

Ersatz für Ausgabe November 2011

Inhalt:

1. Zweck und Anwendung
2. Messverfahren und Messgeräte
3. Kalibrieren der Geräte
 - 3.1. Kalibrierplatten und -folien
 - 3.1.1. Maße
 - 3.1.2. Werkstoffe
 - 3.1.3. Oberfläche
 - 3.2. Kalibrierkörper
 - 3.3. Kalibriervorgang
 - 3.3.1. Kalibrierbare Geräte mit Permanentmagneten
 - 3.3.2. Nicht kalibrierbare Geräte mit Permanentmagneten
 - 3.3.3. Elektromagnetische Geräte
4. Messen
 - 4.1. Allgemeines
 - 4.2. Wahl der Messpunkte
 - 4.3. Das Ansetzen des Messfühlers oder Messgerätes
 - 4.4. Einflüsse, die zu Messfehlern führen oder die Messgenauigkeit beeinflussen können
 - 4.4.1. Dicke des Grundwerkstoffs
 - 4.4.2. Zustand des Grundwerkstoffs
 - 4.4.3. Zwischenschichten
 - 4.4.4. Magnetische Bestandteile
 - 4.4.5. Reinheit der Oberflächen
 - 4.4.6. Rauheit des Grundwerkstoffs

- 4.4.7. Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit
- 4.4.8. Anwesenheit von Fehlern
- 4.4.9. Temperatureinfluss
- 4.5. Messunsicherheit
- 4.6. Anzahl der Messungen
5. Auswertung
6. Abnahmeprüfung
7. Bedienungspersonal
8. Erläuterungen
9. Schrifttum
 - 9.1 Regelwerk

1. Zweck und Anwendung

Das Merkblatt gibt Hinweise für eine praktische und einheitliche Handhabung der Verfahren zur Schichtdickenmessung und zeigt die Grenzen ihrer Anwendung auf. Gemessen wird die Dicke von thermisch gespritzten Schichten, die auch mit trockenen Anstrich- oder Spachtelschichten abgedeckt sein können. Maßeinheit ist μm ($= 0,001\text{ mm}$).

2. Messverfahren und Messgeräte

In der Praxis werden hauptsächlich Geräte eingesetzt, die nach einer der folgenden Messverfahren arbeiten. Tabelle 1 enthält eine Zusammenfassung der gebräuchlichsten Prüfverfahren mit den Angaben, für welche Kombination Grund-/Schichtwerkstoff welches Messverfahren eingesetzt werden kann.

Tabelle 1. Übersicht über die gebräuchlichsten zerstörungsfreien Messverfahren zur Schichtdickenmessung.

Messverfahren	Dickenbereich		Stoffpaarung Schicht/Substrat	Stoffpaarung zur Trennung Schicht/Substrat	Messzeit in s	automatisierbar (+) ja (-) nein	Messgenauigkeit in %	Messfläche Durchmesser in mm
	min. μm	max. μm						
Haftkraftverfahren	2	2000	F/M, I/M, I/F	μ, σ	5...10	-	3...5	1...50
Magnetinduktive Verfahren	1	3000	F/M, I/M, I/F F1/F2	μ, σ	0,1... 0,5	+	1,5	5... 20
Wirbelstromverfahren*	1	3000	M/I, I/M, M1/M2 F1/F1, F1/I/F	μ, σ	< 0,001	+	0,5... 10	2,5...20

μ = relative Permeabilität σ = elektrische Leitfähigkeit
F = Ferromagnetikum M = Metall
I = Isolator

* Die angegebenen Zahlenwerte beziehen sich auf Durchschnittswerte. Die genauen Zahlenwerte sind hierbei im Wesentlichen von der jeweiligen Stoffpaarung, vom Messsensor, vom Übergang der Schicht zum Substrat und von der Oberflächenrauheit abhängig.

Die Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

DVS, Ausschuss für Technik, Arbeitsgruppe „Thermische Beschichtungsverfahren“

Haftkraftverfahren:

Dieses Prüfverfahren beruht auf der Anziehungskraft zwischen einem Permanentmagneten und einem ferromagnetischen Substrat. Wird ein Magnet einem ferromagnetischen Werkstück genähert, so wird dieses im Annäherungsbereich durch das Feld des Magneten magnetisiert, und es bildet sich gegenüber dem Magnet ein magnetischer Pol aus. Die dadurch entstehende Anziehungskraft zwischen dem Magneten und dem ferromagnetischen Material erreicht bei der Berührung ihren größten Wert, der als Haftkraft bezeichnet wird. Die Haftkraft F zweier gegenüberliegender flächenhafter Magnetpole ist gegeben durch die Beziehung $F = (\mu \cdot H^2 \cdot A) / 2$ mit:

- μ : Permeabilität des Werkstücks an der Berührstelle
- H : magnetische Feldstärke zwischen den beiden Magnetpolen
- A : vom magnetischen Kraftfluß durchsetzte Fläche

Während die magnetische Feldstärke H und die Fläche A durch die Eigenschaften und die Abmessungen des verwendeten Magneten bestimmt werden, geht seitens des Werkstücks nur die Permeabilität in das Messergebnis ein. Dieser Kennwert des Werkstoffes hängt im Wesentlichen von den Werkstoffeigenschaften wie z. B. der chemischen Zusammensetzung und dem Gefüge des Prüfteils ab. Da jedoch die Eindringtiefe des Magnetfeldes bei diesem Verfahren sehr gering ist, beschränkt sich die Bauteilprüfung auf den oberflächennahen Bereich, zu der u. a. die Schichtdickenmessung nicht- oder nur sehr schwach ferromagnetischer Schichten auf ferromagnetischen Substraten gehört. Bei der Schichtdickenmessung lässt sich der Magnet dabei nur bis auf eine entsprechende Entfernung dem ferromagnetischen Werkstoff nähern. Soll der Magnet vom Werkstück wieder abgehoben werden, muss eine der Haftkraft gleichgroße, entgegengesetzte Kraft aufgewendet werden, die der Schichtdicke proportional ist. Das Messen der aufzubringenden Gegenkraft erfolgt bei einigen Prüfgeräten z. B. über eine Feder, die beim Abheben des Magneten zusammengedrückt und im Abreißmoment arretiert wird. Die Auslenkung der Feder bestimmt hierbei in Verbindung mit entsprechenden Eichkurven des Substrates die Schichtdicke des Bauteils, Bild 1.

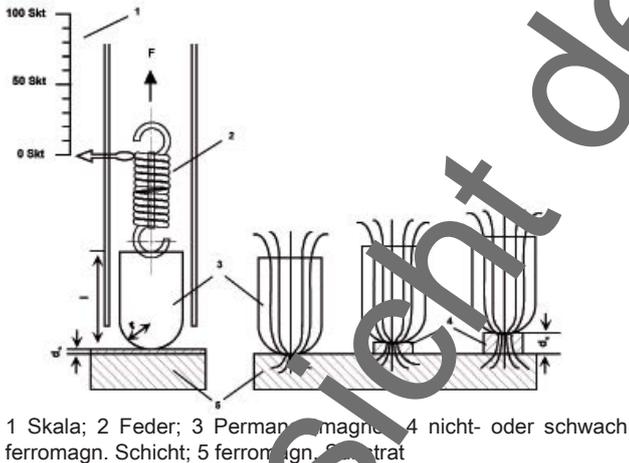


Bild 1. Verfahren unter Anwendung der Kraftwirkung des Magnetfeldes als Messgröße.

Bei anderen Gerätetypen wird anstelle des Dauermagneten eine vom Gleichstrom durchflossene Spule mit einem an einer Feder aufgehängten, leuchtenden Weicheisenkern benutzt. Der Elektromagnet wird beim Überschreiten eines bestimmten Magnetisierungsstroms vom ferromagnetischen Körper entgegen der Federkraft angezogen. Danach wird der Strom soweit gesenkt, bis die Haftkraft von der Federkraft übertroffen wird. Der zum Zeitpunkt des Abhebens gemessene Magnetisierungsstrom ist dann ein Maß für die Schichtdicke.

Magnet-induktives Verfahren:

Mit diesen Verfahren kann eine Schichtdickenmessung von nicht-ferromagnetischen (elektrisch leitenden oder isolierenden) Schichten auf ferromagnetischem Grundmaterial durchgeführt werden. Beim magnet-induktiven Messprinzip wird die Abhängigkeit des magnetischen Flusses, der von der Messsonde durch die nicht-ferromagnetische Schicht zum ferromagnetischen Grundmaterial fließt, zur Messung der Schichtdicke ausgenutzt. Je dicker die Schicht ist, desto geringer ist der magnetische Fluss. Unterschiedliche Messanordnungen werden in der Praxis verwendet. Es können zweipolige oder einpolige Messsonden eingesetzt werden, die sowohl mit magnetischen Gleich- als auch mit Wechselfeldern betrieben werden können. Die Messung der Magnetfeldänderung kann mit magnetfeldempfindlichen Sonden z. B. mit Förster-Mikrosonden oder Hallgeneratoren, erfolgen. Exemplarisch hierzu ist im folgenden Bild 2 eine Messapparatur dargestellt, bei der die Änderung der Magnetfeldstärke ein Maß für die Schichtdicke des Substrats darstellt.

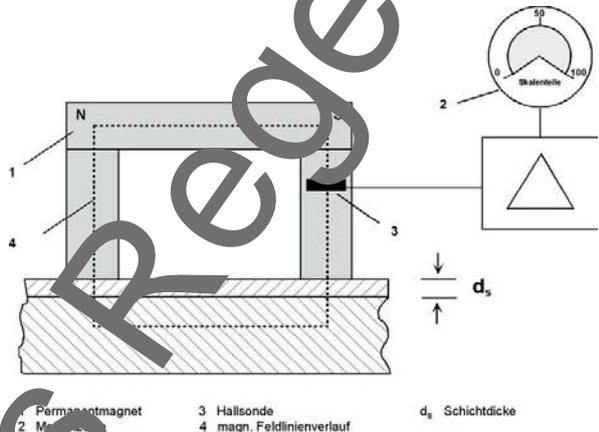


Bild 2. Verfahren unter Anwendung der Änderung der Stärke des Magnetfeldes als Messgröße

Wirbelstromverfahren:

Das Wirbelstromverfahren beruht auf dem elektromagnetischen Induktionsprinzip. Als Messinstrument dient dabei eine Spule, die mit einem Wechselstrom betrieben wird. In das hierdurch erzeugte magnetische Wechselfeld der Spule wird das zu prüfende Bauteil gebracht. Grundvoraussetzung ist hierbei, dass das Prüfteil elektrisch leitfähig ist. Das Prüfteil selbst sowie alle sich auf die Permeabilität μ und die Leitfähigkeit σ auswirkenden Werkstoffeigenschaften führen über die Anregung von Wirbelströmen nach der Lenzschen Regel zu einer Änderung des induzierten Magnetfeldes und damit zu einer messbaren Impedanzänderung der Spule Bild 3. Aus der Messung der Spulenimpedanz oder, bei Einspeisung eines konstanten Wechselstroms, der Messung der in einer zweiten Spule (Sekundärspule) induzierten Spannung lässt sich dann auf die Eigenschaften des vorliegenden Prüfteils schließen. Hierzu zählt bei beschichteten Bauteilen die Messung der Schichtdicke.

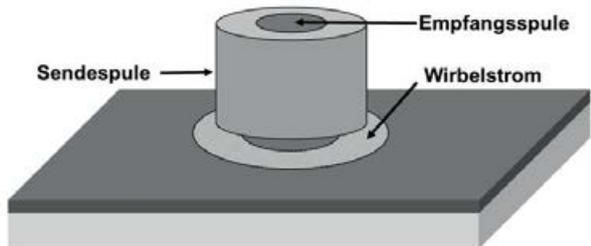


Bild 3. Einsatz einer Wirbelstromastspule zur Schichtdickenmessung