ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ГОСТ Р 56473— 2015**

## Системы космические

# КОНТРОЛЬ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ ТОЛЩИНЫ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ НИКЕЛЕВЫХ И ДВУХСЛОЙНЫХ НИКЕЛЬ-ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ

## Общие требования

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

## Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Открытым акционерным обществом «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко» и Государственным научным учреждением «Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 321 «Ракетно-космическая техника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 июня 2015 г. № 711-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 В настоящем стандарте использованы изобретения, защищенные следующими патентами:

- патентом Республики Беларусь № 12443 на изобретение «Способ магнитного контроля толщины слоев двухслойного хромоникелевого покрытия» (патентообладатель — ИПФ НАН Беларуси);
- патентом Республики Беларусь № 1030 на полезную модель «Устройство для неразрушающего контроля с посадочными магнитами» (патентообладатель — ИПФ НАН Беларуси);
- патентом Республики Беларусь № 4752 на полезную модель «Устройство для контроля толщины слабомагнитного слоя под немагнитным» (патентообладатель — ИПФ НАН Беларуси);
- патентом Российской Федерации № 2392581 на изобретение «Способ изготовления меры толщины покрытия» (патентообладатели — Бабаджанов Леон Сергеевич, Бабаджанова Марианна Леоновна).

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии не несет ответственности за достоверность информации о патентных правах. При необходимости ее уточнения патентообладатели могут направить в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии аргументированное предложение внести в настоящий стандарт поправку

6 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Сентябрь 2019 г.

*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

© Стандартинформ, оформление, 2015, 2019

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 . . . 2
4 Обозначения . . . 2
5 Магнитодинамический метод толщинометрии покрытий . . . 2
6 Контроль толщины никелевых покрытий на неферромагнитных, двухслойных (неферромагнетик-ферромагнетик) основаниях . . . 4
7 Контроль толщины неферромагнитных покрытий на ферромагнитных основаниях . . . 6
8 Контроль толщины двухслойных (хром на никеле) покрытий на неферромагнитных, двухслойных (неферромагнетик-ферромагнетик) основаниях . . . 7
9 Требования к магнитодинамическим приборам и их метрологическому обеспечению . . . 10
10 Подготовка и проведение контроля толщины покрытий . . . 11
11 Обработка и представление результатов измерений . . . 12
Приложение А (справочное) Компенсация влияния намагниченности ферромагнетика на результаты контроля толщины никелевых покрытий на двухслойных (неферромагнетик-ферромагнетик) основаниях . . . 14
Приложение Б (справочное) Основные технические характеристики сертифицированных магнитодинамических приборов . . . 15
Приложение В (рекомендуемое) Форма протокола испытаний (проверки) магнитодинамического прибора для контроля толщины однослойных покрытий . . . 17
Приложение Г (рекомендуемое) Форма протокола испытаний (проверки) магнитодинамического прибора для контроля толщины двухслойных покрытий . . . 18
Библиография . . . 20

## Введение

Толщина специальных покрытий является одним из важнейших критериев качества изделий космической техники. Контроль толщины необходимо вести при следующих сочетаниях магнитных свойств:

- гальваническое никелевое или двухслойное (хром на никеле) покрытие на неферромагнитном или двухслойном (неферромагнетик-ферромагнетик) основании;

- неферромагнитное (хром, цинк, краска, лак и др.) покрытие на ферромагнитном (никель, низкоуглеродистая сталь и т. п.) основании.

Магнитодинамический метод и средства толщинометрии обеспечивают контроль никелевых, в том числе толстослойных (до 1000 мкм), хромовых и других покрытий при указанных сочетаниях свойств покрытие — основание. Преимущество магнитных методов толщинометрии по сравнению с другими состоит в том, что все физические свойства, кроме магнитных, не влияют на погрешность измерений. Влияние же магнитных свойств (структурного состояния) никелевых покрытий на точность контроля при определенных условиях исключается или минимизируется. Эти условия сводятся к обеспечению в объеме информативной зоны первичного преобразователя намагниченности никеля, близкой к его намагниченности насыщения.

Магнитодинамический метод толщинометрии, предложенный и развиваемый в ИПФ НАН Беларуси, обладает наиболее широкими возможностями. Главным преимуществом этого метода является отсутствие в информативном сигнале составляющей, обусловленной создаваемым преобразователем первичным намагничивающим полем. В итоге разрешающая способность и диапазон измерений оказываются по уровню значительно выше, чем обеспечиваемые другими магнитными методами.

Настоящий стандарт раскрывает сущность магнитодинамического метода толщинометрии, содержит физическое обоснование его применения при контроле никелевых, хромоникелевых и неферромагнитных покрытий, рекомендации по выбору средств измерений применительно к условиям контроля, а также основные требования к средствам измерений, их метрологическому обеспечению. Содержащиеся в стандарте сведения могут быть положены в основу других стандартов по толщинометрии специальных покрытий изделий космической техники, являются научной базой по разработке средств магнитодинамической толщинометрии и методик контроля изделий (в частности, камер сгорания жидкостных ракетных двигателей).

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Системы космические**

# КОНТРОЛЬ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ ТОЛЩИНЫ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ НИКЕЛЕВЫХ И ДВУХСЛОЙНЫХ НИКЕЛЬ-ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ

**Общие требования**

Space systems. Non-destructive testing of thickness of galvanic nickel and two-layer nickel-chrome coatings. General requirements

**Дата введения — 2016—01—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на магнитодинамический метод толщинометрии гальванических никелевых покрытий на неферромагнитных и с разными магнитными свойствами основаниях в диапазоне толщины от 0 до 1000 мкм, хромовых покрытий на никеле в диапазоне от 0 до 250 мкм, других неферромагнитных покрытий на ферромагнитных основаниях.

Стандарт устанавливает основные требования к средствам магнитодинамической толщинометрии указанных покрытий применительно к изделиям космической техники (прежде всего к камерам сгорания жидкостных ракетных двигателей), другим изделиям специального назначения и общепромышленного применения. Регламентированный стандартом метод может использоваться непосредственно в технологическом цикле производства, при проведении приемо-сдаточных испытаний, диагностике состояния покрытий после стендовых испытаний указанных двигателей.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.050 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений

ГОСТ 8.362 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение толщин покрытий. Термины и определения

ГОСТ 8.395 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования

ГОСТ 8.502 Государственная система обеспечения единства измерений. Методы и средства поверки

ГОСТ 9.302 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля

ГОСТ Р 52956 Материалы магнитотвердые спеченные на основе сплава неодим-железо-бор. Классификация. Основные параметры

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана

**Издание официальное**

датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

## 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 8.362, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **магнитодинамический метод:** Метод магнитного контроля, основанный на регистрации изменения информативного параметра магнитного поля (например, потока магнитной индукции) в процессе удаления первичного преобразователя от поверхности покрытия (приближения первичного преобразователя к поверхности покрытия).

3.2 **магнитодинамический преобразователь:** Устройство для реализации магнитодинамического метода, которое в процессе удаления от поверхности покрытия (приближения к поверхности покрытия) преобразует магнитную индукцию в информативный сигнал, однозначно связанный с измеряемой толщиной.

3.3 **магнитодинамический прибор:** Средство измерений, содержащее магнитодинамический преобразователь (несколько магнитодинамических преобразователей) и предназначенное для измерения толщины покрытия.

3.4 **энергия магнита:** Параметр постоянного стержневого магнита магнитодинамического преобразователя, используемого при толщинометрии покрытий, характеризующий величину первичного поля и представляющий собой произведение максимальной удельной магнитной энергии материала, из которого изготовлен указанный магнит, на его объем.

3.5 **информативный сигнал:** Электрический сигнал на выходе магнитодинамического преобразователя (например, импульс ЭДС, возникающий в многовитковой катушке), содержащий количественную информацию о толщине покрытия.

3.6 **настройка нуля:** Реализация функциональной возможности магнитодинамического прибора по устранению или минимизации дополнительной погрешности, обусловленной мешающими факторами (например, намагниченностью корпуса камеры сгорания при контроле толщины никелевого покрытия).

## 4 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

**толщина *b*, мкм:** Толщина никелевого покрытия;

**толщина *d*, мкм:** Толщина хромового покрытия;

**сигнал *F*:** Информативный сигнал при контроле толщины покрытия;

**толщина *h*, мкм:** Толщина двухслойного (хром на никеле) покрытия ($h = d + b$);

**толщина *s*, мм:** Толщина неферромагнитной прослойки, расположенной между покрытием и ферромагнитным корпусом изделия;

**энергия *W*, мДж:** Энергия постоянного стержневого магнита, входящего в состав магнитодинамического преобразователя.

## 5 Магнитодинамический метод толщинометрии покрытий

### 5.1 Физическая сущность метода

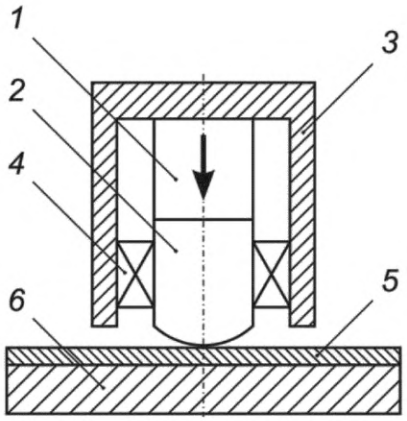
5.1.1 Физическая сущность магнитодинамического метода толщинометрии покрытий состоит в том, что заданный участок изделия намагничивается первичным полем, создаваемым магнитодинамическим преобразователем; в свою очередь вторичное поле, создаваемое намагниченным изделием, взаимодействует с первичным полем; в итоге формируется общее поле, представляющее собой суперпозицию первичного и вторичного полей. В процессе подъема магнитодинамического преобразователя над изделием общее поле постепенно слабеет, приближаясь к первичному.

5.1.2 Преобразование информативного параметра в информативный сигнал выполняет чувствительный элемент, жестко связанный с источником первичного поля. Величина информативного сигнала, возникающего в процессе подъема преобразователя, зависит от разности значений информативного параметра, соответствующих начальному и конечному его положениям; то же самое справедливо в случае приближения преобразователя к изделию.

5.1.3 Значение толщины покрытия на заданном участке изделия определяется по величине информативного сигнала с помощью соответствующей градуировочной зависимости.

**5.2 Пример реализации метода**

5.2.1 На практике в качестве источника первичного поля используется постоянный стержневой магнит, чувствительного элемента — многовитковая катушка; вместе они составляют основу магнитодинамического преобразователя, предназначенного для контроля толщины покрытий. Для повышения его чувствительности может использоваться цилиндрический полюсный наконечник из ферромагнитного материала, сопряженный с магнитом и служащий сердечником для катушки. Локализацию первичного поля в пределах контролируемого участка обеспечивает экран, имеющий вид полого цилиндра, в котором размещены указанные элементы, при этом верхний торец магнита сопряжен со сплошным торцом экрана. Во избежание дополнительной погрешности, обусловленной отклонением геометрической оси магнитодинамического преобразователя от вертикали при его отрыве от поверхности покрытия (установке на нее), а также возможными неровностями этой поверхности, полюсный наконечник выступает за нижний край экрана. Принципиальная схема магнитодинамического преобразователя для контроля толщины покрытий приведена на рисунке 1.




*1* — постоянный стержневой магнит, *2* — полюсный наконечник, *3* — экран, *4* — многовитковая катушка, *5* — покрытие, *6* — основание; стрелка указывает направление намагниченности

Рисунок 1 — Принципиальная схема магнитодинамического преобразователя для контроля толщины покрытий

5.2.2 Величина информативного сигнала в общем случае зависит от толщины покрытия, намагниченности основания (покрытия), геометрии и сочетания свойств постоянного стержневого магнита, полюсного наконечника, экрана. Намагниченность основания (покрытия) зависит от величины первичного поля, но само это поле не регистрируется катушкой из-за ее статического положения относительно магнита.

5.2.3 Информативный сигнал $E$ (электродвижущая сила в витках катушки) генерируется только при изменении расстояния (подъем или установка) между преобразователем и изделием. В соответствии с законом Фарадея для электромагнитной индукции величина этого сигнала определяется по формуле

$$E = -\Delta F / \Delta t N, \quad (1)$$

где $\Delta F$ — изменение потока магнитной индукции, охватываемого единичным витком катушки;
$\Delta t$ — время измерения;
$N$ — число витков катушки.

С учетом того, что $E = IR$, (2)

$$Q = I\Delta t, \quad (3)$$

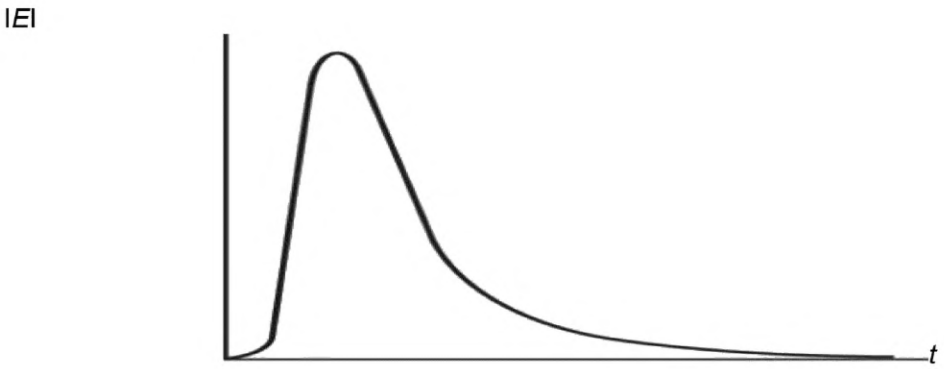
где $I$ — сила тока в витках катушки;
$R$ — электрическое сопротивление витков;
$Q$ — электрический заряд, проходящий по виткам за время $\Delta t$;

из уравнения (1) следует:

$$Q = N / R\left(F_1 - F_2\right), \tag{4}$$

где $F_1$ и $F_2$ — потоки магнитной индукции, охватываемые витками катушки в начальном и конечном положениях преобразователя.

Составляющая потока, обусловленная первичным полем магнита, в параметрах $F_1$ и $F_2$ одинакова по величине, т. е. не зависит от положения преобразователя в пространстве. Вследствие этого информативный сигнал, показанный на рисунке 2, определяется только намагниченностью контролируемого участка, если не учитывать ее влияние на магнитомягкие элементы преобразователя (полюсный наконечник, экран).




|E| — модуль ЭДС; $t$ — время

Рисунок 2 — Импульс ЭДС, возникающий в витках катушки магнитодинамического преобразователя при его отрыве и удалении от изделия

### 5.3 Преимущества метода

5.3.1 Главное преимущество магнитодинамического метода толщинометрии по сравнению с другими магнитными по ГОСТ 9.302 состоит в том, что информативный сигнал не содержит составляющую, обусловленную первичным полем преобразователя. Это значительно увеличивает разрешающую способность и расширяет диапазон измерений прибора, при этом не требуется применять специальные методики и средства компенсации указанной составляющей.

### 5.4 Область применения метода

Магнитодинамический метод толщинометрии может использоваться в следующих случаях:

- гальваническое никелевое или двухслойное (хром на никеле) покрытие на неферромагнитном или двухслойном (неферромагнетик-ферромагнетик) основании;
- неферромагнитное покрытие на ферромагнитном основании (хром, цинк, краска, лак и др. на никеле, низкоуглеродистой стали и т. п.).

## 6 Контроль толщины никелевых покрытий на неферромагнитных, двухслойных (неферромагнетик-ферромагнетик) основаниях

### 6.1 Обоснование возможности контроля

6.1.1 При контроле толщины никелевых покрытий на неферромагнитных основаниях магнитодинамический метод толщинометрии обеспечивает:

- диапазон измерений до 1000 мкм (при необходимости может быть расширен);
- отстройку от влияния вариации структурного состояния никелевого покрытия на результаты контроля.

Обе задачи решаются использованием магнитодинамического преобразователя с постоянным стержневым магнитом, создающим достаточно сильное первичное намагничивающее поле. Количественным критерием выбора материала такого магнита является произведение $(B \cdot H)_{max}$, которое, по

существу, представляет собой энергию магнитного материала, отнесенную к единице его объема. Исходя из этого, на практике следует использовать преобразователь с магнитом из высококоэрцитивного материала, у которого указанное произведение составляет не менее 150 кДж/м$^3$ (неодим-железо-бор любой марки по ГОСТ Р 52956). Однако такой критерий не является однозначным, так как первичные поля, создаваемые магнитами, изготовленными из одинакового материала, но обладающими разными формой и размерами, существенно различаются по величине.

Оптимальной формой постоянных магнитов магнитодинамических преобразователей, используемых при толщинометрии покрытий, является цилиндр. Результаты теоретических и экспериментальных исследований показывают следующее:

- высота стержневого магнита по сравнению с его диаметром оказывает гораздо меньшее влияние на величину первичного поля;

- не имеет особого смысла использовать преобразователи со стержневыми магнитами высотой свыше 5 мм;

- оптимальным является случай, когда высота магнита равна высоте сопряженного с ним полюсного наконечника.

Исходя из сказанного, выбор постоянного стержневого магнита, оптимального для решения конкретной измерительной задачи, сводится к выбору его диаметра и материала (т. е. марки неодим-железо-бора по ГОСТ Р 52956). В этом случае целесообразно использовать количественный критерий, учитывающий одновременно обе указанные характеристики; именно таким критерием является энергия $W$, которая вычисляется по формуле

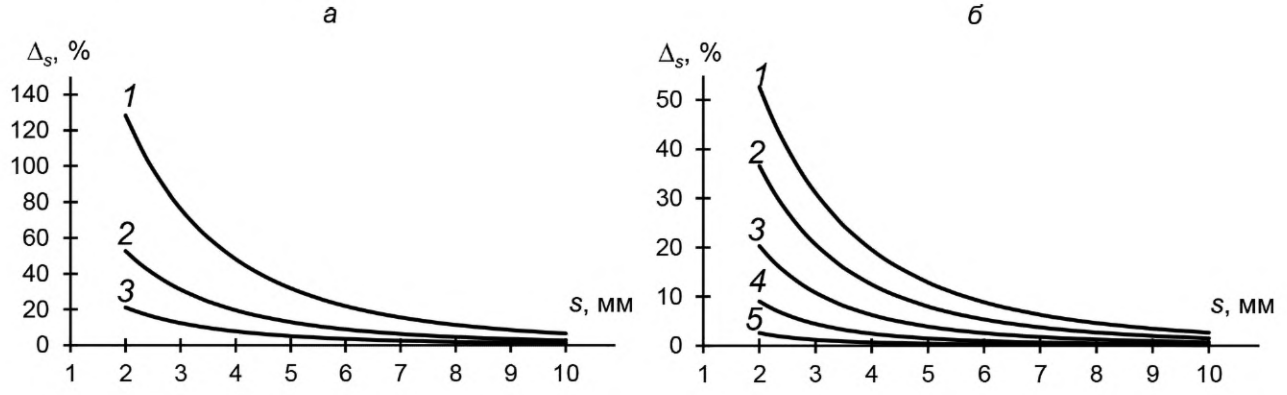
$$W = (B \cdot H)_{\max} \cdot V, \tag{5}$$

где $V$ — объем постоянного стержневого магнита.

При толщинометрии никелевых покрытий вариация их структурного состояния может существенно влиять на результаты измерений. Это влияние снижается за счет усиления первичного намагничивающего поля, что достигается увеличением энергии магнита; одновременно с этим возрастает диапазон измерений. Так, постоянный стержневой магнит с энергией $W \approx 180$ мДж компенсирует влияние значительной структурной вариации (обусловленной, например, пластической деформацией никеля), при этом диапазон измерений превышает 1000 мкм.

6.1.2 При контроле толщины никелевых покрытий на двухслойных (неферромагнетик-ферромагнетик) основаниях первичное поле магнитодинамического преобразователя вместе с покрытием намагничивает ферромагнетик. Его намагниченность оказывает на результаты контроля влияние, которое усиливается по мере возрастания энергии магнита, снижения толщины неферромагнитного слоя и толщины покрытия.

На рисунке 3 приведены количественные данные о величине дополнительной погрешности $\Delta_s$, обусловленной намагниченностью ферромагнитного корпуса камеры сгорания, в зависимости от толщины $s$ неферромагнитной прослойки, толщины $b$ никелевого покрытия, энергии $W$ постоянного стержневого магнита преобразователя.




*1* — кривая, соответствующая толщине $b$ = 200 мкм; *2* — 400 мкм; *3* — 700 мкм

*1* — кривая, соответствующая постоянному стержневому магниту с энергией W ≈ 180 мДж; *2* — 130 мДж; *3* — 95 мДж; *4* — 75 мДж; *5* — 55 мДж

Рисунок 3 — Зависимость дополнительной погрешности $\Delta_s$, обусловленной намагниченностью корпуса камеры, от толщины $s$: *а* — постоянный стержневой магнит с энергией $W \approx 180$ мДж; *б* — толщина $b$ = 400 мкм

Из рисунка 3 следует, что контроль толщины *b* с погрешностью не более 3 % без компенсации дополнительной погрешности $\Delta_s$, обусловленной намагниченностью корпуса камеры сгорания, практически невозможен.

В приложении А показано, каким образом компенсируется влияние намагниченности корпуса камеры на результаты контроля толщины *b*.

В таблице 1 приведены данные, подтверждающие необходимость и эффективность настройки нуля.

Настройку нуля можно выполнять:

- в контрольных точках камеры до нанесения покрытия;
- на фрагментах аналогичной камеры, вырезанных из нее до нанесения покрытия;
- на двухслойных (неферромагнитные пластины на ферромагнитных основаниях) имитаторах контролируемых участков камеры.

Таблица 1 — Дополнительная погрешность $\Delta_s$, обусловленная намагниченностью ферромагнитного корпуса камеры, до и после настройки нуля при использовании магнитодинамического преобразователя с магнитом, энергия *W* которого составляет ~ 130 мДж

| Толщина *b*, мкм | Толщина *s*, мм | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2,72 | 3,66 | 4,49 | 5,48 | 6,55 | 7,74 | 8,75 | 9,83 |
| $\Delta_s$, %, до настройки нуля | | | | | | | | |
| 146 | 92,8 | 55,5 | 38,3 | 25,1 | 16,6 | 11,2 | 8,3 | 6,1 |
| 361 | 28,2 | 17,5 | 12,2 | 8,1 | 5,5 | 3,9 | 2,9 | 2,2 |
| 547 | 13,9 | 8,7 | 6,0 | 3,9 | 2,6 | 1,8 | 1,3 | 1,0 |
| $\Delta_s$, %, после настройки нуля | | | | | | | | |
| 146 | 0,4 | 0,6 | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0 | 0 |
| 361 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,1 | 0 | 0,2 | 0 |
| 547 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 |

Первый вариант настройки нуля является предпочтительным, так как он обеспечивает учет не только толщины *s*, но и остальных факторов, влияющих на результаты контроля (кривизна поверхности покрытия и т. п.). Если покрытие уже нанесено, то следует выбрать второй вариант как максимально близкий к первому; если же и его реализовать затруднительно, всегда можно воспользоваться имитаторами участков камеры.

На практике все три варианта настройки нуля обеспечивают примерно одинаковую точность контроля.

### 6.2 Выбор средства измерений

6.2.1 При выборе магнитодинамического прибора для контроля толщины никелевых покрытий на неферромагнитных основаниях необходимо руководствоваться заданным диапазоном измерений. Если он не превышает 700 мкм, то рекомендуется использовать прибор с магнитодинамическим преобразователем, постоянный стержневой магнит которого обладает энергией *W* = 100—130 мДж.

6.2.2 При выборе магнитодинамического прибора для контроля толщины никелевых покрытий на двухслойных (неферромагнетик-ферромагнетик) основаниях следует учитывать не только заданный диапазон измерений, но и уровень намагниченности ферромагнетика, пропорциональный энергии *W*. Программное обеспечение прибора должно осуществлять настройку нуля во всем диапазоне вариации толщины *s*.

## 7 Контроль толщины неферромагнитных покрытий на ферромагнитных основаниях

7.1 В данном случае величина информативного сигнала не зависит от физических свойств покрытия; она определяется его толщиной и намагниченностью основания.

7.2 Магнитодинамический метод и средства толщинометрии обеспечивают контроль любых неферромагнитных покрытий на ферромагнитных основаниях в диапазоне толщины до 10 000 мкм. Разрешающая способность может варьироваться от сотых долей до нескольких микрометров в заданном диапазоне толщины за счет выбора характеристик магнитодинамического преобразователя.

7.3 Метод и функциональные возможности приборов обеспечивают учет и автоматическую компенсацию влияния на точность контроля магнитных свойств основания. Для низко-, средне- и высокоуглеродистых сталей возможность компенсации сохраняется при градуировке прибора на любой из них. В некоторых случаях (например, неферромагнитные покрытия на нержавеющих сталях аустенитного и аустенитно-ферритного классов) необходимо проводить градуировку на указанных сталях, при этом также сохраняется возможность компенсации при достаточно широкой вариации магнитных свойств оснований.

## 8 Контроль толщины двухслойных (хром на никеле) покрытий на неферромагнитных, двухслойных (неферромагнетик-ферромагнетик) основаниях

### 8.1 Обоснование возможности контроля

8.1.1 Задача контроля толщины двухслойных никель-хромовых покрытий на неферромагнитных основаниях является двухпараметровой (кроме случая, когда глубина информативной зоны магнитодинамического преобразователя меньше минимальной толщины никелевого покрытия под хромовым).

В общем случае сигнал $F$ является функцией трех параметров:

$$F = f(b,d,p), \tag{6}$$

где $p$ — обобщенный параметр, определяющий функциональные возможности преобразователя и обусловленный рядом его характеристик (энергия $W$, магнитные свойства полюсного наконечника, отношение его высоты к высоте магнита и др.).

Не представляется возможным выбрать значение параметра $p$ таким образом, чтобы величина сигнала $F$ определялась только значением параметра $b$ или $d$.

8.1.2 Решением указанной задачи является создание двух магнитодинамических преобразователей с такими значениями параметра $p$, при которых первый преобразователь имеет значительно более высокую разрешающую способность к толщине никелевых покрытий (в том числе под хромовыми), чем к толщине хромовых покрытий на никелевых, второй — наоборот. Сказанное означает, что сигналы $F_1$ и $F_2$ первого и второго преобразователей должны удовлетворять следующим условиям:

$$\frac{\partial F_1}{\partial b} \gg \frac{\partial F_1}{\partial d}, \tag{7}$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial d} \gg \frac{\partial F_2}{\partial b}. \tag{8}$$

Толщина $d$ в первом случае и толщина $b$ во втором измеряются с некоторой погрешностью, которая минимизируется выбором характеристик указанных преобразователей.

8.1.3 В случае двухслойного (неферромагнетик-ферромагнетик) основания:

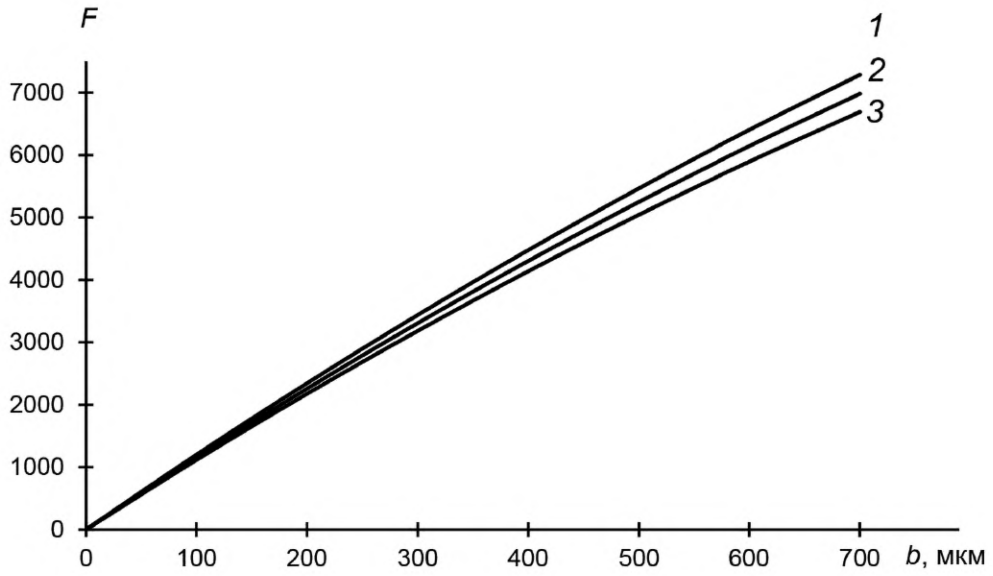
- при контроле толщины никелевых покрытий под хромовыми намагниченность ферромагнитного корпуса камеры сгорания может оказывать существенное влияние на сигнал $F_1$, т. е. к трем параметрам функции (6) добавляется толщина $s$ неферромагнитной прослойки между покрытием и корпусом;
- при контроле толщины хромовых покрытий на никелевых с использованием преобразователя с оптимизированными характеристиками ферромагнитный корпус не намагничивается (дополнительная погрешность $\Delta_s$, обусловленная намагниченностью корпуса, отсутствует).

Следовательно:

- в первом случае используется магнитодинамический преобразователь, удовлетворяющий условию (7); компенсация дополнительной погрешности $\Delta_s$ осуществляется настройкой нуля прибора (см. 6.1.2);
- во втором случае используется магнитодинамический преобразователь, удовлетворяющий условию (8).

### 8.2 Контроль толщины никелевых покрытий под хромовыми

8.2.1 На рисунке 4 показана зависимость информативного сигнала $F$ магнитодинамического преобразователя с оптимизированными характеристиками, предназначенного для контроля толщины $b$ никелевых покрытий в диапазоне до 700 мкм под хромовыми толщиной $d$ до 200 мкм (основание неферромагнитное).




*1* — кривая, соответствующая толщине *d* = 0 (хром отсутствует), *2* — 100 мкм, *3* — 200 мкм

Рисунок 4 — Зависимость информативного сигнала *F* магнитодинамического преобразователя с оптимизированными характеристиками, предназначенного для контроля толщины *b* никелевых покрытий в диапазоне до 700 мкм под хромовыми толщиной *d* до 200 мкм (основание неферромагнитное)

Видно, что даже при максимальной толщине *d* кривая названной зависимости мало отличается от исходной кривой, соответствующей случаю *d* = 0; это свидетельствует о том, что дополнительная погрешность $\Delta_{Cr}$, обусловленная наличием хрома на никеле, незначительна, т. е. возможен контроль толщины никелевых покрытий под хромовыми в широком диапазоне толщины *d*.

В таблице 2 приведены количественные данные о величине погрешности контроля толщины никелевых покрытий под хромовыми при всех возможных сочетаниях толщин никелевых и хромовых покрытий камер сгорания.

Таблица 2 — Дополнительная погрешность $\Delta_{Cr}$, %, обусловленная хромовыми покрытиями на никелевых, при использовании магнитодинамического преобразователя с оптимизированными характеристиками (основание неферромагнитное)

| Толщина *b*, мкм | Толщина имитатора хромового покрытия, мкм | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 24 | 46 | 76 | 125 | 265 |
| 106 | 0,78 | 1,80 | 2,97 | 4,70 | 10,39 |
| 133 | 0,85 | 1,91 | 3,09 | 4,92 | 10,50 |
| 172 | 0,94 | 1,94 | 3,15 | 5,03 | 10,94 |
| 234 | 1,06 | 1,99 | 3,23 | 5,18 | 11,21 |
| 253 | 1,08 | 2,05 | 3,24 | 5,29 | 11,48 |
| 343 | 1,12 | 2,10 | 3,42 | 5,62 | 11,70 |
| 474 | 1,18 | 2,23 | 3,60 | 6,09 | 12,75 |
| 510 | 1,20 | 2,27 | 3,68 | 6,24 | 12,87 |
| 630 | 1,26 | 2,37 | 3,87 | 6,45 | 13,48 |

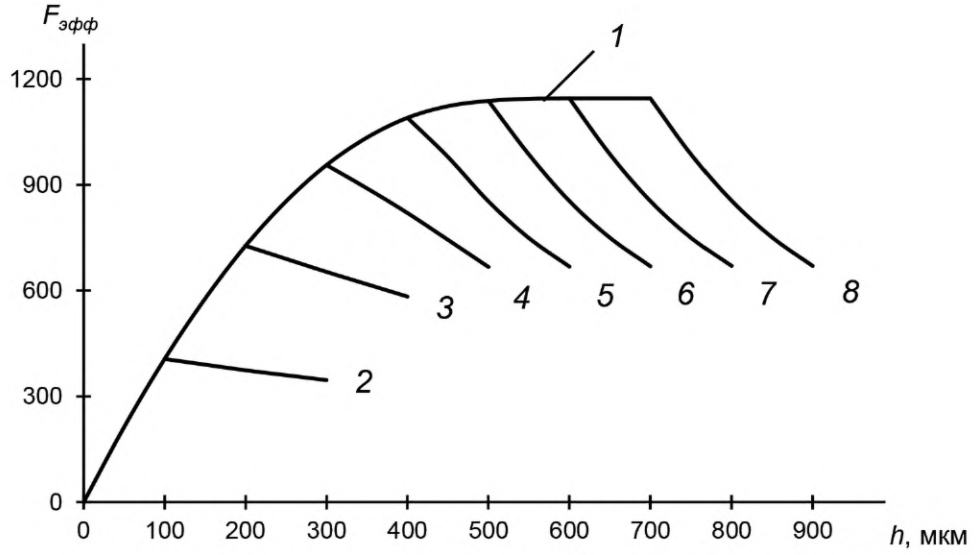
Видно, что при оптимальной энергии *W* (~ 180 мДж) дополнительная погрешность $\Delta_{Cr}$ снижается с уменьшением толщин *b* и *d*; в данном случае (*b* не более 700 мкм, *d* не более 200 мкм) она не выходит за – 10 % при любом сочетании этих толщин.

8.2.2 В случае двухслойных (неферромагнетик-ферромагнетик) оснований используется тот же преобразователь, при этом влияние намагниченности ферромагнетика компенсируется настройкой нуля прибора (см. 6.1.2).

### 8.3 Контроль толщины хромовых покрытий на никелевых

8.3.1 Применительно к контролю толщины хромовых покрытий на никелевых в случае камер сгорания жидкостных ракетных двигателей необходимо обеспечить измерения толщины *d* хромовых покрытий до 200 мкм на никелевых толщиной *b* в диапазоне от 100 до 700 мкм. Сигнал $F_{эфф}$ магнитодинамического преобразователя определяется толщинами *d* и *b*, а также магнитными (структурными) свойствами никеля; оптимизация характеристик преобразователя должна обеспечивать максимальную разрешающую способность по толщине *d* и минимальную по толщине *b*.

8.3.2 На рисунке 5 показана зависимость сигнала $F_{эфф}$ оптимизированного преобразователя от толщины *h* двухслойного никель-хромового покрытия.




*1* — кривая, соответствующая никелевому покрытию до нанесения хромового; *2* — хромовым покрытиям толщиной *d* до 200 мкм на никелевых толщиной *b* = 100 мкм; *3* — 200 мкм; *4* — 300 мкм; *5* — 400 мкм; *6* — 500 мкм; *7* — 600 мкм; *8* — 700 мкм

Рисунок 5 — Зависимость сигнала $F_{эфф}$ магнитодинамического преобразователя с оптимизированными характеристиками ($W \approx 15$ мДж) от толщины *h*

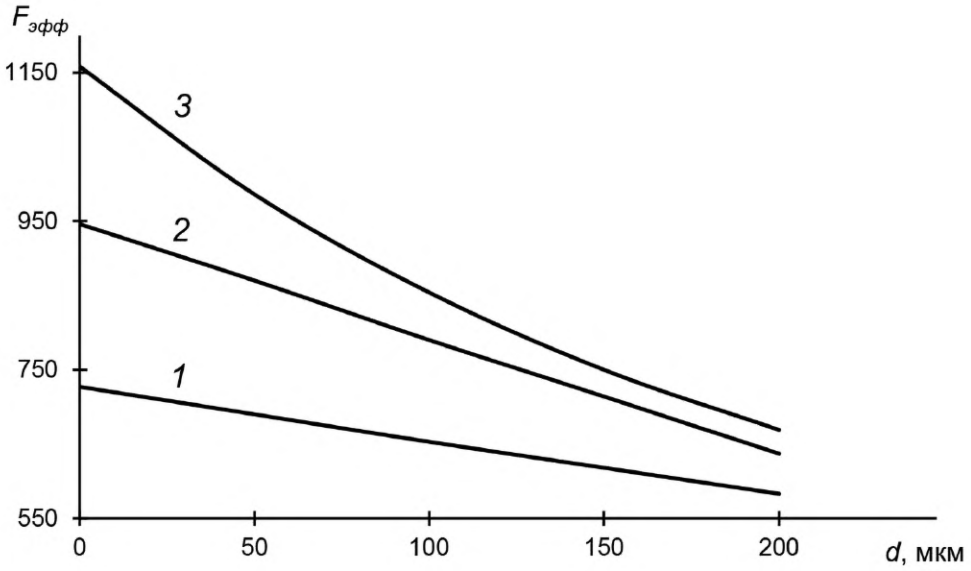
В таблице 3 приведена зависимость разрешающей способности этого преобразователя по толщине *d* в диапазоне до ~ 200 мкм от толщины *b*.

Таблица 3 — Зависимость разрешающей способности по толщине *d* в диапазоне до ~ 200 мкм от толщины *b* (оптимизированный магнитодинамический преобразователь для контроля толщины хромовых покрытий на никелевых)

| Наименование показателя | Значение показателя | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Толщина *b*, мкм | 102 | 233 | 355 | 515 | 724 |
| Разрешающая способность, мкм/ед. | 0,64 | 0,23 | 0,16 | 0,15 | 0,15 |

Из приведенных данных следует, что при толщине *b* свыше 400 мкм разрешающая способность по толщине *d* практически постоянна. Это упрощает задачу градуировки прибора, но не решает ее полностью из-за зависимости разрешающей способности от толщины *b* в диапазоне до 400 мкм, а также возможного влияния вариации магнитных (структурных) свойств никеля на сигнал $F_{эфф}$.

8.3.3 Кривая *1* на рисунке 5 является зависимостью сигнала $F_{эфф}$ от фактической толщины *b* и магнитных (структурных) свойств никеля; по кривым *2*—*8* выполняется градуировка прибора. Вариант такой градуировки показан на рисунке 6.




*1* — кривая, соответствующая толщине *b* = 200 мкм, *2* — 300 мкм, *3* — 500 мкм и более

Рисунок 6 — Градуировочные зависимости сигнала $F_{эфф}$ магнитодинамического преобразователя с оптимизированными характеристиками ($W \approx 15$ мДж) от толщины *d* в диапазоне до 200 мкм при разной толщине *b*

Приведенные градуировочные зависимости заносят в память прибора. По сигналу $F_{эфф}$, измеренному прибором на изделии до нанесения хрома, программное обеспечение при проведении контроля автоматически осуществляет выбор нужной градуировочной зависимости.

### 8.4 Выбор средства измерений

8.4.1 При выборе магнитодинамического прибора для контроля толщины никелевых покрытий под хромовыми следует руководствоваться рекомендациями, изложенными в 6.2.

8.4.2 Контроль толщины хромовых покрытий на никелевых проводят магнитодинамическим прибором, преобразователь которого имеет магнит с энергией *W* не более 15 мДж. В памяти прибора следует хранить необходимое число градуировочных зависимостей, полученных в заданных диапазонах толщин *d* и *b*. Программное обеспечение прибора после измерения в очередной контрольной точке, выполненного до нанесения хрома, должно автоматически выбирать градуировочную зависимость, соответствующую «эффективной» толщине *b* в этой точке для определения по этой зависимости толщины *d* после нанесения хрома.

8.4.3 При контроле толщины как хромовых покрытий на никелевых, так и никелевых под хромовыми рекомендуется использовать магнитодинамический прибор, оснащенный двумя съемными преобразователями и удовлетворяющий требованиям 8.4.1, 8.4.2.

## 9 Требования к магнитодинамическим приборам и их метрологическому обеспечению

### 9.1. Общие требования к магнитодинамическим приборам

9.1.1 В состав каждого магнитодинамического прибора должны входить электронный блок и магнитодинамический преобразователь (несколько съемных магнитодинамических преобразователей).

9.1.2 Магнитодинамический преобразователь, предназначенный для измерения толщины никелевых покрытий (в том числе под хромовыми), должен иметь постоянный стержневой магнит, изготовленный из неодим-железо-бора по ГОСТ Р 52956 и обладающий энергией *W* не менее 100 мДж.

Магнитодинамический преобразователь, предназначенный для измерения толщины хромовых покрытий на никелевых, должен иметь аналогичный магнит с энергией *W* от 10 до 15 мДж, неферромагнитных покрытий на ферромагнитных основаниях — от 15 до 150 мДж.

9.1.3 Магнитодинамический прибор должен обеспечивать заданный диапазон (заданные диапазоны) измерений, при этом Δ не должна выходить за пределы, указанные в нормативно-технической документации на этот прибор, при соблюдении условий, перечисленных в этой документации.

9.1.4 Магнитодинамический прибор должен иметь действующее свидетельство о поверке.

9.1.5 Для контроля толщины неферромагнитных покрытий следует использовать приборы МТЦ-2М и МТЦ-3, никелевых — МТНП-1, двухслойных (хром на никеле) — МТДП-1 (см. приложение Б).

Допускается использование других сертифицированных магнитодинамических приборов, основные технические характеристики которых не хуже указанных в приложении Б.

### 9.2 Общие требования к метрологическому обеспечению магнитодинамических приборов

9.2.1 Градуировку магнитодинамических приборов следует выполнять в условиях по ГОСТ 8.395.

9.2.2 Градуировку магнитодинамических приборов, предназначенных для контроля толщины никелевых покрытий, следует выполнять на мерах толщины покрытий МТОНП или МТ-НП, зарегистрированных в Госреестре РФ под № 44899-10, либо других мерах с аналогичными характеристиками.

9.2.3 Градуировку магнитодинамических приборов, предназначенных для контроля толщины двухслойных (хром на никеле) покрытий, следует выполнять на мерах толщины покрытий МТДХПН, зарегистрированных в Госреестре РФ под № 44899-10, либо других мерах с аналогичными характеристиками.

Допускается выполнение градуировки на мерах МТОНП с наложением на них мер, имитирующих хромовые покрытия в заданном диапазоне их толщины (например, меры толщины покрытий ИТП, зарегистрированные в Госреестре РФ под № 34825-07).

9.2.4 Градуировку магнитодинамических приборов, предназначенных для контроля толщины неферромагнитных покрытий на ферромагнитных основаниях, следует выполнять на мерах, изготовленных в виде покрытий из износостойкого неферромагнитного материала, нанесенных на основания, по своим магнитным свойствам идентичные изделиям с контролируемыми покрытиями (способ изготовления мер изложен в патенте РФ № 2392581).

Допускается выполнение градуировки на мерах ИТП, накладываемых поочередно на плоское основание, по своим магнитным свойствам идентичное вышеуказанным изделиям, либо других мерах с аналогичными характеристиками.

9.2.5 Поверку магнитодинамических приборов, предназначенных для контроля толщины никелевых (неферромагнитных) покрытий, следует проводить в соответствии с ГОСТ 8.502 на мерах, указанных в 9.2.2 (9.2.4).

9.2.6 Поверка магнитодинамических приборов, предназначенных для контроля толщины двухслойных (хром на никеле) покрытий, должна проводиться в соответствии с документом, содержащим условия и методику проведения поверки, утвержденным в установленном порядке и поставляемым вместе с прибором. При проведении поверки следует использовать меры, указанные в 9.2.3.

9.2.7 Интервал между поверками магнитодинамических приборов не должен быть более двух лет.

9.2.8 Наборы мер, используемые при проведении градуировки (поверки) магнитодинамических приборов, должны иметь действующие свидетельства о поверке. При поверке рекомендуется использовать правила, утвержденные ВНИИМС [1], при этом интервал между поверками не должен быть более двух лет.

## 10 Подготовка и проведение контроля толщины покрытий

10.1 Все операции по подготовке и проведению контроля должны выполнять лица, обладающие необходимыми навыками работы с магнитными толщиномерами, а также изучившими соответствующие нормативные и технические документы.

10.2 Перед проведением контроля должны быть соблюдены требования, изложенные в эксплуатационной документации, поставляемой вместе с магнитодинамическим прибором.

10.3 Контроль следует проводить в условиях, соответствующих ГОСТ 8.050, с соблюдением требований, изложенных в той же документации.

10.4 Контроль следует проводить только в заданных контрольных точках изделия с соблюдением:

- последовательности, регламентированной соответствующей технической документацией на контролируемое изделие;
- требований, изложенных в эксплуатационной документации, поставляемой вместе с магнитодинамическим прибором.

10.5 При проведении контроля следует избегать установки преобразователя прибора на края контролируемой поверхности.

10.6 В каждой контрольной точке изделия необходимо выполнить не менее трех последовательных измерений.

10.7 По показаниям $a_{ij}$ прибора, полученным при проведении измерений в каждой контрольной точке изделия, вычисляют среднее арифметическое значение $a_i$ по формле

$$a_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij}, \tag{9}$$

где $n$ — число показаний, полученных в контрольной точке;

$i$ — номер этой точки;

$j$ — номер показания, полученного в указанной точке.

10.8 Каждое значение $a_i$ фиксируют и в дальнейшем принимают за толщину покрытия в $i$-й контрольной точке изделия.

## 11 Обработка и представление результатов измерений

11.1 При проверке работоспособности магнитодинамического прибора, предназначенного для контроля однослойных (двухслойных) покрытий, на образце (каждом из образцов) для проверки работоспособности, поставляемом (поставляемых) вместе с прибором, проводят пять последовательных измерений. Соответствующие им показания $a_{ij}$ прибора заносят в протокол, приведенный в приложениях В, Г.

По показаниям $a_{ij}$ по формуле (9) вычисляют их среднее арифметическое значение $a_i$, которое заносят в вышеуказанный протокол.

Допускаемую погрешность $\Delta_{доп}$ определяют по эксплуатационной документации прибора с учетом толщины названного образца (каждого из названных образцов) и заносят в вышеуказанный протокол.

Результаты проверки работоспособности считают положительными, если параметр $a_i$ не превышает допускаемую погрешность $\Delta_{доп}$.

11.2 На каждой мере толщины покрытия выполняют не менее пяти измерений, получая при этом такое же число показаний прибора. Все эти показания заносят в протокол, приведенный в приложениях В, Г.

11.3 Неисключенную систематическую погрешность $\Delta_{ij}$ каждого показания $a_{ij}$ прибора вычисляют по формуле

$$\Delta_{ij} = \left|a_{ij} - c_i\right|, \tag{10}$$

где $c_i$ — толщина покрытия меры, на которой это показание получено;

$i$ — номер меры толщины покрытий;

$j$ — номер показания, полученного на $i$-й мере.

11.4 Неисключенную систематическую погрешность $\Theta_i$ показаний прибора, полученных на каждой мере толщины покрытия, вычисляют по формуле

$$\Theta_i = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} \Delta_{ij}, \tag{11}$$

где $m$ — число показаний, полученных на $i$-й мере.

11.5 Принимают доверительную вероятность $P$ равной 0,95. С учетом этого доверительные границы $\Theta_i(P)$ неисключенной систематической погрешности показаний прибора, полученных на каждой мере толщины покрытия, вычисляют по формуле

$$\Theta_i(P) = 1{,}1\Theta_i. \tag{12}$$

11.6 Случайную погрешность $\Delta_{ij}^0$ каждого показания прибора вычисляют по формуле

$$\Delta_{ij}^0 = \Delta_{ij} - \Theta_i. \tag{13}$$

11.7 Среднее квадратическое отклонение $S_i$ случайной погрешности показаний прибора, полученных на каждой мере толщины покрытия, вычисляют по формуле

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{m}\left(\Delta_{ij}^{0}\right)^2}{m(m-1)}}. \qquad (14)$$

11.8 Доверительные границы $\varepsilon_i(P)$ случайной погрешности показаний прибора, полученных на каждой мере толщины покрытия, вычисляют по формуле

$$\varepsilon_i(P) = k_P S_i, \qquad (15)$$

где $k_P$ — коэффициент Стьюдента, зависящий от принятой доверительной вероятности $P$ и числа $m$ показаний прибора, полученных на каждой мере.

11.9 Сравнивают между собой параметры $\Theta_i$, $S_i$; для этого вычисляют отношение $\frac{\Theta_i}{S_i}$.

Если выполняется неравенство $\frac{\Theta_i}{S_i} < 0{,}8$, то параметром $\Theta_i$ пренебрегают и в качестве погрешности $\Delta_i$ результата измерения толщины покрытия $i$-й меры принимают параметр $S_i$. В этом случае

$$\Delta_i = \varepsilon_i(P). \qquad (16)$$

Если выполняется неравенство $0{,}8 \le \frac{\Theta_i}{S_i} \le 8$, то погрешность $\Delta_i$ с учетом $P$ = 0,95 вычисляют по формуле

$$\Delta_i = 0{,}76\left[\Theta_i(P) + \varepsilon_i(P)\right]. \qquad (17)$$

Если выполняется неравенство $\frac{\Theta_i}{S_i} > 8$, то параметром $S_i$ пренебрегают и в качестве погрешности $\Delta_i$ принимают параметр $\Theta_i$. В этом случае

$$\Delta_i = \Theta_i(P). \qquad (18)$$

11.10 Параметры $\Theta_i(P)$, $\varepsilon_i$(P), $\Delta_i$ для каждой меры толщины покрытия заносят в протокол, приведенный в приложениях В, Г.

11.11 Определяют для каждой меры толщины покрытия допускаемую погрешность $\Delta_{i\,\text{доп}}$ прибора по его эксплуатационной документации с учетом толщины этой меры и заносят в вышеуказанный протокол.

11.12 Сравнивают между собой параметры $\Delta_i$ и $\Delta_{i\,\text{доп}}$.

Результаты поверки (испытаний) считают положительными, если для каждой меры толщины покрытия выполняется неравенство

$$\Delta_i \le \Delta_{i\,\text{доп}}. \qquad (19)$$

**Приложение А**
**(справочное)**

## Компенсация влияния намагниченности ферромагнетика на результаты контроля толщины никелевых покрытий на двухслойных (неферромагнетик-ферромагнетик) основаниях

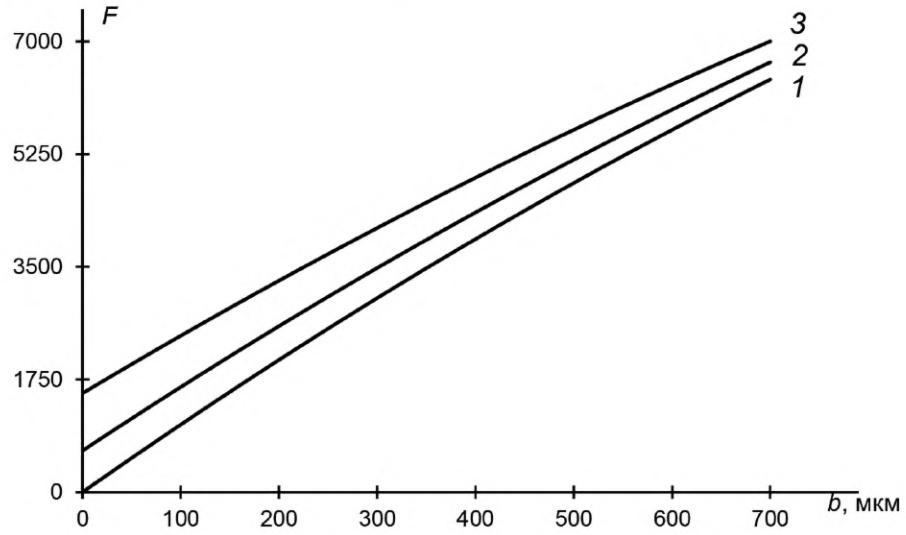
А.1 При контроле никелевых покрытий камер сгорания жидкостных ракетных двигателей сущность настройки нуля сводится к измерению, фиксированию в памяти магнитодинамического прибора и последующей автоматической компенсации сигнала, обусловленного намагниченностью корпуса камеры.

А.2 Так как градуировка прибора проводится по обычным мерам толщины покрытий, сигнал $F$ зависит только от толщины $b$. Применительно к камерам сгорания эту зависимость можно представить в виде функции

$$F = f\left(b, s_{\infty}\right), \tag{А.1}$$

где $s_{\infty}$ — бесконечно большая толщина неферромагнитной прослойки, расположенной между покрытием и корпусом камеры.

Функция (А.1) изображена в виде кривой *1* на рисунке А.1.




*1* — кривая, соответствующая толщине $s = \infty$; *2* — 4,5 мм; *3* — 2,5 мм

Рисунок А.1 — Зависимость сигнала $F$ от толщины $b$ при разной толщине $s$ (преобразователь с оптимизированными характеристиками)

А.3 При контроле камер сгорания вместо основной градуировочной зависимости (А.1) необходимо использовать зависимости вида

$$F = f\left(b, s\right). \tag{А.2}$$

Функция (А.2) изображена в виде кривых *2*, *3* на рисунке А.1. Выбор кривой определяется толщиной $s$ в контрольной точке камеры.

А.4 Градуировочные кривые, соответствующие функции (А.2), могут быть получены предварительно путем измерений, выполненных на моделях контролируемой камеры. Эти модели формируются непосредственно в ходе измерений путем наложения на плоское основание из материала корпуса камеры неферромагнитных пластин толщиной $s$ и никелевых толщиной $b$. Результаты измерений представляют собой зависимости, каждая из которых соответствует конкретной толщине $s$; все они в аналитическом виде заносятся в память прибора.

А.5 Контроль в каждой точке камеры проводят с учетом сигнала, зависящего только от толщины $s$ в этой точке (он измеряется предварительно на модели, состоящей из вышеуказанного основания и наложенной на него неферромагнитной пластины, толщина которой равна указанной). При проведении контроля программное обеспечение прибора автоматически корректирует по данному сигналу основную градуировочную зависимость, что максимально упрощает методику контроля.

Реализация такого подхода обеспечивает компенсацию или минимизацию дополнительной погрешности, обусловленной намагниченностью корпуса камеры, при этом задача метрологического обеспечения прибора не усложняется (градуировка и поверка проводятся без настройки нуля на обычных мерах).

**Приложение Б**
**(справочное)**

## Основные технические характеристики сертифицированных магнитодинамических приборов

### Б.1 Приборы МТЦ-2М (зарегистрированы в Госреестре РФ под № 25537-03, Госреестре РБ под № 03 20 1784 11)

Б.1.1 Выпускаются в виде следующих модификаций:

- МТЦ-2М-1, МТЦ-2М-4 — для измерения толщины нетокопроводящих и токопроводящих неферромагнитных покрытий (краска, лак, цинк и др.), нанесенных на основания из ферромагнитных материалов;
- МТЦ-2М-2 — для измерения толщины никелевых покрытий, нанесенных на основания из неферромагнитных материалов;
- МТЦ-2М-3 — для измерения толщины никелевых покрытий, нанесенных на основания из ферромагнитных материалов.

Б.1.2 Диапазон измерений составляет:

- МТЦ-2М-1 — от 0 до 5000 мкм;
- МТЦ-2М-2, МТЦ-2М-3 — от 0 до 100 мкм;
- МТЦ-2М-4 — от 0 до 500 мкм.

Б.1.3 Основная допускаемая погрешность не выходит за пределы ± (1,5 + 0,02$h$) мкм, где $h$ — измеряемая толщина покрытия в мкм, при соблюдении следующих условий:

- изделие является полностью размагниченным;
- толщина основания под покрытием (модификации МТЦ-2М-1, МТЦ-2М-3, МТЦ-2М-4) не менее 1 мм;
- радиус кривизны основания под покрытием не менее 40 мм;
- параметр $R_z$ шероховатости поверхностей покрытия и основания не более 8,0 мкм;
- расстояние от края преобразователя до края изделия не менее 2 мм.

Б.1.4 Время одного измерения — не более 1 с.

Б.1.5 Питание осуществляется от четырех батареек типа ААА или аналогичных аккумуляторов, при этом время непрерывной работы составляет не менее 8 ч.

Б.1.6 Габаритные размеры, не более:

- электронный блок — 150 × 80 × 30 мм;
- преобразователя — Ø19 × 55 мм.

Б.1.7 Масса — не более 0,3 кг.

### Б.2 Приборы МТЦ-3 (зарегистрированы в Госреестре РФ под № 29227-05, Госреестре РБ под № 03 20 2299 11)

Б.2.1 Выпускаются в виде следующих модификаций:

- МТЦ-3 (базовая модель) — для измерения толщины нетокопроводящих и токопроводящих неферромагнитных покрытий (краска, лак, цинк и др.), нанесенных на основания из ферромагнитных материалов, а также никелевых покрытий, нанесенных на основания из неферромагнитных и ферромагнитных материалов;
- МТЦ-3-1, МТЦ-3-2, МТЦ-3-3 — для измерения толщины нетокопроводящих и токопроводящих неферромагнитных покрытий, нанесенных на основания из ферромагнитных материалов;
- МТЦ-3-4 — для измерения толщины никелевых покрытий, нанесенных на основания из ферромагнитных материалов;
- МТЦ-3-5 — для измерения толщины никелевых покрытий, нанесенных на основания из неферромагнитных материалов.

Б.2.2 Диапазон измерений составляет:

- МТЦ-3:
- неферромагнитные покрытия — от 0 до 6000 мкм;
- никелевые покрытия — от 0 до 150 мкм;
- МТЦ-3-1 — от 0 до 1000 мкм;
- МТЦ-3-2 — от 0 до 5000 мкм;
- МТЦ-3-3 — от 0 до 10 000 мкм;
- МТЦ-3-4 — от 0 до 50 мкм;
- МТЦ-3-5 — от 0 до 100 мкм.

Б.2.3 Основная допускаемая погрешность соответствует указанной в Б.1.3 при соблюдении изложенных там же условий.

Б.2.4 Остальные характеристики соответствуют указанным в Б.1.4—Б.1.7.

### Б.3 Приборы МТНП-1 (зарегистрированы в Госреестре РФ под № 44898-10)

Б.3.1 Предназначены для измерения толщины никелевых покрытий на неферромагнитных и двухслойных (неферромагнетик-ферромагнетик) основаниях.

Б.3.2 Диапазон измерений — от 0 до 700 мкм.

Б.3.3 Основная допускаемая погрешность не выходит за пределы ± (1,5 + 0,03*h*) мкм, где *h* — измеряемая толщина покрытия в мкм, при соблюдении следующих условий:

- в случае двухслойного основания толщина его неферромагнитного слоя составляет не менее 10 мм (при меньшей толщине необходима настройка нуля);
- радиус кривизны поверхности покрытия составляет не менее 150 мкм;
- параметр $R_z$ шероховатости поверхностей покрытия и основания, расстояние от края преобразователя до края изделия соответствуют указанным в Б.1.3.

Б.3.4 Остальные характеристики соответствуют указанным в Б.1.4—Б.1.7.

**Б.4 Приборы МТДП-1 (зарегистрированы в Госреестре РФ под № 50930-12)**

Б.4.1 Предназначены для измерения толщины двухслойных покрытий (неферромагнитных покрытий на никелевых, никелевых покрытий под неферромагнитными) на неферромагнитных и двухслойных (неферромагнетик-ферромагнетик) основаниях.

Б.4.2 Каждый прибор МТДП-1 имеет два съемных преобразователя, один из которых предназначен для измерения толщины неферромагнитных покрытий на никелевых, другой — никелевых покрытий под неферромагнитными.

Б.4.3 Диапазон измерений:

- толщины неферромагнитных покрытий составляет от 0 до 150 мкм (на никелевых толщиной от 200 до 700 мкм);
- толщины никелевых покрытий составляет от 0 до 700 мкм (поднеферромагнитными толщиной не более 150 мкм).

Б.4.4 Основная допускаемая погрешность:

- при измерении толщины неферромагнитных покрытий на никелевых толщиной от 200 до 700 мкм не выходит за пределы ± (5 + 0,05*h*) мкм, где *h* — измеряемая толщина в мкм;
- при измерении толщины никелевых покрытий под неферромагнитными толщиной не более 150 мкм не выходит за пределы ± (1,5 + 0,1*h*) мкм, где *h* — измеряемая толщина в мкм (при соблюдении условий, указанных в Б.3.3).

Б.4.5 Остальные характеристики соответствуют указанным в Б.1.4—Б.1.7.

**Приложение В**
**(рекомендуемое)**

## Форма протокола испытаний (проверки) магнитодинамического прибора для контроля толщины однослойных покрытий

Магнитный толщиномер _____
(обозначение прибора, его заводской номер)

Изготовлен _____
(наименования изготовителя, дата изготовления прибора)

Принадлежит _____
(наименование предприятия, которому принадлежит прибор)

Номер свидетельства о поверке толщиномера: _____

Дата окончания срока действия свидетельства: «____» _____20___ г.
Условия проведения испытаний (проверки):

- температура воздуха _____

- влажность воздуха _____

- атмосферное давление _____

Результаты проверки работоспособности толщиномера

| № показания прибора | $a_{ij}$, мкм | $a_i$, мкм | $\Delta_{доп}$, мкм |
|---|---|---|---|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |

По результатам проверки работоспособности толщиномер признан _____к проведению измерений.
(годным, негодным)

Результаты измерений

| № меры | № показания прибора | $a_{ij}$, мкм | $\theta_i(p)$, мкм | $\varepsilon_i(p)$, мкм | $\Delta_i(p)$, мкм | $\Delta_{i\,доп}$, мкм |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *i* | 1 | | | | | |
| | 2 | | | | | |
| | | | | | | |
| | *j* | | | | | |

Испытания (проверку) проводил _____
(должность и ФИО лица, проводившего контроль)

Дата проведения испытаний (проверки): «____» _____20___ г.

**Приложение Г**
**(рекомендуемое)**

## Форма протокола испытаний (проверки) магнитодинамического прибора для контроля толщины двухслойных покрытий

Магнитный толщиномер _____
(обозначение прибора, его заводской номер)

Изготовлен _____
(наименование изготовителя, дата изготовления прибора)

Принадлежит _____
(наименование предприятия, которому принадлежит прибор)

Номер свидетельства о поверке толщиномера: _____

Дата окончания срока действия свидетельства: «____» _____20___ г.
Условия проведения испытаний (проверки):

- температура воздуха _____

- влажность воздуха _____

- атмосферное давление _____

Результаты проверки работоспособности толщиномера

| Тип покрытия | № показания прибора | $a_{ij}$, мкм | $a_i$, мкм | $\Delta_{доп}$, мкм |
|---|---|---|---|---|
| Хромовое покрытие на никелевом | 1 | | | |
| | 2 | | | |
| | 3 | | | |
| | 4 | | | |
| | 5 | | | |
| Никелевое покрытие под хромовым | 1 | | | |
| | 2 | | | |
| | 3 | | | |
| | 4 | | | |
| | 5 | | | |

По результатам проверки работоспособности толщиномер признан _____ к проведению измерений.
(годным, негодным)

Результаты измерений толщины хромовых покрытий на никелевых

| № меры | № показания прибора | $a_{ij}$, мкм | $\theta_i(p)$, мкм | $\varepsilon_i(p)$, мкм | $\Delta_i(p)$, мкм | $\Delta_{i\,доп}$, мкм |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *i* | 1 | | | | | |
| | 2 | | | | | |
| | | | | | | |
| | *j* | | | | | |

Результаты измерений толщины никелевых покрытий под хромовыми

| № меры | № показания прибора | $a_{ij}$, мкм | $\theta_i(p)$, мкм | $\varepsilon_i(p)$, мкм | $\Delta_i(p)$, мкм | $\Delta_{i\,доп}$, мкм |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *i* | 1 | | | | | |
| | 2 | | | | | |
| | | | | | | |
| | *j* | | | | | |

Испытания (проверку) проводил _____

(должность и ФИО лица, проводившего контроль)

Дата проведения испытаний (проверки): «____» _____20___ г.

## Библиография

[1] Рекомендация МИ 1903-97 Государственная система обеспечения единства измерений. Эталоны толщины покрытий. Методика поверки

УДК 389.6:538.27.08:006.354 ОКС 17.220

Ключевые слова: неразрушающий контроль, магнитодинамический метод, магнитные свойства, толщина покрытия, метрологическое обеспечение

Редактор *Е.В. Яковлева*
Технические редакторы *В.Н. Прусакова, И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.М. Поляченко*
Компьютерная верстка *Д.В. Кардановской*

Сдано в набор 30.09.2019. Подписано в печать 25.10.2019. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,55.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
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