЛАВА 5. Области применения внутреннеокисленных и внутреннеазотированных сплавов.....</b>	<b>313</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ. Параметры диффузии и диаграммы состояния кислорода и азота с металлами - матрицами внутреннеокисленных и внутреннеазотированных сплавов .....</b>	<b>317</b>
<b>Библиографический список .....</b>	<b>364</b>