

Messung von Schichtdicken

Allgemeine Arbeitsgrundlagen

Auswahl der Verfahren und Durchführung der Messungen

DIN
50 982
Teil 3Measurement of coating thickness; general working principles;
selection of the methods and execution of the measurement

Ersatz für Ausgabe 05.78

Mesurage de l'épaisseur; bases générales de travail;
sélection des méthodes et exécution des mesurages**1 Anwendungsbereich und Zweck**

In dieser Norm werden die Grundlagen beschrieben, die bei Durchführung der Messung von Schichtdicken oder flächenbezogener Masse wichtig sind und beachtet werden müssen. Es werden grundsätzliche Gesichtspunkte behandelt, die in den speziellen Normen nur orientierend angegeben werden.

Die Begriffe über Schichtdicke und Oberflächenbereiche werden in DIN 50 982 Teil 1 und eine Übersicht und Zusammenstellung der gebräuchlichen Meßverfahren in DIN 50 982 Teil 2 angegeben.

2 Auswahl des Meßverfahrens

Für die Vielzahl der anfallenden Werkstoffkombinationen und Erfordernisse gibt es kein universell einsetzbares Meßverfahren. Bei der Auswahl eines geeigneten Verfahrens sind neben den vorliegenden technologischen auch die wirtschaftlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen.

2.1 Zerstörungsfreie und zerstörende Messung

Zerstörungsfreie Verfahren beschädigen weder Schicht noch Grundwerkstoff. Die geprüften Teile sind im allgemeinen ohne zusätzlichen Arbeitsgang weiter verwendbar. Da der Prüfvorgang vergleichsweise schnell abläuft, läßt sich eine große Anzahl von Messungen wirtschaftlich durchführen. Der Prüfvorgang läßt sich meist automatisieren.

Zerstörende Verfahren beschädigen Schicht- und/oder Grundwerkstoff. Die geprüften Teile lassen sich u. U. weiter verwenden, im allgemeinen sind dazu zusätzliche Arbeitsgänge erforderlich.

2.2 Kombination von Grund- und Schichtwerkstoff

Die Verfahrensauswahl richtet sich wesentlich nach den unterschiedlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften von Grundwerkstoff und Schichtwerkstoff (siehe DIN 50 982 Teil 2). Nachstehende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der Meßverfahren und zeigt, welche in Abhängigkeit von der vorliegenden Werkstoffkombination ausgewählt werden können.

Die Dicken einzelner Schichten in Mehrschichtsystemen lassen sich durch zerstörungsfreie Verfahren unter bestimmten Voraussetzungen messen. Häufiger einsetzbar sind hier zerstörende Verfahren, z. B. die mikroskopische Messung der Schichtdicke oder das coulometrische Verfahren.

2.3 Physikalische Eigenschaften

Beim magnetischen Verfahren muß die Schicht unmagnetisch sein und der Grundwerkstoff eine Permeabilitätszahl von mindestens 500 aufweisen. In speziellen Fällen kann auch der Schichtwerkstoff magnetisch sein, die Permeabilitätszahlen von Schichtwerkstoff und Grundwerkstoff müssen sich jedoch hinreichend voneinander unterscheiden.

Beim Wirbelstromverfahren ist das Verhältnis der elektrischen Leitfähigkeit von Schicht- und Grundwerkstoff maßgebend. Dieses Verhältnis muß größer als 3 oder kleiner als 0,3 sein.

Beim Betarückstreuverfahren muß der Unterschied der Ordnungszahlen zwischen Schicht- und Grundwerkstoff im Bereich mittlerer Ordnungszahlen (um 30) etwa 5 Einheiten betragen. Je größer die Ordnungszahl des Grundwerkstoffes ist, um so größer muß auch dieser Unterschied sein. Je kleiner die Ordnungszahl des Grundwerkstoffes ist, um so kleiner kann der Unterschied sein.

Beim Röntgenfluoreszenz-Verfahren können oberhalb der Ordnungszahl 10 alle Schichten gemessen werden, die zum Grundwerkstoff einen Ordnungszahlunterschied aufweisen.

Beim kapazitiven Verfahren muß der Grundwerkstoff elektrisch leitend und der Schichtwerkstoff elektrisch nichtleitend sein.

Das Lichtschnitt-Verfahren kann bei transparenten Schichten und bei nichttransparenten Schichten eingesetzt werden. Bei transparenten Schichten ist zur Auswertung der Messung die Brechzahl des Schichtwerkstoffes zu berücksichtigen. Bei der Messung nichttransparenter Schichten muß ein Stufensprung zum Grundwerkstoff vorliegen, dessen Höhendifferenz ausgemessen wird.

Die Schichtdickenmessung mittels gravimetrischer und maßanalytischer Verfahren setzt voraus, daß die Dichte des Schichtwerkstoffes bekannt oder bestimmbar ist.

Fortsetzung Seite 2 bis 7

Normenausschuß Materialprüfung (NMP) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, gestattet.

2.4 Berührungsfreie und berührende Messung

Berührungsfreie Messungen können vor allem mit dem Röntgenfluoreszenz-Verfahren, dem Betarückstreu-Verfahren und dem Lichtschnitt-Verfahren ausgeführt werden. Das Röntgenfluoreszenz- und das Betarückstreu-Verfahren sind auch für kontinuierliche Messungen in automatischen Beschichtungsanlagen, das Lichtschnitt-Verfahren für die Messung von transparenten Schichtwerkstoffen geeignet.

Beim Einsatz berührender Verfahren, bei denen Meßsonden auf die Schicht aufgesetzt werden, ist zu beachten, daß die Auflagekraft die Schichtdicke nicht wesentlich verändern darf (z. B. bei Phosphatschichten und weichen Anstrichen).

2.5 Meßunsicherheit

Die Meßunsicherheit ist verfahrens- und gerätebedingt und außerdem von zahlreichen Parametern, wie Oberflächenrauheit, Dicke der Schicht und Werkstoffeigenschaften abhängig. Bei der Wahl des Verfahrens ist die maximal zulässige Meßunsicherheit von Bedeutung. Es sollen nur solche Meßunsicherheiten vereinbart werden, die noch technisch realisierbar und wirtschaftlich vertretbar sind. Die Meßunsicherheiten der einzelnen Meßverfahren sind in DIN 50 982 Teil 2 angegeben.

2.6 Ort der Messungen

Der Geräte- oder Verfahrensaufwand richtet sich danach, ob Eichmessungen bzw. Schiedsmessungen, Laboratoriumsmessungen, Werkstattmessungen oder Außenmessungen vorzunehmen sind.

Eichmessungen und Schiedsmessungen bleiben solchen Prüfstellen vorbehalten, die über die dazu erforderliche Ausrüstung in gerätemäßiger und personeller Hinsicht verfügen und die den vorliegenden Aufgaben angepaßt sind.

Laboratoriumsmessungen sollen möglichst mit zwei voneinander unabhängig arbeitenden Verfahren durchgeführt werden. Die Ergebnisse sind in geeigneter Weise miteinander zu vergleichen.

Bei Werkstattmessungen werden meist einfache und schnell arbeitende Verfahren und Geräte angewendet.

Außenmessungen verlangen robuste, meist netzunabhängige Verfahren und Geräte, die witterungsfest und temperaturunempfindlich sind.

2.7 Schichtdickenmeßbereiche

Der Meßbereich ist möglichst so zu wählen, daß auch die zu erwartenden kleinsten und größten Meßwerte ohne Bereichsveränderung ablesbar sind. Das Eichen (siehe Abschnitt 3.5) der Geräte soll im gleichen Meßbereich, in dem später gemessen wird, durchgeführt werden.

Wenn nur eine Gut-Schlecht-Prüfung ohne eine Maximal- bzw. Minimalanzeige erforderlich ist, kann auf eine Anzeige des absoluten Wertes verzichtet werden.

2.8 Oberflächenrauheit

Die Oberflächenrauheit hat bei den mit Meßsonden arbeitenden Schichtdickenmeßverfahren, die den Abstand zwischen den Auflagepolen der Meßsonde und dem Grundwerkstoff erfassen, einen Einfluß auf den Meßwert. Dies ist bei magnetischen Verfahren, Wirbelstromverfahren und bei der Messung der Dicke mit Feinzeigergeräten nicht unmittelbar zu erkennen und daher zu beachten. In bestimmten Fällen (siehe Korrekturverfahren in den speziellen Normen) ermöglicht die Beachtung besonderer Maßnahmen oder Korrekturen dennoch die Anwendung der genannten Verfahren.

2.9 Oberflächenkrümmung

Auf gekrümmten Oberflächen können nicht alle Meßverfahren eingesetzt werden. In einigen Fällen ist eine Anpassung der Sonden möglich, in anderen Fällen lassen sich die Meßwerte korrigieren (siehe Korrekturverfahren in den jeweiligen Normen).

2.10 Größe des Meßgegenstandes

Die Größe des Meßgegenstandes kann die Wahl des Verfahrens bestimmen. Beim gravimetrischen und maßanalytischen Verfahren kann der Einfluß einer zu geringen Größe des Meßgegenstandes durch eine größere Anzahl von einzelnen Meßgegenständen ausgeglichen werden. Bei den Verfahren, die mit einer Meßsonde arbeiten, ist eine geräte- oder verfahrensbedingte Mindestgröße des Meßgegenstandes erforderlich. In bestimmten Fällen lassen sich die Meßwerte korrigieren (siehe Korrekturverfahren in den jeweiligen Normen).

2.11 Dicke des Grundwerkstoffes

Bei jedem Meßverfahren ist eine Mindestdicke des Grundwerkstoffes erforderlich, bei dem noch eine Messung ohne Korrektur der Meßwerte erfolgen kann.

Beim magnetischen Verfahren und dem Wirbelstromverfahren ist die Mindestdicke geräteabhängig. Im allgemeinen genügen Mindestdicken von 0,5 mm.

Die Mindestdicke beim Röntgenfluoreszenz-Verfahren und beim Betarückstreu-Verfahren ist der Sättigungsdicke gleichzusetzen.

Für das kapazitive Verfahren ist eine Mindestdicke von 1 µm ausreichend.

Der Einfluß nicht ausreichender Grundwerkstoffdicke kann in fast allen Fällen durch ein bündiges Hinterlegen mit gleichem Werkstoff ausgeglichen werden. In Zweifelsfällen ist die Mindestdicke experimentell zu bestimmen.

2.12 Kleinste und größte örtliche Schichtdicke

Ist eine Aussage über die kleinste und größte örtliche Schichtdicke erforderlich, so ist ein Verfahren auszuwählen, bei dem der Meßwert ausschließlich durch die Schichtdicke in einem hinreichend kleinen Bereich des Meßgegenstandes bestimmt wird. Integrierende Messung der flächenbezogenen Masse oder Messungen, bei denen nur ein Durchschnittswert der Schichtdicke im Bereich der Meßsonde erhalten wird, gestatten keine Aussage über die kleinste oder größte Schichtdicke innerhalb dieses Bereiches.

2.13 Wirtschaftlichkeit

Da sich die Gesamtkosten je Einzelmessung aus den anteiligen Anschaffungskosten des Meßgerätes und den Kosten für die Durchführung der Messung zusammensetzen, sind diese ein wichtiges Kriterium zur Auswahl des Gerätes.

Liegen der Prüfstelle, welche die Schichtdickenmessungen auszuführen hat, nur Teile mit gleichbleibender Werkstoffkombination vor, kann es wirtschaftlicher sein, ein spezielles, für diesen Fall am besten geeignetes Verfahren und Gerät auszuwählen, als ein universelleres, das meist teurer und weniger einfach zu bedienen ist.

3 Durchführung der Messung

Vor Beginn der Messung ist unter Beachtung von DIN 50 982 Teil 1 bis Teil 3 ein für die vorliegende Meßaufgabe geeignetes Verfahren und Meßgerät auszuwählen.

Tabelle. Auswahl von Meßverfahren in Abhängigkeit von Werkstoffkombinationen

In dieser Zusammenstellung sind nur Verfahren angegeben, die bei den gegebenen Werkstoffkombinationen ohne Berücksichtigung von Besonderheiten eingesetzt werden können. Sogenannte Grenzfälle und Werkstoffkombinationen mit sehr beschränktem Einsatzbereich wurden nicht mit aufgenommen.

Schichtwerkstoff Grundwerkstoff		Metall										Nichtmetall							
		Alu- mini- um	Blei	Cad- mium	Chrom	Gold	Kupfer	Nickel 1)	Nickel auto- kata- lyt.	Palla- dium	Rho- dium	Silber	Zink	Zinn	Alu- mini- um- oxid	Anstrich trocken	Email	Graphit	Isolier- schicht
Nichtmetall		BQ	BCQR	BCQR	BCQR	BCQR	BCQR	BCQR	BQR	BQR	BQR	BCQR	BCGQR	BCGQR	—	FQX	—	Q	Q
ferromagnetischer Stahl		BM QRS	BCMQR RS	BCF MQR	CMQR	BCMQR R	CFMQR	CFQR	CQR	BMQR	BMQR R	BCMQR	BCFGH MQRS	BCFGH MQRS	—	FMQSR	M	BMQ	BKMQ
nichtferromagnetischer Stahl		BQR S	BCQR S	BCF QR	CQR	BCQR	CFQR	CFQR	CQR	BQR	BQR	BCQR	BCFGH QRS	BCFGH QRS	—	FQSWX	W	BQ	BKQW
Aluminium und Legierungen		—	BQR	BCQR	BCQR	BQR	BCQR	BCQR	QR	BQR	BQR	BCQR	BCQR	BCQR	AKLQ W	FKQWX	W	Q	BKQW
Kupfer und Legierungen		BQR	BCQR	BCQR	BCQR	BQR	—	CQR	QR	BQR	BQR	BCQR	CQR	BCQR	—	FQWX	W	BQ	BKQW
Magnesium und Legierungen		QR	BQR	BQR	BQR	BQR	BQR	BQR	BQR	BQR	BQR	BQR	BQR	BQR	—	FQWX	—	Q	BKQW
Nickel		BQR	BCQR	BCQR	BCQR	BCQR	CQ	—	—	BQR	BQR	BCQR	CQR	BCQR	—	FQX	—	BQ	BKQW
Silber		BQR	BQR	QR	BQR	BQR	BQR	BQR	BQR	Q	QR	—	BQR	QR	—	FQWX	W	BQ	BKQW
Titan		BQR	BQR	BQR	QR	BQR	BQR	BQR	BQR	BQR	BQR	BQR	BQR	BQR	—	FQWX	—	BQ	BKQW
Zink und Legierungen		BQR	BQR	BQR	QR	BQR	CQR	QR	QR	BQR	BQR	BQR	—	BQR	—	FQWX	—	BQ	BKQW

A

DIN 50 944 (Al-Oxidablösung, chem.)

B

DIN 50 983 (Beta-Rückstreu)

C

DIN 50 955 (coulometrisch)

F

DIN 50 933 (Höhendifferenz)

G

DIN 50 988 Teil 1 (gravimetrisch)

H

DIN 50 988 Teil 2* (maßanalytisch)

K

DIN 50 985 (kapazitiv)

*)

Z. Z. Entwurf

1)

Zur Messung der Dicke von Nickel-Schichten lassen sich auch modifizierte Geräte nach dem magnetischen Verfahren einsetzen.

*) Z. Z. Entwurf

1) Zur Messung der Dicke von Nickel-Schichten lassen sich auch modifizierte Geräte nach dem magnetischen Verfahren einsetzen.

L DIN 50 948 (Lichtschnitt)
M DIN 50 981 (magnetisch; allgemein)
Q DIN 50 950 (Querschiff, allgemein)
R DIN 50 987 (Röntgenfluoreszenz)
S DIN 50 977 (kontinuierlich)
W DIN 50 984 (Wirbelstrom)
X DIN 50 986 (Keilschnitt)

A DIN 50 944 (Al-Oxidablösung, chem.)
B DIN 50 983 (Beta-Rückstreu)
C DIN 50 955 (coulometrisch)
F DIN 50 933 (Höhendifferenz)
G DIN 50 988 Teil 1 (gravimetrisch)
H DIN 50 988 Teil 2*) (maßanalytisch)
K DIN 50 985 (kapazitiv)