

DIN EN 15042-2

ICS 17.040.20

Ersatz für
DIN 50992-2:2002-05**Schichtdickenmessung und Charakterisierung von Oberflächen mittels Oberflächenwellen –****Teil 2: Leitfaden zur photothermischen Schichtdickenmessung;
Deutsche Fassung EN 15042-2:2006**

Thickness measurement of coatings and characterization of surfaces with surface waves –

Part 2: Guide to the thickness measurement of coatings by photothermic method;
German version EN 15042-2:2006

Mesure de l'épaisseur des revêtements et caractérisation des surfaces à l'aide d'ondes de surface –

Partie 2: Guide pour le mesurage photothermique de l'épaisseur des revêtements;
Version allemande EN 15042-2:2006

Gesamtumfang 24 Seiten

Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 15042-2:2006) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 262 „Metallische und andere anorganische Überzüge“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Großbritannien) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NMP 161 „Mess- und Prüfverfahren für metallische und andere anorganische Überzüge“ im Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

Änderungen

Gegenüber DIN 50992-2:2002-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) DIN 50992-2:2002-05 vollständig als Europäische Norm übernommen;
- b) Literaturhinweise ergänzt.

Frühere Ausgaben

DIN 50992-2: 2002-05

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 11145, *Optik und optische Instrumente — Laser und Laseranlagen — Begriffe und Formelzeichen*

Deutsche Fassung

**Schichtdickenmessung und Charakterisierung von Oberflächen
mittels Oberflächenwellen —
Teil 2: Leitfaden zur photothermischen Schichtdickenmessung**

Thickness measurement of coatings and characterization of
surfaces with surface waves —
Part 2: Guide to the thickness measurement of coatings by
photothermic method

Mesure de l'épaisseur des revêtements et caractérisation
des surfaces à l'aide d'ondes de surface —
Partie 2 : Guide pour le mesurage photothermique de
l'épaisseur des revêtements

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 2. März 2006 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-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. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

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

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



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

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	3
2 Normative Verweisungen	3
3 Begriffe	3
4 Symbole und Abkürzungen	5
5 Grundlagen photothermischer Werkstoffprüfung	5
6 Photothermische Messtechnik	11
7 Photothermische Schichtdickenmessung	17
Literaturhinweise	22

Vorwort

Dieses Dokument (EN 15042-2:2006) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 262 „Metallische und andere anorganische Überzüge“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Oktober 2006, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Oktober 2006 zurückgezogen werden.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt ein Messverfahren fest, das eine Werkstoffprüfung mittels Wärmewellen erlaubt, die durch eine Strahlungsquelle erzeugt werden.

Das Messverfahren kann bei Beschichtungen angewendet werden, deren thermische Eigenschaften (z. B. Wärmeleitfähigkeit) sich von denen des Substrates unterscheiden, in einem Messbereich von einigen μm bis einige hundert μm .

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente 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/DGuide 99998, *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM) — Supplement 1: Numerical methods for the propagation of distributions*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Amplitude der thermischen Welle

ΔT_0

Maximalwert der lokalen Temperaturänderung des oszillierenden Teils für periodisch harmonische Anregung

ANMERKUNG Siehe Gleichung (2).

3.2

Eindringtiefe thermischer Wellen

Tiefe, in der die Temperaturvariation unterhalb einer moduliert beheizten Oberfläche noch messbar ist

ANMERKUNG Im Allgemeinen ist die Eindringtiefe von der Größenordnung der thermischen Diffusionslänge.

3.3

Modulationsfrequenz

f

Frequenz, mit der die Intensität des Heizstrahls periodisch variiert wird

3.4

Phasenverschiebung der thermischen Welle

$\Delta \phi$

Maß für die zeitliche Verzögerung der Temperaturoszillation gegenüber der Anregung bei periodisch harmonischer Anregung

ANMERKUNG Siehe Gleichung (3).

3.5

photothermischer Wirkungsgrad

η

Anteil der einfallenden Strahlungsintensität, der in Wärme umgewandelt wird

ANMERKUNG Bei den meisten technischen Anwendungen ist er mit dem Absorptionsvermögen näherungsweise identisch.

3.6

thermische Diffusionslänge

μ

charakteristische Länge der Wärmeausbreitung bei pulsförmigen Heizprozessen bzw. periodisch modulierter Heizung, bei der die Temperaturamplitude auf etwa $1/e$ oder 37 % abgenommen hat

ANMERKUNG 1 $1/e$, mit der natürlichen Zahl $e = 2,71828$.

ANMERKUNG 2 Siehe Gleichung (4).

3.7

thermische Diffusionszeit

τ

charakteristische Zeit, die eine thermische Welle oder ein Temperaturpuls zur Durchdringung einer Schicht endlicher Dicke benötigt

ANMERKUNG Siehe Gleichung (7).

3.8

thermische Diffusivität (Temperaturleitwert)

α

thermischer Parameter, der bei zeitabhängiger Heizung die Wärmeausbreitung eines Körpers bestimmt

ANMERKUNG Siehe Gleichung (6).

3.9

thermische Effusivität (Wärmeeindringkoeffizient)

e

thermischer Parameter, der bei zeitabhängiger Heizung die Oberflächentemperatur eines Körpers bestimmt

ANMERKUNG Siehe Gleichung (5).

3.10

thermische Welle (Wärmewelle)

räumlich-zeitlich veränderliches Temperaturfeld, das sich bei zeitabhängiger Erwärmung in einem Körper (bzw. Medium) einstellt und das durch die Wärmeleitungsgleichung beschrieben wird

ANMERKUNG 1 Siehe Gleichung (1).

ANMERKUNG 2 Die thermische Welle wird in einem Grenzfall durch eine periodisch-harmonische Anregung, im anderen Grenzfall durch eine pulsförmige Anregung erzeugt.

3.11

thermischer Reflexionskoeffizient

R_{cs}

thermischer Parameter, der ein Maß für die Reflexion der thermischen Welle an der Grenzfläche zwischen zwei Schichten unterschiedlicher thermischer Effusivität ist und damit den Wärmetransport durch diese Grenzfläche beschreibt.

ANMERKUNG Siehe Gleichung (8).

4 Symbole und Abkürzungen

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit	Siehe Gleichung
$\Delta T(x,t)$	Amplitude der thermischen Welle	K	1
$\Delta T_0(x,t)$	Amplitude der thermischen Welle ($x = 0$)	K	2
$\Delta \phi$	Phase der thermischen Welle	rad	3
μ	Thermische Diffusionslänge	m	4
e	Thermische Effusivität	$\text{Ws}^{1/2}(\text{m}^2\text{K})$	5
α	Thermische Diffusivität	m^2/s	6
τ	Thermische Diffusionszeit	s	7
F_0	Wärmestrom/Anregungsleistungsdichte	W/m^2	7
η	Photothermischer Wirkungsgrad		
k	Wärmeleitfähigkeit	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	12
ρ	Massendichte	kg/m^3	13
c	Spezifische Wärmekapazität	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	13
f	Modulationsfrequenz	s^{-1}	
I_0	Einfallende Strahlungsleistungsdichte	W/m^2	2
x	Ort unterhalb der Grenzfläche	m	
t	Zeit	s	

5 Grundlagen photothermischer Werkstoffprüfung

5.1 Physikalische Grundlagen

5.1.1 Thermische Wellen

Der Begriff „Thermische Welle(n)“ beschreibt ein räumlich und zeitlich veränderliches Temperaturfeld, das durch eine zeitabhängige Erwärmung in einem Körper hervorgerufen wird. In der technischen Literatur wird auch der Begriff Temperaturwelle verwendet. Die Anregung des räumlich und zeitlich veränderlichen Temperaturfeldes, das mathematisch durch eine Diffusionsgleichung, die Wärmeleitungsgleichung, beschrieben wird, kann in einem Grenzfall periodisch-harmonisch oder im anderen Grenzfall pulsformig erfolgen.

Die physikalischen Grundlagen [1], [5], [6], [7] lassen sich sowohl für die harmonische Anregung als auch die Pulsanregung herleiten und lassen sich durch eine Fouriertransformation ineinander überführen. In diesem Abschnitt wird vorwiegend auf die harmonische Anregung eingegangen, die Herleitung für Pulsanregung ist in [8] nachzulesen.

Als Beispiel thermischer Wellen, die in der Natur zu beobachten sind, ist die mit dem Tagesablauf und im Verlauf eines Jahres sich ändernde Temperaturverteilung im Erdboden zu nennen, wobei die täglichen Variationen der Temperatur bis zu einer Eindringtiefe von knapp 30 cm und die Variation im Verlauf eines Jahres bis zu einer Eindringtiefe von mehreren Metern reichen [9].

Am Beispiel der thermischen Welle [10], die im homogenen, halbumendlichen und nur an der Oberfläche absorbierenden Körper bei harmonisch-periodischer und großflächiger Bestrahlung angeregt wird, lassen sich die wichtigsten Eigenschaften thermischer Wellen beschreiben und die physikalischen Größen und Parameter erkennen, die bei der Werkstoffprüfung mittels thermischer Wellen der Messung zugänglich sind.

$$\Delta T(x, t) = \Delta T_0(x) \cdot \cos(2\pi ft + \Delta\phi(x)) \quad (1)$$

ANMERKUNG Symbole sind in Abschnitt 4 festgelegt.

$$\Delta T_0(x) = \frac{\eta I_0}{e \sqrt{2\pi f}} \exp(-x/\mu) \quad (2)$$

$$\Delta\phi(x) = -x/\mu - \pi/4 \quad (3)$$

$$\mu = \sqrt{\frac{\alpha}{\eta f}} \quad (4)$$

Die Amplitude der thermischen Welle (siehe Gleichung 1) nimmt, ausgehend von der beheizten Oberfläche ($x = 0$), exponentiell mit der Tiefe ab. Die durch die Messung erfassbare Eindringtiefe thermischer Wellen liegt in der Größenordnung der thermischen Diffusionslänge μ . Bedingt durch die Frequenzabhängigkeit der thermischen Diffusionslänge μ (Gleichung 4) kann die Eindringtiefe thermischer Wellen durch gezielte Variation der Modulationsfrequenz f der Heizung eingestellt werden. Die Amplitude der thermischen Welle $\Delta T_0(x)$ (Gleichung 2) und die Phasenverschiebung $\Delta\phi(x)$ (Gleichung 3) hängen von den folgenden thermischen Eigenschaften ab:

der thermischen Effusivität (Wärmeeindringkoeffizient), e , nach folgender Gleichung

$$e = \sqrt{k \rho c} \quad (5)$$

und der thermischen Diffusivität, α , nach folgender Gleichung

$$\alpha = \frac{k}{\rho c} \quad (6)$$

Daher können frequenzabhängige Messungen der Amplitude und Phase der thermischen Welle tiefenaufgelöste Information über diese kombinierten thermischen Parameter liefern. In den Gleichungen (5) und (6) sind k die Wärmeleitfähigkeit, ρ die Massendichte und c die spezifische Wärmekapazität.

Die an der Oberfläche des Körpers messbare Amplitude der thermischen Welle ist proportional zum photothermischen Wirkungsgrad η , der den Anteil der in Wärme umgewandelten einfallenden Strahlungsleistung angibt.

Bei Schichtsystemen werden die Amplitude und die Phasenverschiebung der Temperaturosillation zum einen durch das Verhältnis der thermischen Effusivität von Schicht und Substrat e_s/e_{Sub} , und zum anderen durch die thermische Diffusionszeit der Schicht bestimmt.

$$\tau_c = \frac{l_c^2}{\alpha_c} \quad (7)$$

Dabei ist

- l_c die geometrische Dicke der Schicht;
- α_c die thermische Diffusivität der Schicht.