

---

---

**Немагнитные металлические покрытия  
на металлических и неметаллических  
основаниях. Измерение толщины  
покрытия. Фазочувствительный  
вихретоковый метод**

*iTeh STA Non-magnetic metallic coatings on metallic and non-metallic basis  
(standards.itteh.ai) materials – Measurement of coating thickness – Phase-sensitive  
eddy-current method*

ISO 21968:2005

<https://standards.itteh.ai/catalog/standards/sist/cb083640-9993-4290-a9c6-8ae0fc2d8884/iso-21968-2005>

Ответственность за подготовку русской версии несёт GOST R  
(Российская Федерация) в соответствии со статьёй 18.1 Устава ISO



Ссылочный номер  
ISO 21968:2005(R)

**Отказ от ответственности при работе в PDF**

Настоящий файл PDF может содержать интегрированные шрифты. В соответствии с условиями лицензирования, принятыми фирмой Adobe, этот файл можно распечатать или смотреть на экране, но его нельзя изменить, пока не будет получена лицензия на установку интегрированных шрифтов в компьютере, на котором ведется редактирование. В случае загрузки настоящего файла заинтересованные стороны принимают на себя ответственность за соблюдение лицензионных условий фирмы Adobe. Центральный секретариат ISO не несет никакой ответственности в этом отношении.

Adobe - торговый знак Adobe Systems Incorporated.

Подробности, относящиеся к программным продуктам, использованным для создания настоящего файла PDF, можно найти в рубрике General Info файла; параметры создания PDF оптимизированы для печати. Были приняты во внимание все меры предосторожности с тем, чтобы обеспечить пригодность настоящего файла для использования комитетами – членами ISO. В редких случаях возникновения проблемы, связанной со сказанным выше, просим информировать Центральный секретариат по адресу, приведенному ниже.

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 21968:2005

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/cb083640-9993-4290-a9c6-8ae0fc2d8884/iso-21968-2005>



**ДОКУМЕНТ ЗАЩИЩЕН АВТОРСКИМ ПРАВОМ**

© ISO 2005

Все права сохраняются. Если не указано иное, никакую часть настоящей публикации нельзя копировать или использовать в какой-либо форме или каким-либо электронным или механическим способом, включая фотокопии и микрофильмы, без предварительного письменного согласия ISO по адресу ниже или членом ISO в стране регистрации пребывания.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax + 41 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Опубликовано в Швейцарии

## Содержание

Страница

Предисловие .....	iv
1 Область применения .....	1
2 Принцип .....	1
3 Оборудование .....	2
4 Отбор образцов основания .....	2
5 Факторы, влияющие на точность измерения .....	2
5.1 Толщина покрытия .....	2
5.2 Электрические свойства материалов оснований .....	2
5.3 Электрические свойства покрывающих материалов .....	2
5.4 Толщина основания .....	2
5.5 Краевой эффект .....	3
5.6 Кривизна поверхности .....	3
5.7 Шероховатость поверхности .....	3
5.8 Влияние подъема датчика над поверхностью .....	3
5.9 Давление, создаваемое датчиком .....	4
5.10 Наклонное положение датчика .....	4
5.11 Влияние температуры .....	4
5.12 Промежуточные покрытия .....	4
6 Процедура .....	5
6.1 Калибровка измерительных приборов .....	5
6.2 Определение .....	6
7 Выражение результатов .....	7
8 Погрешность измерения .....	7
9 Протокол испытания .....	7
Приложение А (информативное) Генерирование вихревых токов в металлическом проводнике .....	8
Приложение В (нормативное) Тест на краевой эффект .....	10
Библиография .....	12

## Предисловие

Международная организация по стандартизации (ISO) является всемирной федерацией национальных организаций по стандартизации (комитетов-членов ISO). Разработка международных стандартов обычно осуществляется техническими комитетами ISO. Каждый комитет-член, заинтересованный в деятельности, для которой был создан технический комитет, имеет право быть представленным в этом комитете. Международные правительственные и неправительственные организации, имеющие связи с ISO, также принимают участие в работах. Что касается стандартизации в области электротехники, то ISO работает в тесном сотрудничестве с Международной электротехнической комиссией (IEC).

Проекты международных стандартов разрабатываются в соответствии с правилами Директив ISO/IEC, часть 2.

Основная задача технических комитетов заключается в подготовке международных стандартов. Проекты международных стандартов, принятые техническими комитетами, рассылаются комитетам-членам на голосование. Их опубликование в качестве международных стандартов требует одобрения не менее 75 % комитетов-членов, принимающих участие в голосовании.

Следует иметь в виду, что некоторые элементы настоящего международного стандарта могут быть объектом патентных прав. Международная организация по стандартизации не может нести ответственность за идентификацию какого-либо одного или всех патентных прав.

ISO 21968 подготовил Технический комитет ISO/TC 107, *Металлические и другие неорганические покрытия*, Подкомитет SC 2, *Методы испытания*.

iteh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 21968:2005

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/cb083640-9993-4290-a9c6-8ae0fc2d8884/iso-21968-2005>

# Немагнитные металлические покрытия на металлических и неметаллических основаниях. Измерение толщины покрытия. Фазочувствительный вихретоковый метод

## 1 Область применения

Настоящий международный стандарт дает описание метода применения фазочувствительных вихретоковых приборов (толщиномеров) для неразрушающих измерений толщины немагнитных металлических покрытий на металлических и неметаллических основаниях, например:

- a) покрытий цинком, кадмием, медью, оловом или хромом на стали;
- b) медных или серебряных покрытий на композитных материалах.

Настоящий метод измерения фазы электрического сигнала, соответствующего измеряемой толщине покрытия, позволяет безошибочно измерять толщину этого покрытия на поверхностях меньшего размера и радиуса кривизны, чем метод измерения амплитуды, который изложен в ISO 2360 [1]. Кроме того, он в меньшей степени зависит от магнитных свойств основания. Однако на применение фазочувствительного метода в большей степени влияют электрические свойства покрываемых материалов.

Когда осуществляются измерения толщины металлических покрытий на металлических основаниях, то рекомендуется, чтобы произведение удельной проводимости и магнитной проницаемости ( $\sigma$ ,  $\mu$ ) для покрытия и основания отличались бы друг от друга, по меньшей мере, в 1,5 раза. Неферромагнитные материалы имеют относительную магнитную проницаемость, равную единице (1).

## 2 Принцип

Вихретоковый датчик-преобразователь (или объединенный датчик/измерительный прибор) устанавливается на (или вблизи) поверхности измеряемого покрытия и толщина покрытия считывается из показания измерительного прибора.

Для каждого измерительного прибора существует максимальная измеряемая толщина покрытия.

Так как диапазон измерения толщины зависит как от частоты Приложенного электромагнитного поля датчика (преобразователя), так и электрических свойств покрытия, то максимальную толщину следует определять экспериментально, если в спецификации предприятия-изготовителя не задано иное.

Объяснение по генерированию вихревых токов и вычислению верхнего предела измеряемой толщины покрытия,  $d_{\max}$ , дается в Приложении А.

Однако в случае отсутствия какой-либо другой информации, максимальную измеряемую толщину покрытия,  $d_{\max}$ , можно оценивать с помощью следующего Уравнения (1):

$$d_{\max} = 0,8\delta_0 \quad (1)$$

где  $\delta_0$  есть стандартная глубина проникновения материала покрытия [см. Уравнение (A.1)].

### 3 Оборудование

**3.1** Датчик (преобразователь), содержащий генератор вихревых токов, и детектор, подсоединенный к системе, способной измерять и отображать изменения амплитуды и фазы электрического сигнала, который после обработки дает непосредственное показание толщины покрытия.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Датчик и система измерения/дисплей могут быть объединены в один измерительный прибор.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Факторы, влияющие на точность измерения, рассматриваются в Разделе 5.

### 4 Отбор образцов основания

Отбор образцов основания зависит от специфики применения объекта контроля и его покрытия, толщину которого планируется измерять. Площадь, местоположение выборки и число образцов основания для измерений толщины покрытия должны быть согласованы между заинтересованными сторонами и включены в протокол испытания (см. Раздел 9).

### 5 Факторы, влияющие на точность измерения

#### 5.1 Толщина покрытия

Погрешность определения толщины покрытия является свойственной данному методу. Для тонких покрытий эта погрешность (в абсолютном выражении) является постоянной, независимой от толщины покрытия. Абсолютное значение погрешности измерения зависит от частоты Приложенного электромагнитного поля датчика-преобразователя и удельной проводимости и магнитной проницаемости материалов используемых образцов. С увеличением толщины в пределах границ диапазона измерения датчика эта неопределенность становится функцией толщины и составляет приблизительно постоянную часть этой толщины.

Следует использовать среднее нескольких измерений, чтобы получить значение толщины покрытия и уменьшить погрешность измерения особенно в нижней части измерительного диапазона используемого прибора.

#### 5.2 Электрические свойства материалов оснований

Как удельная проводимость, так и магнитная проницаемость материалов оснований оказывают некоторое влияние на измерение, но оно является незначительным по сравнению с эффектами, которые имеют место в случае применения амплитудного метода, изложенного в ISO 2360<sup>[1]</sup>.

#### 5.3 Электрические свойства покрывающих материалов

Электрическая удельная проводимость покрывающего материала влияет на измерения толщины покрытия. Сам материал покрытия может зависеть в свою очередь от химического состава, технологии нанесения покрытия (присадок, степени загрязнения и т.д.) и любой последующей обработки, например, нагрева или механического действия.

#### 5.4 Толщина основания

Для каждого измерительного прибора существует критическая минимальная толщина металла основания, выше которой увеличение по толщине не будет влиять на результат измерения покрытия.

Эта толщина зависит как от частоты Приложенного электромагнитного поля вихретокового преобразователя, так и электрических и магнитных свойств материала основания. Его значение следует устанавливать экспериментально, если оно не задано производителем толщиномера.

Объяснение по генерированию вихревых токов и вычислению минимальной толщины материала основания,  $d_{\min}$ , дается в Приложении А.

Однако в случае отсутствия какой-либо другой информации, требуемая минимальная толщина материала основания,  $d_{\min}$ , может быть вычислена из Уравнения (2).

$$d_{\min} = 2,5\delta_0 \quad (2)$$

где  $\delta_0$  есть стандартная глубина проникновения металла основания [см. Уравнение (A.1)].

## 5.5 Краевой эффект

Вихретоковые измерительные приборы могут быть чувствительными к резкому изменению контура поверхности образца объекта контроля. Поэтому измерения, сделанные вблизи края или угла, могут быть недостоверными, если измерительный прибор (толщиномер покрытия) специально не калиброван для таких измерений (см. 6.2.4 и Приложение В).

**ПРИМЕЧАНИЕ** Фазочувствительные вихретоковые толщиномеры, работающие на принципе измерения фазы электрических сигналов, могут в значимо меньшей степени зависеть от краевого эффекта по сравнению с методом измерения амплитуды, как изложено в ISO 2360.

## 5.6 Кривизна поверхности

Кривизна поверхности образца объекта контроля может влиять на результаты измерений. Это влияние кривизны значимо изменяется в зависимости от марки и типа измерительного прибора и его датчика, но всегда становится более заметным с уменьшением радиуса кривизны. Измерения толщины покрытия, сделанные на выпуклых/вогнутых образцах оснований, могут быть недостоверными, если вихретоковый толщиномер покрытия не калиброван специально на рассматриваемую кривизну поверхности или не используется специальный датчик (преобразователь) с компенсацией на влияние кривизны.

Влияние кривизны поверхности может быть уменьшено с помощью использования специальных микродатчиков с уменьшенной радиальной поверхностью рабочего торца.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/cb083640-9993-4290-a9c6->  
**ПРИМЕЧАНИЕ** Фазочувствительные вихретоковые толщиномеры, работающие на принципе измерения фазы электрических сигналов, могут в значимо меньшей степени зависеть от кривизны поверхности испытываемого образца по сравнению с методом измерения амплитуды, как изложено в ISO 2360.

## 5.7 Шероховатость поверхности

На результаты измерений толщины покрытия влияет рельеф поверхности основания и покрытия. Шероховатые поверхности могут быть причиной как систематических, так и случайных ошибок. Случайные погрешности можно снизить за счет многократных измерений, сделанных в разных местах объекта контроля с последующим вычислением среднего значения этой серии измерений.

Если основание имеет грубую обработку, то необходимо проверить нуль прибора в разных местах на типичном образце материала шероховатого основания без покрытия. Если типичный материал основания без покрытия не имеется в наличии, то необходимо удалить покрытие, по меньшей мере, на некоторой части испытываемого образца с использованием химического раствора, который не воздействует на материал основания.

**ПРИМЕЧАНИЕ** Фазочувствительные вихретоковые толщиномеры, работающие на принципе измерения фазы электрических сигналов, могут в значимо меньшей степени зависеть от шероховатости поверхности основания и покрытия по сравнению с методом измерения амплитуды, как изложено в ISO 2360.

## 5.8 Влияние подъема датчика над поверхностью

Если датчик не устанавливается непосредственно на объект контроля, то зазор между датчиком и объектом контроля будет влиять на результат измерения толщины металлического покрытия.

Использование подходящей электронной схемы и/или математического алгоритма в измерительном приборе позволяет делать компенсацию на влияние зазора величиной до 1 мм.

Компенсация на влияние зазора должна изменяться в соответствии с инструкциями производителя толщиномера путем использования непроводящих электричество пластин известной толщины, которые вставляются между датчиком и покрытием объекта контроля.

Зазор между датчиком и покрытием может быть образован преднамеренно при измерении толщины металлического покрытия через слой покраски или в случае необходимости бесконтактного измерения, или непреднамеренно из-за присутствия посторонних частиц между датчиком и покрытием.

Необходимо часто проверять чистоту рабочего торца датчика толщиномера покрытия.

### 5.9 Давление, создаваемое датчиком

Давление, с которым датчик прикладывается к образцу для измерения толщины покрытия, может влиять на показание электронного блока и должно быть постоянным.

**ПРИМЕЧАНИЕ** Фазочувствительные вихретоковые толщиномеры, работающие на принципе измерения фазы электрических сигналов, могут в значимо меньшей степени зависеть от давления, которое возникает при размещении датчика на поверхности проверяемого образца, если сравнивать фазочувствительный метод с методом измерения амплитуды, как изложено в ISO 2360. Можно измерять толщину покрытия без соприкосновения датчика с поверхностью образца основания (см. 5.8.).

### 5.10 Наклонное положение датчика

Если по инструкциям производителя не задано иное, то датчик должен быть позиционирован перпендикулярно к поверхности покрытия, так как отклонение датчика от вертикали может быть причиной погрешностей измерений.

Возможность случайных наклонов датчика может быть сведена к минимуму конструктивным исполнением самого датчика или путем использования приспособления для его крепления.

### 5.11 Влияние температуры

Так как изменения температуры влияют на характеристики датчика, то измерения толщины покрытия следует проводить приблизительно в одинаковых температурных условиях, которые были во время калибровки датчика, если он не имеет встроенную схему температурной компенсации.

Электропроводность большинства металлов изменяется с температурой. Поскольку изменения удельной электрической проводимости металлов покрытия и основания влияют на результат измеренной толщины покрытия, то следует избегать больших колебаний температурного режима.

### 5.12 Промежуточные покрытия

Присутствие промежуточного слоя покрытия может влиять на измерение толщины всего покрытия, если электрические характеристики промежуточного слоя отличаются от характеристик покрытия или материала основания. Если такое различие существует, тогда дополнительно на результаты измерений будет влиять толщина промежуточного слоя величиной меньше  $d_{\min}$ . Если толщина промежуточного слоя больше  $d_{\min}$ , тогда с ним следует обращаться как с материалом основания.

Практически установлено, что некоторые измерительные приборы, имеющие датчики, которые генерируют вихревые токи на кратных частотах, способны измерять толщину как верхних, так и промежуточных слоев покрытия.



## 6 Процедура

### 6.1 Калибровка измерительных приборов

#### 6.1.1 Общие положения

Перед эксплуатацией каждый измерительный прибор (вихретоковый толщиномер) должен быть калиброван в соответствии с инструкциями производителя, используя подходящие образцовые меры. Особое внимание должно быть обращено на факторы, перечисленные в Разделе 5.

Во время калибровки сам прибор и меры толщины для его настройки должны находиться в условиях температуры, близкой к температуре контролируемых образцов с тем, чтобы минимизировать изменения удельной проводимости из-за температурных колебаний.

Калибровочные проверки следует осуществлять по мере необходимости и во время измерений толщины покрытий, чтобы не допустить дрейфа показаний прибора.

#### 6.1.2 Меры толщины для калибровки

Настройка верхнего предела измерительного прибора должна осуществляться с использованием не меньше двух мер разной и известной толщины. Одна из этих мер может иногда представлять толщину материала основания без покрытия.

Следует использовать образцовые меры, толщина которых прослеживается до источника поверки.

Рекомендуется, чтобы удельная электропроводность и магнитная проницаемость покрытия и материалов основания были идентичными соответствующим свойствам объектов контроля.

Так как образцовые меры толщины подвержены изнашиванию и старению в течение определенного срока и при использовании, то их следует периодически отдавать на повторную поверку и/или заменять через промежутки времени, которые устанавливаются на месте эксплуатации или после консультации с предприятием-изготовителем.

#### 6.1.3 Поверка

Электрические свойства материала основания образцовых мер толщины должны быть такими же, как у материала основания контролируемого образца.

Чтобы подтвердить пригодность образцовых мер толщины, следует сравнивать показания прибора, полученные на материале основания образцовой меры без покрытия и контролируемого образца.

Если толщина основания превышает критическое значение, которое определено в 5.4, то измерение толщины покрытия не зависит от толщины основания.

Если критическая толщина не превышает, то для контроля и калибровки следует использовать основание одинаковой толщины. Если на практике такое невозможно, то к обратной стороне образцовой меры или контролируемого образца можно приложить материал достаточной толщины, который имеет подобные электрические свойства, чтобы сделать показания прибора независимыми от толщины основания. При использовании этого метода следует подтвердить, что он является приемлемым, а также установить присутствие каких-либо дополнительных погрешностей.

Если кривизна контролируемой поверхности с покрытием является такой, что препятствует калибровке на плоской поверхности, то образцовые меры толщины, использованные для калибровки, должны иметь такие же радиусы кривизны, как у контролируемого образца, если не используется специальный датчик с компенсацией на влияние кривизны.

## 6.2 Определение

### 6.2.1 Общие положения

Работайте с вихретоковым толщиномером покрытия в соответствии с инструкциями предприятия-изготовителя, обращая надлежащее внимание на факторы, упомянутые в Разделе 5.

Проверьте калибровку измерительного прибора, используя образцовые меры толщины, в месте проведения контроля при каждом запуске прибора в эксплуатацию и через достаточные промежутки его использования. Следуйте рекомендациям предприятия-изготовителя для обеспечения правильного функционирования вихретокового толщиномера покрытия (см. 6.1).

Должны соблюдаться меры предосторожности, перечисленные в 6.2.2 – 6.2.6.

### 6.2.2 Чистота поверхности

Перед началом измерений удалите любые посторонние вещества, например, грязь, масло, жир и продукты коррозии, с поверхности образцовых мер толщины и контролируемых образцов без какого-либо снятия материала покрытия.

### 6.2.3 Толщина металла основания

Проверьте, что толщина металла основания превышает критическое значение (см. 5.4). В противном случае используйте метод подкладки материала, изложенный в 6.1.3, или обеспечьте калибровку с использованием образцовой меры, имеющей толщину и электрические свойства, как у контролируемого образца.

### 6.2.4 Краевые эффекты

Не делайте измерения вблизи края, отверстия, внутреннего угла и т. д. объекта контроля, если не была продемонстрирована достоверность калибровки для таких измерений (см. Приложение В).

### 6.2.5 Кривизна

Не делайте измерения на выпуклой/вогнутой поверхности объекта контроля, если не была продемонстрирована достоверность калибровки для таких измерений.

### 6.2.6 Количество показаний прибора

Число измерений на одном и том же участке с использованием (если необходимо) крепежной оправки для датчика дает информацию о повторяемости (среднеквадратическом отклонении) измерительного прибора и его датчика на данный момент времени и для измеряемой толщины (см. примечание).

**ПРИМЕЧАНИЕ** Коэффициент разброса показаний прибора,  $V$ , может быть вычислен по среднеквадратическому отклонению. Этот коэффициент соответствует относительной средней квадратичной ошибке (например, в процентах) и позволяет делать непосредственное сравнение среднеквадратического отклонения для разных значений толщины.

Число измерений с поднятием датчика между каждым измерением и в границах заданной площади на поверхности с покрытием дает информацию о повторяемости результатов для данного измерительного прибора и разброс значений толщины покрытия в пределах заданной площади.

Если поверхность покрытия является шероховатой или известно, что объекты контроля имеют большие градиенты толщины по их поверхностям (например, из-за размера и/или формы), то источники разброса показаний следует установить путем многократных измерений.