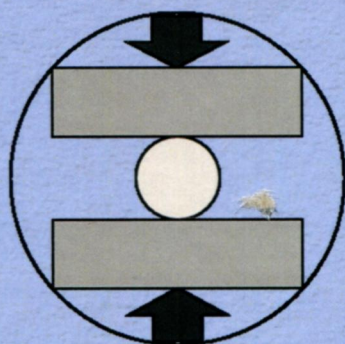


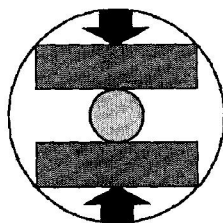
В.М. Матюнин

**ИНДЕНТИРОВАНИЕ
В ДИАГНОСТИКЕ
МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
МАТЕРИАЛОВ**



В.М. Матюнин

**ИНДЕНТИРОВАНИЕ
В ДИАГНОСТИКЕ
МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
МАТЕРИАЛОВ**



Второе издание, стереотипное

Москва
Издательский дом МЗИ
2023

УДК 621.7/9.002.3:658.56
ББК 34.43
М 353

Рецензент: доктор техн. наук, проф. НИУ «МГСУ» А.А. Гудков

Матюнин В.М.

М 353 Индентирование в диагностике механических свойств материалов / В.М. Матюнин. — 2-е изд., стер. — М. : Издательский дом МЭИ, 2023. — 288 с.: ил.

ISBN 978-5-383-01668-8

Изложены научно-практические основы оперативной диагностики механических свойств конструкционных материалов по характеристикам твердости и другим параметрам индентирования. Предложены новые способы испытаний материалов индентированием с определением твердости и других механических свойств. Исследовано влияние размерного (масштабного) эффекта на твердость и прочность материалов и установлены условия физического, механического и геометрического подобия для пересчета твердости на прочность на заданном размерном уровне деформирования. Рассмотрены принципы действия и области применения современных переносных и портативных приборов отечественного и зарубежного производства для контроля твердости материалов непосредственно в изделиях.

Первое издание книги выпущено в 2015 году.

Предназначено для научных и инженерно-технических работников лабораторий диагностики и служб металлов предприятий металлургии, машиностроения энергетики, транспорта, авиакосмоса, нефтегазохимии и других отраслей, а также для студентов и аспирантов соответствующего профиля.

Табл. 37. Ил. 128. Библиогр. 111 назв.

УДК 621.7/9.002.3:658.56
ББК 34.43

ISBN 978-5-383-01668-8

© Матюнин В.М., 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| Предисловие | 6 |
| Основные принятые обозначения | 9 |
| Глава 1. Проблема оперативной диагностики механических свойств конструкционных материалов | 11 |
| Глава 2. Основные методы испытаний материалов индентированием с определением твердости | 19 |
| 2.1. Методы вдавливания | 19 |
| 2.2. Методы царапания | 29 |
| 2.3. Погрешности при определении твердости | 30 |
| 2.4. Методика обеспечения заданной точности определения твердости | 32 |
| 2.5. Взаимосвязь значений твердости, определяемых различными методами | 33 |
| Глава 3. Контактные напряжения при вдавливании сферического индентора | 40 |
| 3.1. Упругий контакт | 40 |
| 3.2. Критические нагрузки и параметры отпечатка при начальном упругопластическом контакте | 44 |
| 3.3. Распределение интенсивности напряжений по поверхности и глубине отпечатка | 48 |
| 3.4. Связь напряжений при растяжении и вдавливании в пластической области деформирования | 54 |
| Глава 4. Контактные деформации при вдавливании сферического индентора | 58 |
| 4.1. Способы оценки средней контактной деформации на поверхности отпечатка | 58 |
| 4.2. Распределение интенсивности деформаций по поверхности и глубине пластического отпечатка | 59 |
| 4.3. Распределение плотности дислокаций по поверхности пластического отпечатка | 66 |
| 4.4. Связь деформаций при растяжении и вдавливании в пластической области деформирования | 68 |
| Глава 5. Диаграммы вдавливания индентора | 71 |
| 5.1. Диаграммы вдавливания индентора и их роль в развитии методов определения механических свойств материалов | 71 |
| 5.2. Первичные диаграммы вдавливания в области пластической деформации | 77 |
| 5.3. Первичные диаграммы вдавливания в областях упругой и упругопластической деформации | 81 |
| 5.4. Диаграммы вдавливания в координатах напряжение—деформация | 86 |
| 5.5. Общие признаки диаграмм вдавливания и растяжения | 89 |

| | |
|---|-----|
| Глава 6. Специальные характеристики твердости материалов, определяемые вдавливанием сферического индентора | 92 |
| 6.1. Твердость на пределе упругости..... | 92 |
| 6.2. Твердость на пределе текучести..... | 97 |
| 6.3. Твердость на пределе прочности..... | 100 |
| 6.4. Восстановленная и невосстановленная твердость по Бринеллю..... | 103 |
| 6.5. Общие замечания о специальных характеристиках твердости и других параметрах материалов, определяемых вдавливанием сферического индентора..... | 107 |
| Глава 7. Испытания материалов царапанием | 109 |
| 7.1. Общие сведения о методах испытаний материалов царапанием..... | 109 |
| 7.2. Сопротивление царапанию при использовании инденторов различной формы..... | 110 |
| 7.3. Способ испытаний материалов царапанием с регистрацией диаграмм деформирования..... | 112 |
| 7.4. Твердость и удельная энергия локального разрушения материала при царапании..... | 115 |
| 7.5. Влияние различных факторов на вид диаграмм деформирования при царапании..... | 117 |
| Глава 8. Размерный эффект при индентировании материалов | 123 |
| 8.1. Общие понятия о размерном эффекте, размерном факторе и размерных параметрах..... | 123 |
| 8.2. Влияние размерного фактора на твердость материала, определяемую методом Виккерса..... | 127 |
| 8.3. Влияние размерного фактора на твердость материала, определяемую методом Бринелля..... | 132 |
| 8.4. Влияние размерного фактора на твердость материала, определяемую методом царапания..... | 134 |
| 8.5. Причины проявления размерного эффекта при индентировании материалов..... | 136 |
| Глава 9. Общие закономерности проявления размерного фактора при растяжении образцов и вдавливании индентора | 141 |
| 9.1. Влияние размерного фактора на предел текучести, временное сопротивление и предельную равномерную деформацию при растяжении образцов..... | 141 |
| 9.2. Влияние размерного фактора на твердость на пределе текучести, твердость на пределе прочности и показатель деформационного упрочнения при вдавливании сферического индентора..... | 143 |
| 9.3. Классификация размерных уровней деформирования материалов индентированием..... | 145 |
| 9.4. Индентирование и растяжение материалов на одном заданном размерном уровне..... | 149 |
| 9.5. Теоретическая прочность и теоретическая твердость металлов..... | 151 |
| Глава 10. Методики оперативной диагностики комплекса механических свойств конструкционных материалов индентированием | 156 |
| 10.1. Новая методика определения твердости материалов вдавливанием пирамиды на разных размерных уровнях..... | 156 |

| | |
|---|------------|
| 10.2. Определение модуля нормальной упругости | 161 |
| 10.3. Определение механических свойств в области малой упругопластической деформации | 164 |
| 10.4. Определение механических свойств в области развитой упругопластической деформации | 169 |
| 10.5. Определение характеристик прочности и пластичности при разрушении материала | 183 |
| 10.6. Оценка склонности материалов к хрупкому разрушению | 188 |
| Глава 11. Оперативная оценка механических свойств металла индентированием при охлаждении и нагреве..... | |
| 11.1. Методика испытаний металла растяжением и вдавливанием при охлаждении | 194 |
| 11.2. Общие закономерности изменения механических характеристик металла при охлаждении | 196 |
| 11.3. Оперативная оценка хладостойкости и критической температуры хрупкости | 199 |
| 11.4. Методика экспресс-оценки характеристик твердости и других механических свойств металла при охлаждении | 206 |
| 11.5. Оценка характеристик жаропрочности..... | 207 |
| Глава 12. Диагностика механических свойств металла локальных структурных зон концентрации напряжений в изделиях машиностроения | |
| 12.1 Структурные зоны концентрации напряжений..... | 213 |
| 12.2. Коэффициенты, учитывающие влияние размерного фактора на показатели упрочнения и твердость материалов..... | 214 |
| 12.3. Методика определения механических свойств металла локальных СЗКН и ее практическое опробование..... | 217 |
| 12.4. Деформационное дислокационное упрочнение и критическое напряжение, вызывающее образование трещины в СЗКН..... | 218 |
| Глава 13. Технические средства и реализация методик оперативной диагностики механических свойств конструкционных материалов индентированием..... | |
| 13.1. Приборы для определения характеристик твердости и других механических свойств конструкционных материалов, разработанные в МЭИ..... | 221 |
| 13.2. Переносные и портативные приборы-твердомеры отечественного и зарубежного производства | 236 |
| 13.3. Примеры высокоэффективного применения индентирования в оперативной диагностике механических свойств конструкционных материалов | 262 |
| 13.4. Некоторые практические рекомендации | 269 |
| Заключение..... | 280 |
| Список литературы..... | 283 |

| | |
|--|-----|
| 10.2. Определение модуля нормальной упругости | 161 |
| 10.3. Определение механических свойств в области малой упругопластической деформации | 164 |
| 10.4. Определение механических свойств в области развитой упругопластической деформации | 169 |
| 10.5. Определение характеристик прочности и пластичности при разрушении материала | 183 |
| 10.6. Оценка склонности материалов к хрупкому разрушению | 188 |
| Глава 11. Оперативная оценка механических свойств металла индентированием при охлаждении и нагреве | 194 |
| 11.1. Методика испытаний металла растяжением и вдавливанием при охлаждении | 194 |
| 11.2. Общие закономерности изменения механических характеристик металла при охлаждении | 196 |
| 11.3. Оперативная оценка хладостойкости и критической температуры хрупкости | 199 |
| 11.4. Методика экспресс-оценки характеристик твердости и других механических свойств металла при охлаждении | 206 |
| 11.5. Оценка характеристик жаропрочности | 207 |
| Глава 12. Диагностика механических свойств металла локальных структурных зон концентрации напряжений в изделиях машиностроения | 213 |
| 12.1. Структурные зоны концентрации напряжений | 213 |
| 12.2. Коэффициенты, учитывающие влияние размерного фактора на показатели упрочнения и твердость материалов | 214 |
| 12.3. Методика определения механических свойств металла локальных СЗКН и ее практическое опробование | 217 |
| 12.4. Деформационное дислокационное упрочнение и критическое напряжение, вызывающее образование трещины в СЗКН | 218 |
| Глава 13. Технические средства и реализация методик оперативной диагностики механических свойств конструкционных материалов индентированием | 221 |
| 13.1. Приборы для определения характеристик твердости и других механических свойств конструкционных материалов, разработанные в МЭИ | 221 |
| 13.2. Переносные и портативные приборы-твердомеры отечественного и зарубежного производства | 236 |
| 13.3. Примеры высокоэффективного применения индентирования в оперативной диагностике механических свойств конструкционных материалов | 262 |
| 13.4. Некоторые практические рекомендации | 269 |
| Заключение | 280 |
| Список литературы | 283 |