

НАУЧНАЯ МЫСЛЬ



*А.М. Капитонов, С.Г. Теремов, В.Е. Редькин*

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОЙ УПРУГОСТИ

*для контроля качества  
твердосплавного инструмента*



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SIBIRIAN FEDERAL UNIVERSITY



**НАУЧНАЯ МЫСЛЬ**

СЕРИЯ ОСНОВАНА В 2008 ГОДУ



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

**А.М. КАПИТОНОВ  
С.Г. ТЕРЕЛОВ  
В.Е. РЕДЬКИН**

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОЙ  
УПРУГОСТИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА  
ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА**

**МОНОГРАФИЯ**

Москва  
ИНФРА-М

Красноярск  
СФУ

2018

**УДК 620.1(075.4)**  
**ББК 34.5**  
**К20**

Рецензенты:

*Г.Н. Чурилов*, доктор технических наук, профессор;

*В.А. Полубояров*, доктор химических наук, профессор

**Капитонов А.М.**

**К20** Применение метода динамической упругости для контроля качества твердосплавного инструмента : монография / А.М. Капитонов, С.Г. Теремов, В.Е. Редькин. — М. : ИНФРА-М ; Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2018. — 191 с. — (Научная мысль).

ISBN 978-5-16-013403-1 (ИНФРА-М)

ISBN 978-5-7638-2086-7 (СФУ)

Применен системный анализ физико-механических свойств твердых сплавов на основе системы карбид вольфрама — кобальт. Представлены расчеты влияния состава и структуры на динамические упругие постоянные твердых сплавов. Выполнено сравнение теории с экспериментом. Обоснован экспериментальный метод контроля качества твердых сплавов.

Предназначена для научных сотрудников и аспирантов, специализирующихся в физике твердого тела, материаловедении, а также технологов и инженеров производства твердосплавного инструмента.

УДК 620.1(075.4)

ББК 34.5

ISBN 978-5-16-013403-1 (ИНФРА-М)  
ISBN 978-5-7638-2086-7 (СФУ)

© Капитонов А.М.,  
Теремов С.Г.,  
Редькин В.Е., 2011, 2018  
© Сибирский федеральный  
университет, 2011, 2018

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
Глава 1. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ.....	10
1.1. Сведения о сплавах системы карбид вольфрама – кобальт.....	10
1.2. Показатели физико-механических свойств твердых сплавов.....	13
1.2.1. Общие положения.....	13
1.2.2. Механические состояния.....	17
1.2.3. Представление результатов исследований физических свойств.....	19
1.2.4. Упругие свойства твердых сплавов.....	22
1.2.5. Предел упругости, предел пластичности.....	36
1.2.6. Прочность.....	38
1.2.7. Предел прочности на растяжение.....	40
1.2.8. Твердость.....	41
1.2.9. Предел прочности на сжатие.....	43
1.2.10. Предел прочности на изгиб.....	44
1.3. Методологические принципы установления корреляционных связей между физико-механическими характеристиками материалов.....	45
1.3.1. Общие положения.....	45
1.3.2. Корреляционные связи: твердость, прочностные параметры и упругие модули.....	46
Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОЙ УПРУГОСТИ.....	54
2.1. Предельные значения упругих характеристик композиционных материалов.....	54
2.1.1. Предельные значения упругих характеристик однофазных поликристаллов.....	56
2.1.2. Предельные значения упругих характеристик композиционных материалов.....	60
2.2. Теория расчета упругих характеристик двухфазных композиционных материалов.....	60

2.2.1. Метод Фойгта и Реусса.....	61
2.2.2. Метод Хашина – Штрикмана.....	62
2.2.3. Метод самосогласования (ССМ).....	64
2.2.4. Методы статистической микромеханики.....	65
2.2.5. Упругие модули сплавов системы $WC - Co$ (расчет).....	80
2.2.6. Влияние структурных дефектов (пор и микротрещин) на упругие модули композиционных материалов.....	86
Глава 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ $WC - Co$ .....	91
3.1. Плотность и упругие модули ВК-сплавов.....	91
3.2. Экспериментальные исследования упругих свойств сплавов системы $WC - Co$ , полученных методом горячего прессования с использованием плазмозлектролитного нагрева.....	95
Глава 4. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОЙ УПРУГОСТИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ....	110
4.1. Обоснование физических моделей.....	110
4.1.1. Понятие стехиометрии композиционных материалов.....	111
4.1.2. Связь между компонентами твердого сплава....	114
4.1.3. Влияние кобальта на упругие свойства ВК-сплавов.....	115
4.1.4. Изменение фазового состава от содержания углерода.....	116
4.1.5. Морфологические особенности структуры.....	117
4.1.6. Легирование металлической связки – $\gamma$ -фаза....	119
4.1.7. Дефекты твердых сплавов.....	120
4.2. Описание физических моделей и результаты расчетов влияния фазового состава и структуры на упругие характеристики ВК-сплавов.....	120
4.2.1. Влияния содержания кобальтовой связки.....	120
4.2.2. Влияние $\gamma$ -фазы на упругие свойства твердых сплавов.....	123
4.2.3. Влияние включений графита на упругие модули твердых сплавов.....	126

4.2.4. Влияние $\eta_1$ -фазы на упругие модули твердых сплавов.....	137
4.2.5. Влияние пористости и микротрещиноватости на упругие модули твердых сплавов.....	138
4.3 Выбор предельных значений упругих модулей твердых сплавов.....	140
4.4. Информативность метода динамической упругости.....	142
Глава 5. ВЫБОР МЕТОДА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОЙ УПРУГОСТИ.....	148
5.1. Общая характеристика методов определения упругих характеристик твердых тел.....	148
5.2. Методы бегущих волн (импульсные методы).....	150
5.2.1. Импульсный метод с ударным возбуждением акустического сигнала.....	152
5.2.2. Импульсный метод с квазигармоническим возбуждением акустического сигнала.....	153
5.2.3. Импульсно-фазовый метод.....	155
5.3. Экспериментальные исследования по обоснованию точности измерения скорости распространения упругих волн в твердых телах.....	158
5.3.1. Изменение формы акустического сигнала при ударном возбуждении.....	159
5.3.2. Квазигармоническое возбуждение.....	165
5.3.3. Импульсно-фазовый метод. Учет фазового сдвига.....	166
5.4. Сравнение результатов измерений разными методами для модельного образца пьезокерамики ЦТС-19.....	171
5.5. Система автоматизированного контроля качества твердых сплавов.....	173
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	177
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	179