ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 2178— 2025

НЕМАГНИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА МАГНИТНЫХ ОСНОВАНИЯХ

Измерение толщины покрытия. Магнитный метод

(ISO 2178:2016, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «КОНСТАНТА» (ООО «КОНСТАНТА») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 371 «Неразрушающий контроль»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 апреля 2025 г. № 374-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 2178:2016 «Немагнитные покрытия на магнитных основаниях. Измерение толщины покрытия. Магнитный метод» (ISO 2178:2016 «Non-magnetic coatings on magnetic substrates — Measurement of coating thickness — Magnetic method», IDT).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные и межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© ISO, 2016
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 1
4 Принцип измерения 3
5 Параметры, влияющие на неопределенность измерений 5
6 Калибровка и настройка прибора 8
7 Процедура измерения и оценка результатов 10
8 Неопределенность измерения 10
9 Прецизионность 13
10 Отчет об измерениях 13
Приложение А (справочное) Основной принцип всех методов магнитных измерений 15
Приложение В (справочное) Основные требования к приборам для измерения толщины покрытий, основанного на магнитном методе, описанном в настоящем стандарте 16
Приложение С (справочное) Примеры экспериментальной оценки параметров, влияющих на точность измерения 17
Приложение D (справочное) Пример оценки неопределенности 21
Приложение Е (справочное) Основы оценки неопределенности измерения используемого метода измерения, соответствующего Руководству ИСО/МЭК 98-3 23
Приложение F (справочное) Таблица критерия Стьюдента 25
Приложение G (справочное) Подробная информация о прецизионности 26
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным и межгосударственным стандартам 29
Библиография 30

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НЕМАГНИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА МАГНИТНЫХ ОСНОВАНИЯХ

Измерение толщины покрытия. Магнитный метод

Non-magnetic coatings on magnetic substrates. Measurement of coating thickness. Magnetic method

Дата введения — 2025—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает метод неразрушающих измерений толщины ненамагничиваемых покрытий на намагничиваемых металлических основаниях.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)]:

ISO 2064, Metallic and other inorganic coatings — Definitions and conventions concerning the measurement of thickness (Металлические и другие неорганические покрытия. Определения и условные обозначения, касающиеся измерения толщины)

ISO 4618, Paints and varnishes — Terms and definitions (Краски и лаки. Термины и определения)

ISO/IEC 5725-1:1994, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 1: General principles and definitions (Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения)

ISO/IEC Guide 98-3, Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) (Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ИСО 2064 и ИСО 4618.

ИСО и МЭК поддерживают терминологические базы данных для использования в области стандартизации, которые доступны по следующим ссылкам:

- электропедия МЭК: доступна по ссылке gost.e-ecolog.ru ;
- онлайн-платформа ИСО для поиска доступна по ссылке: gost.e-ecolog.ru

3.1 **настройка измерительной системы** (adjustment of a measuring system): Набор операций, проведенных с измерительной системой, обеспечивающих соответствие показаний заданным значениям измеряемой величины.

Примечания

1 Настройка измерительной системы может включать настройку нуля, коррекцию смещения и настройку диапазона (иногда называемую настройкой усиления).

2 Не следует путать настройку измерительной системы с калибровкой, которая является необходимым условием для настройки.

Издание официальное

3 После настройки измерительной системы измерительная система, как правило, должна быть откалибрована.

4 Часто термин «калибровка» используется ошибочно вместо термина «настройка». Точно так же термины «подтверждение» и «проверка» часто используются вместо правильного термина «калибровка».

[Руководство ИСО/МЭК 99:2007, 3.11]

3.2 **калибровка** (calibration): Операция, при определенных условиях на первом этапе устанавливающая зависимость между значениями величин с их неопределенностями, обеспечиваемыми эталонами, и соответствующими показаниями с их неопределенностями, а на втором этапе использующая эту информацию, чтобы установить зависимость для получения результата измерения на основании показания.

Примечания

1 Калибровка может быть представлена в текстовом виде, функцией калибровки, калибровочной диаграммой, калибровочной кривой или калибровочной таблицей. В некоторых случаях она может включать аддитивную или мультипликативную составляющие коррекции показания с соответствующей неопределенностью измерения.

2 Не следует путать калибровку с регулировкой измерительной системы, часто ошибочно называемой «самокалибровкой», а также с проверкой калибровки.

3 Часто первый шаг в приведенном выше определении воспринимается как калибровка.

[Руководство ИСО/МЭК 99:2007, 2.39]

4 Принцип измерения

4.1 Основной принцип всех методов магнитных измерений

Плотность магнитного потока вблизи источника магнитного поля (постоянный магнит или электромагнит) зависит от расстояния до намагничиваемого металлического основания. Это явление используется для определения толщины немагнитного покрытия, нанесенного на металлическое основание.

Примечание — В приложении А более подробно описывается физическое обоснование этого эффекта.

Все методы, охватываемые настоящим международным стандартом, оценивают плотность магнитного потока для определения толщины покрытия. Величина плотности магнитного потока преобразуется в соответствующий электрический ток, электрическое напряжение или механическую силу, в зависимости от используемого метода, значения которых либо предварительно обрабатываются цифровыми средствами, либо отображаются непосредственно на удобно отмасштабированном приборе.

Примечание — Методы, описанные в 4.3 и 4.4, могут также быть объединены в одном и том же преобразователе с другим методом, например вихретоковым, в соответствии с ИСО 2360 или ИСО 21968.

В приложении В описаны основные требования к приборам для измерения толщины покрытий на основе магнитного метода, описанного в настоящем стандарте.

4.2 Магнитоотрывной метод

Плотность магнитного потока постоянного магнита и, следовательно, сила притяжения постоянного магнита к намагничиваемому металлическому основанию, уменьшаются с увеличением расстояния. Таким образом, сила притяжения является величиной, пропорциональной интересующей толщине покрытия.

Приборы, работающие с использованием магнитоотрывного метода, состоят как минимум из трех узлов:

- постоянного магнита;
- тянущего устройства с непрерывно увеличивающейся силой отрыва;
- дисплея или шкалы толщины покрытия, которая рассчитывается исходя из силы отрыва.

Сила отрыва может создаваться с помощью различных типов пружин или электромагнитных устройств.

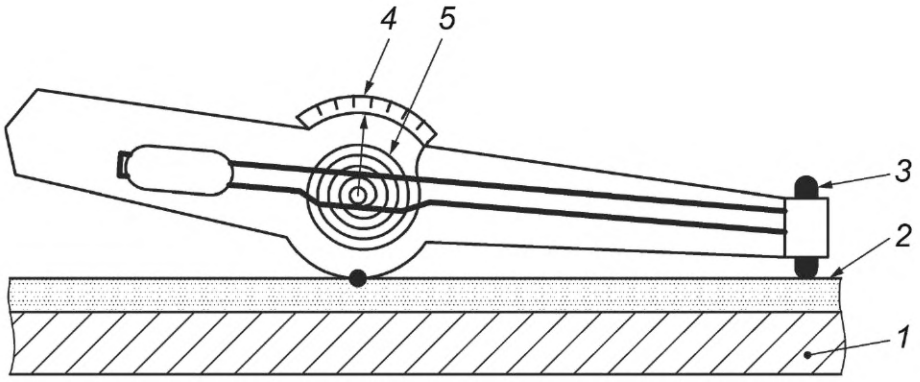
Некоторые приборы могут компенсировать влияние силы тяжести и проводить измерения во всех положениях.

Все остальные приборы могут использоваться только в положении, указанном производителем.

Место измерения должно быть чистым и не содержать жидкие или пастообразные покрытия. На контактной поверхности постоянного магнита не должно быть частиц.

Электростатический заряд может вызвать дополнительные усилия на постоянном магните или измерительной системе, и, следовательно, необходимо избегать его возникновения или разрядить прибор перед измерением.

На рисунке 1 изображен магнитоотрывной прибор.



1 — металлическое основание; *2* — покрытие; *3* — магнит; *4* — шкала; *5* — пружина

Рисунок 1 — Магнитоотрывной прибор

4.3 Магнитоиндукционный метод

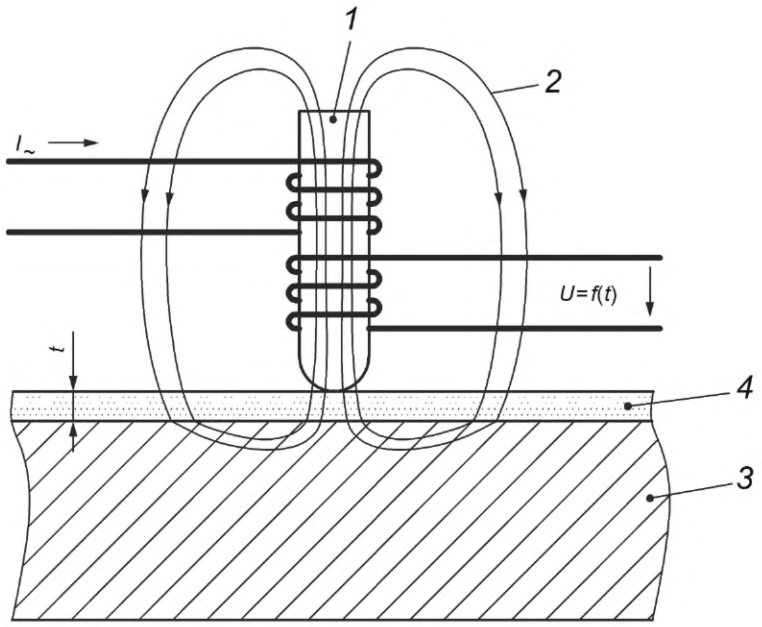
Индуктивность обмотки изменяется при помещении железного сердечника внутрь обмотки или когда железный объект, например пластина, приближается к обмотке. Следовательно, это изменение индуктивности можно использовать в качестве параметра, зависящего от расстояния между обмоткой и ферромагнитной подложкой, или в качестве меры толщины покрытия, если обмотка размещена на намагничиваемом металлическом основании с покрытием.

Существует множество различных электронных методов для оценки изменений индуктивности или реакции системы обмоток на ферромагнитную подложку. В магнитоиндукционных преобразователях для измерения толщины покрытий на намагничивающихся материалах могут быть размещены одна или несколько обмоток. Чаще всего используются две обмотки (см. рисунок 2): первая (первичная обмотка) для формирования низкочастотного переменного магнитного поля и вторая (вторичная обмотка) для измерения результирующей наведенной ЭДС *U*. Если поместить преобразователь на покрытый намагничиваемый материал ($\mu_r > 1$), то плотность магнитного потока (см. приложение А) и наведенная ЭДС на вторичной обмотке изменяются в зависимости от толщины покрытия. Зависимость между наведенной ЭДС и толщиной покрытия нелинейная и определяется магнитной проницаемостью μ_r металлического основания. Обычно определяется калибровкой. Калибровочные кривые, которые определяют толщину покрытия для наведенных ЭДС, могут храниться в приборе.

Используются различные конструкции и геометрия этих обмоток. Очень часто обе обмотки используются с сильно намагничиваемым сердечником для того, чтобы повысить чувствительность преобразователей и сконцентрировать поле. Таким образом, уменьшается как площадь участка покрытия, необходимая для измерения толщины, так и влияние геометрических параметров детали с покрытием (см. 5.5 и 5.6).

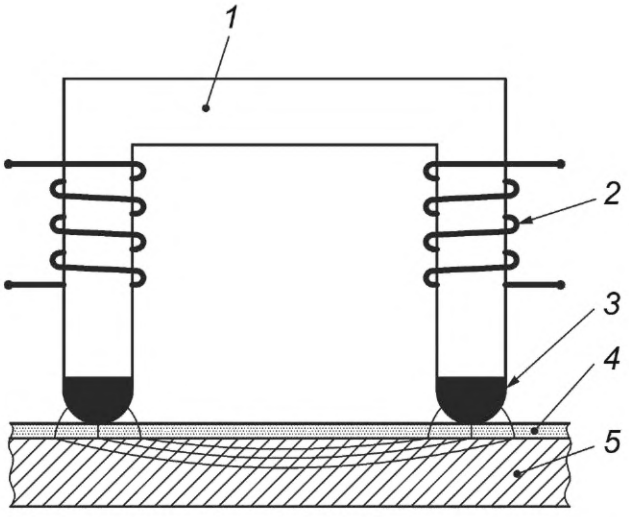
Двухполюсный преобразователь (см. рисунок 3), напротив, имеет широкое и открытое распределение поля. Двухполюсный преобразователь обеспечивает интегрирование по площади, в то время как однополюсный преобразователь обеспечивает локальное измерение.

Обычно частота генерируемого поля ниже одного килогерца, что позволяет избежать возникновения вихревых токов, если покрытия являются электропроводящими. Поэтому с помощью этого метода можно измерить как электропроводящие, так и неэлектропроводящие покрытия.



1 — железный сердечник преобразователя; *2* — низкочастотное переменное магнитное поле; *3* — стальное/железное основание; *4* — покрытие; $I_{\sim}$ — возбуждающий ток; *t* — толщина покрытия; *U* = *f*(*t*) — измеряемый сигнал

Рисунок 2 — Схема магнитоиндукционного метода



1 — железный сердечник преобразователя; *2* — система обмоток; *3* — наконечник преобразователя; *4* — покрытие; *5* — металлическое основание

Рисунок 3 — Схема двухполюсного преобразователя

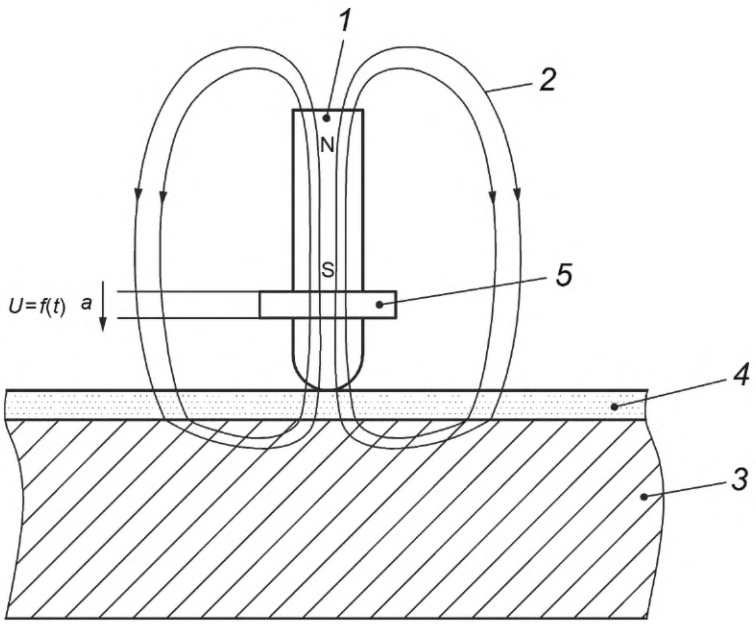
4.4 Датчики магнитного потока

Плотность магнитного потока вблизи магнита зависит от магнитных свойств веществ в магнитном поле. Плотность магнитного потока уменьшается, если доля немагнитных веществ относительно доли магнитных веществ увеличивается. Это свойство используется в датчиках магнитного потока (см. рисунок 4). Покрытие (*4*) не намагничивающееся, металлическое основание (*3*) намагничивающееся. Магнит (*1*) создает магнитное поле. Его силовые линии проходят как через покрытие, так и через металлическое основание. Датчик магнитного потока (*5*), расположенный вплотную к магниту, выдает электрические сигналы, зависящие от толщины покрытия.

Примечания

1 Датчики магнитного потока — это преобразователи Холла или магнито-резистивные преобразователи.

2 Можно использовать постоянный магнит или электромагнит.



1 — постоянный магнит; *2* — постоянное магнитное поле; *3* — металлическое основание; *4* — покрытие; *5* — элемент Холла как датчик магнитного потока; *U* — выходное напряжение; *a* — измерительный сигнал

Рисунок 4 — Датчик магнитного потока с использованием преобразователя Холла

Электрические сигналы датчика магнитного потока дополнительно обрабатываются с помощью электронных средств. Зависимость сигнала датчика магнитного потока от толщины покрытия нелинейная и определяется магнитной проницаемостью μ_r металлического основания. Обычно она определяется путем калибровки. Калибровочные кривые, по которым определяется толщина покрытия, соответствующая электрическому сигналу датчика, могут храниться в приборе.

5 Параметры, влияющие на неопределенность измерений

5.1 Влияние толщины покрытия

Чувствительность измерительного преобразователя к контролируемому параметру (толщине покрытия) уменьшается с увеличением толщины в диапазоне измерений преобразователя. В нижней части диапазона абсолютная неопределенность измерения является постоянной, не зависящей от толщины покрытия. Абсолютное значение этой неопределенности зависит от свойств измерительного преобразователя и материалов образца, например однородности магнитной проницаемости металлического основания, шероховатости металлического основания и шероховатости поверхности образца. В верхней части диапазона измерения преобразователя неопределенность зависит от толщины и составляет примерно постоянную часть этой толщины.

5.2 Магнитные свойства металлического основания

Магнитная проницаемость металлического основания обуславливает измерительный эффект магнитного метода.

Соотношение между толщиной покрытия и результатом измерения существенно зависит от магнитной проницаемости металлического основания. Следовательно, процедуры калибровки и измерения должны проводиться на одном материале. Различные материалы с отличающейся магнитной

проницаемостью, а также локальные флуктуации магнитной проницаемости или вариации магнитной проницаемости между образцами могут приводить к погрешностям при измерении толщины покрытий.

Остаточная намагниченность металлического основания также может существенно влиять на измерения, особенно при использовании статических магнитных полей (см. 4.2 для магнитоотрывного метода или 4.4 для датчика магнитного потока).

Металлическое основание может быть намагничено при повторных измерениях в одном и том же месте, если используется метод измерения с постоянным магнитным полем (см. 4.2 для магнитоотрывного метода или 4.4 для датчика магнитного потока). Это может привести к погрешностям при измерении толщины.

Примечание — Значения начальной относительно магнитной проницаемости для типичных используемых сталей находятся в диапазоне от 100 до 300.

5.3 Электрические свойства материалов покрытия

Результаты измерения толщины покрытия могут быть искажены вследствие вихревых токов в случае использования переменного магнитного поля (см. 4.3 для магнитоиндукционного метода или 4.4 для датчика магнитного потока). Возбуждаемые вихревые токи могут исказить измерительный эффект магнитного метода. Плотность возбуждаемого вихревого тока возрастает с увеличением электропроводности и частоты.

Примечание — Обычно приборы, использующие методы измерения по 4.3 или 4.4, работают в частотном диапазоне ниже 1 кГц. Поэтому возбуждаемые вихревые токи, влияющие на результаты измерений, существенны только для толстых покрытий (толщиной более 1 мм) с высокой электропроводностью, например медных.

5.4 Геометрические параметры: толщина металлического основания

Если толщина металлического основания недостаточная, взаимодействие магнитного поля с металлическим основанием уменьшается. Этим влиянием можно пренебречь только при превышении определенной критической минимальной толщины металлического основания.

Поэтому толщина металлического основания всегда должна превышать критическую минимальную толщину металлического основания. При проведении настройки прибора можно компенсировать погрешности, обусловленные тем, что толщина металлического основания меньше критической минимальной толщины. Однако любая вариация толщины металлического основания может привести к увеличению неопределенности измерения.

Критическая минимальная толщина металлического основания зависит как от параметров измерительного преобразователя (интенсивности магнитного поля, геометрических характеристик), так и от магнитных свойств металлического основания. Ее значение должно определяться экспериментально, если производитель не указывает иное.

Примечание — Простой эксперимент по оценке критической минимальной толщины металлического основания описан в С.2.

5.5 Краевой эффект

Формированию магнитного поля препятствуют краевые участки металлического основания (например, края, отверстия и др.). Поэтому измерения, выполненные слишком близко к краю или углу, могут быть недостоверными, если прибор не был специально настроен для таких измерений. Необходимое расстояние для исключения краевого эффекта зависит от конструкции и размеров измерительного преобразователя (распределения поля).

Примечание — Простой эксперимент по оценке краевого эффекта описан в С.3.

5.6 Геометрические параметры: кривизна поверхности

На распределение магнитного поля влияет кривизна поверхности металлического основания. Данное влияние становится более выраженным с уменьшением радиуса кривизны и уменьшением толщины покрытия. Для уменьшения влияния кривизны необходимо, чтобы настройка прибора производилась на образце металлического основания с аналогичными геометрическими характеристиками.

Влияние кривизны поверхности существенно зависит от геометрических параметров преобразователей и может быть уменьшено за счет уменьшения его зоны контроля. Преобразователи с очень малыми размерами зоны контроля часто называют микропреобразователями.

Измерения, выполненные на участках с очень малым радиусом кривизны, могут привести к получению недостоверных результатов даже после калибровки. Полученная при этом неопределенность должна учитываться для определения того, является ли такое измерение приемлемым или нет.

Примечание — Простой эксперимент по оценке влияния кривизны поверхности описан в С.4.

5.7 Шероховатость поверхности

Результаты измерения зависят от рельефа поверхности металлического основания и покрытия. Грубые поверхности могут вызывать как систематические, так и случайные погрешности. Случайные погрешности могут быть уменьшены путем проведения нескольких измерений, при этом каждое измерение производится в другом месте, а затем проводится вычисление среднего значения этой серии измерений.

Для уменьшения влияния шероховатости калибровка должна проводиться с использованием образца металлического основания без покрытия с шероховатостью, аналогичной металлическому основанию с покрытием.

При необходимости следует согласовывать использование процедуры определения средней толщины покрытия между поставщиком и потребителем.

Примечание — ИСО 19840 описывает специальные процедуры измерения в случаях нанесения красок и лаков на сталь с шероховатыми поверхностями.

5.8 Чистота поверхности: влияние зазора

Если измерительный преобразователь не установлен непосредственно на покрытие, то зазор между измерительным преобразователем и покрытием будет влиять на результат измерения как дополнительное покрытие. Зазор может возникать из-за наличия мелких частиц непосредственно между измерительным преобразователем и покрытием. Необходимо всегда контролировать чистоту опорной поверхности сердечника измерительного преобразователя.

5.9 Давление измерительного преобразователя

Давление, которое измерительный преобразователь оказывает на образец, на котором проводятся измерения, может влиять на показания прибора и всегда должно быть одинаковым во время настройки и измерений.

Влияние давления преобразователя более выражено в случае мягких покрытий, поскольку сердечник измерительного преобразователя может быть углублен в покрытие. Поэтому давление измерительного преобразователя должно быть как можно меньше. Большинство приборов оснащены подпружиненными измерительными преобразователями, которые обеспечивают постоянное давление при установке. Если вихретоковый преобразователь не подпружинен, то для его установки следует использовать подходящую оснастку.

Примечания

1 Контактное давление и величина углубления сердечника измерительного преобразователя могут быть уменьшены за счет снижения приложенного усилия или при использовании измерительного преобразователя с большим диаметром опорной поверхности сердечника.

2 Углубление сердечника преобразователя в мягкие покрытия можно уменьшить, поместив защитную пленку с известной толщиной на поверхность покрытия. В этом случае толщина покрытия будет равна измеренной толщине за вычетом толщины пленки.

5.10 Угол наклона преобразователя

Если иное не указано изготовителем, преобразователь следует устанавливать перпендикулярно поверхности покрытия, так как отклонение преобразователя от нормали к поверхности вызывает ошибки измерения.

Риск непреднамеренного наклона может быть сведен к минимуму с помощью конструкции преобразователя или с помощью держателя для преобразователя.

Примечание — Большинство имеющихся в продаже приборов оснащены подпружиненными преобразователями, которые обеспечивают перпендикулярную установку на поверхности образца.

5.11 Температурные эффекты

Поскольку изменения температуры влияют на характеристики измерительного преобразователя, его следует использовать примерно при тех же температурных условиях, что и при калибровке.

Примечания

1 Влияние изменений температуры можно уменьшить путем температурной компенсации измерительного преобразователя. При этом следует учитывать требования инструкций производителя.

2 Разница температур измерительного преобразователя, электроники прибора, окружающей среды и образца может привести к большой погрешности толщины. Одним из примеров является измерение толщины горячих покрытий.

5.12 Внешние электромагнитные поля

На результаты измерений могут влиять внешние электромагнитные поля. В случае необъяснимых результатов измерений или их сильного разброса, которые не могут быть объяснены другими параметрами, влияние внешних электромагнитных полей должно быть принято во внимание. В такой ситуации сравнительные измерения должны быть проведены в условиях без влияющих электромагнитных полей.

6 Калибровка и настройка прибора

6.1 Общие положения

Перед использованием каждый прибор должен быть откалиброван или настроен в соответствии с инструкциями производителя с использованием соответствующих эталонных мер толщины покрытий и металлических оснований. Материал, геометрические параметры и шероховатость поверхности металлического основания, используемого для калибровки или настройки, должны соответствовать материалам образцов, на которых проводятся измерения, чтобы избежать отклонений, вызванных параметрами, описанными в разделе 5. В противном случае их влияние должно быть учтено при оценке неопределенности измерений.

Во время проведения калибровки или настройки приборы, меры толщины и металлические основания должны иметь такую же температуру, как и образцы, на которых проводятся измерения, для минимизации отклонений, вызванных различием температур.

Во избежание влияния инструментального дрейфа рекомендуется проводить периодические контрольные измерения с использованием эталонных мер толщины или контрольных образцов. При необходимости прибор необходимо настроить.

Примечание — Большинство приборов автоматически настраиваются автоматически во время функции «калибровка», проводимой оператором, тогда как результат калибровки часто не очевиден.

6.2 Эталонные меры толщины покрытий

Эталонными мерами толщины покрытий для калибровки и настройки являются либо металлические основания с покрытием, либо пленки, которые помещаются на непокрытые металлические основания.

Пленки и покрытия должны быть немагнитными. Значения толщины эталонных мер и их неопределенности должны быть известны и однозначно задокументированы. Зона поверхности, для которой применимы эти значения, должна быть обозначена. Значения толщины должны прослеживаться до сертифицированных эталонных мер.

Неопределенности должны быть задокументированы с их уровнем достоверности, например U (95 %), то есть вероятность того, что «истинное» значение находится в пределах указанного интервала неопределенности вокруг задокументированного значения толщины, составляет минимум 95 %.

Перед использованием пленки и покрытия нужно проверить визуально на наличие повреждений или механического износа, так как это может привести к неправильной настройке и, следовательно, к систематическому отклонению всех результатов измерения.

Преимуществом использования пленок в качестве эталонных мер толщины покрытий по сравнению с выбранными покрытыми металлическими основаниями является возможность размещения пленок непосредственно на каждом металлическом основании с учетом его формы и геометрии.

Однако при установке измерительного преобразователя на пленку может возникнуть эластичная или пластическая деформация, которая может повлиять на результат измерения. Кроме того, следует

избегать возникновения любого зазора между контактной поверхностью измерительного преобразователя, пленкой и металлическим основанием. В особенности для образцов с вогнутой поверхностью (или если пленка измятая или изогнутая), как правило, низкое давление подпружиненной направляющей втулки измерительного преобразователя может быть недостаточным для обеспечения отсутствия зазора.

Возможная эластичная или даже пластическая деформация эталонной пленки зависит от приложенного усилия измерительного преобразователя и диаметра опорной поверхности его сердечника (см. 5.9). Следовательно, калибровка таких эталонных пленок должна проводиться с сопоставимыми значениями приложенного усилия и диаметра контактной поверхности, чтобы избежать различий в углублении во время калибровки измерительного преобразователя. Таким образом, соответствующие значения погрешностей, обусловленных вдавливанием, уже учитываются в действительном значении толщины пленки, то есть значение может быть меньше, чем геометрическая толщина без механического воздействия. Значения как приложенной силы, так и диаметра контактной поверхности при калибровке пленки должны быть указаны производителем эталонной пленки для оценки возможных погрешностей измерения толщины.

Примечание — В большинстве случаев материал пленки — пластик, но могут быть использованы и другие материалы, например медные сплавы.

6.3 Методики настройки

Настройка прибора для измерения толщины покрытий выполняется путем установки измерительных преобразователей на непокрытый и/или один или несколько металлических оснований с покрытием известной толщины. В зависимости от типа прибора, инструкций производителя и рабочего диапазона используемого прибора настройки могут быть осуществлены с использованием следующих наборов образцов:

a) образец непокрытого металлического основания;

b) образец непокрытого металлического основания и образец покрытого металлического основания с определенной толщиной покрытия;

c) образец непокрытого металлического основания и несколько образцов покрытого металлического основания с определенными, но отличающимися толщинами покрытия;

d) несколько образцов покрытого металлического основания с известными, но отличающимися толщинами покрытия.

Согласно 6.2 термин «основание с покрытием» включает пленку, нанесенную на непокрытое металлическое основание.

Указанные методики настройки могут привести к различной точности результатов измерений. Таким образом, следует использовать методику, которая наилучшим образом соответствует данному применению и обеспечивает желаемую точность. Неопределенность измерения, которой можно достигнуть с помощью различных методик настройки, зависит как от алгоритма вычисления приборов, так и от материала, геометрических параметров и состояния поверхности эталонных образцов и металлических оснований, на которых будут проводиться измерения. Если желаемой точности нельзя достичь с помощью одной методики, то другая методика может привести к лучшим результатам. В общем случае неопределенность измерения может быть уменьшена за счет увеличения количества точек настройки, а также их расположения таким образом, чтобы они возможно точнее охватывали ожидаемый диапазон толщины измеряемого покрытия.

Неопределенность измерения, возникающая в результате настройки прибора, не может быть обобщена на все дальнейшие измерения. В каждом случае необходимо подробно рассмотреть все определенные и дополнительные влияющие параметры — см. раздел 5 и приложение С.

Примечания

1 Процесс, который используется для адаптации преобразователя к данному металлическому основанию путем установки преобразователя на непокрытое металлическое основание, часто называют «установка нуля» или «калибровка нулевой точки». Однако даже эта процедура является «настройкой» или частью процесса настройки, как определено в этом документе.

2 В зависимости от того, сколько покрытых и непокрытых образцов металлических оснований используется для настройки прибора, соответствующую методику настройки часто называют «одноточечной», «двухточечной» или «многоточечной настройкой».

3 Некоторые типы средств измерений позволяют вернуть прибор к первоначальной настройке производителя. Такую настройку можно использовать только для эталонных мер без покрытия или с покрытием от производителя. Если эти меры толщины или меры толщины того же самого типа используются для проверки прибора после некоторого времени использования, любое ухудшение характеристик прибора и преобразователей, например износ преобразователя при истирании контактной поверхности, можно выявить, наблюдая отклонения результатов измерения.

7 Процедура измерения и оценка результатов

7.1 Общие положения

Каждый прибор следует эксплуатировать в соответствии с инструкциями производителя, особенно с учетом параметров, влияющих на точность измерения, описанных в разделе 5.

Перед использованием прибора и после изменения параметров, влияющих на точность измерения (см. раздел 5), необходимо проверить его настройку.

Чтобы убедиться в том, что прибор правильно проводит измерения, он должен быть откалиброван с использованием поверенных мер толщины на месте проведения измерений каждый раз, когда:

a) прибор вводят в эксплуатацию;

b) изменяются материал и геометрические параметры образцов, на которых проводят измерения;

c) изменяются другие условия проведения измерений (например, температура), влияние которых неизвестно (см. приложение D).

Поскольку не все изменения условий проведения измерений и их влияние на точность можно немедленно выявить (например, дрейф, износ преобразователя), прибор следует калибровать с регулярными временными интервалами при использовании.

7.2 Количество измерений и оценка результатов

Толщина покрытия должна определяться как среднее арифметическое нескольких единичных значений, которые измеряются в определенной области поверхности покрытия. В дополнение к среднему значению следует указывать стандартное отклонение (см. приложение E). Случайную составляющую неопределенности измерения можно уменьшить, увеличив количество измерений. Если иное не указано или не согласовано, рекомендуется измерять не менее пяти отдельных значений (в зависимости от применения).

Примечания

1 По стандартному отклонению можно рассчитать коэффициент вариации *V*. Значение *V* соответствует относительному стандартному отклонению (например, в процентах) и обеспечивает возможность прямого сравнения стандартного отклонения для разных толщин.

2 Суммарный разброс результатов измерения состоит из разброса, обусловленного параметрами прибора, и разброса, обусловленного параметрами образца, на котором проводят измерения. Стандартное отклонение, обусловленное оператором и измерительным преобразователем в измеряемом диапазоне толщин, определяется повторными измерениями в одном и том же месте, при необходимости — с помощью вспомогательного устройства для размещения преобразователя.

3 При измерении на покрытиях с большой шероховатостью или на образцах с большими перепадами толщины (например, из-за их размера и/или их формы) причина отклонения между единичными измерениями должна определяться сериями измерений.

8 Неопределенность измерения

8.1 Общие положения

Полная оценка неопределенности измерения толщины должна проводиться в соответствии с ИСО/МЭК 98-3. Подробная информация о выражении неопределенности измерения приведена в приложении E.

Неопределенность измерения толщины представляет собой совокупность неопределенностей, обусловленных рядом различных источников. Важные источники, которые следует учитывать:

a) неопределенность при калибровке прибора;

b) случайные воздействия, влияющие на измерение;

c) неопределенности, причиной которых являются параметры, приведенные в разделе 5;

d) дополнительные воздействия, дрейфы, влияние оцифровывания и другие влияния.

Все составляющие неопределенности должны быть оценены и учтены в суммарной стандартной неопределенности, как описано в ИСО/МЭК 98-3 (см. приложение E).

Возможная процедура оценки неопределенности приведена в следующей упрощенной методике (см. 8.2—8.5).

Примечания

1 Составляющие неопределенности, обусловленные перечисленными источниками, зависят от соответствующих измерений, параметров образцов, на которых проводятся измерения, параметров прибора, состояния окру-

жающей среды и т. д. и могут существенно отличаться для разных применений. Таким образом, составляющие неопределенности должны быть оценены для каждого измерения отдельно. Корректность оценки неопределенности определяется корректностью оценки всех составляющих неопределенности. Неучтенные составляющие приводят к неправильной оценке неопределенности и, следовательно, к недостоверным результатам измерения толщины.

2 В частности, параметры, перечисленные в разделе 5, могут приводить к большим значениям неопределенности и их влияние должно быть сведено к минимуму путем настройки прибора, если это возможно.

3 Помимо необходимости выражения неопределенности в результате анализ возможных составляющих неопределенности дает подробную информацию для того, чтобы повысить точность измерения.

8.2 Неопределенность при калибровке прибора

Если не указана другая информация, то неопределенность прибора можно оценить в пределах ограниченного диапазона толщин путем проведения n повторных измерений на соответствующей эталонной мере толщины покрытия с известными значениями толщины покрытия t_r и неопределенностью U_r (при коэффициенте охвата k = 2). Результатом измерения является среднее арифметическое значение $\bar{t}_m$ измеренных значений толщины со стандартным отклонением $s(t_m)$. Качество калибровки определяется значением E, вычисляемым по формуле (1), в которой u_{cal} — суммарная неопределенность измерения при калибровке. Эта неопределенность (k = 2), рассчитываемая по формуле (3), считается вызванной случайной ошибкой измерения с n повторами (по сравнению с 8.3) и заданной неопределенностью эталонной меры толщины покрытия U_r. В случае $E \le 1$ калибровка верна и не может быть дополнительно уточнена по значениям этой эталонной меры толщины покрытия. Поэтому стандартная неопределенность при калибровке u_{cal} (k = 1) определяется как суммарная неопределенность измерений также при k = 1.

Однако если $E > 1$, то калибровка неверна и необходимо выполнить настройку прибора для повышения точности.

$$E = \frac{\left|t_r - \bar{t}_m\right|}{2 \cdot u_{cal}}; \tag{1}$$

$$u_{cal} = \sqrt{\left[t(68{,}27\ \%,\ n-1) \cdot \frac{s(t_m)}{\sqrt{n}}\right]^2 + \left[0{,}5 \cdot U_r\right]^2}. \tag{2}$$

Примечание — В случае, если вместо U_r указано предельно допустимое отклонение T, то есть ($t_r \pm T$), например, в сертификате эталонной меры толщины покрытия, то соответствующая (для уровня доверия 68,3 %) стандартная неопределенность может быть вычислена как $U_r = \frac{T}{\sqrt{3}}$, а расширенная неопределенность (для уровня доверия 95,4 %) — как $U_r\,(k=2) = 1{,}653 \cdot \frac{T}{\sqrt{3}}$. Использование коэффициента охвата k = 1 связано с тем, что предельно допустимое отклонение соответствует равномерному распределению.

Неопределенность при калибровке u_{cal} действительна только в узком диапазоне измеряемых толщин вблизи значения t_r. В случае расширенного диапазона измеряемых толщин значение неопределенности u_{cal} должно быть оценено в крайних точках диапазона. Линейная интерполяция между значениями неопределенностей в крайних точках диапазона описывает неопределенность как функцию толщины.

Очень часто точность калибровки ограничена заданной неопределенностью эталонной меры толщины покрытия, так как неопределенность при калибровке не может быть меньше неопределенности используемой эталонной меры. Для повышения точности калибровки необходимо использовать эталонную меру толщины покрытия с меньшей неопределенностью.

В большинстве случаев нормирование или установку нуля на непокрытом металлическом основании производитель рекомендует проводить в начале измерения. Полученная неопределенность при нормировании считается уже учтенной в u_{cal}.

Примечание — $t(68{,}27\ \%,\ n-1)$ — коэффициент Стьюдента (степень свободы $f = n - 1$ и уровень доверия со значением P = 68,27 %). Соответствующие значения приведены в приложении F.

8.3 Случайные погрешности

В общем случае рекомендуется проводить повторные измерения для повышения точности среднего арифметического значения $\bar{t}$ измеренных значений толщины (см. 7.2), т. е. для уменьшения

неопределенности измерения толщины. В случае проведения n повторных измерений, стандартную неопределенность u_{sto} (k = 1) среднего арифметического значения $\bar{t}$ можно оценить с использованием формулы (тип А):

$$u_{sto} = t(68{,}27\ \%,\ n-1)\cdot\frac{s(t)}{\sqrt{n}}. \qquad (3)$$

Стандартная неопределенность u_{sto} является количественной оценкой всех ошибок, возникающих от непредсказуемых или случайных временны́х и пространственных вариаций влияющих параметров.

u_{sto} рассчитывается как при калибровке, так и при измерении толщины покрытия образца.

Стандартную неопределенность u_{sto} можно уменьшить путем увеличения количества повторных измерений. Это может быть важно, например, в случае шероховатой поверхности образца.

Следует соблюдать осторожность для устранения риска, чтобы стандартные неопределенности типа В (см. 8.4), которые могут вносить вклад в неопределенности типа А, не учитывались дважды.

Примечание — Не все составляющие неопределенности u_{sto} носят случайный характер (тип А). Это зависит от структуры эксперимента. Например, измеренная толщина более крупного образца с переменной толщиной приводит к результату с большей неопределенностью u_{sto} из-за систематической вариации толщины. При уменьшении области измерения u_{sto} уменьшается, а среднее арифметическое значение $\bar{t}$ дает лучшее описание локальной толщины.

8.4 Неопределенности, вызванные параметрами, приведенными в разделе 5

Влияние параметров, приведенных в разделе 5, должно быть минимизировано с помощью настройки, когда это возможно. Очень часто такие влияния могут быть только оценены, а возникающая неопределенность должна рассматриваться как составная часть суммарной неопределенности измерения. Простые эксперименты по оценке неопределенности некоторых из этих параметров описаны в приложении С. Обычно влияние этих параметров и, следовательно, возникающие неопределенности являются функцией толщины. Следовательно, для оценки неопределенности для данной толщины или, по крайней мере, для небольшого диапазона толщины проводят эксперименты с образцами интересующих толщин.

Например, рассмотрим изменение магнитных свойств металлического основания (изменение магнитной проницаемости). Как описано в С.5 (приложение С), предполагаемую вариацию следует оценить для определенной толщины. Итоговая вариация показаний толщины по отношению к выбранному эталонному металлическому основанию определяется по формуле $\Delta t_{\mathrm{bm}} = abs(t_{\mathrm{min}} - t_r)$ или $\Delta t_{bm} = abs(t_{\mathrm{max}} - t_{\mathrm{r}})$. Таким образом, можно оценить стандартную неопределенность, вызванную изменением свойств металлического основания u_{bm} (k = 1)

$$u_{bm} = \frac{\Delta t_{bm}}{\sqrt{3}}. \qquad (4)$$

Такая же оценка стандартной неопределенности проводится для всех соответствующих параметров, перечисленных в разделе 5. Например, в случае ожидаемого изменения кривизны поверхности, приводящего к Δt_{cs} применительно к С.4, стандартная неопределенность может быть оценена u_{cs} (k = 1), как показано в формуле (6):

$$u_{cs} = \frac{\Delta t_{cs}}{\sqrt{3}}. \qquad (5)$$

В случае минимизации влияния параметра оставшуюся неопределенность учитывают с помощью настройки.

Некоторые из этих параметров, влияющих на точность, например свойства металлического основания (5.4) или кривизна поверхности (5.6), могут быть сведены к минимуму использованием гибких видов пленки в качестве эталонных мер, если калибровка выполняется с помощью пленок на металлическом основании с идентичными свойствами материала и кривизной, как и у образца, на котором проводятся измерения. В этом случае должны учитываться только ожидаемые изменения свойств образца.

8.5 Суммарная неопределенность, расширенная неопределенность и конечный результат

Суммарная неопределенность объединяет все составляющие стандартной неопределенности (8.2, 8.3, 8.4 и любые другие потенциальные). В описанном упрощенном подходе при оценке неопределен-

ностей для заданной толщины или в очень малом диапазоне толщины коэффициенты чувствительности могут быть приняты равными 1 (см. приложение Е). Это приводит к суммарной неопределенности u_c:

$$u_c = \sqrt{u_{cal}^2 + u_{sto}^2 + u_{bm}^2 + u_{cs}^2 + \ldots.} \quad (6)$$

В качестве конечного результата вычисляется расширенная неопределенность U (k = 2):

$$U(k = 2) = 2u_c. \quad (7)$$

И окончательный результат измерения со значением толщины $\bar{t}$:

$$t = \bar{t} \pm U\ (k = 2). \quad (8)$$

9 Прецизионность

9.1 Общие положения

Дополнительную информацию по определению прецизионности см. в приложении G.

9.2 Повторяемость (*r*)

Повторяемость r — значение, которое с доверительной вероятностью 95 % не превышается абсолютным значением разности двух показаний, полученных в условиях повторяемости (согласно ИСО 5725-1:1994, пункт 3.16). Предел повторяемости r, в соответствии с этим документом и рассчитанный с вероятностью 95 %, приведен в таблице 1.

Таблица 1 — Предел повторяемости (*r*)

Толщина покрытия, мкм	**Пре**дел повторяемости измерений в первой точке (три измерения) r_{x_1}, мкм	Предел повторяемости измерений в пяти точках $r_{\bar{X}}$, мкм
12	1,5	2,0
25	1,3	1,7
125	2,0	7,0

9.3 Предел воспроизводимости (*R*)

Предел воспроизводимости R представляет собой значение, которое с доверительной вероятностью 95 % не превышается абсолютным значением разности двух показаний, полученных в условиях воспроизводимости (согласно ИСО 5725-1:1994, пункт 3.20). Предел воспроизводимости R, в соответствии с этим документом и рассчитанный с вероятностью 95 %, приведен в таблице 2.

Таблица 2 — Предел воспроизводимости (R)

Толщина покрытия, мкм	Предел воспроизводимости измерений в первой точке (три измерения) R_{x_1}, мкм	Предел воспроизводимости измерений в пяти точках $R_{\bar{X}}$, мкм
12	4,2	4,3
25	6,0	6,0
125	5,8	8,7
Примечание — Расчет воспроизводимости R_{x_1} и $R_{\bar{X}}$ в отношении единственного образца не проводят.		

10 Отчет об измерениях

Отчет об измерениях должен содержать следующую информацию:

a) необходимую информацию для идентификации образца, на котором проводят измерения;

b) ссылку на настоящий стандарт;

c) размер области измерения, по которой проводились измерения (мм^2).

Примечание — Другие единицы измерения могут использоваться по соглашению между поставщиком и клиентом;

d) место (места) области (областей) измерений на каждом образце;

e) количество измеренных образцов;

f) идентификацию прибора, преобразователя и эталонов, используемых для измерения, в том числе сведения о поверке или калибровке оборудования;

g) результаты измерений, представленные как значение измеренной толщины в микрометрах в каждой области, на которой проводилось измерение, включая результаты отдельных измерений и их среднее арифметическое значение;

h) имя оператора и название организации;

i) любые отличительные детали и любые обстоятельства или условия, которые могут повлиять на результаты или их достоверность;

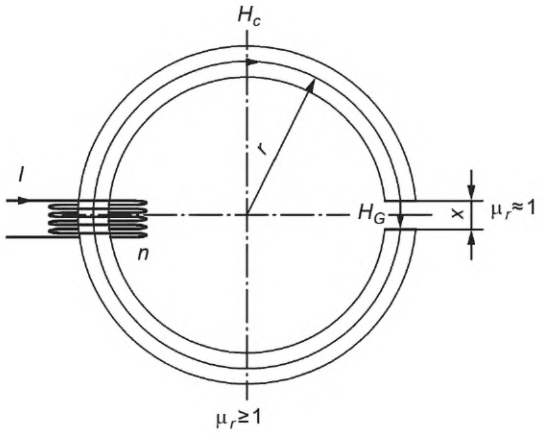
j) любое отклонение от указанного метода;

k) дату измерения.

Приложение А
(справочное)

Основной принцип всех методов магнитных измерений

На рисунке А.1 представлено стальное кольцо с небольшим разрывом.



I — электрический ток через обмотку; n — количество витков обмотки; r — радиус стального кольца; x — длина воздушного разрыва; μ_r — относительная магнитная проницаемость; H_c — напряженность магнитного поля в кольце; H_G — напряженность магнитного поля в кольце

Рисунок А.1 — Структура стального кольца с разрывом

Плотность магнитного потока в стальном кольце (см. рисунок А.1) с разрывом вычисляют по формуле

$$B = \frac{n \cdot I \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}{2 \cdot \pi \cdot r - x + \mu_r \cdot x}, \quad (A.1)$$

где B — плотность магнитного потока;
n — количество витков обмотки;
I — электрический ток через обмотку;
μ_r — относительная магнитная проницаемость использованного черного материала;
μ_0 — магнитная постоянная;
r — радиус железного кольца;
x — длина воздушного разрыва.

Если длина разрыва x равна нулю, то формула (А.1) принимает вид

$$B = \frac{n \cdot I \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}{2 \cdot \pi \cdot r}. \quad (A.2)$$

Формула (А.2) аналогична формуле, описывающей сплошное стальное кольцо.

С учетом другого предельного случая если длина разрыва становится равной длине кольца ($x = 2 \cdot \pi \cdot r$), то формула (А.1) преобразуется в формулу (А.3), которая описывает обмотку в воздухе:

$$B = \frac{n \cdot I \cdot \mu_0}{2 \cdot \pi \cdot r}. \quad (A.3)$$

Сравнение формулы (А.2) с формулой (А.3) показывает, что плотность магнитного потока в воздушном разрыве уменьшается в μ_r раз, если ферромагнитный металл полностью заменен воздухом.

Приложение В
(справочное)

Основные требования к приборам для измерения толщины покрытий, основанного на магнитном методе, описанном в настоящем стандарте

В.1 Технические характеристики

В технической спецификации производителя должна быть представлена следующая техническая информация о приборах и преобразователях:

a) принцип измерения;

b) диапазон измерения;

c) основная информация об оцененной неопределенности или допустимой погрешности измерения, если измерения проводятся в условиях, указанных производителем;

d) информация о влиянии материала, кривизны и толщины металлического основания, а также краевого эффекта (измерения, близкие к краю) на результаты измерений;

e) время работы батареи;

f) функции контроля минимального напряжения и автоматического отключения при минимальном напряжении;

g) допустимая рабочая температура;

h) допустимая температура хранения;

i) возможные методы калибровки и настройки;

j) контактное усилие преобразователей с подпружиненными направляющими втулками;

k) наличие температурной компенсации;

l) время (частота) измерения;

m) память результатов измерений (исполнение, емкость, возможность передачи результатов);

n) размеры и вес прибора (с батареями) и преобразователей.

В.2 Контроль/проверка приборов и измерительных преобразователей

В.2.1 Проверка перед вводом в эксплуатацию, после ремонта и через регулярные интервалы в процессе использования

После проведения настройки приборов и преобразователей в соответствии с инструкциями производителя точность измерения следует проверить с использованием плоского непокрытого металлического основания и необходимого количества мер толщин покрытия или калибровочных пленок, толщина которых должна быть равномерно распределена в пределах диапазона измерения преобразователя.

Погрешности измерений не должны превышать указанных в технических характеристиках производителя.

В.2.2 Проверка в рабочих условиях

Точность приборов и измерительных преобразователей должна контролироваться ежедневно. После проведения настройки прибора в соответствии с инструкциями производителя необходимо выполнить проверку прибора с помощью достаточного количества мер толщин покрытий, изготовленных с использованием металла, аналогичного тому, из которого изготовлены образцы изделий, на которых будут проводиться измерения, или с помощью калибровочных пленок непосредственно на непокрытой области образца изделия, на котором в дальнейшем будут проводиться измерения. Их толщина должна перекрывать ожидаемый диапазон толщины покрытий. Если необходимо измерить изогнутые образцы, проверка должна выполняться на образцах из того же материала и имеющих геометрическую форму и кривизну, как у измеряемых образцов изделий.

Погрешности измерений не должны превышать указанных в технических характеристиках производителя.

Приложение С
(справочное)

Примеры экспериментальной оценки параметров, влияющих на точность измерения

С.1 Общие положения

Параметры, влияющие на точность измерения, описаны в разделе 5. На практике важно оценить влияние этих параметров или возникающую неопределенность. Некоторые примеры простых экспериментов описаны в настоящем приложении, чтобы показать, как можно оценить влияние данных параметров. Данные эксперименты также обеспечивают основу для оценки соответствующей неопределенности.

Параметры, описанные в С.2 — С.5, могут оказывать разное влияние на прибор, работающий с измерительными преобразователями, использующими комбинированные принципы измерения. Следовательно, влияние параметров следует оценивать независимо для каждого принципа измерения.

С.2 Толщина металлического основания

Простейший тест, демонстрирующий, что толщина металлического основания t_0 больше критической минимальной толщины металлического основания t_0^{crit}, состоит в использовании двух (или более) чистых непокрытых плоских образцов металлических оснований с интересующей толщиной — в соответствии с методикой, описанной ниже (этапы 1—4). Методика проиллюстрирована на рисунке С.1.

Этап 1

Установить измерительный преобразователь на первый образец. Следует убедиться, что на показания не влияют края образца (см. С.3).

Этап 2

Провести настройку прибора (установить нуль).

Этап 3

Поместить второй образец под первым, установить преобразователь сверху на поверхность пакета и проверить показания прибора. Если показания прибора по-прежнему равны нулю с учетом ожидаемой неопределенности, то толщина металлического основания t_0 больше, чем критическая минимальная толщина металлического основания t_0^{crit}, и учитывать дополнительную неопределенность не требуется. Если показания прибора изменяются на отрицательные с учетом ожидаемой неопределенности, то t_0 меньше, чем t_0^{crit}, то есть на измерение влияет слишком малая толщина металлического основания.

Этап 4

Если значение t_0 меньше, чем t_0^{crit}, то следует поместить третий образец под пакет, используемый на этапе 3, и установить преобразователь поверх этого пакета, после чего проверить показания прибора. Если изменение показания прибора аналогично описанным на этапе 3 с учетом ожидаемой неопределенности, то критическая минимальная толщина металлического основания находится в пределах $t_0 < t_0^{crit} < 2t_0$. Если показания прибора имеют значение существенно большее по сравнению с полученным на этапе 3, то t_0 все еще меньше, чем t_0^{crit}. Продолжайте складывать дополнительные образцы, чтобы определить t_0^{crit}.

Прибор можно использовать без коррекции показаний при условии, что толщина металлического основания t_0 больше, чем t_0^{crit}. Если t_0 меньше, чем t_0^{crit}, то требуется выполнение специальной калибровочной коррекции показаний, а также следует учитывать, что возможная вариация толщины металлического основания вызывает увеличение соответствующей неопределенности измерений толщины покрытия.

Экспериментально определенная критическая минимальная толщина металлического основания t_0^{crit} может быть использована для оценки возникающей неопределенности.

Чтобы повысить точность оценки t_0^{crit}, следует использовать образцы с меньшей толщиной, чем t_0.

Если прибор не отображает отрицательные значения, рекомендуется использовать тонкую пленку (например, 10 мкм) между преобразователем и металлическим основанием для наблюдения за уменьшением толщины.

Примечание — Методика совмещения нескольких образцов для имитации увеличения толщины металлического основания позволяет точно определить t_0^{crit}, так как воздушный зазор между образцами вызывает изменение магнитных свойств пакета по сравнению с соответствующим однородным материалом. Однако такая упрощенная методика существенно проще, чем изготовление металлического основания с переменной толщиной.

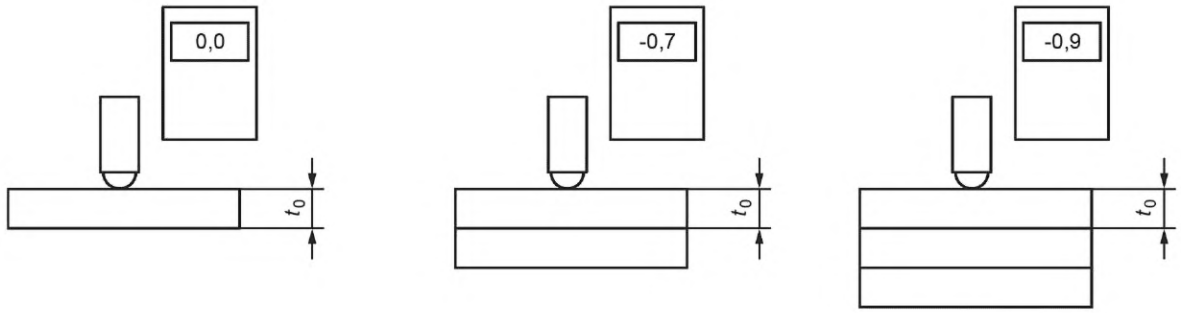


Рисунок С.1 — Схематическое изображение проведения теста для оценки влияния толщины металлического основания

С.3 Краевой эффект

Простейший тест для оценки краевого эффекта (влияния близости края) проводят с использованием чистого, непокрытого плоского образца металлического основания в соответствии с методикой, описанной ниже (этапы 1—4). Методика проиллюстрирована на рисунке С.2.

Этап 1

Установить преобразователь на образец достаточно далеко от края.

Этап 2

Провести настройку прибора (установить нуль).

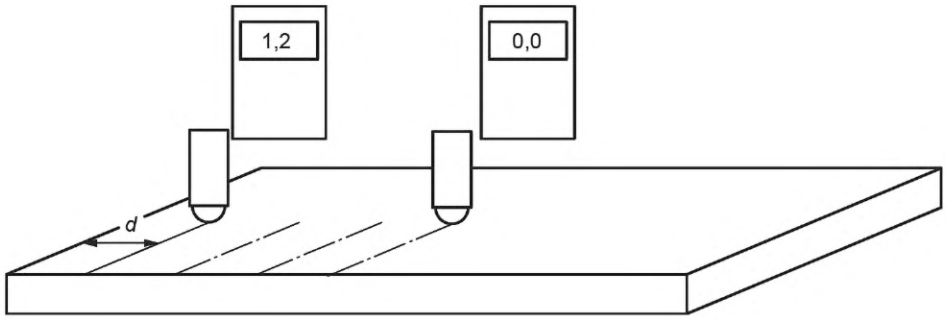
Этап 3

Постепенно придвинуть преобразователь к краю образца и зафиксировать положение, где происходит изменение показаний прибора на величину, соответствующую ожидаемой неопределенности или заданной допустимой погрешности измерения толщины.

Этап 4

Измерить расстояние *d* от преобразователя до края (см. рисунок С.2).

Прибор можно использовать без коррекции показаний при условии, что преобразователь находится от края дальше, чем расстояние *d*, измеренное выше. Если преобразователь используется ближе к краю, то требуется дополнительная настройка или должна быть учтена дополнительная неопределенность для используемого расстояния. При необходимости следует обратиться к инструкции производителя.



d — расстояние от преобразователя до края

Рисунок С.2 — Схематическое представление теста для оценки краевого эффекта

С.4 Кривизна поверхности

Простейший тест для оценки влияния кривизны поверхности образца проводится с использованием чистых непокрытых образцов металлического основания с различными диаметрами (например, цилиндров) в соответствии с методикой, описанной ниже (этапы 1—4). Все используемые образцы должны быть изготовлены из материала со свойствами, аналогичными плоскому металлическому основанию. Методика проиллюстрирована на рисунке С.3 на примере образцов с выпуклой поверхностью.

Этап 1

Установить преобразователь на плоский металлический образец. Следует убедиться, что на показания не влияют края образца (см. С.3) и что толщина образца больше критической минимальной толщины металлического основания (см. С.2).

Этап 2

Провести настройку прибора (установить нуль).

Этап 3

Последовательно установить измерительный преобразователь на каждый образец, начиная с самого большого доступного диаметра, а затем продолжить с уменьшением диаметра образцов. Зафиксировать диаметр образца, на котором происходит изменение показания прибора (увеличение показаний) на величину, соответствующую ожидаемой неопределенности или заданной допустимой погрешности измерения толщины.

Прибор можно использовать без коррекции показаний при условии, что образцы, на которых проводят измерения, имеет диаметр больший, чем зафиксированный. Если диаметр меньше зафиксированного, то требуется дополнительная настройка, специальная коррекция (калибровка) или должна быть учтена дополнительная неопределенность для используемого диаметра. При необходимости следует обратиться к инструкции производителя.

В практических ситуациях диаметр интересующих образцов очень часто варьируется. В этой ситуации следует оценить наименьший и наибольший ожидаемые диаметры, а прибор необходимо настроить на образце без покрытия, близкого к среднему диаметру. В результате отклонение результата для наименьшего и наибольшего диаметров можно оценить по описанной процедуре и использовать для оценки неопределенности. Во время проведения измерения учитывать эту неопределенность.

Чтобы повысить точность оценки влияния кривизны, увеличьте количество образцов с разными диаметрами.

Примечание — Можно использовать эту же процедуру в тех случаях, когда образцы имеют вогнутую поверхность, однако такая вогнутая поверхность вызовет отрицательные показания толщины. Если прибор не отображает отрицательные значения, рекомендуется использовать тонкую пленку (например, 10 мкм) между преобразователем и металлическим основанием для наблюдения за изменением показаний.

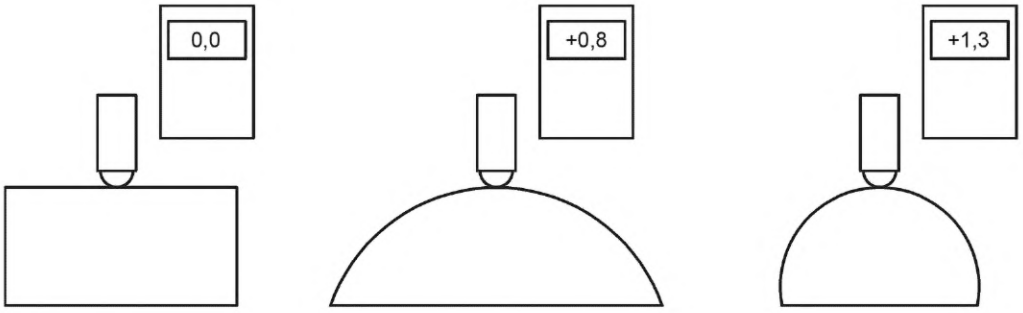


Рисунок С.3 — Схематическое изображение проведения теста для оценки влияния кривизны поверхности

С.5 Магнитные свойства металлического основания

На практике магнитные свойства металлического основания очень часто изменяются. Упрощенная процедура, описанная ниже (этапы 1—5), помогает уменьшить это влияние и оценить полученную неопределенность. Для этой процедуры необходимо нескольких чистых непокрытых плоских образцов, магнитная проницаемость которых находится в предполагаемом диапазоне изменения. Процедура проиллюстрирована на рисунке С.4.

Этап 1

Установить измерительный преобразователь на один из образцов. Следует убедиться, что на показания не влияют края образца (см. С.3) и что толщина образца больше критической минимальной толщины металлического основания (см. С.2), а также что образец ровный (кривизна отсутствует, см. С.4).

Этап 2

Провести настройку прибора (установить нуль).

Этап 3

Последовательно установить измерительный преобразователь на каждый из образцов и зафиксировать показания. Рекомендуется проводить повторные измерения на каждом образце и использовать среднее значение на следующих этапах.

Этап 4

Вычислить среднее значение показаний на всех образцах и выбрать образец с наименьшим отклонением от этого среднего значения.

Этап 5

Использовать этот выбранный образец в качестве эталонного металлического основания, чтобы выполнять установку нуля при всех измерениях.

Прибор может быть использован без коррекции — при условии, что отклонение наименьших результатов (или наибольших результатов) на одном из образцов от расчетного среднего значения меньше ожидаемой неопределенности или заданного допуска толщины покрытия.

Если имеются большие отклонения, то выбранный образец следует использовать в качестве эталонного металлического основания, а полученное отклонение показаний при описанной процедуре может использоваться для оценки неопределенности. Эту неопределенность необходимо учитывать при проведении измерений.

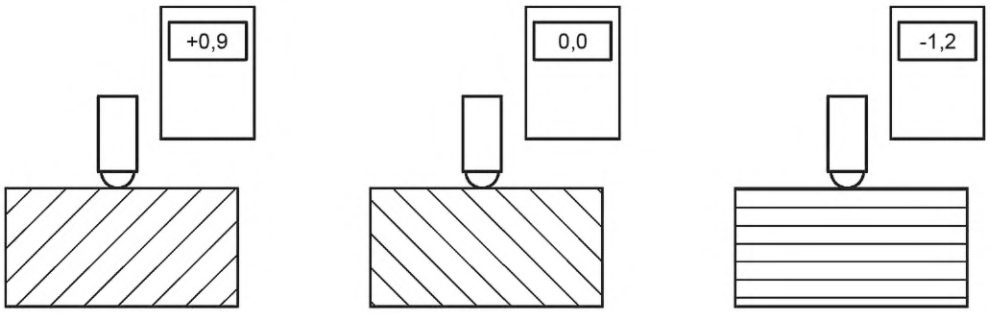


Рисунок С.4 — Схематическое изображение проведения теста для оценки влияния электропроводности металлического основания

Приложение D
(справочное)

Пример оценки неопределенности (см. раздел 8)

D.1 Информация об образце

Пример экспериментального образца, который необходимо измерить, следующий:

- краска/алюминий (часть кузова автомобиля);
- ожидаемая толщина составляет примерно 25 мкм;
- металлическое основание имеет покрытие, но возможная вариация показаний толщины покрытия, обусловленная использованием различных партий стали для производства кузовов автомобилей (различие магнитной проницаемости), была определена экспериментально (см. С.5): измерение на стальных деталях без покрытия в производственном процессе показало непостоянство свойств стали от разных поставщиков, партий стали и т. д., приводящее к вариации показаний Δt_{bm} = ±1,2 мкм при толщине t = 25 мкм.

D.2 Этапы

D.2.1 Измерения на экспериментальном образце проводят в следующей последовательности.

1) Проверка калибровки преобразователя:

- десять повторных измерений на эталонной мере t_r = 25,2 мкм на металлическом основании (с предварительной установкой нуля);
- заданное предельно допустимое отклонение толщины эталонной меры T = ±0,5 мкм;
- используемое металлическое основание должно быть эталонным (см. D.5);
- результат (n = 10): $\bar{t}$ = 24,06 мкм и $s(t)$ = 0,11 мкм;
- оценка неопределенности и E (см. 8.2):
  - стандартная неопределенность эталонной меры

$$u_r = \frac{T}{\sqrt{3}} = \frac{0{,}5\ \text{мкм}}{\sqrt{3}} = 0{,}29\ \text{мкм};$$

  - стандартная неопределенность контрольного измерения (рассматривается только случайная составляющая)

$$u_{sto} = t(68{,}27\ \%,\ n-1)\cdot\frac{s(t)}{\sqrt{n}} = 1{,}06\cdot\frac{0{,}11\ \text{мкм}}{\sqrt{10}} = 0{,}04\ \text{мкм};$$

  - суммарная неопределенность

$$u_c = \sqrt{(0{,}04\ \text{мкм})^2 + (0{,}29\ \text{мкм})^2} = 0{,}29\ \text{мкм};$$

  - расширенная неопределенность

$$u_{cal}(k = 1) = 2 \cdot u_c = 0{,}58\ \text{мкм};$$

  - расчетное значение $E = \dfrac{|t - t_r|}{U_{cal}\,(k = 2)} = \dfrac{1{,}14\ \text{мкм}}{0{,}58\ \text{мкм}} = 1{,}96;$
  - калибровка неверна. Обнаружено значительное отклонение, поскольку E = 1,96 > 1, то есть разница между измеренным значением $\bar{t}$ и заданным значением предельно допустимого отклонения эталонной меры $|\bar{t} - t_r|$ больше, чем U_{cal} (k = 2) = 0,58 мкм; следовательно, точность калибровки может быть повышена с помощью данной эталонной меры.

2) Настройка прибора с помощью эталонной меры.

3) Проверка калибровки преобразователя после настройки:

- десять повторных измерений (повторить шаг 1));
- результат (n = 10) : $\bar{t}$ = 24,87 мкм, а $s(t)$ = 0,11 мкм;
- калибровка верна, так как при этом E = 0,56 < 1, то есть разница $|\bar{t} - t_r|$ меньше, чем U_{cal} (k = 2) = 0,58 мкм, и теперь может быть подтверждено отсутствие значительных отклонений.

4) Оценка неопределенности калибровки преобразователя (результат этапа 3)

$$u_c = \sqrt{(0{,}03\ \text{мкм})^2 + (0{,}29\ \text{мкм})^2} = 0{,}29\ \text{мкм} : u_{cal} = 0{,}29\ \text{мкм}.$$

5) Измерения на образце:

- семь повторных измерений в заданной области образца;
- результат (n = 7): $\bar{t}$ = 22,8 мкм и s (t) = 0,76 мкм.

6) Оценка всех составляющих неопределенностей измерений и суммарная неопределенность:

- случайная неопределенность (см. 8.3) $u_{sto} = t(68{,}27\ \%,\ n-1)\cdot\dfrac{s(t)}{\sqrt{n}} = 1{,}09\cdot\dfrac{0{,}76\ \text{мкм}}{\sqrt{7}} = 0{,}31\ \text{мкм};$

- стандартная неопределенность, обусловленная возможным отклонением параметров металлического основания после калибровки (ожидаемый диапазон вариации толщины) (см. 8.4): Δt_{bm}(25 мкм) = ±1,2 мкм: u_{bm} = 0,69 мкм;

- суммарная неопределенность (см. 8.5)

$$u_c = \sqrt{u_{cal}^2 + u_{sto}^2 + u_{bm}^2} = \sqrt{(0{,}29 \text{ мкм})^2 + (0{,}31 \text{ мкм})^2 + (0{,}69 \text{ мкм})^2} = 0{,}81 \text{ мкм}.$$

7) Оценка расширенной неопределенности и выражение результата:

- расширенная неопределенность (см. 8.5): $U\,(k = 2) = 2 \cdot u_c$ = 1,6 мкм;

- конечный результат измерения t = (23 ± 1,6) мкм.

D.2.2 Всеми остальными возможными параметрами, влияющими на точность измерения в данном примере, можно пренебречь (краевой эффект, толщина металлического основания, кривизна, температурный дрейф и т. д.).

D.2.3 Дополнительные выводы: очевидно, что полученная неопределенность определяется наибольшей составляющей неопределенности, в рассматриваемом случае — возможной вариацией свойств металлического основания (изменение электропроводности). Таким образом, увеличение количества повторных измерений уменьшит u_{sto}, однако суммарная неопределенность практически не изменится.

D.2.4 Конечный результат измерения толщины нужно округлить в соответствии с оценкой неопределенности.

Приложение Е
(справочное)

Основы оценки неопределенности измерения используемого метода измерения, соответствующего Руководству ИСО/МЭК 98-3

Е.1 Общие положения

Толщины покрытия обычно определяют как среднее значение нескольких однократных измерений, которые выполняют на определенном участке поверхности слоя.

На основе этих измерений среднее значение приписывается измеряемой величине — толщине покрытия. Оценивается значение неопределенности, которое предоставляет информацию о достоверности данного значения.

Анализ проводится поэтапно и начинается с составления уравнения, которое показывает функциональную зависимость между указанным выходным значением t и всеми соответствующими влияющими величинами H_i, как показано в формуле (Е.1)

$$t = F(H_0, H_1, H_2, \ldots, H_i, \ldots, H_n). \quad (E.1)$$

Каждой влияющей величине соответствует коэффициент чувствительности, c_i, который показывает, насколько изменение ΔH_i влияет на результат измерения t.

Когда функция F задана как аналитическое выражение, коэффициенты чувствительности можно вычислить путем частного дифференцирования (см. формулу (Е.2))

$$c_i = \frac{\delta t}{\delta H_i}. \quad (E.2)$$

Если тип функциональной зависимости неизвестен, рекомендуется аппроксимация с помощью полиномиальных функций.

Во многих практических случаях эта функциональная зависимость является линейной, т. е. коэффициенты чувствительности постоянны. Такая ситуация возникает, например, на участках в узком диапазоне толщины покрытия.

Для того чтобы надлежащим образом просуммировать неопределенности, возникающие от различных влияющих величин, все составляющие неопределенности можно отнести к уровню доверия 68,27 % — так называемой стандартной неопределенности.

Оценка неопределенности результатов измерений проводится по двум типам: тип А (см. Е. 2) и тип В (см. Е. 3).

Е.2 Тип А

Стандартная неопределенность типа А является мерой всех случайных ошибок, возникающих от непредсказуемых или случайных временных и пространственных вариаций влияющих величин.

Стандартная неопределенность среднего значения соответствует заданному уровню доверия (см. формулу (Е.3) и формулу (Е.4)):

$$u_{sto} = t(68{,}27\ \%,\ n-1)\cdot\frac{s(t)}{\sqrt{n}}; \quad (E.3)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}\left(\overline{x} - x_j\right)^2}{(n-1)}}, \quad (E.4)$$

где s — эмпирическое стандартное отклонение n повторных измерений;

t (68,27 %, n – 1) — коэффициент Стьюдента (степени свободы $f = n - 1$ и уровнем доверия с вероятностью p = 68,27 %).

Соответствующие значения приведены в приложении F.

Е.3 Тип В

Многие влияющие величины или ошибки не описываются типом А, например параметры, влияющие на неопределенность измерений, указанные в разделе 5. Они классифицируются как тип В.

Чтобы реализовать сбалансированную комбинацию этих влияющих величин с неопределенностями типа А, для каждого случая определяют вероятностные коэффициенты. Во многих практических случаях влияющие величины, рассматриваемые в настоящем стандарте, должны быть описаны равномерным распределением (прямоугольное распределение).

Если влияющая величина изменяется в интервале ΔH_i, то неопределенность можно оценить, как показано в формуле (Е.5):

$$u_B = \frac{\left|t_{max} - t_{min}\right|}{\sqrt{12}}. \quad (E.5)$$

Эти флуктуации обычно оценивают или определяют экспериментально (см. приложение С).

Часто на практике для оценки неопределенности допускается использовать известные значения неопределенности. Типичным примером является неопределенность, приписанная эталонной мере толщины покрытия. В таких случаях необходимо учитывать, что эти известные значения неопределенности преобразуются в стандартную неопределенность, например, для U (k = 2) стандартную неопределенность вычисляют по формуле (Е.6):

$$u(68{,}27\ \%) = \frac{U(95{,}45\ \%)}{2}. \qquad (E.6)$$

Для обобщения всех исследованных неопределенностей необходимо рассчитать суммарную неопределенность. Это делается путем умножения всех стандартных неопределенностей на их коэффициенты чувствительности и суммирования квадратов этих произведений. В упрощенном случае коэффициенты чувствительности равны единице (см. формулу (Е.7))

$$u = \sqrt{\sum_i (c_i u_i)^2}. \qquad (E.7)$$

Чтобы получить расширенную неопределенность, которую следует указывать в результате измерения, необходимо умножить u на коэффициент охвата $k \geq 2$ (см. формулу (Е.8))

$$U = k \cdot u. \qquad (E.8)$$

Приложение F
(справочное)

Таблица критерия Стьюдента

Таблица Е.1 — Критерий Стьюдента

Количество измерений n	Доверительная вероятность p в процентах	
	68,27 %	95,45 %
2	1,84	13,97
3	1,32	4,53
4	1,20	3,31
5	1,14	2,87
6	1,11	2,65
7	1,09	2,52
8	1,08	2,43
9	1,07	2,37
10	1,06	2,32
11	1,05	2,28
12	1,05	2,25
13	1,04	2,23
14	1,04	2,21
15	1,04	2,20
16	1,03	2,18
17	1,03	2,17
18	1,03	2,16
19	1,03	2,15
20	1,03	2,14
∞	1,00	2,00

Приложение G
(справочное)

Подробная информация о прецизионности

G.1 Общие указания по межлабораторным сличениям

Проведены межлабораторные сличения для определения прецизионности результатов с использованием магнитоиндукционных приборов для измерения толщины покрытия.

В межлабораторных сличениях участвовали двенадцать лабораторий.

G.2 Образцы

Для межлабораторных сличений было подготовлено восемь различных покрытий на различных стальных металлических основаниях (см. таблица G.1).

Для проведения измерений на каждом образце указаны пять точек измерения.

Таблица G.1 — Образцы

Номер образца	Металлическое основание	Покрытие	Толщина покрытия приблизительно, мкм	Калибровочная пленка, мкм
P01	Сталь	Конечное ремонтное покрытие автомобиля красного цвета	80	125
P03	Сталь двойная	Покрытие электроосаждения (ЭО) зеленого цвета	20	25
P04	Сталь	ЭО покрытие зеленого цвета	20	25
P05	Сталь двойная	ЭО покрытие + базовое покрытие + прозрачный слой	120	125
P06	Сталь	ЭО покрытие + базовое покрытие + прозрачный слой	120	125
P09	Рулонный прокат	Цинк + грунтовка	10	12
P10	Рулонный прокат	Цинк + грунтовка + прозрачный слой	25	25
P14	Сталь	Хром	8	12

G.3 Приборы для измерения толщины пленки

Для межлабораторных сличений использовались вихретоковые приборы с различными типами преобразователей от разных производителей.

G.4 Калибровка

Была выполнена двухточечная калибровка и, соответственно, настройка приборов (нулевая точка и толщина пленки).

Выполнены две разные методики калибровки с использованием мер толщины (пластиковых пленок):

референтная методика — R: калибровка и настройка с использованием пленки на задней (непокрытой) стороне образцов с односторонним покрытием;

типовая методика — S: калибровка и настройка с использованием пленки на эталонном стальном основании.

Толщины пленок: 12 мкм, 25 мкм и 125 мкм.

Измерения толщины покрытия проводились непосредственно после каждой калибровки и настройки.

G.5 Количество измерений

Для расчета предела повторяемости измерения в первой отмеченной точке выполнялись три раза.

Затем проведены измерения в остальных четырех точках.

G.6 Оценка

G.6.1 Общие положения

Статистическая оценка была проведена в соответствии с ИСО 5725-2 и ISO/TR 22971.

Оценка проводилась для каждой методики калибровки с использованием каждой пленки.

G.6.2 Оценка первой точки измерения

Предел повторяемости r_{x_1} и предел воспроизводимости R_{x_1} рассчитываются по трем значениям в первой точке измерения.

G.6.3 Оценка всех пяти точек измерения

Предел повторяемости $r_{\overline{X}}$ и предел воспроизводимости $R_{\overline{X}}$ вычисляют для всех пяти точек измерения. Для первой точки измерения используется среднее арифметическое трех значений.

В таблице G.2 приведены результаты расчета пределов повторяемости и пределов воспроизводимости для первой точки измерения по сравнению с соответствующими пределами повторяемости для всех пяти точек измерения.

Таблица G.2 — Предел повторяемости r и предел воспроизводимости R

Методики калибровки	r_{x_1}, мкм	R_{x_1}, мкм	$r_{\overline{X}}$, мкм	$R_{\overline{X}}$, мкм
12-R	1,3	3,2	1,4	3,4
12-S	1,5	4,2	2,0	4,3
25-R	1,2	5,4	1,7	5,5
25-S	1,3	6,0	1,6	6,0
125-R	2,0	4,3	6,8	7,4
125-S	1,4	5,8	7,0	8,7

Примечания

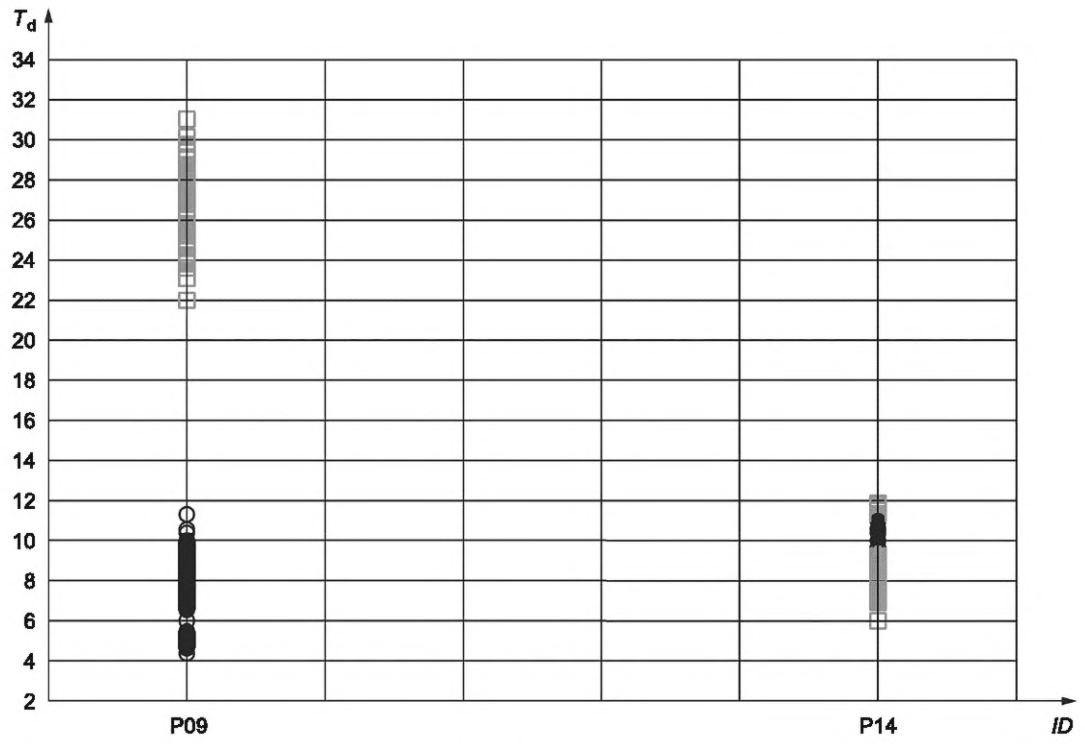
1 r_{x_1} и R_{x_1} — предел повторяемости и предел воспроизводимости первой точки измерения (тройное измерение);

2 $r_{\overline{X}}$ и $R_{\overline{X}}$ — предел повторяемости и воспроизводимости всех пяти точек измерения.

Примечание — Более высокий результат предела повторяемости r_{x_1} при 125-R, по сравнению с 125-S, может иметь несколько причин.

Рисунки G.1 — G.3 показывают результаты измерений толщины трех различных пленок, где R — референтная методика, а S — типовая методика (см. также G.4).

На рисунках G.1 и G2 для образцов P09 и P10 имеется большая разница между референтной и типовой методиками калибровки. Калибровку по референтной методике проводили на обратной стороне образцов, покрытых цинком. Толщину слоя цинка измеряли после установки нуля прибора. Разность толщины на основе типовой методики калибровки S является толщиной цинкового покрытия.



○ — SD12-R; □ — SD-12-S

Рисунок G.1 — Сравнение референтной и типовой методик калибровки с использованием пленки 12 мкм

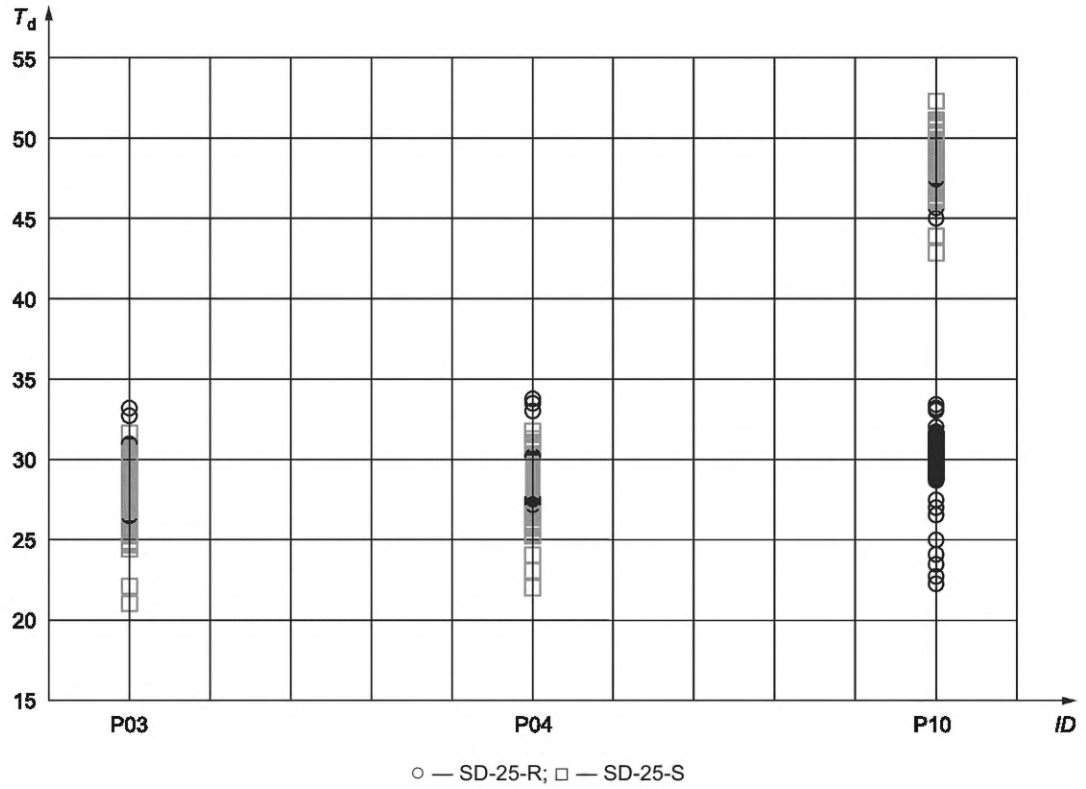


Рисунок G.2 — Сравнение референтной и типовой методик калибровки с использованием пленки 25 мкм

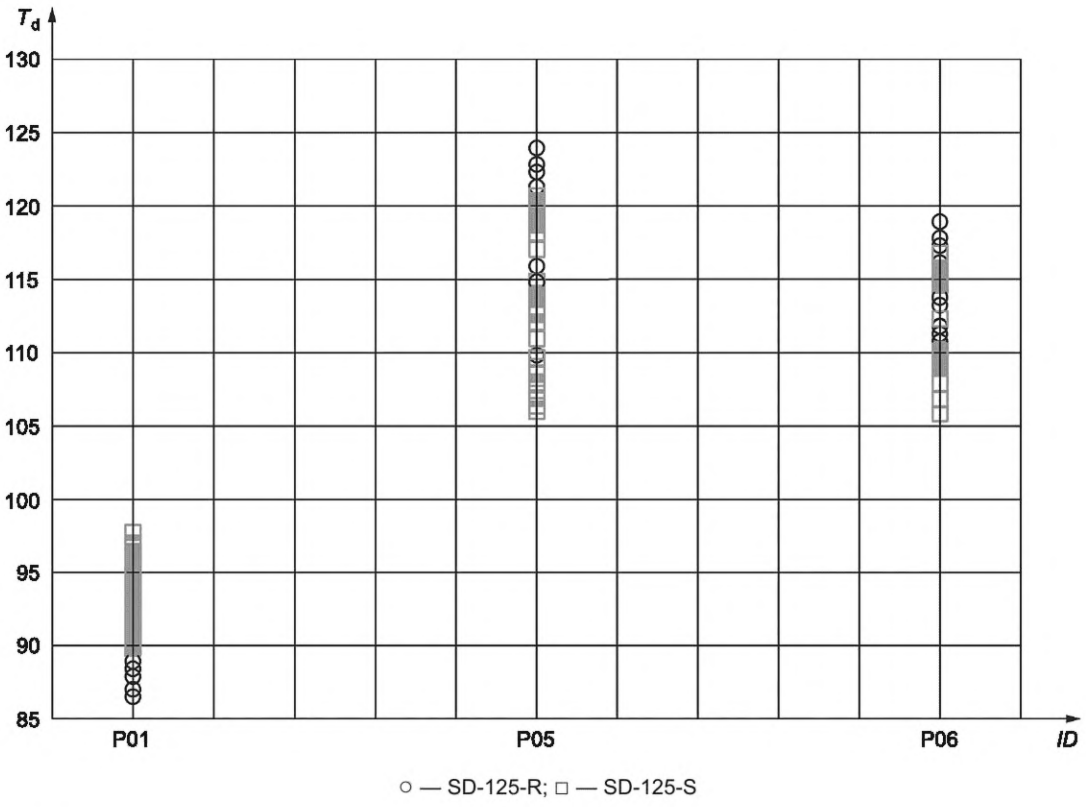


Рисунок G.3 — Сравнение референтной и типовой методик калибровки с использованием пленки 125 мкм

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным и межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
ISO 2064	MOD	ГОСТ 9.302—88 (ИСО 1463—82, ИСО 2064—80, ИСО 2106—82) «Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля»
ISO 4618	NEQ	ГОСТ 28246—2017 «Материалы лакокрасочные. Термины и определения»
ISO/IEC 5725-1:1994	IDT	ГОСТ Р ИСО 5725-1—2002 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения»
ISO/IEC Guide 98-3	IDT	ГОСТ 34100.3—2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения»

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:

- IDT — идентичные стандарты;
- MOD — модифицированный стандарт;
- NEQ — неэквивалентный стандарт.

Библиография

[1] ISO 2360 — Non-conductive coatings on non-magnetic electrically conductive base metals — Measurement of coating thickness — Amplitude-sensitive eddy-current method (Неэлектропроводящие покрытия на немагнитных электропроводящих металлических основаниях. Измерение толщины покрытия. Амплитудный вихретоковый метод)

[2] ISO 2361 — Electrodeposited nickel coatings on magnetic and non-magnetic substrates — Measurement of coating thickness — Magnetic method (Электролитические никелевые покрытия на магнитных и немагнитных основаниях. Измерение толщины покрытия. Магнитный метод)

[3] ISO 2808 — Paints and varnishes — Determination of film thickness (Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия)

[4] ISO 5725-2 — Non-magnetic metallic coatings on metallic and non-metallic basis materials — Measurement of coating thickness — Phase-sensitive eddy-current method [Точность (правильность и сходимость) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерения]

[5] ISO 19840 — Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems — Measurement of, and acceptance criteria for, the thickness of dry films on rough surfaces (Материалы лакокрасочные. Защита от коррозии стальных конструкций с помощью лакокрасочных систем. Измерение толщины высушенных покрытий на шероховатых поверхностях и критерии приемки)

[6] ISO 21968 — Non-magnetic metallic coatings on metallic and non-metallic basis materials — Measurement of coating thickness — Phase-sensitive eddy-current method (Немагнитные металлические покрытия на металлических и неметаллических материалах. Измерение толщины покрытия. Фазочувствительный вихретоковый метод)

[7] ISO/TR 22971 — Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Practical guidance for the use of ISO 5725-2:1994 in designing, implementing and statistically analysing interlaboratory repeatability and reproducibility results [Точность (достоверность и точность) методов и результатов измерений. Практическое руководство по использованию ИСО 5725-2:1994 при проектировании, внедрении и статистическом анализе результатов межлабораторной повторяемости и воспроизводимости]

[8] ISO/IEC Guide 99:2007 — International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM) [Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины (VIM)]

УДК 531.717.1:006.354 ОКС 19.100

Ключевые слова: немагнитные покрытия, толщина покрытия, магнитный метод, измерение толщины, неопределенность

Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 05.05.2025. Подписано в печать 12.05.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,18. Уч.-изд. л. 3,55.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru