



С. И. Ярьско  
Т. Н. Осколкова  
С. Н. Балакиров

*И* «Инфра-Инженерия»

# МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВОЛЬФРАМОКОБАЛЬТОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

**С. И. Ярьско, Т. Н. Осколкова, С. Н. Балакиров**

**МОДИФИКАЦИЯ  
СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ  
ВОЛЬФРАМОКОБАЛЬТОВЫХ  
ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ**

Монография

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2023

УДК 669.2  
ББК 30.3  
Я72

Рецензенты:

доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник,  
директор НИИ прогрессивных технологий Тольяттинского государственного  
университета *Д. Л. Мерсон*;

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология  
машиностроения, станки и инструменты» Самарского государственного  
технического университета *А. Ф. Денисенко*

**Ярьсько, С. И.**

**Я72** Модификация структуры и свойств вольфрамкобальтовых твердых сплавов : монография / С. И. Ярьсько, Т. Н. Осколкова, С. Н. Балакиров. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 400 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-1406-7

Систематизированы и проанализированы данные по традиционным и перспективным методам упрочняющей обработки широко используемых твердых сплавов вольфрамкобальтовой группы. Изложены физические основы структурообразования в сплавах после термо-, вибро- и дробеструйной обработки, алмазного шлифования, лазерного и ультразвукового воздействия, электроэрозионного упрочнения легированием, электровзрывного легирования, радиационного облучения и других способов поверхностного и объемного воздействия на их структуру и фазовый состав. Проанализирована природа упрочнения спеченных твердых сплавов и аспекты повышения эксплуатационных характеристик изготовленного на их основе металлообрабатывающего инструмента. Обоснованы режимы его упрочнения и эксплуатации. Представлены методы моделирования структуры и свойств твердых сплавов различной степени сложности, применяемые для решения различного круга задач. Приведены результаты практического использования анализируемых способов упрочнения.

Для инженерных и научных работников, занимающихся исследованием и применением высокотехнологичных методов упрочняющей обработки.

УДК 669.2  
ББК 30.3

ISBN 978-5-9729-1406-7

© Ярьсько С. И., Осколкова Т. Н., Балакиров С. Н., 2023  
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2023  
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Список сокращений.....	8
Глава 1. Основные сведения о системе WC-Co .....	10
1.1. Применение сплавов группы ВК и их основные физические и механические характеристики .....	10
1.2. Диаграмма псевдобинарной системы WC-Co.....	29
1.3. Процессы, протекающие в WC-Co твердых сплавах после спекания и при эксплуатации .....	36
1.4. Моделирование структуры и свойств твердых сплавов .....	43
1.5. Литература к главе 1 .....	71
Глава 2. Влияние объемной термической обработки на структурные и физико-механические характеристики твердых сплавов .....	78
2.1. Закалка с температуры спекания в различных средах .....	81
2.2. Термообработка сплавов, охлажденных после спекания до комнатной температуры .....	84
2.3. Легирование кобальтовой связки твердых сплавов .....	101
2.4. Литература к главе 2 .....	108
Глава 3. Методы поверхностной упрочняющей обработки твердых сплавов .....	112
3.1. Природа упрочнения твердых сплавов при алмазной обработке .....	114
3.2. Изменение физико-механических характеристик твердых сплавов после вибро- и дробеструйной обработки .....	118
3.3. Использование износостойких покрытий на вольфрамокобальтовых твердых сплавах .....	123
3.3.1. Однослойные покрытия .....	123
3.3.2. Многослойные покрытия .....	126
3.3.3. Технология обработки металлов инструментом с покрытием .....	134
3.4. Методы структурирования поверхности сплавов .....	147
3.5. Перспективы использования ультразвука и радиационного облучения при обработке твердых сплавов .....	163
3.5.1. Воздействие ультразвуковых колебаний .....	163
3.5.2. Радиационная обработка сплавов .....	168
3.6. Нетрадиционные способы упрочнения .....	181
3.6.1. Магнитно-алмазное полирование .....	181
3.6.2. Магнитная обработка .....	182
3.7. Литература к главе 3 .....	185
Глава 4. Дуплекс технологии упрочнения вольфрамокобальтовых твердых сплавов .....	196
4.1. Ионно-плазменные покрытия на сплавах группы ВК.....	196
4.2. Электроэрозионное упрочнение легированием .....	208
4.3. Электровзрывное легирование .....	218
4.3.1. Однокомпонентное легирование .....	218

4.3.2. Многокомпонентная обработка при электровзрыве углеродистых волокон, Al и Ti фольг с карбидом кремния или бором .....	238
4.4. Литература к главе 4 .....	261
Глава 5. Использование лазерного излучения для поверхностного упрочнения твердых сплавов группы ВК .....	268
5.1. Структурно-фазовый состав сплавов после облучения .....	269
5.2. Механизм импульсного лазерного упрочнения .....	292
5.2.1. Тонкая структура карбидной фазы сплавов системы WC-Co .....	292
5.2.2. Состояние кобальтовой фазы при лазерном облучении .....	303
5.3. Упрочнение твердых сплавов непрерывным лазерным излучением .....	314
5.4. Лазерная обработка с предварительным нагревом. Предотвращение трещинообразования при лазерном упрочнении твердых сплавов .....	316
5.5. Технологические особенности выбора режимов лазерного воздействия на твердые сплавы .....	326
5.6. Литература к главе 5 .....	333
Глава 6. Упрочнение твердосплавного инструмента .....	338
6.1. Промышленное использование объемной закалки твердых сплавов .....	338
6.2. Перспективы практического применения лазерной поверхностной обработки .....	343
6.2.1. Анализ результатов испытаний .....	344
6.2.2. Упрочнение режущего инструмента .....	355
6.2.2.1. Влияние режимов и условий лазерного воздействия на размерную стойкость резцов .....	355
6.2.2.2. Влияние скорости резания на изнашивание инструмента .....	363
6.3. Методы восстановления изношенного твердосплавного инструмента.....	380
6.4. Литература к главе 6 .....	387
Заключение .....	391