

DIN EN 3987

ICS 49.025.01; 49.025.05

**Luft- und Raumfahrt –
Prüfverfahren für metallische Werkstoffe –
Schwerlastwechselermüdung (HCF) im kraftgesteuerten Versuch;
Deutsche und Englische Fassung EN 3987:2009**

Aerospace series –
Test methods for metallic materials –
Constant amplitude force-controlled high cycle fatigue testing;
German and English version EN 3987:2009

Série aérospatiale –
Méthodes d'essais applicables aux matériaux métalliques –
Essais de fatigue mégacyclique en contrainte imposée;
Version allemande et anglaise EN 3987:2009

Gesamtumfang 49 Seiten

Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL) im DIN

Nationales Vorwort

Der Verband der Europäischen Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie Normung (ASD-STAN) ist vom Europäischen Komitee für Normung (CEN) für zuständig erklärt worden, Europäische Normen (EN) für das Gebiet der Luft- und Raumfahrt auszuarbeiten. Durch die Vereinbarung vom 3. Oktober 1986 wurde ASD Assoziierte Organisation (ASB) des CEN.

Die vorliegende Norm EN 3987:2009 wurde von ASD-STAN, Fachbereich Metallische Werkstoffe, unter Mitwirkung deutscher Experten des Normenausschusses Luft- und Raumfahrt erarbeitet.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitssausschuss NA 131-01-01 AA „Stähle“ im DIN Normenausschuss Luft- und Raumfahrt.

Entsprechend Beschluss 57/9 des Technischen Ausschusses des Beirats des Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. sind die europäischen Luft- und Raumfahrt-Normungsergebnisse zweisprachig, in Deutsch und Englisch, in das Deutsche Normenwerk zu überführen.

Deutsche Fassung

**Luft- und Raumfahrt —
Prüfverfahren für metallische Werkstoffe —
Schwerlastwechsellermüdung (HCF) im
kraftgesteuerten Versuch**

Aerospace series —
Test methods for metallic materials —
Constant amplitude force-controlled high cycle
fatigue testing

Série aérospatiale —
Méthodes d'essais applicables aux
matériaux métalliques —
Essais de fatigue mégacyclique en contrainte imposée

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 11. Juli 2008 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 des CEN 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, Bulgarien, 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: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Kurzbeschreibung	4
4 Begriffe	5
5 Symbole und Abkürzungen	5
6 Prüfausrüstung	7
7 Probe	11
8 Prüfverfahren	15
9 Kontrollen nach der Prüfung	16
10 Prüfbericht	17
Anhang A (informativ) Anwendung der Thermoelemente	19
Anhang B (informativ) Probenherstellung	20
Anhang C (informativ) Richtlinien für die Handhabung und das Entfetten der Probe	22
Anhang D (informativ) Richtlinien zum Erstellen einer Wöhlerkurve	23
Literaturhinweise	24

Vorwort

Dieses Dokument (EN 3987:2009) wurde vom Verband der Europäischen Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie — Normung (ASD-STAN) erstellt.

Nachdem Umfragen und Abstimmungen entsprechend den Regeln dieses Verbandes durchgeführt wurden, hat diese Norm die Zustimmung der nationalen Verbände und offiziellen Behörden der Mitgliedsländer der ASD erhalten, bevor sie CEN vorgelegt wurde.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2010, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis April 2010 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können, ohne dass diese vorstehend identifiziert wurden. CEN [und/oder] CENELEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, 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

Diese Norm gilt für die Prüfung der Schwerlastwechsellermüdung (HCF, hochzyklische Ermüdung)) im kraftgesteuerten Versuch von metallischen Werkstoffen, die durch EN-Normen der Luft- und Raumfahrt festgelegt sind. Sie legt die zu bestimmenden mechanischen Eigenschaften, die Ausrüstung, die Proben, die Art des Vorgehens bei der Prüfung und die Darstellung der Ergebnisse fest.

Die Norm gilt für einachsige Belastungsprüfungen, die an glatten (unversehrten) oder eingekerbten Proben bei Umgebungstemperatur und erhöhten Temperaturen durchgeführt werden. Es ist nicht vorgesehen, die Prüfung von komplexeren Proben, von Bauteilen oder Strukturen in Originalgröße zu behandeln, obwohl die Methodik eigentlich für die Berücksichtigung dieser Prüfungen übernommen werden könnte.

Der Zweck dieses Dokumentes ist die Sicherstellung von Kompatibilität und Vergleichbarkeit der Prüfergebnisse. Es behandelt nicht die Beurteilung oder Auswertung der Ergebnisse.

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).

EN 10002-2:1991, *Metallische Werkstoffe — Zugfestigkeitsprüfung — Teil 2: Verifikation der Kraftmesseinrichtung der Zugfestigkeitsprüfmaschine*

ASTM E 1012, *Standard practice for Verification of test frame and specimen alignment under tensile and compressive axial force application*¹⁾

3 Kurzbeschreibung

Die Prüfung der einachsig belasteten Schwerlastwechsellermüdung im kraftgesteuerten Versuch besteht aus der Beibehaltung einer Probe bei einer gleichmäßigen Temperatur und deren Beanspruchung mit einer wellenförmigen Kraftamplitude. Die Größe der angewandten zyklischen Kraft beeinflusst die Entwicklung einer mikroskopisch plastischen Verformung innerhalb des Prüfabschnittes, wodurch die Ermüdungslebensdauer bestimmt wird. Eine Reihe dieser Prüfungen ermöglicht es, das Verhältnis zwischen der aufgebrachten Kraft und der Anzahl der Zyklen bis zur Ermüdung festzustellen.

Diese erzeugten Ermüdungslebensdauern liegen üblicherweise im Bereich von 10^4 bis 10^8 Zyklen bis zum Bruch (Versagen) und das Prüfregime wird als Schwerlastermüdung (HCF, hochzyklische Ermüdung) bezeichnet.

1) Herausgegeben durch: American Society for Testing and Materials (ASTM), 1916 Race Street, Philadelphia PA 19103 USA.

4 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

4.1

kraftgesteuert

wird zur Beschreibung von Prüfungen angewendet, bei denen die auf einen bekannten Prüfabschnitt wirkende Kraft geregelt wird

4.2

Prüfabschnitt

festgelegt als der Bereich der Probe zwischen den Übergangskehlen innerhalb des Einspannbereiches und es kann ein Bereich mit kontinuierlichem Radius oder mit parallelen Seiten sein

4.3

Zyklus

festgelegt als der kleinste Abschnitt der Kraft-Zeit-Funktion, der sich periodisch wiederholt. In Bild 1 ist das für einen sinusförmigen Schwingungsverlauf zusammen mit einer geeigneten Nomenklatur, die darüber hinaus den Kraftzyklus bestimmt, dargestellt

4.4

Bruch

festgelegt als die vollständige Abtrennung der Probe innerhalb des Prüfabschnittes

5 Symbole und Abkürzungen

Siehe Tabelle 1.

Tabelle 1 — Begriffe und Symbole in Zusammenhang mit der kraftgesteuerten Ermüdungsprüfung

Symbol	Einheit	Begriff	Definition
F	kN	Kraft	Die auf den Prüfabschnitt aufgebrauchte Kraft. Zugkräfte gelten als positiv und Druckkräfte als negativ.
$F_{\max.}$	kN	Höchstkraft	Der höchste algebraische Wert der aufgebrauchten Kraft.
$F_{\min.}$	kN	Mindestkraft	Der niedrigste algebraische Wert der aufgebrauchten Kraft.
ΔF	kN	Kraftmessbereich	Die algebraische Differenz zwischen der Höchst- und Mindestkraft ($F_{\max.} - F_{\min.}$).
Fa	kN	Kraftamplitude	Die Hälfte der algebraischen Differenz zwischen der Höchst- und Mindestkraft ($(F_{\max.} - F_{\min.})/2$).
Fm	kN	Mittlere Kraft	Die Hälfte der algebraischen Summe der Höchst- und Mindestkräfte ($(F_{\max.} + F_{\min.})/2$).
R		Kraftverhältnis	Das algebraische Verhältnis der Mindestkraft zu der Höchstkraft. Siehe Bild 2 für Beispiele von unterschiedlichen Kraftverhältnissen. ($F_{\min.}/F_{\max.}$)
σ	MPa	Spannung	Die aufgebrauchte Kraft dividiert durch die Nennquerschnittsfläche. Die Nennquerschnittsfläche ist die aus den bei Umgebungstemperatur vorgenommenen Messungen berechnete Querschnittsfläche, und die Änderung des Bereiches als Ergebnis der erhöhten Temperaturen bleibt unberücksichtigt. Die oberhalb erwähnte Nomenklatur für die Kraft gilt auch, mit F ersetzt durch σ , für die Spannung.
N		Anzahl der Lastwechsel	Die Anzahl der aufgebrauchten Lastwechsel.
f	Hz	Häufigkeit der Wechsel	Die Anzahl der aufgebrauchten Lastwechsel je Sekunde.
N_f		Dauerhaltbarkeit oder Ermüdungslebensdauer	Die Anzahl der Wechsel bis zum Bruch.
K_t		Theoretischer Spannungskonzentrationsfaktor	Das Verhältnis der Kerbspannung zur Nutzquerschnittsspannung, berechnet nach der festgelegten elastischen Theorie auf die Nennbereichsspannung. ANMERKUNG Verschiedene angewendete Verfahren zur Bestimmung von K_t können zu Abweichungen in den angegebenen Werten führen.
σ_N	MPa	Ermüdungsfestigkeit bei N Wechseln	Der Wert der Spannungsamplitude bei einem festgelegten Spannungsverhältnis unter dem die Probe eine Lebensdauer von mindestens N Wechseln bei einer angegebenen Wahrscheinlichkeit haben wird.

6 Prüfausrüstung

6.1 Prüfmaschine

6.1.1 Allgemeines

Die Prüfungen müssen auf einer Zug-/Druckprüfmaschine durchgeführt werden, die für einen gleichmäßigen Anlauf ohne Umkehrspiel beim Durchlauf bis Null konstruiert ist. Zur Verminderung des Risikos des Ausknickens der Probe sollte die Maschine eine große Biegesteifigkeit senkrecht zur Biegeebene und genaue Ausrichtung zwischen den zum Einspannen der Probenenden verwendeten Bauteilen aufweisen.

Das Belastungssystem der Maschine muss ein gesteuertes System sein, in dem die Belastung der Probe servogeregelt wird. Das kann hydraulisch oder elektromechanisch erfolgen.

Die Kraftmesszelle der Maschine sollte während der Prüfung mit erhöhten Temperaturen angemessen abgeschirmt und/oder gekühlt werden, damit sie innerhalb ihres Temperaturbetriebsbereich bleibt.

6.1.2 Kalibrierung der Prüfmaschine

Die Kraftmesseinrichtung muss in Abständen, die ein Jahr nicht überschreiten dürfen, verifiziert werden. Das anzuwendende Verfahren entspricht dem von EN 10002-2 mit der folgenden Änderung bezogen auf das Aufbringen der Prüfkräfte, um die Kalibrierung bei Zug und Druck bis Null zu erfassen (Abschnitt 5.4.5 von EN 10002-2:1991).

Drei Messreihen müssen durchgeführt werden. Jede Reihe muss mindestens 20 Kraftstufen wie folgt umfassen:

- 5 ansteigende Kraftstufen bei Zug in gleichen Abständen von 20 % bis 100 % des Skalenendwertes,
- 10 abnehmende Kraftstufen in gleichen Abständen von 100 % des Skalenendwertes bei Zug abwärts bis zum Skalenendwert bei Druck,
- 5 ansteigende Kraftstufen in gleichen Abständen von 100 % des Skalenendwertes bei Druck bis auf Null.

Die relativen Fehler von Genauigkeit, Wiederholbarkeit, Umkehrbarkeit und auf Null setzen müssen innerhalb der in EN 10002-2:1991, Klasse 1, festgelegten Grenzen liegen.

Vor der Einstellung der Prüfmaschine muss während des Kalibrierverfahrens eine Anfangskalibrierung durchgeführt werden, sodass der Einfluss jeglicher Fehler außerhalb der Anforderungen der Klasse 1 nachvollzogen werden kann.

ANMERKUNG Zeitgemäße Prüfmaschinen sollten diese Anforderung ohne weiteres erfüllen, wenn jedoch Anfangsfehler vorhanden sind, dann müsste die Kalibrierperiode dementsprechend nochmals überprüft werden.

6.2 Zählen der Zyklen

Die Anzahl der auf die Probe aufgebrachten Zyklen muss so aufgezeichnet werden, dass die Auflösung besser als 0,1 % der angezeigten Lebensdauer ist.

ANMERKUNG Ein kalibrierter Zeitschalter ist ein erstrebenswertes Zubehör für den Zykluszähler. Falls er für die Angabe der gesamten abgelaufenen Zeit bis zum Bruch eingesetzt wird, ermöglicht das eine hervorragende Nachprüfung der Frequenz des Zyklenzählers für eine festgelegte Frequenz der Wellenform.

6.3 Erzeugung und Kontrolle der Schwingungsform

Der Schwingungsverlauf des Lastwechsels muss konstant sein und der Lastwechsel ist mit einer festgelegten Frequenz während der gesamten Dauer eines Prüfprogramms aufzutragen. Der verwendete Schwingungsformgenerator muss so eine Wiederholbarkeit aufweisen, dass die Abweichung bei den Lastniveaus zwischen den aufeinander folgenden Zyklen für die Dauer der Prüfung innerhalb der Kalibriergrenzen der Prüfmaschine bei der Gesamtabweichung bei dem Lastniveau innerhalb von 1 % des geforderten Wertes, wie in 6.1.2 festgelegt, liegt.

In Bild 1 sind Begriffe im Verhältnis zu einem sinusförmigen Schwingungsverlauf festgelegt. Andere Schwingungsformen können weiter Begriffsbestimmungen der Parameter erfordern, obwohl die Nomenklatur nach Möglichkeit beibehalten werden sollte.

ANMERKUNG Die Frequenz der Schwingungsform wird üblicherweise zwischen 10 Hz und 200 Hz liegen. Obwohl höhere und niedrigere Frequenzen angewendet werden können, kann der Einfluss der Frequenz und der Schwingungsform auf die Ermüdungslebensdauer signifikant sein.

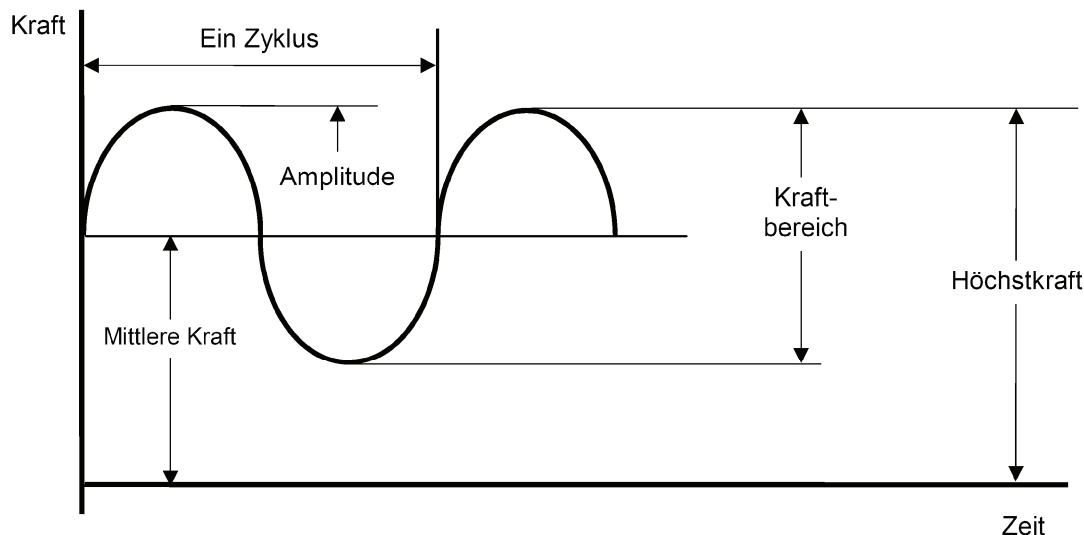


Bild 1 — Kraftzyklus der Ermüdung

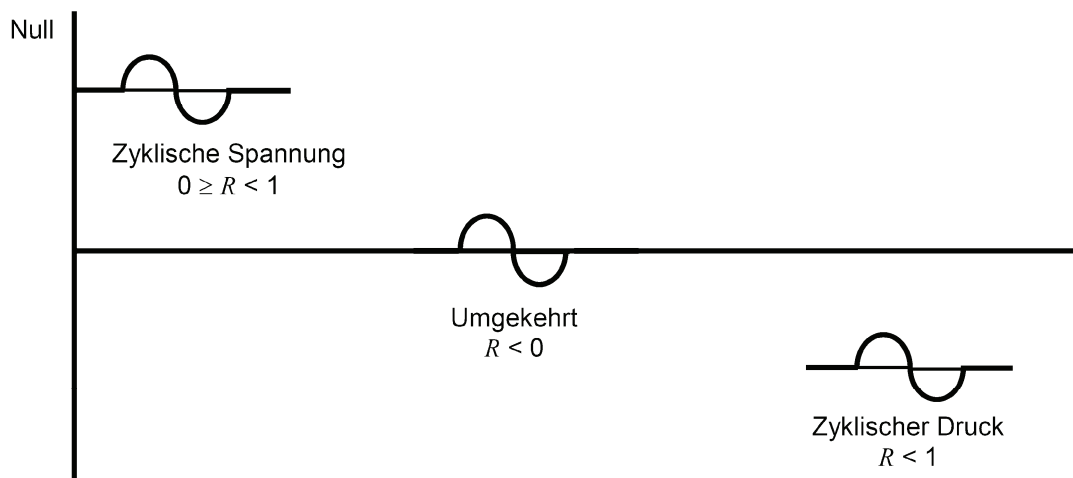


Bild 2 — Wechselndes Kraftverhältnis

6.4 Prüfvorrichtungen

6.4.1 Allgemeines

Bei den Einspann- und Befestigungsvorrichtungen für das Probestück ist von besonderer Bedeutung, dass sie regelmäßig von Prüfung zu Prüfung in eine richtige Ausrichtung gebracht werden. Die richtige Ausrichtung wird durch die sorgfältige Beachtung der Konstruktionseinzelheiten, d. h. durch die Festlegung der Konzentrizität und der Parallelität der entscheidenden bearbeiteten Teile, erreicht.

Zur Verminderung der Biegespannungen sollte die Einspannvorrichtung zu einer Ausrichtung fähig sein, bei der die Hauptachse der Probe bei jedem Spannungszyklus genau mit der Kraftachse übereinstimmt, und bei Spannungs-Druck-Prüfungen ($R \leq 0$) muss die Einspannvorrichtung ebenfalls frei von Folgen des Spiels sein.

Das Auftreten von Achsenverschiebungen, entweder durch Verdrehungen (Rotation der Einspannvorrichtung) oder durch Auslenkung ihrer Symmetrieachsen, muss innerhalb bekannter Grenzen geprüft werden.

ANMERKUNG Ein Parallelitätsfehler von weniger als 0,2 mm/m und ein axialer Fehler von weniger als 0,03 mm bei einer Probe von weniger als 300 mm und von weniger als 0,1 mm bei einer Probe von mehr als 300 mm sollten zulässig sein, um die in 6.4.2 beschriebenen Ausrichtungsanforderungen zu erfüllen. Ein weiterer Nutzen kann durch die Verringerung der Anzahl der mechanischen Verbindungen im Lastzug und dem Abstand zwischen dem Stellantrieb der Maschine und dem Querhaupt zur Druckaufnahme erzielt werden.

6.4.2 Verifizierung der Ausrichtung

Die Ausrichtung des Lastzugaufbaus muss in Abständen überprüft werden, die ein Jahr oder 100 Prüfungen nicht überschreiten dürfen, je nachdem, was eher eintritt. Zusätzlich muss anschließend die Demontage der Prüfbefestigungen, der Antriebsmechanismus des Querhaupts der Maschine geprüft werden oder anschließend ein Druckversagen, das die Überlagerung der beiden Probenhälften zur Folge hatte.

Es wird empfohlen, die Ausrichtung mit einer auf Dehnung geeichten Probe mit gleicher Geometrie wie die zu prüfende zu überprüfen und dass diese mit den gleichen Grenzabmaßen hergestellt wurde.

Die nach dem Verfahren 1 der ASTM E 1012 (Standard Practice for the Verification of Alignment Under Tensile Loading) bestimmte Biegespannung darf 5 % der mittleren axialen Dehnung nicht überschreiten, die bei der im Prüfprogramm auftretenden kleinsten maximalen Spannkraft und maximalen Druckkraft erzeugt wurde. Dieses Kriterium sollte an jeder der 4 Positionen während, die Probe um 90° gedreht wird, erfüllt werden.

Empfohlen wird die Anwendung von zwei Dehnungsmessstreifen-Sätzen in Vierergruppen, die in 90°-Abständen rund um den Prüfabschnitt befestigt sind. Die Messstreifen sollten gleich weit von der Mittelachse der Probe, mit dem 3-fachen der parallelen Messstreifenlänge getrennt, entfernt sein. Die durch die Einspannvorrichtung in der Messstreifenlänge verursachten Dehnungen sollten auf weniger als 100 $\mu\epsilon$ vermindert werden.

Der „Code of Practice for the Measurement of Bending in Uniaxial Low Cycle Fatigue Testing“ der National Physical Laboratories — NPL MMS 001:1995, wird als ausreichend detailliertes bestes Arbeitsrichtlinien-Dokument empfohlen.

Die Anwendung von Messuhren zur Prüfung der Ausrichtung sollte vermieden werden. Falls sie angewendet werden, sollten die eingesetzten Grenzabmaße einen gleichwertigen Abgleichfehler sicherstellen, der dem mit der Anwendung der Dehnungsmessstreifen ermittelten Abgleichfehler entspricht. Jedoch wird eine durch einen ausgerichteten, aber unzentrierten Lastzug verursachte Biegung nicht durch diese Verfahrensweise nachgewiesen.

6.5 Heizeinrichtung

6.5.1 Allgemeines

Die Prüfung wird üblicherweise an Luft bei Umgebungs- oder erhöhten Temperaturen durchgeführt, außer es gibt eine Anforderung zur Prüfung im Vakuum oder in einer kontrollierten Atmosphäre.

Wenn zusätzliche Einrichtungen angewendet werden, z. B. Öfen, Kammern usw., ist es notwendig, dass die gesamte durch den Kraftanzeiger angezeigte Kraft auf die Probe aufgebracht wird und nicht durch die Hilfseinrichtungen (z. B. durch Reibung) abgelenkt wird.

Bei Prüfungen mit erhöhter Temperatur muss die eingesetzte Heizeinrichtung so beschaffen sein, dass die Probe gleichmäßig auf die festgelegte Temperatur erhitzt werden kann, und ein angegebener Temperaturgradient entlang des Prüfabschnittes von weniger oder gleich 4 °C für die Prüfdauer aufrechterhalten wird.

ANMERKUNG Empfohlen wird ein elektrischer Widerstandsofen mit drei Kontrollzonen. Falls ein Heizsystem mit direkter Induktion eingesetzt wird, ist es zum Erreichen des geringsten radialen Temperaturgradienten in der Probe zweckmäßig, einen Generator mit mittlerer Frequenz ($f \leq 100$ kHz) auszuwählen.

6.5.2 Verifizierung der Temperaturstabilität

Die Temperaturstabilität entlang des Prüfabschnittes muss vor jeder Prüfreihe verifiziert werden, die eine neue Geometrie der Probe oder eine neue Temperatur einbezieht, oder bei der der Aufbau der Kühlung, Befestigung oder Heizeinrichtung angepasst sind.

Diese Verifizierung kann mit einer Blindelement-Probe, die die gleiche Geometrie wie die zu prüfende aufweist, und mit mehreren entlang und um ihren Prüfabschnitt herum befestigten Thermoelementen ausgerüstet, durchgeführt werden. Die Thermoelemente sollten angemessen von der Strahlungswärme der Heizeinrichtung abgeschirmt sein.

Die Abweichung der angegebenen Temperatur überall auf der Probe darf 4 °C nicht überschreiten.

Falls die Temperaturstabilität durch diese Verfahrensweise nicht gesichert werden kann, wenn es zum Beispiel nicht möglich ist, die Heizeinrichtung wiederholt richtig einzustellen, dann muss eine ausreichende Anzahl Temperatursensoren während jeder Prüfung eingesetzt werden, um sicherzustellen, dass die Abweichung in der festgelegten Temperatur überall auf dem Prüfabschnitt 4 °C nicht überschreitet.

6.6 Temperaturmessung

Das die Sensoren und die Ausgabeeinrichtung umfassende Temperaturmesssystem muss in der Lage sein, für die Dauer der Prüfung kontinuierlich zu arbeiten, und es muss eine Auflösung von mindestens 1 °C und eine Genauigkeit von ± 2 °C aufweisen. Es muss über den Betriebstemperaturbereich durch ein dokumentiertes Verfahren zurückführbar auf nationale Normen verifiziert sein.

Die Anwendung von Thermoelementen wird empfohlen. Der Anhang A beschreibt deren Anwendungsverfahren.

Die zulässigen Abweichungen aufgrund der Instabilität zwischen der festgelegten Prüftemperatur und der angezeigten Temperatur, die auf der Oberfläche des Prüfabschnittes gemessen wird, entsprechen den in Tabelle 2 angegebenen.

Tabelle 2 — Zulässige Abweichungen zwischen angezeigter Temperatur und der festgelegten Prüftemperatur

Prüftemperatur	Zulässige Abweichungen
$\theta \leq 600 \text{ °C}$	$\pm 2 \text{ °C}$
$600 \text{ °C} < \theta \leq 800 \text{ °C}$	$\pm 3 \text{ °C}$
$800 \text{ °C} < \theta \leq 1\,200 \text{ °C}$	$\pm 5 \text{ °C}$

ANMERKUNG 1 Bei den Prüfungen bei Umgebungstemperatur (10 °C bis 35 °C) ist es nicht notwendig, die Temperatur der Probe zu messen.

ANMERKUNG 2 Der Einfluss der zusammengesetzten Fehler könnte zur eigentlichen Abweichung der Temperatur von dem festgelegten Niveau führen, die um 3 °C höher wird.

ANMERKUNG 3 Der Temperaturanstieg infolge der plastischen Verformung muss vermindert werden (siehe 8.3.1) und muss die Toleranzen innerhalb der Tabelle 2 ausgleichen.

6.7 Datenerfassungsgeräte

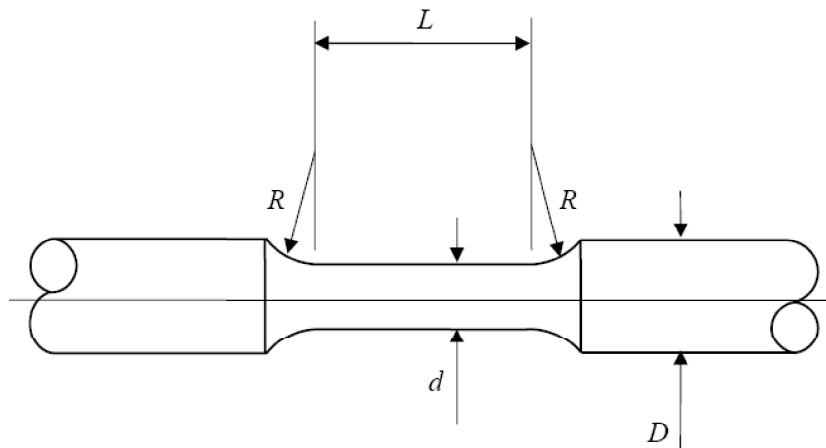
Ein für die Überwachung der während der gesamten Prüfung angezeigten Prüftemperatur innerhalb der in 6.6 festgelegten Genauigkeit geeignetes Datenerfassungsgerät muss eingesetzt werden. Eine Temperaturüberwachung muss mindestens alle 5 min erfolgen.

7 Probe

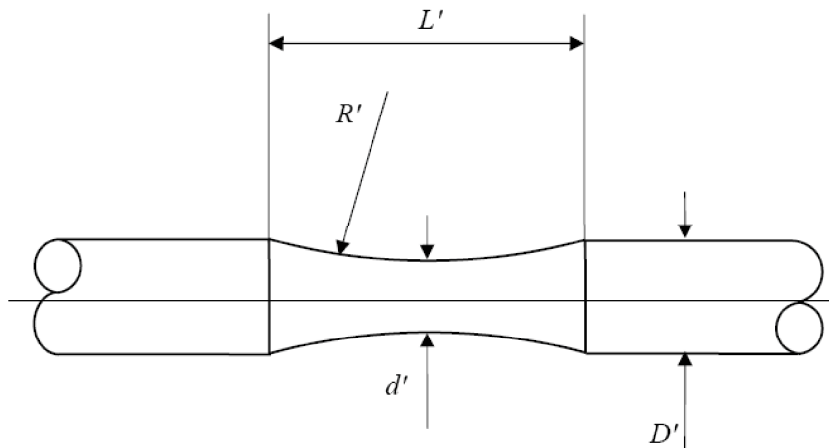
7.1 Aufbau

Die Art der zu verwendenden Probe wird von den Zielsetzungen des Prüfprogramms, der Art der Ausrüstung, dem Leistungsvermögen der Ausrüstung und der Form, in der der Werkstoff verfügbar ist, abhängig sein. Jedoch muss der Aufbau bestimmte allgemeine Kriterien, wie unterhalb stehend zusammengefasst, erfüllen (siehe Bilder 3 und 4):

- Das Versagen muss innerhalb des Prüfabschnittes der Prüfung erfolgen, um als gültig angesehen zu werden.
- Proben mit kreisförmigen Querschnitten müssen einen Radius der Übergangskehlen von mindestens dem zweifachen des Durchmessers des Prüfabschnittes aufweisen, um die theoretische Spannungskonzentration, K_t , der Probe zu verringern. Die Prüfabschnittslänge sollte größer oder gleich dem zweifachen des Durchmessers des Prüfabschnittes sein. Die Konzentrität und Parallelität müssen kleiner oder gleich 0,03 mm sein.
- Proben mit rechteckigen Querschnitten können einen reduzierten Prüfquerschnitt entlang eines Maßes, üblicherweise der Breite, aufweisen. Die Prüfabschnittslänge sollte größer als die doppelte Prüfabschnittsbreite sein. Die Kanten der Probe müssen der Länge nach abgeschliffen sein, um eine vorzeitige Rissbildung zu vermeiden. Fehler bei der Ebenheit müssen kleiner als 0,03 mm sein.
- Für das Stauchen verwendete Proben sollten eine Prüfabschnittslänge kleiner oder gleich der doppelten Prüfabschnittsbreite oder des -durchmessers aufweisen, um ein Ausknicken zu verhindern.
- In Hinblick auf die besondere Art von eingekerbten Proben werden keine Beschränkungen an den Aufbau der eingekerbten Probe gestellt, außer dass er mit den Zielen des Programms vereinbar sein muss. Die Angaben über die entsprechende K_t für die Kerbe sollten das Verfahren und den Ursprung ihrer Bestimmung aufzeichnen.



Proben mit tangentialen Übergangskehlen zwischen dem Prüfabschnitt und den Einspannungen

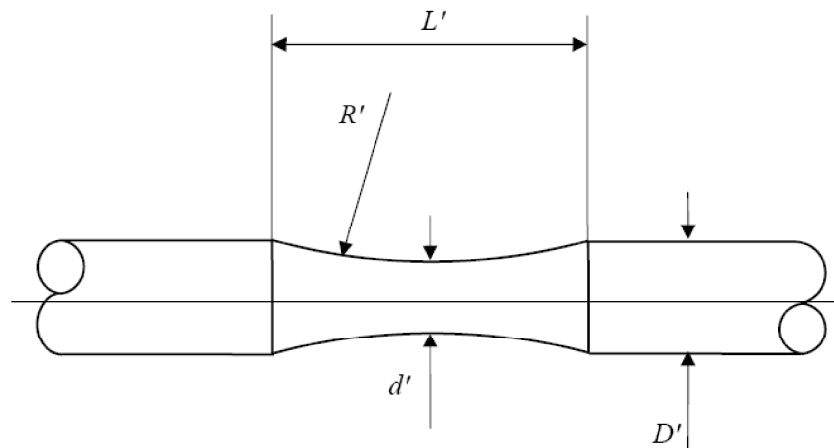


Proben mit kontinuierlichen Radien zwischen den Einspannungen

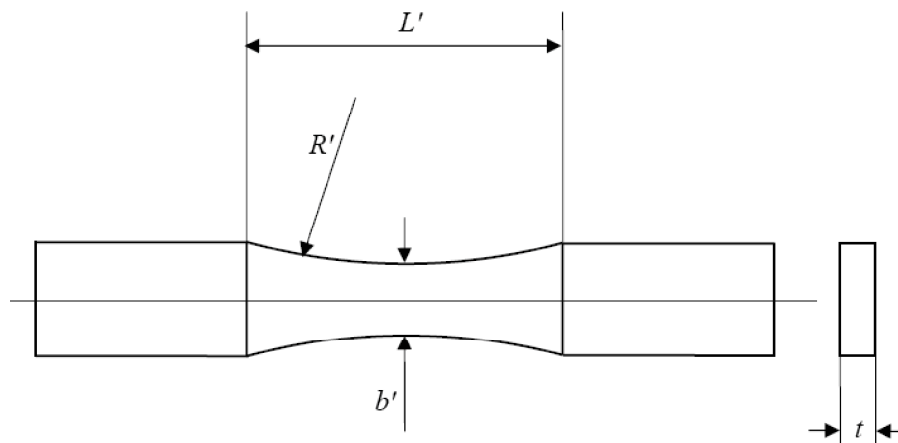
Vorgeschlagene Maße:

Prüfabschnittsdurchmesser	: d oder $d' \geq 4,5 \text{ mm}$
Durchmesser des Einspannbereiches	: D oder $D' \geq 2,5 d$ oder $2,5 d'$ (Einige Werkstoffe können einen Mindestdurchmesser von $3,5 d$ oder $3,5 d'$ erfordern, um ein Versagen innerhalb der Einspannlänge zu verhindern)
Prüfabschnittslänge	: $2 d \leq L \leq 4 d$ (Bei Stauchen, $L \leq 2 d$)
Übergangsradius	: $R \geq 4 d$ (ist für die meisten Werkstoffe ausreichend)
Prüfabschnittslänge	: $L' > 3 d'$
Übergangsradius	: $6 d' \leq R' \leq 8 d'$

Bild 3 — Querschnitt des Prüfabschnittes bei zylindrischen Proben



Proben mit tangentialen Übergangskehlen zwischen dem Prüfabschnitt und den Einspannungen



Proben mit kontinuierlichen Radien zwischen den Einspannungen

Vorgeschlagene Maße:

Prüfabschnittsdicke	: $t > 3 \text{ mm}$ bei fertigbearbeiteten Abschnitten
Prüfabschnittsbreite	: b oder $b' > t$ und $> 5 \text{ mm}$
Prüfabschnittslänge	: $2 b \leq L \leq 4 b$ bei Spannung, $L \leq 2 b$ bei Druck
Übergangsradius	: $4 b \leq R \leq 8 b$ (Höhere Werte von L und R können ein Ausknicken unter hoher Drucklast bewirken)
Prüfabschnittslänge	: $L' > 3 b'$
Übergangsradius	: $6 b' \leq R' \leq 8 b'$

Bild 4 — Querschnitt des Prüfabschnittes bei flachen Proben