



SLOVENSKI STANDARD
oSIST prEN ISO 2178:2015
01-februar-2015

**Nemagnetne prevleke na magnetnih osnovah - Merjenje debeline prevleke -
Magnetna metoda (ISO/DIS 2178:2014)**

Non-magnetic coatings on magnetic substrates - Measurement of coating thickness -
Magnetic method (ISO/DIS 2178:2014)

Nichtmagnetische Überzüge auf magnetischen Grundmetallen - Messen der
Schichtdicke - Magnetverfahren (ISO/DIS 2178:2014)

Revêtement métalliques non magnétiques sur métal de base magnétique - Mesurage de
l'épaisseur du revêtement - Méthode magnétique (ISO/DIS 2178:2014)

Ta slovenski standard je istoveten z: prEN ISO 2178

ICS:

17.040.20	Lastnosti površin	Properties of surfaces
25.220.40	Kovinske prevleke	Metallic coatings
25.220.50	Emajlne prevleke	Enamels

oSIST prEN ISO 2178:2015

de

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

ENTWURF
prEN ISO 2178

November 2014

ICS 25.220.40; 25.220.50

Vorgesehen als Ersatz für EN ISO 2178:1995

Deutsche Fassung

Nichtmagnetische Überzüge auf magnetischen Grundmetallen - Messen der Schichtdicke - Magnetverfahren (ISO/DIS 2178:2014)

Non-magnetic coatings on magnetic substrates -
Measurement of coating thickness - Magnetic method
(ISO/DIS 2178:2014)

Revêtement métalliques non magnétiques sur métal de
base magnétique - Mesurage de l'épaisseur du revêtement
- Méthode magnétique (ISO/DIS 2178:2014)

Dieser Europäische Norm-Entwurf wird den CEN-Mitgliedern zur parallelen Umfrage vorgelegt. Er wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 262 erstellt.

Wenn aus diesem Norm-Entwurf eine Europäische Norm wird, sind die CEN-Mitglieder gehalten, die CEN-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Dieser Europäische Norm-Entwurf wurde vom CEN in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch) erstellt. Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum des CEN-CENELEC mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Warnvermerk : Dieses Schriftstück hat noch nicht den Status einer Europäischen Norm. Es wird zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Es kann sich noch ohne Ankündigung ändern und darf nicht als Europäischen Norm in Bezug genommen werden.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Prinzip der Messung	6
4.1 Grundprinzip aller magnetischen Messverfahren	6
4.2 Magnetisches Abzugskraftverfahren	6
4.3 Magnetinduktives Verfahren	7
4.4 Magnetflussmessgerät	9
5 Faktoren, die die Messgenauigkeit beeinflussen	10
5.1 Einfluss der Schichtdicke	10
5.2 Magnetische Eigenschaften des Grundmetalls	10
5.3 Elektrische Eigenschaften der Beschichtungen	10
5.4 Geometrie – Dicke des Grundmetalls	10
5.5 Kanteneffekte	11
5.6 Geometrie – Oberflächenkrümmung	11
5.7 Oberflächenrauheit	11
5.8 Sauberkeit – Abhebeeffekt	11
5.9 Anpressdruck des Prüfkopfs	11
5.10 Neigung des Prüfkopfs	12
5.11 Temperatureffekte	12
5.12 Äußere elektromagnetische Felder	12
6 Kalibrierung und Justierung des Messgeräts	12
6.1 Allgemeines	12
6.2 Schichtdickennormale	13
6.3 Justierverfahren	13
7 Durchführung der Messung und Auswertung	14
7.1 Allgemeines	14
7.2 Anzahl der Messungen und Auswertung	14
8 Unsicherheit der Ergebnisse	15
8.1 Allgemeine Bemerkungen	15
8.2 Unsicherheit der Kalibrierung des Messgeräts	15
8.3 Stochastische Fehler	16
8.4 Unsicherheiten durch Faktoren, die in Abschnitt 5 zusammengefasst sind	17
8.5 Kombinierte Unsicherheit, erweiterte Unsicherheit und Endergebnis	17
9 Präzision	18
9.1 Allgemeines	18
9.2 Wiederholgenauigkeit r	18
9.3 Vergleichsgrenze R	18
10 Prüfbericht	19
Anhang A (informativ) Grundprinzip aller Messverfahren	20
Anhang B (informativ) Grundlagen zur Bestimmung der Unsicherheit einer Messung des angewandten Messverfahrens nach ISO/IEC Guide 98-3	22

Anhang C (informativ) Grundlegende Leistungsanforderungen an Schichtdickenmessgeräte nach dem in dieser Norm beschriebenen magnetischen Verfahren	24
C.1 Technische Spezifikation.....	24
C.2 Kontrolle/Verifizierung von Messgeräten und Prüfköpfen vor der Lieferung, nach Reparatur und nach regelmäßigen Zeitabständen nach der Nutzung	24
C.3 Vor Ort durchgeführte Kontrolle/Verifizierung von Messgeräten und Prüfköpfen.....	25
Anhang D (informativ) Experimentelle Abschätzung von Faktoren, die die Messgenauigkeit beeinflussen - Beispiele.....	26
D.1 Allgemeines	26
D.2 Kanteneffekt.....	26
D.3 Dicke des Grundmetalls.....	27
D.4 Oberflächenkrümmung	28
D.5 Magnetische Eigenschaften des Grundmetalls.....	29
Anhang E (informativ) Tabelle des Student-Faktors	31
Anhang F (informativ) Beispiel für die Abschätzung der Unsicherheit (siehe Abschnitt 8)	32
F.1 Zu messende Probe	32
F.2 Zu unternehmende Schritte.....	32
Anhang G (informativ) Angaben zur Präzision	35
G.1 Allgemeine Anmerkungen zum Ringversuch	35
G.2 Proben	35
G.3 Schichtdickenmessgeräte	35
G.4 Kalibrierung	35
G.5 Anzahl der Messungen	36
G.6 Auswertung	36

(standards.iteh.ai)

SIST EN ISO 2178:2016

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f5c543e1-e232-4bd3-b8e3-1a170d8d4d99/sist-en-iso-2178-2016>

prEN ISO 2178:2014 (D)

Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 2178:2014) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 107 „Metallic and other inorganic coatings“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 262 „Metallische und andere anorganische Überzüge“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 2178:2014 wurde vom CEN als prEN ISO 2178:2014 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[SIST EN ISO 2178:2016](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f5c543e1-e232-4bd3-b8e3-1a170d8d4d99/sist-en-iso-2178-2016)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f5c543e1-e232-4bd3-b8e3-1a170d8d4d99/sist-en-iso-2178-2016>

1 Anwendungsbereich

In der vorliegenden Internationalen Norm wird ein Verfahren für zerstörungsfreie Schichtdickenmessungen nichtmagnetischer Beschichtungen auf magnetischen Grundmetallen beschrieben.

Es handelt sich um berührende und zerstörungsfreie Messungen auf üblichen Überzügen. Der Prüfkopf oder ein Messgerät mit integrierter Sonde wird direkt auf dem zu messenden Überzug aufgesetzt. Das Messgerät gibt die Schichtdicke an.

ANMERKUNG Dieses Verfahren kann auch bei Messung magnetisierbarer Überzüge auf nichtmagnetisierbaren Grundmetallen oder anderen Werkstoffen angewandt werden (siehe ISO 2361).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 99:2007, *International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

ISO 2064, *Metallic and other non-organic coatings — Definitions and conventions concerning the measurement of thickness*

ISO 2360, *Non-conductive coatings on non-magnetic electrically conductive basis materials — Measurement of coating thickness — Amplitude-sensitive eddy current method*

ISO 2361, *Electrodeposited nickel coatings on magnetic and non-magnetic substrates — Measurement of coating thickness — Magnetic method*

ISO 2808, *Paints and varnishes — Determination of film thickness*

ISO 4618, *Paints and varnishes — Terms and definitions*

ISO 21968, *Non-magnetic metallic coatings on metallic and non-metallic basis materials — Measurement of coating thickness — Phase-sensitive eddy-current method*

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 2064 und ISO 4618 und die folgenden Begriffe.

3.1

Justierung eines Messsystems

Reihe von Tätigkeiten, die an einem Messsystem ausgeführt werden, sodass dieses festgelegte Anzeigen liefert, die Werten einer zu messenden Größe entsprechen

Anmerkung 1 zum Begriff: Zur Justierung eines Messsystems können Nullpunkteinstellung, Abgleich der Nullpunktverschiebung (Offsetjustierung) und Bereichsjustierung (manchmal als Gain-Abgleich bezeichnet) gehören.

prEN ISO 2178:2014 (D)

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Justierung eines Messsystems sollte nicht mit der Kalibrierung verwechselt werden, die eine Grundvoraussetzung für die Justierung ist.

Anmerkung 3 zum Begriff: Nach einer Justierung eines Messsystems ist das Messsystem im Allgemeinen erneut zu kalibrieren.

[QUELLE: VIM, ISO 99:2007, 3.11]

Anmerkung 4 zum Begriff: Umgangssprachlich wird der Begriff Kalibrierung häufig, jedoch fälschlicherweise, anstelle des Begriffs Justierung verwendet. In gleicher Weise werden die Begriffe Verifizierung oder Kontrolle anstelle des korrekten Begriffs Kalibrierung verwendet.

3.2 Kalibrierung
Tätigkeit, die unter festgelegten Bedingungen in einem ersten Schritt eine Beziehung zwischen den durch Normale zur Verfügung gestellten Größenwerten mit ihren Messunsicherheiten und den entsprechenden Anzeigen mit ihren beigeordneten Messunsicherheiten herstellt und in einem zweiten Schritt diese Informationen verwendet, um eine Beziehung herzustellen, mit deren Hilfe ein Messergebnis aus einer Anzeige erhalten wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Ergebnis einer Kalibrierung kann in Form einer Angabe, einer Kalibrierfunktion, eines Kalibrierdiagramms, einer Kalibrierkurve oder einer Kalibriertabelle angegeben werden. In einigen Fällen kann sie aus einer additiven oder multiplikativen Korrektur der Anzeige mit der beigeordneten Messunsicherheit bestehen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Kalibrierung sollte nicht mit Justierung eines Messsystems verwechselt werden, die oft fälschlicherweise "Selbst-Kalibrierung" genannt wird, und auch nicht mit Verifizierung der Kalibrierung.

Anmerkung 3 zum Begriff: Oft wird nur der erste Schritt in der obigen Definition als Kalibrierung angesehen.

[QUELLE: VIM, ISO 99:2007, 2.39]

4 Prinzip der Messung**4.1 Grundprinzip aller magnetischen Messverfahren**

Die magnetische Flussdichte in der Nähe eines magnetischen Felds (Dauermagnet oder Elektromagnet) hängt vom Abstand zu einem magnetisierbaren Grundmetall ab. Dieses Phänomen wird zur Bestimmung der Dicke einer auf einem Grundmetall aufgetragenen nichtmagnetischen Schicht verwendet.

ANMERKUNG 1 In Anhang A ist der physikalische Hintergrund dieses Effekts ausführlicher beschrieben.

Bei allen in dieser Norm behandelten Verfahren wird die Schichtdicke mithilfe der magnetischen Flussdichte bestimmt. Die Stärke der magnetischen Flussdichte wird in Abhängigkeit vom angewandten Verfahren in entsprechende elektrische Stromstärken, elektrische Spannungen oder mechanische Kräfte umgewandelt. Die Werte werden auf einem Messgerät mit geeigneter Skala entweder digital oder direkt angezeigt.

ANMERKUNG 2 Die in 4.3 und 4.4 beschriebenen Verfahren können außerdem zu einem Verfahren und der gleiche Prüfkopf kann mit einem anderen Verfahren kombiniert werden, z. B. mit dem Wirbelstromverfahren nach ISO 2360 oder ISO 21968.

4.2 Magnetisches Abzugskraftverfahren

Die magnetische Flussdichte eines Dauermagneten und somit die Anziehungskraft zwischen einem Dauermagneten und einem magnetisierbaren Grundmetall nehmen mit zunehmendem Abstand ab. Auf diese Weise ist die Anziehungskraft ein direktes Maß für die zu messende Schichtdicke.

Messgeräte, die nach dem magnetischen Haftkraftverfahren funktionieren, bestehen aus mindestens drei Teilen: einem Dauermagnet, einer Abzugeinrichtung mit kontinuierlich zunehmender Abzugskraft und einer Anzeige oder Skala für die Schichtdicke, die aus der Abzugskraft berechnet wird.

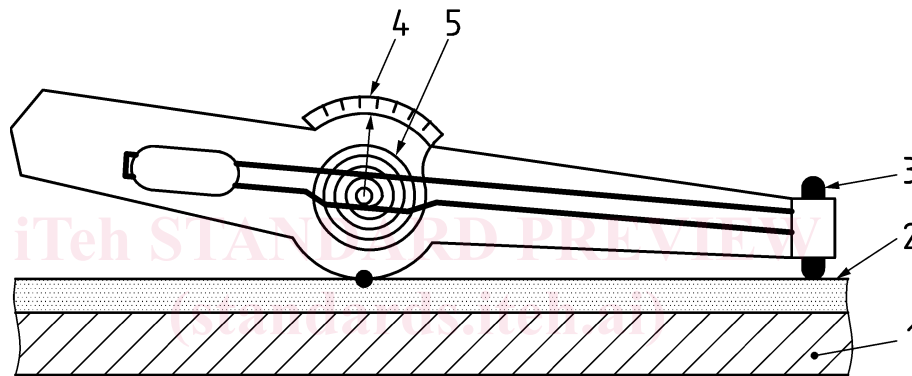
Die Abzugskraft kann durch verschiedene Arten von Federn oder durch eine elektromagnetische Einrichtung erzeugt werden.

Einige Messgeräte sind in der Lage, den Einfluss der Gravitation zu kompensieren und erlauben Messungen in allen Positionen.

Alle sonstigen Messgeräte dürfen nur in der vom Hersteller festgelegten Position verwendet werden.

Die Stelle, an der die Messung durchgeführt wird, muss sauber und frei von Flüssigkeiten oder pastösen Beschichtungen sein. Am Dauermagnet dürfen keine metallischen Partikel haften.

Elektrostatische Aufladung kann am Dauermagnet oder Messsystem zusätzliche Kräfte verursachen und ist daher zu vermeiden oder vor der Messung zu entladen.



Legende

- 1 Grundmetall
- 2 Beschichtung
- 3 Magnet
- 4 Skala
- 5 Feder

Bild 1 — Magnetisches Haftkraftmessgerät

4.3 Magnetinduktives Verfahren

Wenn in eine Spule ein Eisenkern eingeführt wird oder wenn ein Gegenstand aus Eisen, z. B. eine Platte, in die Nähe der Spule gebracht wird, verändert sich die elektrische Induktivität der Spule. Die elektrische Induktivität kann daher als Maß für den Abstand zwischen der Spule und einem ferromagnetischen Substrat oder als ein Maß für die Schichtdicke verwendet werden, wenn die Spule auf einem beschichteten magnetisierbaren Grundmetall aufgesetzt wird.

Es gibt viele unterschiedliche elektronische Verfahren zur Bewertung der Änderung der elektrischen Induktivität oder der Reaktion eines Spulensystems auf ein ferromagnetisches Substrat. Magnetinduktionssonden für Schichtdickenmessungen auf magnetisierbaren Werkstoffen können aus einer oder mehreren Spulen bestehen. Am häufigsten werden zwei Spulen verwendet (siehe Bild 2): die erste Spule (Primärspule) zur Erzeugung eines niederfrequenten magnetischen Wechselfeldes und die zweite Spule (Sekundärspule) zur Messung der resultierenden induzierten Spannung U . Wenn die Sonde auf einem beschichteten magnetisierbaren Werkstoff aufgesetzt wird ($\mu_r > 1$), verändern sich die magnetische Flussdichte (siehe Anhang A) und die induzierte Spannung der Sekundärspule in Abhängigkeit von der Schichtdicke. Die Funktion der induzierten Spannung in Abhängigkeit von der Schichtdicke ist nichtlinear und

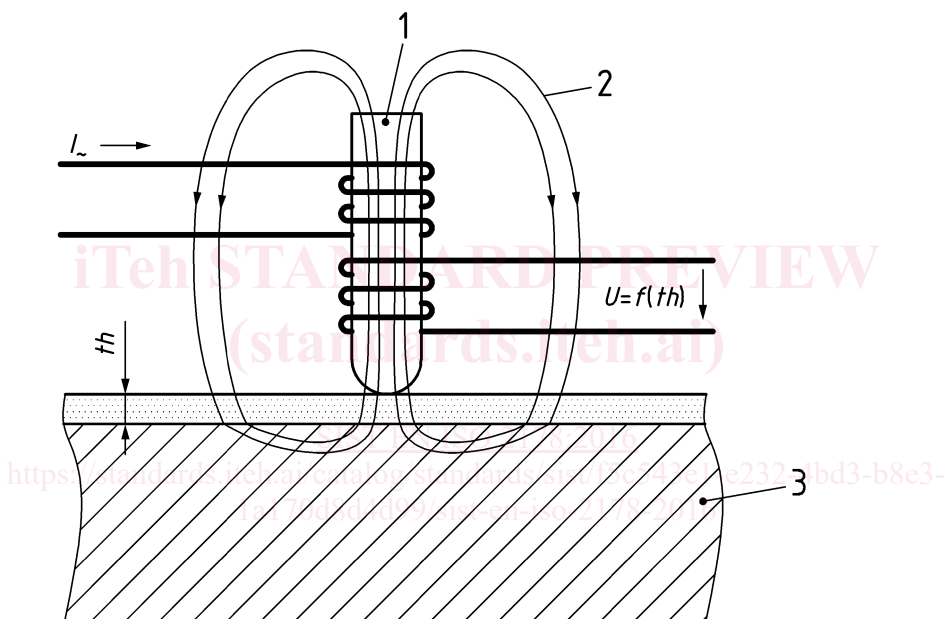
prEN ISO 2178:2014 (D)

hängt von der magnetischen Permeabilität μ_r des Grundmetalls ab. Sie wird normalerweise durch eine Kalibrierung bestimmt. Das Messgerät kann Kalibrierkurven speichern, die der induzierten Spannung eine Schichtdicke zuordnen.

Bei dieser Art von Sonden (Prüfköpfen) werden verschiedene Ausführungen und Geometrien verwendet. Sehr häufig werden beide Spulen zusammen mit einem stark magnetisierbaren Kern eingesetzt, um die Empfindlichkeit der Prüfköpfe zu erhöhen und das Magnetfeld zu verdichten. Auf diese Weise werden sowohl die Beschichtungsfläche, die zur Dickenmessung beiträgt, als auch der Einfluss der Geometrie des beschichteten Bauteils verringert (siehe 5.5 und 5.6).

Ein zweipoliger Prüfkopf (Bild 3) hingegen hat eine weite und offene Feldverteilung. Der zweipolige Prüfkopf weist flächenintegrierende Eigenschaften auf, während ein einpoliger Prüfkopf lokal misst.

Üblicherweise liegt die Frequenz des erzeugten magnetischen Felds unterhalb des Kilohertzbereichs; was die Erzeugung von Wirbelströmen vermeidet, wenn die Beschichtungen leitend sind. Somit können nach diesem Prinzip leitende und nichtleitende Beschichtungen gemessen werden.



Legende

- | | |
|-------------|---|
| 1 | Eisenkern des Prüfkopfs |
| 2 | niederfrequentes magnetisches Wechselfeld |
| 3 | Substrat aus Stahl/Eisen |
| I_{\sim} | Erregerstrom |
| th | nichtmagnetische Beschichtung |
| $U = f(th)$ | Messsignal |

Bild 2 — Schematische Darstellung des magnetinduktiven Verfahrens

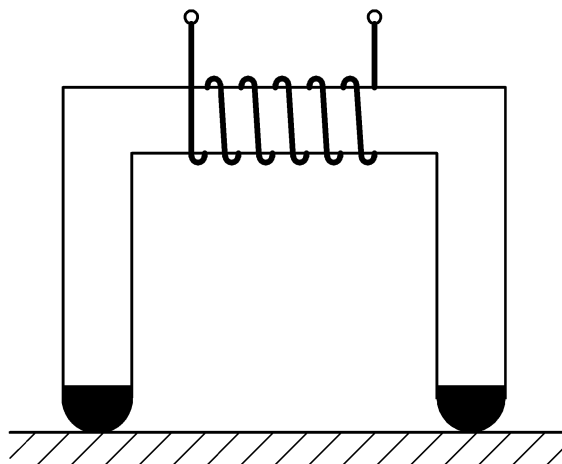


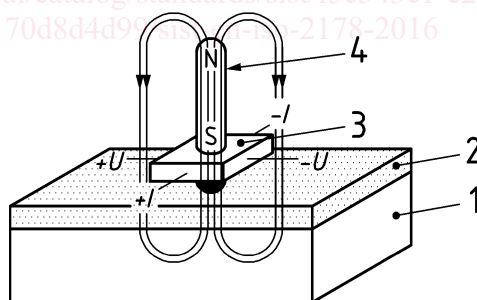
Bild 3 — Schematische Darstellung eines zweipoligen Prüfkopfs

4.4 Magnetflussmessgerät

In der Nähe eines Magnets ist die magnetische Flussdichte von den magnetischen Eigenschaften der Stoffe im magnetischen Feld abhängig. Die magnetische Flussdichte nimmt ab, wenn der Anteil an nichtmagnetisierbaren Stoffen im Verhältnis zum Anteil an magnetisierbaren Stoffen zunimmt. Diese Tatsache wird bei Magnetflussmessgeräten genutzt (siehe Bild 4). Die Beschichtung (2) ist nichtmagnetisierbar; das Grundmetall (1) ist magnetisierbar. Ein Magnet (4) erzeugt ein magnetisches Feld. Die Feldlinien des magnetischen Felds durchdringen die Beschichtung und das Grundmetall. Ein Magnetflussdetektor (3), der sich in der Nähe des Magnets befindetet, gibt ein Signal ab, das von der Schichtdicke abhängig ist.

Anmerkung 1 Magnetflussdetektoren sind als Hallensensor oder magnetoresistiver Sensor ausgebildet.

Anmerkung 2 Als Magnet kann ein Dauermagnet oder ein Elektromagnet verwendet werden.



Legende

- | | |
|-----|------------------------------------|
| 1 | Grundmetall |
| 2 | Beschichtung |
| 3 | Hallsensor als Magnetflussdetektor |
| 4 | Magnet |
| U | Spannung |
| I | Stromstärke des Hallelements |

Bild 4 — Magnetflussmessgerät mit Hallensensor

Die elektrischen Signale des Magnetflussmessgeräts werden elektronisch verarbeitet. Die Funktion der Ausgabe des Magnetflussdetektors in Abhängigkeit von der Schichtdicke ist nichtlinear und hängt von der magnetischen Permeabilität μ_r des Grundmetalls ab. Sie wird normalerweise durch Kalibrierung bestimmt. Das Messgerät kann Kalibrierkurven speichern, die der elektrischen Detektorausgabe eine Schichtdicke zuordnen.

5 Faktoren, die die Messgenauigkeit beeinflussen

5.1 Einfluss der Schichtdicke

Die Empfindlichkeit eines Prüfkopfs (einer Sonde), d. h. der Messeffekt, nimmt mit zunehmender Schichtdicke innerhalb des Messbereichs des Prüfkopfs ab. Im unteren Messbereich ist diese Messunsicherheit (absolut betrachtet) unabhängig von der Schichtdicke konstant. Der Absolutwert dieser Unsicherheit ist abhängig von den Eigenschaften des Sondensystems und der verwendeten Probenwerkstoffe, z. B. von der Homogenität der magnetischen Permeabilität des Grundmetalls und der Rauheit des Grundmetalls und der Probenoberfläche. Im oberen Messbereich der Sonde wird die Unsicherheit abhängig von der Schichtdicke und ist etwa ein konstanter Bruchteil dieser Dicke.

5.2 Magnetische Eigenschaften des Grundmetalls

Der Messeffekt dieses Verfahrens wird durch die magnetische Permeabilität des Grundmetalls bedingt.

Der Zusammenhang zwischen Schichtdicke und Messwert ist stark abhängig von der magnetischen Permeabilität des Grundmetalls. Folglich müssen die Kalibrierung und die Messungen am gleichen Werkstoff erfolgen. Verschiedene Werkstoffe mit unterschiedlicher magnetischer Permeabilität können zu mehr oder weniger gravierenden Fehlern bei der Schichtdickenbestimmung führen, so wie lokale Veränderungen der magnetischen Permeabilität oder Unterschiede zwischen verschiedenen Proben.

ANMERKUNG 1 Die anfängliche magnetische Permeabilität eines üblicherweise verwendeten Stahls liegt beispielsweise zwischen 100 bis 300.

ANMERKUNG 2 Die Messungen können außerdem durch Restmagnetisierung beträchtlich beeinflusst werden, insbesondere, wenn statische Magnetfelder verwendet werden (4.2 Magnetisches Abzugskraftverfahren oder 4.4 Magnetflussmessgerät).

ANMERKUNG 3 Wenn ein Messverfahren mit einem statischen Magnetfeld (4.2 Magnetisches Abzugskraftverfahren oder 4.4 Magnetflussmessgerät) angewandt wird, kann das Grundmetall durch wiederholte Messungen an der gleichen Stelle magnetisiert werden. Das kann zu fehlerhaften Messwerten für die Schichtdicke führen.

5.3 Elektrische Eigenschaften der Beschichtungen

Wenn der Prüfkopf mit einem magnetischen Wechselfeld betrieben wird (4.3 Magnetinduktives Verfahren oder 4.4 Magnetflussmessgerät), können die Schichtdickenmessungen aufgrund von Wirbelströmen beeinträchtigt sein. Diese induzierten Wirbelströme können dem Messeffekt des magnetischen Verfahrens entgegenwirken. Die induzierte Wirbelstromdichte nimmt mit zunehmender Leitfähigkeit und Frequenz zu.

ANMERKUNG Messgeräte, die das Verfahren nach 4.3 oder 4.4 anwenden, arbeiten normalerweise in einem Frequenzbereich unterhalb 1 kHz. Daher treten durch induzierte Wirbelströme beeinflusste Messergebnisse nur bei dicken Beschichtungen (Dicke > 1 mm) mit einer hohen Leitfähigkeit auf, z. B. Kupfer.

5.4 Geometrie – Dicke des Grundmetalls

Wenn die Dicke des Grundmetalls zu gering ist, dringt das Magnetfeld nicht vollständig in das Grundmetall ein. Dieser Einfluss kann nur oberhalb einer bestimmten kritischen Mindestdicke des Grundmetalls vernachlässigt werden.

Daher sollte die Dicke des Grundmetalls immer größer als diese kritische Mindestdicke des Grundmetalls sein. Durch zu geringe Dicke des Grundmetalls verursachte Fehler können durch Justierung des Messgeräts kompensiert werden. Allerdings kann dann eine Änderung der Dicke des Grundmetalls erhöhte Unsicherheit und Fehler verursachen.

Die kritische Mindestdicke des Grundmetalls hängt vom Sondensystem (Feldstärke, Geometrie) und den magnetischen Eigenschaften des Grundmetalls ab. Ihr Wert ist experimentell zu bestimmen, es sei denn, er ist vom Hersteller festgelegt.

ANMERKUNG In D.3 ist ein einfacher Versuch zur Abschätzung der kritischen Mindestdicke des Grundmetalls beschrieben.

5.5 Kanteneffekte

Die Ausdehnung des magnetischen Felds wird durch geometrische Einschränkungen des Grundmetalls (z. B. Kanten, Bohrungen usw.) behindert. Daher können Messungen, die zu nahe an einer Kante durchgeführt werden, ungültig sein, es sei denn, das Messgerät ist speziell für derartige Messungen justiert. Der Abstand, der erforderlich ist, um die Auswirkung durch die Kante zu verhindern, ist vom Sondensystem abhängig (Feldverteilung).

ANMERKUNG In D.2 ist ein einfacher Versuch zur Abschätzung des Kanteneffekts beschrieben.

5.6 Geometrie – Oberflächenkrümmung

Die Ausbreitung des magnetischen Felds wird durch die Oberflächenkrümmung des Grundmetalls beeinflusst. Dieser Einfluss ist mit abnehmendem Radius der Krümmung und mit abnehmender Schichtdicke deutlicher ausgeprägt. Um diesen Einfluss zu minimieren, sollte eine Justierung auf einem Grundmetall mit der gleichen Geometrie durchgeführt werden.

Der Einfluss der Oberflächenkrümmung ist stark abhängig von der Prüfkopfgeometrie und kann durch Reduzierung der empfindlichen Fläche des Prüfkopfs verringert werden. Prüfköpfe mit sehr kleinen empfindlichen Flächen werden häufig als Mikrosonden bezeichnet.

ANMERKUNG 1 In D.4 ist ein einfacher Versuch zur Abschätzung des Effekts der Oberflächenkrümmung beschrieben.

ANMERKUNG 2 Messungen, die an Teilen mit zu kleinem Krümmungsradius durchgeführt wurden, können zu unzuverlässigen Ergebnissen führen, selbst nach Kalibrierungen. Die resultierende Unsicherheit sollte berücksichtigt werden, um zu bestimmen, ob eine derartige Messung zulässig ist.

5.7 Oberflächenrauheit

Messungen werden durch die Oberflächentopografie des Grundmetalls und der Beschichtung beeinflusst. Raue Oberflächen können systematische und zufällige Fehler verursachen. Zufällige Fehler können durch Mehrfachmessungen reduziert werden, wobei jede Messung an einer anderen Stelle durchgeführt wird; anschließend wird der Mittelwert dieser Messreihe bestimmt.

Um den Einfluss der Rauheit zu verringern, sollte eine Kalibrierung mit einem unbeschichteten Grundmetall mit der gleichen Rauheit wie das beschichtete Grundmetall durchgeführt werden.

ANMERKUNG Falls erforderlich, sollte die Definition der mittleren Schichtdicke zwischen Anbieter und Kunde festgelegt werden.

5.8 Sauberkeit – Abhebeeffekt

Wenn der Prüfkopf nicht direkt auf der Beschichtung aufgesetzt wird, wird der Spalt zwischen Prüfkopf und Beschichtung (Abhebeeffekt, Lift-off) wie eine zusätzliche Schichtdicke wirken und somit die Messung beeinträchtigen. Der Abhebeeffekt kann durch kleine Partikel zwischen Prüfkopf und Beschichtung unbeabsichtigt hervorgerufen werden. Die Prüfkopfspitze ist regelmäßig auf Sauberkeit zu kontrollieren.

5.9 Anpressdruck des Prüfkopfs

Der Druck, mit dem der Prüfkopf auf die Probe gedrückt wird, kann die Ablesung des Messgeräts beeinträchtigen und muss bei der Justierung und den Messungen immer gleich sein.

Der Einfluss des Anpressdrucks des Prüfkopfs ist bei weichen Beschichtungen stärker ausgeprägt, weil die Prüfkopfspitze in die Beschichtung hineingedrückt werden kann. Deshalb sollte der Anpressdruck des Prüfkopfs möglichst gering sein. Die meisten handelsüblichen Messgeräte sind mit gefederten Prüfköpfen