

DIN EN ISO 18610



ICS 81.060.30

EntwurfEinsprüche bis 2020-10-21
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 14186:2008-02

**Hochleistungskeramik –
Mechanische Eigenschaften von keramischen Verbundwerkstoffen bei
Raumtemperatur –
Bestimmung der elastischen Eigenschaften durch eine Ultraschallmethode
(ISO 18610:2016);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 18610:2020**

Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) –
Mechanical properties of ceramic composites at ambient temperature in air atmospheric
pressure –
Determination of elastic properties by ultrasonic technique (ISO 18610:2016);
German and English version prEN ISO 18610:2020

Céramiques techniques (céramiques avancées, céramiques techniques avancées) –
Propriétés mécaniques des céramiques composites à température ambiante sous air à
pression atmosphérique –
Détermination des propriétés élastiques par méthode ultrasonore (ISO 18610:2016);
Version allemande et anglaise prEN ISO 18610:2020

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-08-21 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nmp@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP), 10772 Berlin oder Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

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

Gesamtumfang 50 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Der Text von ISO 18610:2016 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 206 „Fine ceramics“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und vom Technischen Komitee CEN/TC 184 „Hochleistungskeramik“ als prEN ISO 18610:2020 übernommen, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-02-94 AA „Prüfung von Hochleistungskeramik – Keramische Verbundwerkstoffe“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 3611	siehe	DIN EN ISO 3611
ISO 20504	siehe	DIN EN ISO 20504
ISO/IEC 17025	siehe	DIN EN ISO/IEC 17025

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 14186:2008-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) identische Übernahme der aktuelleren ISO 18610;
- b) Abschnitt 2 „Normative Verweisungen“ eingefügt;
- c) Norm redaktionell überarbeitet.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 3611, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Längenmessgeräte: Bügelmessschrauben — Konstruktionsmerkmale und messtechnische Merkmale*

DIN EN ISO 20504, *Hochleistungskeramik — Mechanische Eigenschaften von keramischen Verbundwerkstoffen bei Raumtemperatur — Bestimmung des Druckverhaltens*

DIN EN ISO/IEC 17025, *Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien*

— Leerseite —

<i>Titel de:</i>	Hochleistungskeramik — Mechanische Eigenschaften von keramischen Verbundwerkstoffen bei Raumtemperatur — Bestimmung der elastischen Eigenschaften durch eine Ultraschallmethode (ISO 18610:2016)
<i>Titel en:</i>	Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Mechanical properties of ceramic composites at ambient temperature in air atmospheric pressure — Determination of elastic properties by ultrasonic technique (ISO 18610:2016)
<i>Titel fr:</i>	Céramiques techniques (céramiques avancées, céramiques techniques avancées) — Propriétés mécaniques des céramiques composites à température ambiante sous air à pression atmosphérique — Détermination des propriétés élastiques par méthode ultrasonore (ISO 18610:2016)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Kurzbeschreibung	8
5 Signifikanz und Anwendung	10
6 Prüfeinrichtung	11
6.1 Tauchwanne mit einer Temperaturmesseinrichtung	11
6.2 Halter der Sonden und der Probe	11
6.3 Sonden	11
6.4 Impulsgeber	11
6.5 Signalanzeige- und -aufzeichnungssystem	11
7 Probe	11
8 Vorbereitung der Proben	12
9 Prüfverfahren	12
9.1 Auswahl der Frequenz	12
9.2 Festlegung der Prüftemperatur	13
9.3 Bezugsprüfung ohne Probe	13
9.4 Messung mit der Probe	13
9.4.1 Bestimmung von Raumdichte und Dicke	13
9.4.2 Befestigung der Probe	13
9.4.3 Erfassung unterschiedlicher Einfallswinkel	13
10 Berechnung	14
10.1 Verzögerung	14
10.2 Berechnung der Ausbreitungsgeschwindigkeiten	14
10.3 Berechnung des brechenden Winkels, θ_r	14
10.4 Ermittlung der Elastizitätskonstanten, C_{ij}	15
10.4.1 Grundlegende Betrachtungen	15
10.4.2 Berechnung von C_{33}	16
10.4.3 Berechnung von C_{22} , C_{23} und C_{44}	16
10.4.4 Berechnung von C_{11} , C_{13} und C_{55}	16
10.4.5 Berechnung von C_{12} und C_{66}	17
10.5 Aufzeichnung der Polardiagramme für die Geschwindigkeit	18
10.6 Berechnung der quadratischen Abweichung und des Vertrauensbereiches	18
10.7 Berechnung der technischen Konstanten	19
11 Gültigkeit der Prüfung	20
11.1 Messungen	20
11.2 Gültigkeitskriterium für die Zuverlässigkeit der C_{ij} -Komponenten	20
12 Prüfbericht	20
Anhang A (informativ) Beispiel für eine Darstellung der Ergebnisse für einen Werkstoff mit orthotroper Symmetrie	21
Literaturhinweise	23

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO 18610:2016 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 206 „Fine ceramics“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und vom Technischen Komitee CEN/TC 184 „Hochleistungskeramik“ als prEN ISO 18610:2020 übernommen, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 18610:2016 wurde von CEN als prEN ISO 18610:2020 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung rationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Eine Erläuterung der Bedeutung ISO spezifischer Benennungen und Ausdrücke, die sich auf Konformitätsbewertung beziehen, sowie Informationen über die Beachtung der Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) zu technischen Handelshemmnissen (TBT, en: Technical Barriers to Trade) durch ISO enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist ISO/TC 206, *Fine ceramics*.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt ein Ultraschallverfahren fest, mit dem die Komponenten des Elastizitätstensors von keramischen Verbundwerkstoffen bei Raumtemperatur zu bestimmen sind. Aus den Komponenten des Elastizitätstensors können E-Modul, Schermodul und Querkontraktionszahl bestimmt werden.

Dieses Dokument gilt für keramische Verbundstoffe mit unidirektionaler (1D), bidirektionaler (2D) sowie dreidirektionaler ($\times D$, mit $2 < \times \leq 3$) Endlosfaserverstärkung, die mindestens eine orthotrope Symmetrie haben und deren Werkstoff-Symmetrieachsen bekannt sind.

Dieses Verfahren ist nur anwendbar, wenn Ultraschall angewendet wird, dessen Wellenlänge größer ist als die Dicke des repräsentativen Volumenelements, wodurch eine obere Grenze für den Frequenzbereich der verwendeten Wandler festgelegt wird.

ANMERKUNG Die nach diesem Verfahren ermittelten Eigenschaften sind möglicherweise nicht mit den Modulen vergleichbar, die nach ISO 15733, ISO 20504 und EN 12289 ermittelt wurden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 3611, *Geometrical product specifications (GPS) — Dimensional measuring equipment: Micrometers for external measurements — Design and metrological characteristics*

ISO/IEC 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

EN 1389, *Hochleistungskeramik — Keramische Verbundwerkstoffe — Physikalische Eigenschaften — Bestimmung der Dichte und scheinbaren Porosität*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach CEN/TR 13233 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

Spannungs-Dehnungs-Eigenschaften orthotroper Werkstoffe

elastisches anisotropes Verhalten eines homogenen Festkörpers, das mit Hilfe des Elastizitätstensors der vierten Ordnung, C_{ijkl} , beschrieben wird, der in der zusammengezogenen Schreibweise durch eine symmetrische quadratische Matrix (6×6) dargestellt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Falls der Werkstoff mindestens orthotrope Symmetrie aufweist, wird sein elastisches Verhalten vollständig beschrieben durch neun unabhängige Steifigkeitskomponenten C_{ij} der Steifigkeitsmatrix (C_{ij}), die das Verhältnis der Spannungen zu den Dehnungen erfassen, oder aber durch neun unabhängige Komplianzkomponenten S_{ij} der Komplianzmatrix (S_{ij}), die eine Beziehung zwischen Dehnungen und Spannungen herstellt. Die Steifigkeits- und Komplianzmatrizes sind zueinander invers.

Falls das Bezugs-Koordinatensystem so ausgewählt wird, dass es mit den Symmetrieachsen zusammenfällt, können die Steifigkeitsmatrix C_{ij} und die Komplianzmatrix S_{ij} wie folgt dargestellt werden:

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix}$$

Anmerkung 2 zum Begriff: Wenn eine höhere als die orthotrope Symmetrie vorliegt, haben die C_{ij} -Matrix und die S_{ij} -Matrix die gleiche Form wie oben angegeben. Die Anzahl der unabhängigen Komponenten verringert sich jedoch.

3.2 technische Konstanten

Komponenten der Komplianzmatrix eines orthotropen Werkstoffs, die in Form technischer Konstanten wie folgt dargestellt werden:

$$[S_{ij}] = \begin{bmatrix} 1/E_{11} & -\nu_{21}/E_{22} & -\nu_{31}/E_{33} & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{12}/E_{11} & 1/E_{22} & -\nu_{32}/E_{33} & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{13}/E_{11} & -\nu_{23}/E_{22} & 1/E_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{23} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{13} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{12} \end{bmatrix}$$

Dabei sind

E_{11} , E_{22} und E_{33} die Elastizitätsmoduln in den Richtungen 1, 2 bzw. 3;

G_{12} , G_{13} und G_{23} die Schermoduln in den entsprechenden Ebenen;

ν_{12} , ν_{13} , ν_{23} die jeweiligen Querkontraktionszahlen.

3.3 Einfallswinkel

θ_i

Winkel zwischen der Richtung 3, die rechtwinklig zur Vorderfläche der Probe verläuft, und der Richtung n_i der einfallenden Welle

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1 und Bild 2.

3.4

brechender Winkel

θ_r

Winkel zwischen der Richtung 3, die rechtwinklig zur Vorderfläche der Probe verläuft, und der Richtung n , in der sich die Welle innerhalb der Probe ausbreitet

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1 und Bild 2.

3.5

Azimutwinkel

ψ

Winkel zwischen der Einfallsebene ($3, n_i$) und der Ebene (2, 3), wobei n_i dem Vektor, der entlang der einfallenden ebenen Welle ausgerichtet ist, und Richtung 2 einer der Symmetrieachsen des Werkstoffs entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

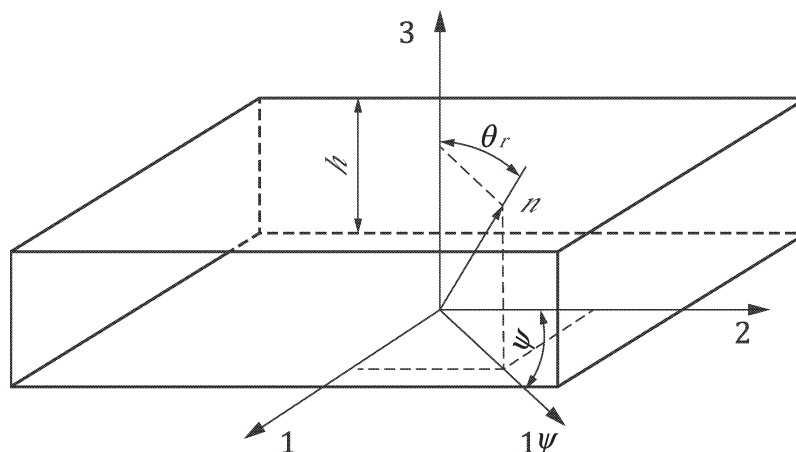


Bild 1 — Definition der Winkel

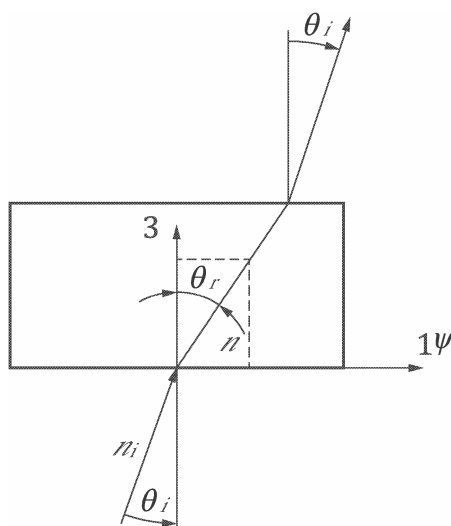


Bild 2 — Ausbreitung in der Einfallsebene

3.6

erster kritischer Winkel

θ_c

Einfallswinkel θ_i , der mit dem Winkel der Quasilongitudinalwelle einen Brechungswinkel von 90 Grad bildet

3.7

Einheitsvektor

n

Vektor der Länge 1 mit den Komponenten n_k ($k = 1, 2, 3$), der in Richtung der Ausbreitung der einfallenden ebenen Welle innerhalb der Probe ausgerichtet ist

$$n_1 = \sin\theta_r \sin\psi$$

$$n_2 = \sin\theta_r \cos\psi$$

$$n_3 = \cos\theta_r$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1 und Bild 2.

3.8

Ausbreitungsgeschwindigkeit

$V(n)$

Phasengeschwindigkeit einer ebenen Welle innerhalb der Probe, die vom Einheitsvektor n (d. h. von ψ und θ_r) abhängig ist

Anmerkung 1 zum Begriff: V_0 ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Kopplungsmittel.

3.9

Verzögerung

$\delta t(n)$

Differenz zwischen der Laufzeit der Welle im Kopplungsmittel mit und ohne eingesetzte(r) Probe unter derselben Anordnung der Sonden in Abhängigkeit vom Einheitsvektor n

3.10

Raumdichte

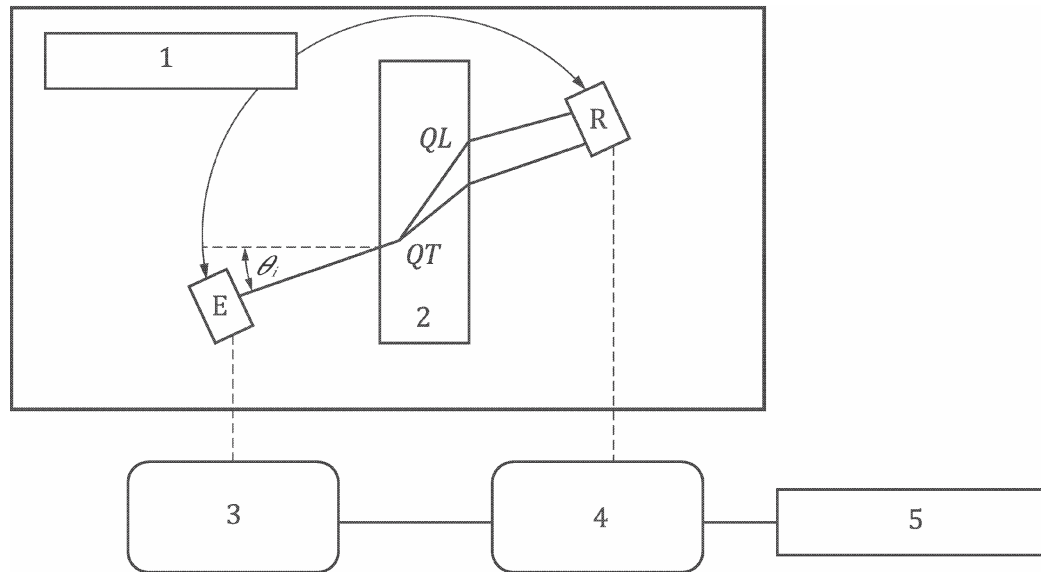
ρ

Verhältnis der Masse des Materials ohne den Porenanteil zum Gesamtvolumen des Materials einschließlich des Porenanteils

4 Kurzbeschreibung

Die elastischen Eigenschaften werden bestimmt, indem die Koeffizienten der Gleichung für die Ausbreitung einer ebenen elastischen Welle aus einer Reihe von sorgfältig ausgewählten Geschwindigkeitsmessungen in bekannten Richtungen errechnet werden.

Eine dünne Probe mit planparallelen Flächen wird in ein akustisches Kopplungsmittel (z. B. Wasser) eingetaucht, siehe Bild 3. Die Probe wird zwischen einem Signalgeber (T, en: transmitter) und einem Empfänger (R, en: receiver) angeordnet, die fest miteinander verbunden sind und zwei Rotationsfreiheitsgrade haben. Durch geeignete Signalverarbeitung werden die Ausbreitungsgeschwindigkeiten jeder Welle in der Probe errechnet.



Legende

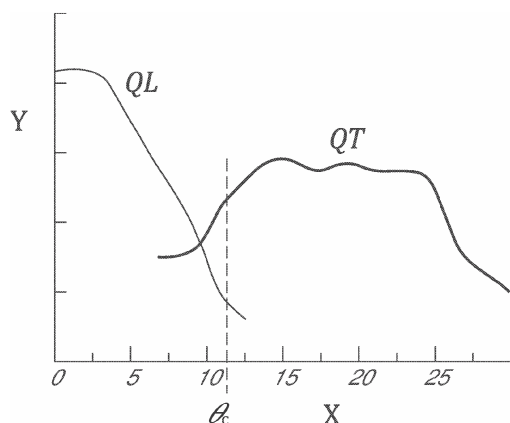
- 1 Antrieb für die Rotationsbewegung
- 2 Probe
- 3 Impulsgeber
- 4 Digitales Oszilloskop
- 5 Mikrocomputer

Bild 3 — Ultraschallprüfeinrichtung

In Abhängigkeit vom Einfallswinkel wird die Welle, die durch den vom Signalgeber T gesendeten Impuls erzeugt wurde, innerhalb des Werkstoffs in eine (Quasilongitudinalwelle QL oder eine Quasitransversalwelle QT), zwei ($QL + QT$ oder zwei Quasitransversalwellen QT_1, QT_2) oder drei Volumenwelle(n) ($QL + QT_1 + QT_2$) gebrochen, die sich in einem Festkörper mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und in unterschiedlichen Richtungen ausbreitet (ausbreiten).

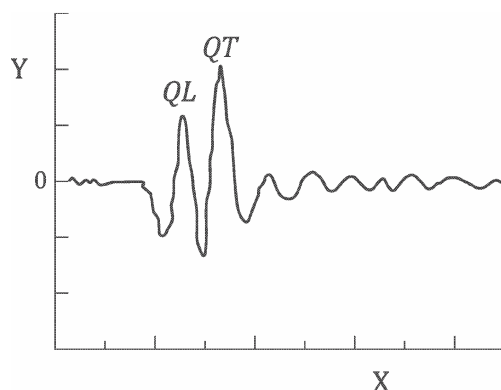
Der Empfänger R erhält einen, zwei oder drei Impuls(e), der (die) jeder dieser Wellen entspricht (entsprechen).

Die Differenz zwischen der Laufzeit jeder Welle und der Laufzeit des im Kopplungsmittel ohne eingesetzte Probe übertragenen Impulses wird gemessen. Das Bewertungsverfahren beruht auf der Messung der Differenz zwischen den Laufzeiten der Quasilongitudinalwelle und einer oder beiden Quasitransversalwelle(n) und ist nur gültig, wenn die QL - und die QT -Wellen entsprechend voneinander getrennt sind (siehe Bild 4).



Legende

Y Amplitude
X Einfallswinkel



Legende

Y Amplitude
X Zeit

ANMERKUNG Es sind sowohl *QL*- als auch *QT*-Wellen vorhanden, die sich im positiven Bereich gut voneinander unterscheiden lassen, im negativen Bereich aber leicht überlappen.

a) Amplitude der *QL*- und *QT*-Wellen in Abhängigkeit vom Einfallswinkel mit Überlappung im Bereich von θ_c

b) Temporale Wellenform der *QL*- und *QT*-Wellen bei einem Einfallswinkel θ_i nahe dem kritischen Winkel θ_c

Bild 4 — Beispiel für die teilweise Überlappung von *QL*- und *QT*-Wellen bei einem Einfallswinkel θ_i

Aus den Ausbreitungsgeschwindigkeiten werden die Komponenten des Elastizitätstensors mit Hilfe einer Regressionsanalyse unter Anwendung des Verfahrens der kleinsten Quadrate ermittelt, wodurch die verbleibenden Fehler der Wellenausbreitungsgleichungen verringert werden.

E-Moduln, Schermoduln und Querkontraktionszahlen werden aus diesen Komponenten ermittelt.

5 Signifikanz und Anwendung

Zwei Konstanten (die Lamé-Koeffizienten, der E-Modul und die Querkontraktionszahl, der E-Modul und der Schermodul, Geschwindigkeiten von Longitudinal- und Transversalwellen) reichen aus, um das elastische Verhalten eines isotropen Festkörpers vollständig zu beschreiben. Wenn jedoch Anisotropie zu berücksichtigen ist, die ein spezifisches Merkmal von Verbundwerkstoffen ist, muss ein Elastizitätstensor mit einer großen Anzahl unabhängiger Koeffizienten angewendet werden. Während mit den üblichen mechanischen Verfahren die Elastizität anisotroper Körper nur teilweise zu ermitteln ist, ermöglichen Ultraschallverfahren eine umfassendere Bewertung der elastischen Eigenschaften dieser Werkstoffe und besonders der Elastizitätsmodulen in Querrichtung und der Schermoduln für dünne Proben.

Die erfolgreiche Anwendung des Verfahrens hängt in kritischer Weise von der geeigneten Auswahl der Mittenfrequenz der Wandler ab. Die Frequenz muss einerseits so niedrig sein, dass die Messung für das Verhalten des Volumenelements repräsentativ ist und andererseits ausreichend groß, um eine Trennung zwischen den *QL*- und den *QT*-Wellen zu erreichen.

Die hier beschriebene Bestimmung der elastischen Eigenschaften nach dem Ultraschallverfahren beruht auf einer zerstörungsfreien, dynamischen Messung der Wellenausbreitungsgeschwindigkeiten. Für die Bestimmung der Werte des E-Moduls, des Schermoduls und der Querkontraktionszahl wird nur eine einzige Probe benötigt.

6 Prüfeinrichtung

6.1 Tauchwanne mit einer Temperaturmesseinrichtung

Die Temperatur des Kopplungsmittels in der Tauchwanne sollte über die gesamte Dauer der Prüfung mit einer Abweichung von $\pm 0,5$ °C konstant bleiben.

Die Temperaturmesseinrichtung muss in der Lage sein, die Temperatur auf 0,5 °C zu messen.

Diese Anforderung wird gestellt, weil die Wellenausbreitungsgeschwindigkeit im Kopplungsmittel von der Temperatur abhängig ist.

6.2 Halter der Sonden und der Probe

Der Halter der Ultraschallsonden oder der Probenhalter muss Drehungen zulassen, durch die sich ein Bereich der Einfallswinkel θ_i von 0° bis 90° abdecken lässt. Außerdem muss der jeweilige Halter diskrete Einstellungen des Azimutwinkels von $\pm 0^\circ$, 45° und 90° zulassen. Die Winkel θ_i und ψ müssen auf besser als 0,1° bzw. auf 1° gemessen werden können.

Die Sonden sind so zu befestigen, dass ihre relative Position während der Prüfung unverändert bleibt.

6.3 Sonden

Es sind piezoelektrische Breitband-Sonden zu verwenden, die auf das Kopplungsmittel abgestimmt und in der Lage sind, Ultraschall-Longitudinalwellen zu erzeugen. Als Signalgeber und -empfänger sind zwei Sonden mit ähnlichen Spezifikationen (z. B. Mittenfrequenz, Bandbreite) zu verwenden.

6.4 Impulsgeber

Der Impulsgeber muss den Kennwerten der Sonden entsprechend ausgewählt werden.

Er muss in der Lage sein, sinusförmige Spannungsimpulse von kurzer Dauer ($< 1 \mu\text{s}$) zu erzeugen, die ausreichen, um mittels des Wandlers einen mechanischen Impuls bereitzustellen. Die Frequenz des Anregungsimpulses muss nach 9.1 ausgewählt werden.

Zwischen aufeinander folgenden Impulsen muss ein im Vergleich zur aufgezeichneten Laufzeit langes Intervall liegen, im Allgemeinen größer als 1 ms, sodass sich sämtliche Signale des vorhergehenden Impulses zerstreut haben, bevor der nächste Impuls erzeugt wird.

6.5 Signalanzeige- und -aufzeichnungssystem

Es sind alle Systeme anwendbar, z. B. ein digitales Oszilloskop mit einer Abtastrate von mindestens 100 MHz, die die Aufzeichnung von übertragenen und empfangenen Signalen ermöglichen. Das Signalaufzeichnungssystem wird so ausgelegt, dass es möglich ist, auf dem Display die erzeugten und die detektierten Impulse auf derselben Zeitbasis anzuzeigen und die Zeitlücke zwischen diesen beiden Ereignissen zu bestimmen.

7 Probe

Die Auswahl der geometrischen Form der Probe hängt von der Werkstoffart und der Struktur der Verstärkung ab. Die Dicke muss ausreichend sein, um eine Trennung der Echos von QL (Quasilongitudinal)-Wellen und QT (Quasitransversal)-Wellen zu ermöglichen, und sie muss repräsentativ für den Werkstoff sein. Es wird empfohlen, die größtmögliche Dicke anzuwenden; sie sollte mindestens das 5-Fache der Größe des repräsentativen Volumenelements (RVE) in Richtung der Wellenausbreitung betragen. Die übrigen Maße der Probe müssen mindestens das Zweifache des Durchmessers des Wandlers betragen. Es ist verbindlich vorgeschrieben, eine Probe mit parallelen Flächen zu verwenden. Die beiden Flächen müssen besser als 0,1 mm parallel sein.