

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редактора перевода	10
Предисловие автора	12
Глава 1	
Введение	15
1.1. О главном	15
1.2. Что такое метрология поверхности?	15
1.3. Полезность метрологии поверхности	17
1.3.1. Обработка	20
1.3.2. Инструмент	21
1.3.3. Эксплуатационные характеристики	22
1.4. Природа поверхности	23
1.4.1. Общие положения	23
1.4.2. Масштабный фактор и тенденция к миниатюризации	29
1.4.3. Роль метрологии поверхности в обеспечении работоспособности	31
1.4.4. Стандарты	32
Глава 2	
Идентификация и выделение характеристик поверхности	34
2.1. Визуализация	34
2.2. Шероховатость и профиль поверхности — понятие о процедуре измерения	35
2.2.1. Профили	35
2.2.2. Определения длин	38
2.2.3. Связь шероховатости с базовой длиной	40
2.3. Волнистость	44
2.4. Концепция базовой длины	46
2.4.1. Общие сведения	46



2.4.2.	Значения базовых длин	47
2.4.3.	Основные правила для определения базовой длины при измерении шероховатости	48
2.5.	Форма базовой линии	51
2.5.1.	Система огибающей	51
2.5.2.	Метод мотива	56
2.6.	Другие методы определения базовой линии	62
2.6.1.	Метод наименьших квадратов	62
2.6.2.	Полиномиальная аппроксимация	63
2.7.	Фильтрация и система средней линии (M-система)	64
2.7.1.	Определения	65
2.7.2.	Общие сведения о фильтрации	67
2.7.3.	Стандартный аналоговый 2CR-фильтр	69
2.7.4.	Фильтры с фазовой коррекцией	71

Глава 3

Профильные и пространственные параметры шероховатости	74
3.1. Основные определения	74
3.2. Классификация профильных параметров	75
3.2.1. Высотные параметры	77
3.2.2. Шаговые параметры	83
3.2.3. Гибридные параметры	85
3.2.4. Параметры-функции	87
3.2.5. Опорная кривая	88
3.3. Анализ случайных процессов	102
3.3.1. Общие замечания	102
3.3.2. Основные положения	102
3.4. Пространственная оценка	110
3.4.1. Исходные предпосылки	110
3.4.2. Взаимосвязь профильных и пространственных параметров	113
3.4.3. Комментарии к пространственным параметрам	117
3.5. Функции пространственной частоты	124
3.6. Замечания к цифровому анализу пространственных данных	126
3.7. Двумерная фильтрация	128
3.8. Фрактальные поверхности	130

Глава 4

Шероховатость поверхности и технология обработки	133
4.1. Где и когда измерять?	133
4.2. Методы обработки и шероховатость поверхности	134
4.2.1. Общие сведения	134
4.2.2. Токарная обработка	137



4.2.3. Алмазное точение	143
4.2.4. Фрезерование и протягивание	144
4.2.5. Формирование поверхностей при абразивной обработке	152
4.2.6. Качество обработки при шлифовании	155
4.2.7. Наношлифование	164
4.2.8. Хонингование и суперфиниш	165
4.2.9. Полирование (притирка)	167
4.2.10. Специальные методы обработки	169
4.2.11. Нанотехнология в обработке поверхностей	175
4.3. Управление качеством обработки	176
4.3.1. Диаграммы Шухарта	176
4.3.2. Кумулятивные суммы	178
4.4. Взаимосвязь между метрологией поверхности	181
4.5. Силовые и метрологические цепи	185
4.6. Единичные события и автокорреляция	186
4.7. Анализ спектра мощности поверхности	188
4.8. Использование функций пространственных частот	190
Глава 5	
Эксплуатационные характеристики шероховатых поверхностей	194
5.1. Общий подход	194
5.2. Конкретные примеры из трибологии	208
5.3. Модели поверхности	213
Глава 6	
Общие вопросы оценки качества поверхности	219
6.1. Экспресс-методы исследования поверхности	219
6.1.1. Общие свойства поверхности	219
6.1.2. Профилограмма	223
6.2. Исследовательское оборудование	224
6.2.1. Проблемы измерений	224
6.2.2. Особенности методов	225
6.2.3. Развитие методов	225
6.3. Сравнительный анализ возможностей различных методов	228
6.3.1. Щуповые методы	228
6.3.2. Оптический метод	228
6.3.3. Другие методы	228
6.3.4. Сравнение приборов для исследования поверхностей	229
Глава 7	
Щуповые приборы	231
7.1. Щуп	231
7.2. База измерений	232



7.3.	Использование опоры	234
7.4.	Датчики	237
7.5.	Повреждение поверхности щупом	237
7.6.	Использование щуповых приборов.	239
7.6.1.	Особенности измерения	239
7.6.2.	Встроенные щуповые приборы	241
7.6.3.	Портативные приборы.	242
7.6.4.	Универсальные приборы	244
7.6.5.	Щуповые приборы с высокой скоростью измерений	248
Глава 8		
	Оптические методы	250
8.1.	Оптическая длина пути	252
8.2.	Проникновение оптического излучения	252
8.3.	Разрешение и глубина фокуса	253
8.4.	Сравнение оптических и щуповых методов	254
8.5.	Глоссометр	256
8.6.	Фотометрическая интегрирующая сфера	257
8.7.	Дифрактометр	258
8.8.	Интерферометрия	260
8.9.	Оптические профилографы	263
8.10.	Гетеродинный метод	264
8.11.	Другие оптические методы	267
8.12.	Результаты сравнения щуповых и оптических методов	270
Глава 9		
	Сканирующая микроскопия	273
9.1.	Общие положения	273
9.2.	Сканирующие зондовые микроскопы.	275
9.2.1.	Атомно-силовой микроскоп	275
9.2.2.	Латеральный силовой микроскоп	275
9.2.3.	Магнитный силовой микроскоп	276
9.2.4.	Сканирующий тепловой микроскоп	276
9.2.5.	Сканирующий микроскоп ионной проводимости	276
9.2.6.	Ближне-полевой оптический сканирующий микроскоп.	277
9.3.	Режимы работы сканирующего туннельного микроскопа	277
9.3.1.	Режим постоянной высоты	277
9.3.2.	Режим постоянного тока	277
9.3.3.	Микропозиционирование	281
9.4.	Атомно-силовой микроскоп	283
9.5.	Потенциал зондовых методов.	284
9.6.	Масштабный фактор в метрологии	286

Глава 10

Простые погрешности формы	288
10.1. Основные положения	288
10.2. Непрямолинейность	292
10.3. Измерение	292
10.4. Измерение и классификация отклонений от прямолинейности	303
10.5. Неплоскость	306

Глава 11

Некруглость и ее следствия	313
11.1. Общие положения	313
11.2. Направление измерений	314
11.3. Графическое представление некруглости	317
11.4. Огранка	319
11.5. Методы измерения некруглости	321
11.5.1. Гармонический анализ	321
11.5.2. Методы измерения диаметров	324
11.5.3. Методы измерения хорд	324
11.5.4. Методы измерения радиусов	328
11.6. Свойства измерительного сигнала некруглости	336
11.6.1. Увеличение и исключение незначимых данных	336
11.6.2. Представление с помощью лимаконы	339
11.7. Оценка некруглости	345
11.7.1. Основные понятия	345
11.7.2. Методы наилучшей подгонки	349
11.8. Измерение дуг	354
11.9. Прочие параметры	357
11.9.1. Скорость изменения радиуса детали	357
11.9.2. Кривизна поверхности	357
11.9.3. Гармонический анализ	359
11.10. Методы фильтрации данных при определении некруглости	363
11.11. Сложности при проведении гармонического анализа	365
11.12. Альтернативы гармоническому анализу	367
11.12.1. Общие положения	367
11.12.2. Средняя длина волны	367
11.13. Отклонения, сопровождающие некруглость	369
11.13.1. Несоосность	370
11.13.2. Неперпендикулярность	372
11.13.3. Другие погрешности измерения эксцентриситета/ наклона	375



Глава 12

Нецилиндричность и несферичность	377
12.1. Нецилиндричность	377
12.2. Схемы измерений	380
12.3. Основные определения параметров нецилиндричности	387
12.3.1. Несоосность	387
12.3.2. Влияние неровностей большого размера	387
12.3.3. Несогласованность базового цилиндра с формой детали	388
12.3.4. Бисния	388
12.4. Оценка нецилиндричности	389
12.5. Дополнительные параметры нецилиндричности	390
12.6. Несферичность	391
12.7. Частичная несферичность	394
12.8. Статор двигателя Ванкеля и другие детали сложной формы	396

Глава 13

Конструкция измерительных приборов и минимизация погрешностей

измерений	398
13.1. Исходные предпосылки	398
13.2. Возможности приборов	399
13.3. Ошибки измерений	399
13.4. Проектирование измерительного инструмента и уменьшение погрешностей	401
13.4.1. Основные проблемы измерений	401
13.4.2. Кинематика	403
13.4.3. Псевдокинематические (упруго-пластичные) конструкции	409
13.4.4. Механизмы с шестью опорами	410
13.4.5. Подвижность	410
13.4.6. Простая инструментальная погрешность Аббе и косинусная ошибка	412
13.4.7. Свойства измерительной цепи	413
13.4.8. Выбор материалов и решение некоторых других задач	417
13.4.9. Механическая стабильность	420
13.4.10. Оптимизация конструкции	422
13.4.11. Увеличение точности измерений	422
13.4.12. Обратный метод проведения измерений	423
13.4.13. Многошаговый метод измерений	425
13.5. Проведение измерений	425
13.6. Механизмы на упругих элементах — устранение гистерезиса и трения	429

13.6.1. Преимущества и недостатки механизмов на упругих элементах	430
13.6.2. Недостатки упругих элементов, работающих на изгиб	431
13.6.3. Механизм линейного перемещения на упругих элементах	432
13.7. Очистка и транспортировка деталей	436
13.7.1. Очистка деталей	436
13.7.2. Транспортировка	436
Глава 14	
Калибровка приборов	438
14.1. Эталоны шероховатости и их классификация	438
14.2. Калибровка шупа	441
14.3. Калибровка высотной базы	444
14.3.1. Эталоны типа А1	444
14.3.2. Кристаллографический метод	445
14.4. Общая высота	447
14.5. Калибровка крупномеров по высотной базе	448
14.6. Калибровка фильтра (эталон типа С)	448
14.7. Вибрирующие столы	450
14.8. Сравнение данных, полученных на разных приборах	451
14.9. Взаимосвязь стандартов	456
Глава 15	
Регистрация данных, численные методы анализа и представление результатов	457
15.1. Общие положения	457
15.2. Численные модели	458
15.3. Размер набора данных	459
15.4. Практические ошибки	461
15.5. Обозначение шероховатости на чертежах	463
15.6. Выбор параметров измерений	464
15.7. Основы стандартов шероховатости	465
Литература	469