

DIN EN ISO 18608

ICS 81.060.30

Entwurf

Einsprüche bis 2022-01-26
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 13234:2007-01

**Hochleistungskeramik –
Mechanische Eigenschaften von keramischen Verbundwerkstoffen bei
Umgebungstemperatur in Luft atmosphärischen Druck –
Bestimmung der Rissausbreitungsbeständigkeit durch die
Kerbempfindlichkeitsprüfung (ISO 18608:2017);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 18608:2021**

Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) –
Mechanical properties of ceramic composites at ambient temperature in air atmospheric
pressure –
Determination of the resistance to crack propagation by notch sensitivity testing
(ISO 18608:2017);
German and English version prEN ISO 18608:2021

Céramiques techniques –
Propriétés mécaniques des céramiques composites à température ambiante sous pression
atmosphérique –
Détermination de la résistance à la propagation de fissure par un essai de sensibilité à
l'entaille (ISO 18608:2017);
Version allemande et anglaise prEN ISO 18608:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-11-26 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 Am DIN-Platz,
Burggrafenstr. 6, 10787 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 31 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Der Text von ISO 18608:2017 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 206 „Fine ceramics“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als prEN ISO 18608:2021 durch das Technische Komitee CEN/TC 184 „Hochleistungskeramik“ übernommen, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-02-94 AA „Prüfung von Hochleistungskeramik — Keramische Verbundwerkstoffe“ im DIN-Normenausschuss 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 7500-1	siehe	DIN EN ISO 7500-1

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 13234:2007-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) identische Übernahme der aktuelleren ISO 18608;
- b) Norm redaktionell überarbeitet.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

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

DIN EN ISO 7500-1, *Metallische Werkstoffe — Kalibrierung und Überprüfung von statischen einachsigen Prüfmaschinen — Teil 1: Zug- und Druckprüfmaschinen — Kalibrierung und Überprüfung der Kraftmesseinrichtung*

<i>Titel de:</i>	Hochleistungskeramik — Mechanische Eigenschaften von keramischen Verbundwerkstoffen bei Umgebungstemperatur in Luft atmosphärischen Druck — Bestimmung der Rissausbreitungsbeständigkeit durch die Kerbempfindlichkeitsprüfung (ISO 18608:2017)
<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 the resistance to crack propagation by notch sensitivity testing (ISO 18608:2017)
<i>Titel fr:</i>	Céramiques techniques — Propriétés mécaniques des céramiques composites à température ambiante sous pression atmosphérique — Détermination de la résistance à la propagation de fissure par un essai de sensibilité à l'entaille (ISO 18608:2017)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Kurzbeschreibung	6
5 Bedeutung und Anwendung	7
6 Prüfeinrichtung	8
6.1 Prüfmaschine	8
6.2 Krafteinleitungssystem	8
6.2.1 Allgemeines	8
6.2.2 Einspannungen	9
6.2.3 Verbindungselemente zur Krafteinleitung	9
6.3 Datenerfassungssystem	9
6.4 Messschrauben	9
6.5 Einrichtung zum Messen der Steggröße	9
7 Probekörper	9
7.1 Ungekerbte Probekörper	9
7.2 Gekerbte Probekörper	10
7.3 Kerben	11
8 Vorbereitung der Probekörper	11
8.1 Bearbeitung und Vorbereitung	11
8.2 Anzahl der Probekörper	11
9 Durchführung der Prüfung	11
9.1 Prüfung an einem Vergleichsprobekörper	11
9.2 Prüfung an einem gekerbten Probekörper	12
9.2.1 Verschiebungsgeschwindigkeit	12
9.2.2 Bestimmung der Probekörpermaße	12
9.2.3 Prüfverfahren	12
9.2.4 Gültigkeit der Prüfung	12
10 Berechnung der Ergebnisse	12
10.1 Herkunft des Probekörpers	12
10.2 Zugfestigkeit von ungekerbten Probekörpern	12
10.3 Zugfestigkeit von gekerbten Probekörpern	12
10.4 Aufstellen der Kerbempfindlichkeits-Kurve	13
10.5 Berechnung der äquivalenten Bruchzähigkeit für die unterschiedlichen Verhaltensklassen	14
10.5.1 Verhaltensklasse A	14
10.5.2 Verhaltensklasse B	14
10.5.3 Verhaltensklasse C	14
11 Prüfbericht	14
Literaturhinweise	15

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO 18608:2017 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 18608:2021 übernommen, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 13234:2006 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 18608:2017 wurde von CEN als prEN ISO 18608:2021 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler 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 zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 206, *Fine ceramics*, erarbeitet.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt ein Verfahren für die Klassifizierung von Verbundwerkstoffen mit keramischer Matrix (CMC, en: ceramic matrix composite) nach ihrer Rissausbreitungsempfindlichkeit unter Anwendung von Zugversuchen an gekerbten Probekörpern mit unterschiedlicher Kerbtiefe. Es können zwei Klassen von Verbundwerkstoffen mit keramischer Matrix unterschieden werden: Werkstoffe, deren Festigkeit empfindlich gegen das Vorliegen von Kerben ist, und Werkstoffe, deren Festigkeit nicht beeinflusst wird. Für empfindliche Werkstoffe wird in diesem Dokument ein Verfahren zur Bestimmung einer äquivalenten Bruchzähigkeit festgelegt.

Der Parameter K_{eq} ist definiert als die Bruchzähigkeit eines homogenen Werkstoffes, der die gleiche Empfindlichkeit hinsichtlich der Rissausbreitung aufweist wie der zu untersuchende Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix. Die Definition des Parameters K_{eq} bietet die Möglichkeit, Verbundwerkstoffe mit keramischer Matrix mit anderen Werkstoffen in Bezug auf die Rissausbreitungsempfindlichkeit zu vergleichen.

Auf kerbunempfindliche Werkstoffe ist das Konzept von K_{eq} nicht anwendbar.

Dieses Dokument gilt für alle endlosfaserverstärkten Verbundwerkstoffe mit keramischer Matrix mit unidirektionaler (1D), bidirektionaler (2D) und multidirektionaler (xD) Verstärkung ($2 < x \leq 3$), bei denen die Beanspruchung entlang einer der Verstärkungs-Hauptachsen erfolgt.

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 7500-1, *Metallic materials — Calibration and verification of static uniaxial testing machines — Part 1: Tension/compression testing machines — Calibration and verification of the force-measuring system*

ISO 15733:2015, *Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Mechanical properties of ceramic composites at ambient temperature in air atmospheric pressure — Determination of tensile properties*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 15733 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 <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

3.1

Steg

Teil des zweiseitig gekerbten Probekörpers, der zwischen den Kerben liegt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Breite des Stegs wird mit b bezeichnet; der Querschnitt des Stegs wird mit A bezeichnet.

3.2

Kerbtiefe

a

Abstand zwischen seitlicher Probekörperfläche und Kerbspitze

3.3

Breite des gekerbten Probekörpers

b_n

Breite des mit Kerben versehenen Probekörpers, außerhalb des gekerbten Querschnitts

3.4

Höchstzugkraft

F_m

beim Zugversuch bis zum Bruch höchste aufgezeichnete Zugkraft am Probekörper

3.5

Zugfestigkeit des ungekerbten Probekörpers

$\sigma_{t,m}$

durch Messung nach ISO 15733 ermittelte Zugfestigkeit

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Wert dieses Parameters wird mit σ_r bezeichnet.

3.6

Zugfestigkeit des gekerbten Probekörpers

$\sigma_{t,m,n}$

Quotient aus der Höchstzugkraft und der Steg-Querschnittsfläche

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Wert dieses Parameters wird mit σ_n bezeichnet.

3.7

äquivalente Bruchzähigkeit

K_{eq}

Bruchzähigkeit eines homogenen, isotropen Werkstoffs mit der gleichen Abhängigkeit des Spannungsverhältnisses σ_n/σ_r von der Kerbtiefe wie der untersuchte Verbundwerkstoff

4 Kurzbeschreibung

An doppelseitig gekerbten Probekörpern mit unterschiedlichen Kerbtiefen werden Zugversuche durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche werden mit den Ergebnissen von Zugversuchen an ungekerbten Probekörpern verglichen. Die Querschnittsmaße von gekerbten Probekörpern zwischen den Kerben sind gleich den Maßen von ungekerbten Probekörpern.

Die bei beiden Probekörpertypen beobachteten Werte für die Festigkeit als Funktion der Kerbtiefe ermöglichen die Bestimmung des Bereichs der Kerbgröße, in dem der untersuchte Verbundwerkstoff empfindlich gegen das Vorliegen von Kerben ist.

5 Bedeutung und Anwendung

Die Bruchzähigkeit ist eine Werkstoffeigenschaft, die die Einleitung eines Bruchs von einem deutlichen Riss (der gewöhnlich von einem Ermüdungsriss unter den Bedingungen der ebenen Dehnung erhalten wird) charakterisiert. Die Bruchzähigkeit eines Werkstoffs bei Einsetzen der Rissausbreitung von einem bereits vorliegenden Ermüdungsriss wird durch den Wert eines der folgenden Parameter charakterisiert:

- a) K_{Ic} , ein kritischer Wert von K_I (der Spannungsintensitätsfaktor des elastischen Spannungsfeldes in der Nähe der Rissfront) im Moment des Beginns der instabilen Rissausbreitung;
- b) G_{Ic} , ein kritischer Wert von G_I (die Dehnungsenergiefreisetzungsrates bei der Rissausbreitung je Flächeneinheit neu erzeugter Rissoberfläche) im Moment des Beginns der instabilen Rissausbreitung;
- c) J_{Ic} , ein kritischer Wert von J_I (ein Kurven- oder Flächenintegral zur Charakterisierung des lokalen Spannungs-Dehnungs-Feldes um die Rissfront) beim Einsetzen der stabilen Rissausbreitung.

Das J -Integral spielt eine bedeutende Rolle in der nichtlinearen Bruchmechanik. Es gilt für Körper mit nichtlinear-elastischem Verhalten, während die linear-elastische Bruchmechanik (K_{Ic} und G_{Ic}) für Körper mit linear-elastischem Verhalten gilt.

In faserverstärkten Verbundwerkstoffen mit keramischer Matrix treten aus folgenden Gründen Probleme bei der Bestimmung und Definition von K_{Ic} , G_{Ic} und J_{Ic} auf:

- a) CMC sind im Allgemeinen sehr heterogen und bestehen aus mehreren Bestandteilen (aus Fasern und Matrix); sie enthalten Poren und Risse;
- b) bei einigen CMC entsteht, bevor der endgültige Bruch eintritt, vor einer Kerbe eine Schadenszone mit Mehrfachrissen in der Matrix;
- c) die zugehörigen Verformungen sind nicht linear.

Die Kurve Kraft gegen Verschiebung der Belastungslinie aus einer bis zum Bruch durchgeführten Prüfung an einem gekerbten Probekörper enthält einen nichtlinearen Bereich, der durch diffuse Mikrorissbildung in der Matrix an der Kerbfront bedingt ist. Die Schadenszone liegt im Millimeter- bis Zentimeterbereich (d. h. sie entspricht einem oder mehreren Durchmesser(n) des Faserbündels). Bei der Höchstlast wird durch den zufälligen Bruch von Fasern innerhalb des Faserbündels in der Schadenszone ein makroskopischer Riss erzeugt. Die Rissausbreitung in CMC ergibt sich folglich nicht wie bei monolithischen Werkstoffen aus dem Mechanismus der Ausdehnung eines einzigen makroskopischen Risses.

Wegen des Vorliegens der Schadenszone und wegen der heterogenen Mikrostruktur unterscheidet sich die Spannungsverteilung in der Schadenszone von der Spannungsverteilung, die vor der Rissfront in Körpern mit linear-elastischem Verhalten erzeugt wird. Der Parameter K_I beschreibt nicht das Spannungsfeld im Bereich vor der Rissfront. Ein kritischer Wert K_{Ic} kann nicht definiert werden.

Die größte Schwierigkeit bei der Bestimmung der Dehnungsenergiefreisetzungsrates G_I sowie des J -Integrals ergibt sich aus dem Vorhandensein einer Zone mit Mikrorissen an der Kerbfront (die im Vergleich zu den Probekörpermaßen nicht klein ist) und der zackigen Oberfläche des makroskopischen Risses. Folglich kann eine Zunahme der Risslänge weder einfach definiert noch gemessen werden.

Zugversuche an Probekörpern mit Löchern oder Kerben haben gezeigt, dass viele CMC über einen bestimmten Kerbgrößenbereich relativ kerbunempfindlich sind. Die auf den Nutzquerschnitt bezogene Bruchspannung beträgt im Allgemeinen 80 % bis 100 % der Festigkeit von Probekörpern ohne Kerben. Die Kerbunempfindlichkeit resultiert aus einer Spannungsrelaxation an der Kerbfront durch Entstehen der Schadenszone. Folglich unterliegen die Fasern in der Schadenszone Spannungen, die größtenteils mit den Spannungen außerhalb des Kerbbereichs vergleichbar sind.

Ein Maß für die Kerbempfindlichkeit bei einer bestimmten Kerbtiefe ist der Quotient aus der Bruchspannung einer gekerbten Zugprobe (σ_n) und der Bruchspannung einer entsprechenden nicht gekerbten Zugprobe (σ_r):

- a) wenn $\sigma_n < \sigma_r$, dann ist der Verbundwerkstoff kerbempfindlich;
- b) wenn $\sigma_n \geq \sigma_r$, dann ist der Verbundwerkstoff kerbunempfindlich.

Das Spannungsverhältnis σ_n/σ_r ist ein für die Konstruktion von Bauteilen nützlicher Parameter. Er ermöglicht die Auswahl von Verbundwerkstoffen, die gegen Kerben, Löcher usw. unempfindlich sind.

Für Werkstoffvergleiche wird eine äquivalente Bruchzähigkeit K_{eq} für den Kerbtiefenbereich festgelegt, für den das Spannungsverhältnis kleiner als 1 ist.

K_{eq} ist die Bruchzähigkeit eines äquivalenten homogenen monolithischen Werkstoffs mit der gleichen Kerbempfindlichkeit wie der entsprechende Verbundwerkstoff. K_{eq} wird aus der Abhängigkeit des Spannungsverhältnisses σ_n/σ_r von der Kerbtiefe errechnet, indem Gleichungen aus der linear-elastischen Bruchmechanik angewendet werden.

Im Bereich der Kerbtiefen, bei denen der CMC kerbempfindlich ist, ergibt die Berechnung der äquivalenten Bruchzähigkeit für die unterschiedlichen Kerbtiefen üblicherweise keinen Einzelwert für K_{eq} . Aus konservativen Gründen wird der kleinste Wert verwendet.

Für einige CMC wurde bei zunehmender Kerbtiefe ein Übergang von kerbunempfindlichem zu kerbempfindlichem Verhalten beobachtet. Die Bestimmung der äquivalenten Bruchzähigkeit wird nicht empfohlen, wenn der Bereich für die Kerbunempfindlichkeit den Kerbtiefen-Mindestwert (1 mm) überschreitet.

Zusätzliche Prüfungen bei unterschiedlichen Kerbtiefen können durchgeführt werden, um ein umfassenderes Verständnis des Kerbtiefenbereichs, bei dem der CMC kerbunempfindlich ist, zu erreichen.

6 Prüfeinrichtung

6.1 Prüfmaschine

Die Maschine muss mit einem System zur Messung der auf den Probekörper aufgetragenen Kraft ausgerüstet sein, das bei der Prüfung nach ISO 7500-1 mindestens den Anforderungen der Klasse 1 nach jener Norm entsprechen muss.

6.2 Krafteinleitungssystem

6.2.1 Allgemeines

Das Krafteinleitungssystem besteht aus einem beweglichen und einem festen Querhaupt, Stäben zur Krafteinleitung und den Einspannungen. Zusätzlich dürfen zwischen den Einspannungen und den Stäben zur Krafteinleitung Verbindungselemente zur Krafteinleitung angewendet werden.

Das Krafteinleitungssystem muss die Probekörperachse in Richtung der aufgetragenen Kraft so ausrichten, dass keine Biegung oder Torsion in den Probekörper eingebracht wird. Die Ausrichtung muss überprüft und dokumentiert werden. Bei einer axialen Dehnung von 500×10^{-6} darf die maximale prozentuale Biegung 5 % nicht überschreiten.