

## СОДЕРЖАНИЕ

### Раздел 27

#### Метод наэлектризованных частиц

27-1. Основы метода . . . . .	9
а) Развитие метода . . . . .	9
б) Преимущества и ограничения . . . . .	9
в) Главные применения . . . . .	9
г) Принципы работы . . . . .	9
д) Трибоэлектрический эффект . . . . .	10
е) Влияние электрического поля . . . . .	10
ж) Неэлектропроводящие материалы с металлической основой . . . . .	11
з) Неэлектропроводящие материалы без металлической основы . . . . .	11
и) Тонкие изоляционные материалы . . . . .	12
к) Неэлектропроводящие материалы, плотно соединенные с металлом . . . . .	12
27-2. Аппаратура и материалы . . . . .	12
а) Материалы . . . . .	12
б) Оборудование для работы . . . . .	13
27-3. Техника выявления дефектов . . . . .	13
а) Воздействие электрического заряда . . . . .	13
б) Водяные пары . . . . .	14
в) Чрезмерный нагрев изделий . . . . .	15
г) Утеря изображений . . . . .	15
д) Эталонные образцы с трещинами . . . . .	15

### Раздел 28

#### Выявление дефектов методом наэлектризованных частиц

28-1. Общие сведения . . . . .	15
а) Чувствительность метода . . . . .	15
б) Типы порошковых изображений . . . . .	16
в) Пористость . . . . .	17
г) Трещины в тонких покрытиях с металлической подложкой . . . . .	18
д) Обращенные изображения . . . . .	18
е) Получение изображений на вторичных покрытиях . . . . .	18
ж) Получение изображений на неоднородных материалах . . . . .	18
з) Ложные изображения . . . . .	19
и) Отсутствие изображений на слабо проводящих материалах . . . . .	19
28-2. Механизмы повреждений в стеклах и эмалях . . . . .	19

а) Характерные особенности развития трещин . . . . .	19
б) Причины возникновения трещин в стеклах . . . . .	19
в) Механизм повреждений в эмали . . . . .	20
28-3. Промышленные применения . . . . .	21
а) Контроль стеклянных контейнеров . . . . .	21
б) Ранние методы контроля покрытий . . . . .	22
в) Контроль покрытий наэлектризованными частицами . . . . .	23
г) Контроль соединения стекла с металлом . . . . .	24
д) Другие применения . . . . .	26
Литература . . . . .	27

### Раздел 29

#### Принцип контроля магнитно-порошковым методом

29-1. Магнитные поля . . . . .	28
а) Условия испытаний . . . . .	28
б) Описание магнитных полей . . . . .	28
в) Намагничивание электрическим током . . . . .	30
29-2. Методы намагничивания . . . . .	31
29-3. Процесс испытания . . . . .	34
29-4. Материалы, используемые для контроля, и способы их приготовления . . . . .	36
а) Материалы, применяемые при мокром методе контроля . . . . .	37
б) Материалы, применяемые для сухого способа контроля . . . . .	39
29-5. Особые требования при контроле флуоресцентными материалами . . . . .	39
29-6. Размагничивание деталей . . . . .	40
а) Остаточный магнетизм . . . . .	40
б) Факторы, обуславливающие необходимость размагничивания . . . . .	40
в) Причины, вызывающие намагничивание предметов . . . . .	40
г) Методы размагничивания . . . . .	42
29-7. Методы измерения остаточной напряженности магнитных полей детали . . . . .	43
Литература . . . . .	45

Раздел 30			
<b>Оборудование для контроля магнитно-порошковым методом</b>			
30-1. Выбор оборудования . . . . .	45	а) Принцип метода . . . . .	95
30-2. Портативное оборудование для контроля . . . . .	46	б) Оборудование, применяемое для контроля . . . . .	96
30-3. Оборудование для контроля с автоматическим управлением . . . . .	50	в) Подготовка к измерениям . . . . .	97
Литература . . . . .	53	г) Измерение толщины стенок . . . . .	97
		д) Измерение глубины трещин . . . . .	97
Раздел 31		34-2. Расшифровка результатов испытаний . . . . .	98
<b>Оценка результатов контроля магнитно-порошковым методом</b>		а) Определение толщины плоских пластин . . . . .	98
31-1. Расшифровка картины осаждения магнитного порошка . . . . .	54	б) Определение глубины трещин . . . . .	99
а) Этапы контроля . . . . .	54	34-3. Руководство по применению метода . . . . .	101
б) Классификация видов скопленных порошка . . . . .	54	а) Измерение толщины стенок . . . . .	101
в) Осмотр мест скопления порошка . . . . .	55	б) Измерение глубины трещин . . . . .	101
г) Закрепление скопленных порошка, полученных при магнитно-порошковым методе . . . . .	61	в) Измерение толщины стенок при расположении электродов в форме квадрата . . . . .	102
31-2. Дополнительные неразрушающие методы контроля . . . . .	62	г) Изучение распространения трещин . . . . .	102
31-3. Дополнительные методы разрушающего контроля . . . . .	65	34-4. Испытание железнодорожных рельсов . . . . .	102
Литература . . . . .	69	а) Принцип испытания . . . . .	102
Раздел 32		б) Оборудование для испытания рельсов . . . . .	104
<b>Методы измерения магнитных полей</b>		Литература . . . . .	108
32-1. Измерители магнитных полей . . . . .	70	Раздел 35	
32-2. Феррозондовые датчики . . . . .	70	<b>Принцип контроля методом вихревых токов</b>	
32-3. Прибор для измерения магнитного поля . . . . .	75	35-1. Основные принципы . . . . .	109
32-4. Датчики Холла . . . . .	76	а) Принцип контроля . . . . .	109
32-5. Измерение напряженности магнитных полей при магнитно-порошковым методе контроля . . . . .	78	б) Характеристики испытательных катушек . . . . .	109
Литература . . . . .	80	в) Разработка основных принципов . . . . .	119
Раздел 33		35-2. Эффективная проницаемость . . . . .	120
<b>Оборудование для контроля изделий по магнитным характеристикам</b>		а) Допущения, принятые в теоретических расчетах . . . . .	120
33-1. Определение коэрцитивной силы . . . . .	81	б) Определение эффективной проницаемости . . . . .	120
а) Методика измерения коэрцитивной силы . . . . .	82	в) Составляющие полного сопротивления единичной испытательной катушки . . . . .	125
б) Автоматическая разбраковка готовой продукции по коэрцитивной силе . . . . .	84	Раздел 36	
в) Применение разбраковки по коэрцитивной силе . . . . .	85	<b>Контроль цилиндров методом вихревых токов</b>	
33-2. Контроль методом точечного полюса . . . . .	86	36-1. Проводимость, проницаемость и диаметр цилиндрических испытываемых объектов . . . . .	126
33-3. Определение толщины . . . . .	89	36-2. Распределение напряженности магнитного поля и вихревых токов в цилиндрах . . . . .	129
33-4. Другие области применения . . . . .	92	36-3. Контроль с помощью проходной катушки . . . . .	135
Литература . . . . .	94	36-4. Контроль трещин в сплошных цилиндрах . . . . .	136
Раздел 34		36-5. Применения приборов для контроля . . . . .	143
<b>Электрические методы контроля</b>		Раздел 37	
34-1. Измерение толщины стенок и глубины трещин . . . . .	95	<b>Контроль труб методом вихревых токов</b>	
		37-1. Контроль тонкостенных труб . . . . .	147
		а) Важнейшие характеристики труб . . . . .	147

б) Тонкостенная труба из ферромагнитного металла . . . . .	148	в) Подавление при контроле мешающих факторов . . . . .	193
в) Тонкостенные ферромагнитные трубы . . . . .	150	39-4. Контроль, основанный на перемещении световой точки на экране осциллографа . . . . .	193
г) Чувствительность при контроле тонкостенных труб . . . . .	150	39-5. Контроль с помощью эллипса на экране осциллографа . . . . .	196
37-2. Контроль толстостенных труб	151	а) Принцип действия . . . . .	196
37-3. Контроль с применением внутренней испытательной катушки	155	б) Прибор Сигмафлюкс для контроля методом вихревых токов . . . . .	197
37-4. Ограничения по глубине проникновения . . . . .	157	в) Применение способа контроля с помощью эллипса на экране осциллографа . . . . .	199
37-5. Контроль труб малого диаметра . . . . .	160	39-6. Контроль с помощью линейного генератора напряжения развертки	199
а) Принцип контроля . . . . .	160	а) Принцип работы . . . . .	199
б) Характеристики плоскости полного сопротивления . . . . .	160	б) Схема прибора . . . . .	199
в) Типы катушек . . . . .	161	в) Анализ «щелевого» значения кривой . . . . .	200
г) Приборы, чувствительные к омической составляющей . . . . .	164	г) Анализ глубины трещины . . . . .	202
д) Чувствительность к дефектам	164	39-7. Подавление помех . . . . .	205
е) Накладная катушка . . . . .	168	а) Метод фазочувствительного выпрямителя . . . . .	205
ж) Ограничения в автоматизации контроля . . . . .	170	б) Метод контроля, основанный на определении изменения полного сопротивления в резонансном контуре . . . . .	207
		в) Применение техники подавления помех . . . . .	209

## Раздел 38

**Контроль методом вихревых токов листов и деталей сферической формы**

38-1. Контроль деталей сферической формы . . . . .	171
38-2. Контроль листов и фольги . . . . .	177

## Раздел 39

**Аппаратура для контроля методом вихревых токов**

39-1. Контроль, основанный на измерении полного сопротивления . . . . .	182
39-2. Контроль, основанный на измерении величины реактивного сопротивления . . . . .	186
а) Принцип действия . . . . .	186
б) Изменение частоты при изменении электропроводности цилиндров из неферромагнитных материалов . . . . .	186
в) Изменение частоты, вызываемое изменением диаметра контролируемого цилиндра из неферромагнитного материала	187
г) Изменение частоты, вызываемое наличием трещин в контролируемых цилиндрах из неферромагнитных материалов	187
д) Выбор рабочей частоты . . . . .	188
е) Дефектоскоп «Радиочастотный прибор для определения трещин» . . . . .	189
ж) Ограничения при контроле методом, основанным на измерении величины реактивного сопротивления . . . . .	189
39-3. Контроль, основанный на измерении управляемого по обратной связи полного сопротивления	190
а) Принцип действия . . . . .	190
б) Анализ работы электрической цепи прибора . . . . .	190

## Раздел 40

**Автоматизация контроля методом вихревых токов**

40-1. Применение автоматического контроля в промышленных условиях . . . . .	210
40-2. Автоматизация статистического анализа результатов контроля качества . . . . .	216

## Раздел 41

**Применение приборов для контроля методом вихревых токов**

41-1. Области применения метода	220
41-2. Измерение электропроводности	226
41-3. Методы контроля, основанные на измерении петли гистерезиса	232
41-4. Контроль с помощью дифференциальных методов . . . . .	238
41-5. Контроль стали на трещины . . . . .	255
Литература . . . . .	260

## Раздел 42

**Основы ультразвуковой дефектоскопии**

42-1. Основные методы ультразвуковой дефектоскопии . . . . .	263
42-2. Генерирование ультразвуковых колебаний . . . . .	265
42-3. Распространение ультразвуковых волн . . . . .	267
42-4. Аппаратура и методика контроля . . . . .	278

а) Теневой метод . . . . .	278	г) Роторы реактивных двигателей . . . . .	350
б) Эхо-метод . . . . .	279	46-2. Ультразвуковой контроль труб	355
42-5. Калибровка приборов . . . . .	285	а) Основные положения . . . . .	355
42-6. Особенности ультразвукового контроля . . . . .	290	б) Оборудование для контроля	
Литература . . . . .	293	в) Оборудование для сканирования . . . . .	358
		г) Методика контроля . . . . .	359
		д) Расшифровка сигналов . . . . .	360
		е) Специальное применение . . . . .	362
		Литература . . . . .	363
Раздел 43			
<b>Излучатели и приемники ультразвука</b>			
43-1. Преобразователи . . . . .	295		
43-2. Конструкция преобразователей	297		
Вопросы проектирования пьезоэлектрических преобразователей . . . . .	297		
43-3. Зона Френеля . . . . .	302		
43-4. Параметры преобразователей	306		
Литература . . . . .	307		
Раздел 44			
<b>Структура поля излучателя</b>			
44-1. Введение энергии, отражение и затухание ультразвуковых волн	307		
44-2. Влияние скорости ультразвука	311		
44-3. Влияние формы контролируемой детали . . . . .	315		
44-4. Влияние параметров несплошностей . . . . .	318		
44-5. Форма несплошностей . . . . .	322		
Литература . . . . .	325		
Раздел 45			
<b>Иммерсионный вариант ультразвукового метода контроля</b>			
45-1. Принцип метода . . . . .	326		
45-2. Оборудование и методика контроля . . . . .	328		
45-3. Влияние свойств контролируемых материалов . . . . .	331		
45-4. Эталонные образцы для ультразвукового контроля . . . . .	333		
45-5. Способы промышленного контроля . . . . .	336		
45-6. Типичные случаи промышленного использования . . . . .	338		
Литература . . . . .	342		
Раздел 46			
<b>Оценка результатов контроля при иммерсионном варианте ультразвукового метода</b>			
46-1. Авиационные детали . . . . .	342		
а) Введение . . . . .	342		
б) Сигналы от дефектов . . . . .	343		
в) Сигналы, требующие специального рассмотрения . . . . .	348		
		46-2. Ультразвуковой контроль труб	355
		а) Основные положения . . . . .	355
		б) Оборудование для контроля	
		в) Оборудование для сканирования . . . . .	358
		г) Методика контроля . . . . .	359
		д) Расшифровка сигналов . . . . .	360
		е) Специальное применение . . . . .	362
		Литература . . . . .	363
Раздел 47			
<b>Контактный вариант ультразвукового метода контроля</b>			
47-1. Искательные головки и промежуточная среда . . . . .	363		
47-2. Приборы, применяемые при контактном варианте ультразвукового метода контроля . . . . .	366		
47-3. Методика контроля . . . . .	368		
47-4. Применение контактного варианта ультразвукового метода контроля . . . . .	370		
47-5. Контроль в эксплуатационных условиях . . . . .	372		
47-6. Ультразвуковые эхо-сигналы	376		
Раздел 48			
<b>Методы контроля с раздельными излучателем и приемником</b>			
48-1. Искатели с двумя преобразователями . . . . .	382		
48-2. Применение искателей с раздельными излучающим и приемным преобразователями . . . . .	388		
Литература . . . . .	392		
Раздел 49			
<b>Резонансный метод ультразвуковой дефектоскопии</b>			
49-1. Особенности метода . . . . .	393		
49-2. Аппаратура для контроля . . . . .	395		
49-3. Методика измерений . . . . .	398		
49-4. Области применения . . . . .	403		
49-5. Контроль в процессе эксплуатации . . . . .	408		
49-6. Контроль коррозионного утонения стенки . . . . .	410		
Литература . . . . .	418		
Раздел 50			
<b>Метод собственных колебаний</b>			
50-1. Характеристика резонанса . . . . .	418		
50-2. Аппаратура и методика контроля . . . . .	421		



50-3. Примеры промышленного применения . . . . .	423
Литература . . . . .	426

## Раздел 51

## Метод хрупких покрытий

51-1. Материалы для хрупких покрытий . . . . .	427
а) Основы метода . . . . .	427
б) Характеристика хрупких покрытий на основе смол . . . . .	428
в) Выбор покрытий на основе смол . . . . .	429
г) Характеристики хрупких керамических покрытий . . . . .	430
д) Выбор хрупких керамических покрытий . . . . .	430
51-2. Техника испытаний . . . . .	431
а) Подготовка образцов для нанесения покрытий на основе смол . . . . .	431
б) Вычисление напряжений по деформации . . . . .	432
в) Выявление трещин в покрытиях на основе смол . . . . .	433
51-3. Применение хрупких покрытий . . . . .	436
а) Зажимные приспособления и испытательная аппаратура . . . . .	436
б) Измерение деформации при статической нагрузке . . . . .	437
в) Измерение деформации при динамической нагрузке . . . . .	438
г) Типовые испытания методом хрупких покрытий . . . . .	438
д) Сенсибилизация и измерение малых деформаций . . . . .	439
Литература . . . . .	441

## Раздел 52

## Поляризационный метод исследования напряжений с применением фотоупругих покрытий

52-1. Основные законы . . . . .	443
а) Принцип испытания . . . . .	443
б) Развитие метода испытания . . . . .	443
в) Объяснение терминов . . . . .	443
52-2. Математическая теория . . . . .	446
а) Обозначения . . . . .	446
б) Исследование при нормальном падении луча . . . . .	446
в) Исследование при наклонном падении луча . . . . .	447
52-3. Техника испытаний и применяемые материалы . . . . .	449
а) Техника испытаний . . . . .	449
б) Фотоупругие покрытия . . . . .	449
в) Калибровка . . . . .	451
г) Подготовка исследуемой детали . . . . .	451
д) Измерение величины главных деформаций . . . . .	451
е) Измерение направления главных деформаций . . . . .	452

52-4. Контрольно-измерительные приборы . . . . .	452
а) Классификация приборов . . . . .	452
б) Прибор с четвертьволновой пластинкой для статических испытаний . . . . .	452
в) Прибор с большим полем для статических испытаний . . . . .	454
г) Измерительный прибор с большим полем для динамических испытаний . . . . .	455
д) Прибор с небольшим полем для статических испытаний . . . . .	455
е) Электронный прибор с малым полем для статических и динамических испытаний . . . . .	456
ж) Прибор для работы с наклонными лучами . . . . .	456
з) Выбор измерительного прибора . . . . .	457
52-5. Промышленное применение . . . . .	457
а) Области применения . . . . .	457
б) Конструкция шпунтовой сваи . . . . .	457
в) Исследование напряжений в хвостовом оперении управляемого снаряда . . . . .	458
г) Узел, выполненный методом точечной сварки . . . . .	461
д) Мостовые узлы сварной конструкции . . . . .	461
е) Применение в качестве преобразователя . . . . .	462
ж) Телеметрирование . . . . .	462
з) Определение срока службы конструкций и машин . . . . .	462
и) Центровка и калибровка испытательных машин . . . . .	463
к) Визуальное исследование . . . . .	463
52-6. Преимущества и недостатки . . . . .	463
а) Преимущества . . . . .	463
б) Недостатки . . . . .	463
Литература . . . . .	464

## Раздел 53

## Измерение деформаций датчиками электрического сопротивления

53-1. Общие сведения о датчиках . . . . .	465
а) Цель измерения деформаций . . . . .	465
б) Способы измерения деформаций . . . . .	465
в) История метода измерения деформаций с помощью датчиков омического сопротивления . . . . .	466
г) Области применения датчиков . . . . .	466
д) Влияние механических свойств материала, к которому крепится датчик . . . . .	467
ж) Выбор материала для образцовых датчиков . . . . .	468
53-2. Конструкция и крепление датчиков . . . . .	468
а) Материал и конструкция датчиков . . . . .	468
б) Технология приклейки датчиков . . . . .	471
53-3. Электрические схемы датчиков . . . . .	472
а) История метода . . . . .	472

б) Потенциометрическая схема	473	д) Электрические свойства датчиков	484
в) Мостовая схема	474	53-5. Датчики для измерения деформаций в конструкциях	485
г) Свойства мостовой схемы	475	а) Применение датчиков в технике	485
д) Изменение чувствительности датчиков и электрической схемы	476	б) Испытательное оборудование	486
е) Уравновешивание мостовых схем с датчиками сопротивления	477	в) Установка датчиков	487
53-4. Влияние различных факторов на работу датчиков	478	г) Питающие провода	488
а) Влияние температуры на работу датчика	478	д) Проверка датчиков	488
б) Влияние влажности среды	480	е) Изоляция датчиков от действия влаги	489
в) Влияние величины деформации	480	ж) Измерение деформаций	489
г) Влияние величины приложенного к датчику напряжения	482	з) Анализ результатов измерения	491
		и) Рекомендации по применению датчиков	491
		Литература	492