

DIN EN ISO 15653



ICS 25.160.40

Entwurf

Einsprüche bis 2016-07-06
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 15653:2010-09

**Metallische Werkstoffe –
Prüfverfahren zur Bestimmung der quasistatischen Bruchzähigkeit von
Schweißverbindungen (ISO/DIS 15653:2016);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 15653:2016**

Metallic materials –

Method of test for the determination of quasistatic fracture toughness of welds
(ISO/DIS 15653:2016);

German and English version prEN ISO 15653:2016

Matériaux métalliques –

Méthode d'essai pour la détermination de la ténacité quasi statique à la rupture des soudures
(ISO/DIS 15653:2016);

Version allemande et anglaise prEN ISO 15653:2016

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-05-06 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de 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/stellungnahme 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 (Hausanschrift: 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 95 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)
DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS)

Nationales Vorwort

Das vorliegende Dokument (prEN ISO 15653:2016) wurde im ISO/TC 164 „Mechanical testing of metals“, Unterkomitee 4 „Toughness testing - Fracture (F), Pendulum (P), Tear (T)“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom ANSI (Vereinigte Staaten von Amerika) gehalten wird und vom CEN/TC 121 „Schweißen und verwandte Verfahren“, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird, im Rahmen der Wiener Vereinbarung übernommen.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der NA 062-01-46 AA „Bruchmechanik“ im Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des ISO/DIS 15653 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in Abschnitt 2 zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 3785 siehe DIN EN ISO 3785

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 15653:2010-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) in Tabelle 1 werden V , V_1 und V_2 einzeln definiert;
- b) in 12.4.3 sind die Anforderungen an die Ermittlung von δ - und J -Werten überarbeitet worden;
- c) in D.1 wird der Verweis auf ISO 12135 erläutert;
- d) in E.3 wurde eine Anmerkung zu der Berechnung der Rissspitzenöffnung CTOD aufgenommen.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 3785, Metallische Werkstoffe — Kennzeichnung von Probenachsen in Bezug zur Halbzeuggefügetextur

**Metallische Werkstoffe — Prüfverfahren zur Bestimmung der
quasistatischen Bruchzähigkeit von Schweißverbindungen
(ISO/DIS 15653:2016)**

*Matériaux métalliques — Méthode d'essai pour la détermination de la ténacité quasi statique à la rupture des
soudures (ISO/DIS 15653:2016)*

*Metallic materials — Method of test for the determination of quasistatic fracture toughness of welds
(ISO/DIS 15653:2016)*

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Symbole und Einheiten	7
5 Kurzbeschreibung	8
6 Wahl des Probedesigns, der Probenorientierung und der Kerblage	9
6.1 Klassifizierung der gewünschten Kerbposition	9
6.2 Probedesign	9
6.3 Proben- und Rissebenenorientierung	9
7 Metallographische Untersuchungen vor der Probenfertigung	13
7.1 Mikrostrukturelle Bewertung von Makroschliffen	13
7.2 Zusätzliche Anforderungen an die Prüfung der Wärmeeinflusszone	14
8 Probenfertigung	14
8.1 Toleranzen der Probenabmessungen	14
8.2 Kerbpositionierung bei Proben mit wanddurchdringendem Riss	15
8.3 Kerbpositionierung bei Proben mit Oberflächenriss	15
8.4 Kerbfertigung	16
9 Probenvorbereitung	20
9.1 Einbringung des Ermüdungsanrisses	20
9.2 Seitenkerben	20
10 Prüfgeräte, Anforderungen und Prüfverfahren	20
11 Metallographische Untersuchungen nach dem Versuch	21
11.1 Allgemeines	21
11.2 Proben mit wanddurchdringendem Riss	21
11.3 Proben mit Oberflächenriss	21
11.4 Bewertung von Pop-in-Ereignissen	22
12 Auswertung nach dem Versuch	25
12.1 Wahl der Zugversuchskennwerte	25
12.2 K_{IC}	26
12.3 δ und J	26
12.4 Gültigkeitskriterien	26
13 Prüfbericht	30
Anhang A (informativ) Beispiele für Kerblagen	31
Anhang B (informativ) Beispiele für metallographische Untersuchungen vor und nach dem Versuch	33
Anhang C (normativ) Beeinflussung des Eigenspannungszustands und Risseinbringung	35
Anhang D (normativ) Bewertung von Pop-in-Ereignissen	38
Anhang E (informativ) Prüfung von Biegeproben mit kurzen Rissen	45
Literaturhinweise	50

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 15653:2016) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 164 „Mechanical testing of metals“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 121 „Schweißen und verwandte Verfahren“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 15653:2010 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 15653:2016 wurde vom CEN als prEN ISO 15653:2016 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise von ISO Technischen Komitees 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 Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen zusammen.

Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Die Hauptaufgabe von Technischen Komitees ist es Internationale Normen zu erarbeiten. Internationale Norm-Entwürfe, die von Technischen Komitees verabschiedet wurden, werden den Mitgliedsorganisationen zur Abstimmung zur Verfügung gestellt. Für die Veröffentlichung als Internationale Norm werden mindestens 75 % Zustimmung der Mitgliedsorganisationen benötigt.

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.

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist ISO/TC 164, *Mechanical testing of metals*, Unterkomitee SC 4, *Toughness testing — Fracture (F), Pendulum (P), Tear (T)*.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt Verfahren zur Bestimmung der Bruchzähigkeit mit dem K -Konzept (Spannungsintensitätsfaktor), dem CTOD-Konzept (Rissspitzenöffnungsverschiebung, δ) und dem J -Integralkonzept (experimentelles Äquivalent für das J -Integral) für Schweißungen an metallischen Werkstoffen fest.

Diese Internationale Norm ist ein Zusatz zu ISO 12135, die alle Aspekte der Bruchzähigkeitsprüfung von Grundwerkstoffen abdeckt und in Verbindung mit diesem Dokument verwendet werden muss. Diese Internationale Norm beschreibt Verfahren für die Bestimmung von Einzelwerten der Bruchzähigkeit. Sie sollte nicht zur Bestimmung einer R -Kurve (Risswiderstandskurve) herangezogen werden. Dies betrifft nicht die in dieser Internationalen Norm beschriebene Methodik zur Probenpräparation, die auch bei der Bestimmung von R -Kurven von Schweißungen hilfreich eingesetzt werden könnte. Im vorliegenden Verfahren werden Proben mit Ermüdungsrissen verwendet, die nach dem Schweißen in einen definierten Bereich der Schweißnaht eingebracht werden. Dabei handelt es sich entweder um das Schweißgut oder die Wärmeeinflusszone (WEZ) der Schweißnaht. Es wird eine Methodik beschrieben, die die Effektivität der realisierten Kerblage für Ermüdungsriss einbringung und Prüfung nachweist.

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 3785, *Metallic materials — Designation of test specimen axes in relation to product texture*

ISO 12135, *Metallic materials — Unified method of test for the determination of quasistatic fracture toughness*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 12135 und die folgenden Begriffe.

3.1

Breite der Stretchzone

(en: stretch zone width)

SZW

Zunahme der Risslänge infolge Abstumpfung der Rissspitze — d. h. vor Beginn der instabilen Rissausbreitung, eines Pop-in-Ereignisses (siehe 3.3) oder einer langsamen stabilen Rissausbreitung — welche sich in der Ebene des Ermüdungsanrisses erstreckt

3.2

angestrebte Kerbposition

angestrebte Position der Ermüdungsrissspitze im Schweißgut oder in der Wärmeeinflusszone

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 3.7 und 3.9.

3.3

Pop-in-Ereignis

abrupte Unstetigkeit des Kraft-Verformungs-Verlaufes, manifestiert als plötzlicher Anstieg der Verschiebung und im Allgemeinen verbunden mit einem plötzlichen Kraftabfall, wonach Verformung und Kraft die Werte bei Eintritt des Pop-in-Ereignisses übersteigen

3.4

lokale Druckbelastung

kontrolliertes Eindrücken der Probe in Dickenrichtung im ungekerbten Ligament mit Platten aus gehärtetem Stahl vor Einbringung des Ermüdungsrissses

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Anhang C.

3.5

Schweißen

Verfahren, bei dem zwei oder mehr Teile durch Wärme, Reibung, Druck oder durch eine Kombination dieser Einwirkungen verbunden werden, sodass eine kontinuierliche metallische Verbindung gegeben ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Verbindung darf mit oder ohne Schweißzusatzwerkstoff mit einer Schmelztemperatur in derselben Größenordnung wie der Grundwerkstoff erfolgen.

3.6

Schweißung

durch Schweißen hergestellte Verbindung von Metallteilen

3.7

Schweißgut

beim Herstellen einer Schweißung aufgeschmolzenes und darin befindliches Metall

3.8

Grundwerkstoff

Basiswerkstoff

durch Schweißen zu verbindendes Metall

3.9

Wärmeeinflusszone

(en: heat-affected zone, HAZ)

WEZ

Bereich des Grundwerkstoffs, der metallurgisch durch die Schweißwärme beeinflusst wird

3.10

Schmelzlinie

(en: fusion line)

FL

Grenzlinie zwischen dem Schweißgut und der Wärmeeinflusszone des Grundwerkstoffs

3.11

Position der Rissspitze relativ zur Schweißnaht

(en: weld positional)

WP

angestrebte Position der Ermüdungsrissspitze bezogen auf eine Bezugslinie

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild A.1 für Beispiele.

3.12

spezifische Mikrostruktur

(en: specific microstructure)

SM

Mikrostruktur, in der die Spitze des Ermüdungsrissses zu positionieren ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild A.2 für Beispiele.

3.13

Blindprobe

Probe aus dem Schweißgut und dem Grundwerkstoff vor Einbringung des Kerbs

3.14

Wärmenachbehandlung

nach dem Schweißen vorgenommene Wärmebehandlung zum Reduzieren von Eigenspannungen oder zur Modifizierung der Eigenschaften der Schweißnaht

4 Symbole und Einheiten

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Symbole und Einheiten nach Tabelle 1 zusätzlich zu den Festlegungen nach ISO 12135.

Tabelle 1 — Symbole und Einheiten

Symbol	Einheit	Bezeichnung
d_1, d_2	mm	Längen der mikrostrukturellen Merkmale in Verbindung mit Pop-in-Ereignissen.
h	mm	effektive Schweißnahtbreite, definiert als kürzester Abstand zwischen der Spitze des Ermüdungsrisse und der Schmelzlinie innerhalb der zentralen 75 % der Dicke (siehe Bild 13 und Bild 14)
HV10		Vickers-Härte bei einer Kraft von 10 kg
N		senkrecht zur Schweißrichtung
P		parallel zur Schweißrichtung
Q		Dickenrichtung der Schweißnaht
$R_{p0,2b}$	MPa	0,2 %-Dehngrenze des Grundwerkstoffs bei der Temperatur des Bruchmechanikversuchs
$R_{p0,2w}$	MPa	0,2 %-Dehngrenze des Schweißgutes bei der Temperatur des Bruchmechanikversuchs
R_{mb}	MPa	Zugfestigkeit des Grundwerkstoffs bei der Temperatur des Bruchmechanikversuchs
R_{mw}	MPa	Zugfestigkeit des Schweißgutes bei der Temperatur des Bruchmechanikversuchs
s_1	mm	Abstand zwischen der realen Rissspitze und ihrer angestrebten Position in der Rissebene, (siehe Bild 12)
s_2	mm	Abstand zwischen der realen Rissspitze und ihrer angestrebten Position senkrecht zur Rissebene (siehe Bild 12)
V	mm	Kerböffnung
V_1		Kerböffnung, gemessen mit dem Doppelwegaufnehmer, beschrieben in E.3 und veranschaulicht in Bild E.1
V_2		Kerböffnung, gemessen mit dem Doppelwegaufnehmer, beschrieben in E.3 und veranschaulicht in Bild E.1
X		Richtung parallel zur primären Kornorientierung des Grundwerkstoffs
Y		Richtung quer zur primären Kornorientierung und zur Dicke des Grundwerkstoffs

Symbol	Einheit	Bezeichnung
Z		Dickenrichtung des Grundwerkstoffs
Δa_{pop}	mm	maximale Ausdehnung des Sprödbereichs (nach der SZW) (siehe 3.1) bei Pop-in-Ereignissen
λ	mm	Länge des Bereichs der spezifischen Mikrostruktur, metallographisch — vor oder nach dem Bruchmechanikversuch bestimmt (siehe Bild B.2)

5 Kurzbeschreibung

Diese Internationale Norm legt Verfahren zur Bestimmung der Bruchzähigkeit an gekerbten und mit Ermüdungsrissen versehenen Proben aus Schweißverbindungen fest. Sie betrifft Fälle, bei denen die Ermüdungsrisspitze

- a) eine definierte Lage relativ zur Ausformung der Schweißnaht (WP) hat;
- b) eine definierte Lage in einer bestimmten Mikrostruktur, bezeichnet als „spezifische Mikrostruktur“ (SM) hat.

Mittels metallographischer Untersuchung der Schweißnaht wird bestätigt, dass die Risspitze tatsächlich in der gewünschten Position relativ zur Schweißnaht bzw. der spezifischen Mikrostruktur lokalisiert ist, bzw. dass sich die Rissfront in ausreichendem Ausmaß über diesen Bereich erstreckt.

Nachdem Probengeometrie und Kerborientierung ausgewählt sind, wird, ausgehend von der Kerbspitze, ein Ermüdungsriss unter Wechselbeanspruchung in die Probe eingeschwungen, sodass die Risspitze im angestrebten Bereich lokalisiert ist. Ziel der Prüfung ist die Bestimmung der Bruchzähigkeit für einen Zustand, bei dem Schweißspannungen eine signifikante Rolle spielen. Um dies zu erreichen und einen Ermüdungsriss mit gerader Rissfront zu erzeugen, können Modifikationen des Verfahrens der Ermüdungsrissanbringung erforderlich sein. Diese Modifizierungen sind in der Regel bei Proben aus unbehandelten oder teilweise spannungsarm geglühten Schweißungen der Fall.

Die Bruchzähigkeitsprüfung wird nach ISO 12135 durchgeführt und ausgewertet. Zusätzlich sind hinsichtlich der Versuchsauswertung (siehe 12.1, 12.2 und 12.3) sowie hinsichtlich der Gültigkeitskriterien (siehe 12.4) Festlegungen der vorliegenden Norm zu beachten.

Um sicherzustellen, dass die Risspitze in den gewünschten Bereichen der Schweißnaht bzw. den gewünschten spezifischen Mikrostrukturen lokalisiert ist sowie zur Bewertung der Signifikanz von Pop-in-Ereignissen ist in vielen Fällen eine metallographische Untersuchung nach dem Versuch erforderlich.

Die Arbeitsschritte eines Bruchmechanikversuchs sind in Bild 1 zusammengefasst.

6 Wahl des Probendesigns, der Probenorientierung und der Kerblage

6.1 Klassifizierung der gewünschten Kerbposition

Bei einer für die Prüfung einer bestimmten Position innerhalb der Schweißnaht (WP) vorgesehenen Probe ist dieser Bereich relativ zu einer Bezugsposition (z. B. der Schweißgutmitte) definiert.

Ist eine spezifische Mikrostruktur (SM) zu untersuchen, so muss diese durch die Rissfront mindestens im zentralen Bereich von 75 % der Probendicke erfasst werden.

ANMERKUNG Einige Beispiele für WP- und SM-Kerblagen sind in Anhang A enthalten.

WP-Mitte-Schweißgut-Kerblagen, die vorwiegend Feinkornregionen erfassen, können bei zwei- und mehrlagigen Nähten mit Nahtversatz irreführende (sehr hohe) Werte der Bruchzähigkeit ergeben. Für diese Schweißnähte werden SM-Kerblagen wie in den Bildern A.2 iv) bzw. A.2 v) empfohlen.

6.2 Probendesign

Das Probendesign muss eine kompakte oder Biegekonfiguration mit einseitigem Kerb nach ISO 12135 haben und darf eine glatte Oberfläche oder Seitenkerben haben. Dabei werden Biegekonfigurationen mit Kerben in Blechdickenrichtung (siehe Bild 2, Bild 3 und Bild 4, Grundwerkstoffproben XY und YX und Schweißgutproben NP und PN) als Proben mit wanddurchdringendem Riss bezeichnet, während Konfigurationen mit Kerben in der Blechoberfläche (siehe Bild 2, Bild 3 und Bild 4, Grundwerkstoffproben XZ und YZ und Schweißgutproben NQ und PQ) als Proben mit Oberflächenriss bezeichnet werden.

ANMERKUNG Die Maßtoleranzen von Schweißproben sind größer als die von Grundwerkstoffproben (siehe 8.1).

Die Maße B oder W der Probe (siehe Bild 5) müssen (ausschließlich der Schweißnahtüberhöhung) der gesamten Blechdicke des Grundwerkstoffs senkrecht zur Schweißnaht entsprechen.

Die Prüfung von Proben mit geringeren Abmessungen (z. B. B oder W kleiner als die volle Blechdicke in Q-Richtung für das Schweißgut und Z für den Grundwerkstoff in Bild 2, Bild 3 und Bild 4) und/oder mit Seitenkerben ist zulässig, muss aber im Prüfbericht deutlich ausgewiesen sein. Die Ergebnisse, die mit solchen Proben gewonnen wurden, können sich von Ergebnissen an Proben mit voller Größe unterscheiden. Ursachen können Größeneffekte oder Unterschiede hinsichtlich der geprüften mikrostrukturellen Bereiche sein.

6.3 Proben- und Rissebenenorientierung

Die Proben- und Rissebenenorientierung relativ zur Schweißnaht und zum Grundwerkstoff werden entsprechend der Bilder 2, 3 und 4 definiert.

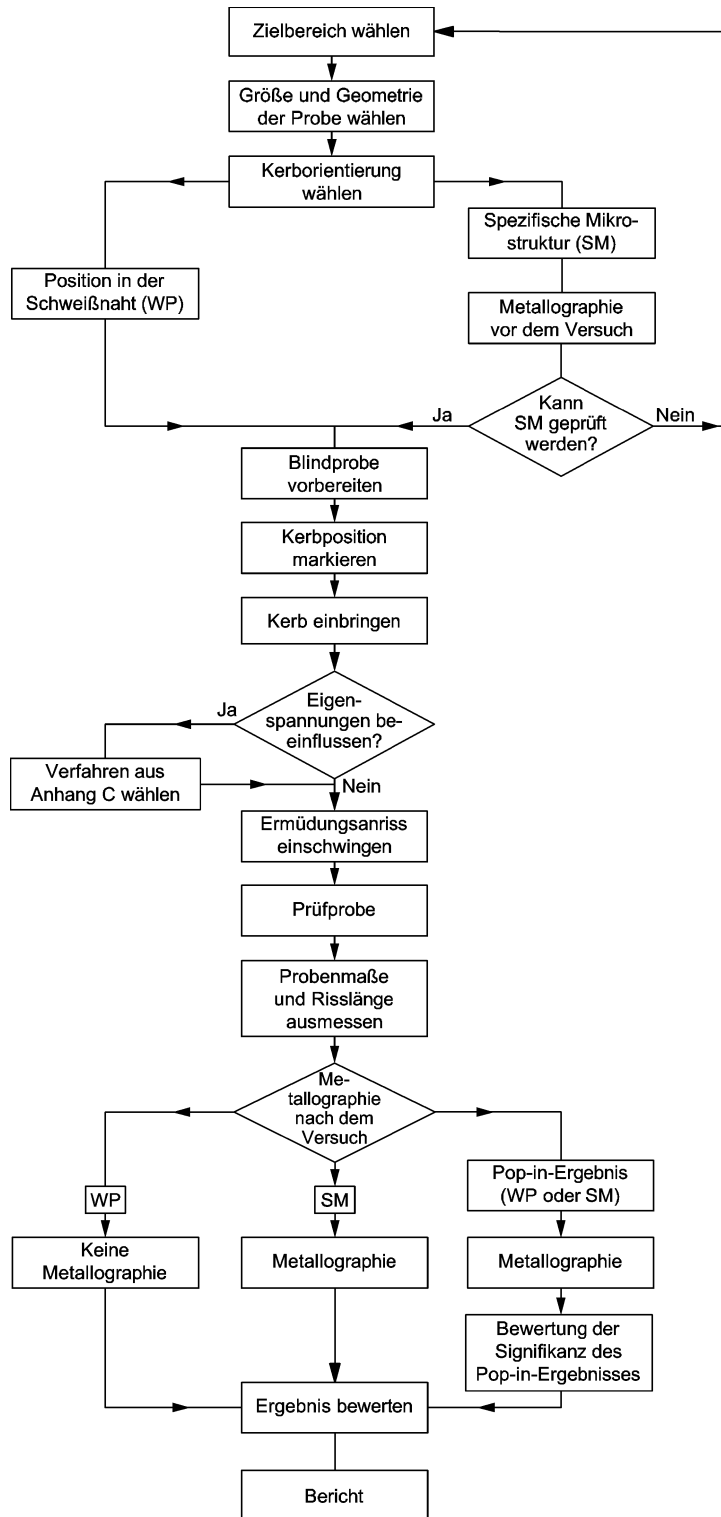
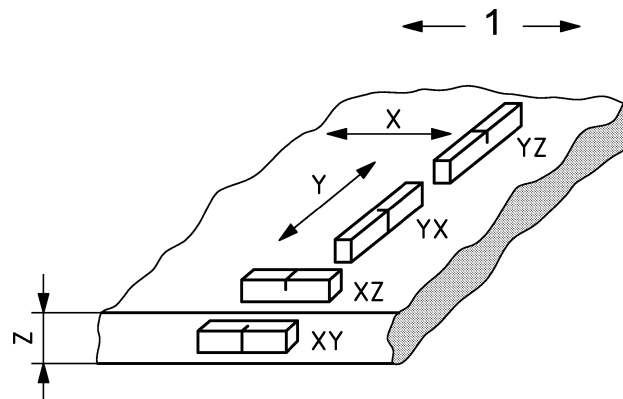
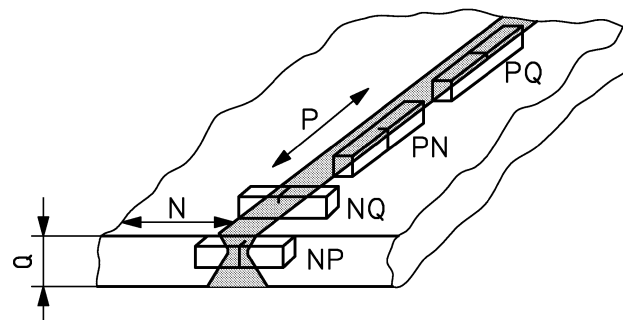


Bild 1 — Arbeitsschritte einer Schweißnahtprüfung



a) Grundwerkstoff



b) Schweißgut

Legende

1 Walzrichtung

N = senkrecht zur Schweißrichtung

P = parallel zur Schweißrichtung

Q = Dickenrichtung der Schweißnaht

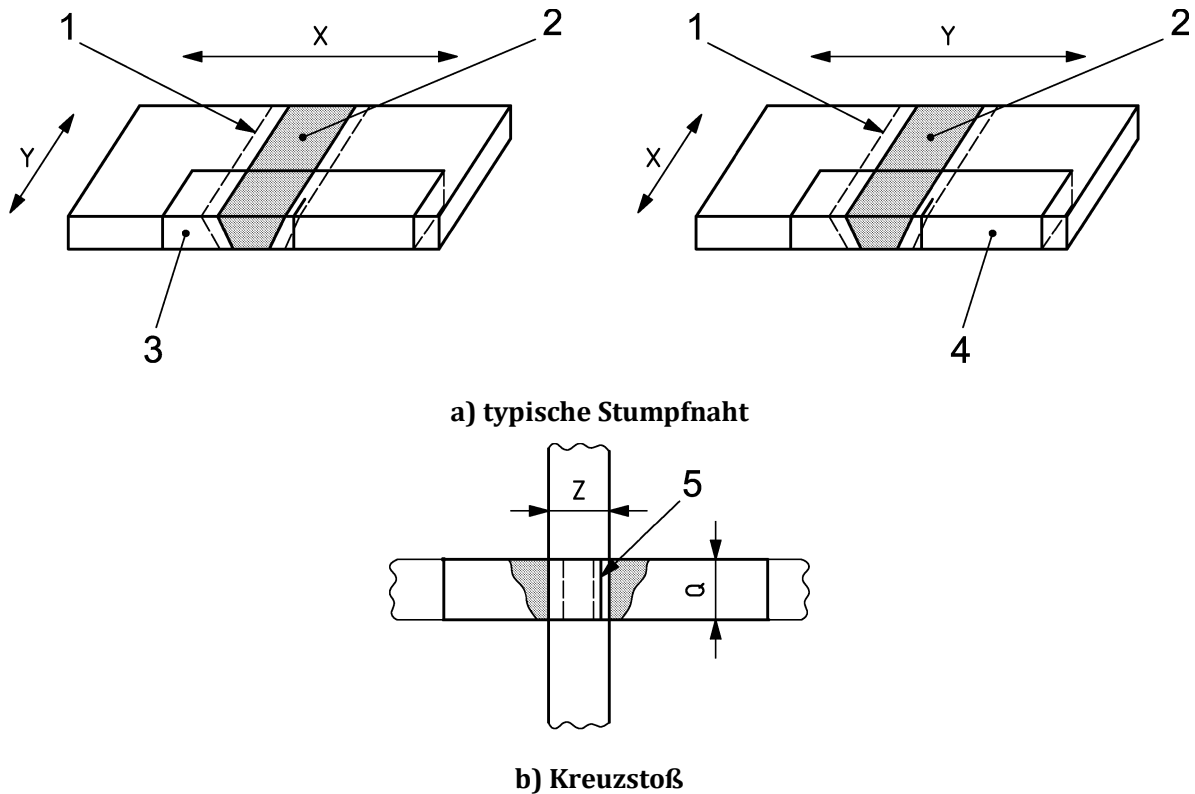
Erster Buchstabe: Richtung senkrecht zur Rissebene

Zweiter Buchstabe: erwartete Richtung der Rissausbreitung

Siehe ISO 3785 zur Definition von X, Y und Z.

Die Proben mit den Orientierungen NP und PN werden als Proben mit wanddurchdringenden Rissen bezeichnet, die Proben mit den Orientierungen NQ und PQ als Proben mit Oberflächenrissen.

Bild 2 — Definitionen der Probenorientierung für Bruchzähigkeitsproben des Grundwerkstoffs und des Schweißguts

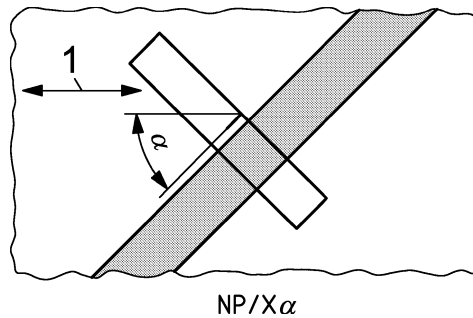


Legende

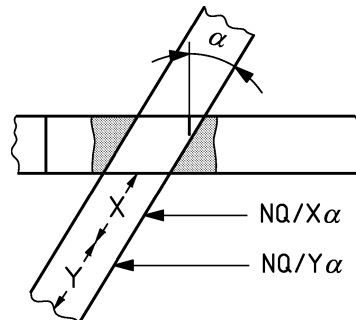
- 1 WEZ (Wärmeeinflusszone)
- 2 Schweißgut
- 3 Orientierung der Schweißnahtprobe NP/XY
- 4 Orientierung der Schweißnahtprobe NP/YX
- 5 wanddurchdringender Riss NP/ZX oder NP/ZY
- X Walzrichtung
- Q Dickenrichtung der Schweißnaht

Bei Prüfungen der Wärmeeinflusszone (WEZ), bei denen die Walzrichtung des Grundwerkstoffs den Rissausbreitungswiderstand beeinflussen kann, dürfen die Orientierung des Schweißguts und des Grundwerkstoffs wie in diesem Bild und in Bild 4 gezeigt kombiniert werden.

Bild 3 — Probenorientierungen von Bruchzähigkeitsproben für die WEZ einer typischen Stumpfnahht und eines Kreuzstoßes



a) typische Stumpfnah



b) schräger Kreuzstoß

Legende

1 Walzrichtung

Bei Prüfungen der Wärmeeinflusszone (WEZ), bei denen die Walzrichtung des Grundwerkstoffs den Rissausbreitungswiderstand beeinflussen kann, dürfen die Orientierung des Schweißguts und des Grundwerkstoffs wie in diesem Bild und in Bild 3 gezeigt kombiniert werden.

Bild 4 — Probenorientierung von Bruchzähigkeitsproben für die WEZ bei einem Winkel, α , zur Walzrichtung des Grundwerkstoffs, für eine typische Stumpfnah und einen schrägen Kreuzstoß

7 Metallographische Untersuchungen vor der Probenfertigung

7.1 Mikrostrukturelle Bewertung von Makroschliffen

Wenn die gewünschte Lage der Risspitze als SM definiert ist, müssen entweder separate Makroschliffe oder die Schweißnahtenden präpariert werden, wobei die Schnittebene senkrecht zur Schweißrichtung sein muss. Diese Querschnitte durch die Naht müssen die Länge der zu prüfenden Schweißnaht eingrenzen, um so sicherzustellen, dass die erwartete Mikrostruktur in ausreichender Menge im Bereich der angestrebten Rissspitzenposition vorhanden ist. Die Makroschliffe müssen geschliffen, geätzt und bei einer Vergrößerung untersucht werden, die hinreichend ist, um den betreffenden Gefügebereich vor der Probenfertigung zu identifizieren. Werden separate Makroschliffe präpariert, so sind deren Positionen entlang der Schweißnaht zu protokollieren.

Die Untersuchung der Makroschliffe muss sicherstellen, dass

- die Risspitze in einer Probe mit wanddurchdringendem Riss über die zentralen 75 % der Probendicke im gewünschten Gefügebereich lokalisiert ist;
- die Risspitze in einer Probe mit Oberflächenriss nicht mehr als 0,5 mm vom gewünschten Bereich entfernt ist.

Ist die gewünschte Mikrostruktur nicht vorhanden, reicht ihre Menge für eine Prüfung nicht aus oder können die Toleranzgrenzen für die Rissspitzenposition nicht eingehalten werden, so ist die Schweißnaht für eine Prüfung nach dem SM-Kriterium als ungeeignet zu verwerfen. In einem solchen Fall kann ein neuer Werkstoffbereich identifiziert oder eine neue Schweißnaht vorbereitet werden. Soll eine Biegeprobe mit einer hinreichenden Menge an der gewünschten Mikrostruktur geprüft werden, die Toleranzen für die Rissspitzen-Position können aber nicht eingehalten werden, dann darf bei Übereinkunft der beteiligten Parteien das in Anhang E beschriebene Prüfverfahren für Proben mit kurzen Rissen angewendet werden.

Wegen der mit einem kurzen Riss einhergehenden geringeren Dehnungsbehinderung (Constraint) an der Rissspitze, kann bei gleicher Mikrostruktur der Risswiderstand einer solchen Probe ($0,10 \leq a_o/W \leq 0,45$) größer sein als der einer Standardprobe ($0,45 \leq a_o/W \leq 0,70$). Deshalb ist das Ausmaß dieses möglichen Unterschieds zu bewerten, wenn Proben mit kurzen Rissen geprüft werden.

7.2 Zusätzliche Anforderungen an die Prüfung der Wärmeeinflusszone

Ist die zu untersuchende spezifische Mikrostruktur (SM) mit der Wärmeeinflusszone (WEZ) identisch, sind zusätzlich zu den in Abschnitt 7.1 dargestellten weitere metallographische Untersuchungen durchzuführen. Auf den geschliffenen und geätzten Makroschliffen ist zu bestimmen, ob die gewünschte Mikrostruktur in den zentralen 75 % der Dicke vorliegt, und ob sie für eine erfolgreiche Prüfung in ausreichender Menge vorhanden ist.

Die gemessenen Positionen und die Abmessungen der gewünschten Mikrostruktur dürfen optional in Kartenform dargestellt werden (ein Beispiel findet sich in Anhang B). Liegt eine derartige Kartierung vor, so muss sie die gesamte Dicke des Makroschliffes umfassen und die Positionen der gewünschten Mikrostruktur wiedergeben. Der Anteil der gewünschten Mikrostruktur muss über den zentralen 75 %-Bereich der Probendicke berechnet werden.

Werden Proben mit Oberflächenriss ausgewählt, so muss der Makroschliff verwendet werden, um nachzuweisen, dass die gewünschte Mikrostruktur innerhalb des Bereiches $0,45 \leq a_o/W \leq 0,70$ vorhanden ist.

Für Fälle, in denen es unwahrscheinlich ist, dass die Ermüdungsrisspitze in Übereinstimmung mit den SM-Gültigkeitskriterien positioniert werden kann, ist entweder ein neuer Bereich für die anzustrebende Position der Risspitze auszuwählen, eine neue Schweißnaht zu präparieren oder eine Probe mit einem kurzen Riss, wie in 7.1 beschrieben, zu verwenden.

8 Probenfertigung

8.1 Toleranzen der Probenabmessungen

Blindproben sind so aus dem Produkt zu arbeiten, dass der Werkstoffbereich, der für die Prüfung ausgewählt wurde, erfolgreich gekerbt werden kann. Vor dem Einbringen der Kerben müssen die Blindproben vollständig unter Berücksichtigung Ihrer Toleranzen bearbeitet werden.

Kompaktproben müssen den Maßanforderungen nach ISO 12135 entsprechen. Standard-Biegeproben müssen denen in Bild 5 entsprechen. Biegeproben mit kurzen Rissen (siehe 7.1, 7.2 und Anhang E) müssen ebenfalls den Forderungen in Bild 5 entsprechen; ausgenommen ist die relative Risslänge, die im Bereich $0,10 \leq a_o/W \leq 0,45$ liegen muss.

ANMERKUNG 1 Die Maßtoleranzen in Bild 5 für Standard-SE(B)-Proben sind absichtlich größer als jene nach ISO 12135, um Veränderungen des ursprünglichen Schweißproduktes möglichst gering zu halten.

Schweißnahtversatz, Verzug und die Wölbung der Blindprobe (bei Blindproben aus Rohrabschnitten) müssen den Anforderungen in Bild 6 entsprechen. Die Geradheitsanforderung von 2,5 % von W an den Seiten der Blindproben gilt für Rohrkrümmungen (ausgedrückt als Verhältnis des Rohrdurchmessers zur Schweißnahtdicke) größer gleich 10. Schweißverbindungen, die nicht den festgelegten Geradheits-/Versatzanforderungen entsprechen, müssen vor dem Einbringen der Kerben durch lokales Biegen gerichtet werden. Die Lastangriffspunkte für das Richten müssen in einem Mindestabstand B von dem zu kerbenden Bereich angeordnet sein. Es ist unerlässlich, dass der zu kerbende Bereich nicht durch die Richtarbeiten verformt wird. Ein Verfahren zum Richten von Blindproben aus verformten oder gekrümmten Abschnitten ist in Bild 7 dargestellt.

Wenn es nicht möglich ist, die einem Rohr entnommene Blindprobe zu richten, darf ein rechteckiger Block des Prüfwerkstoffs aus dem Rohr entnommen und mit geeigneten Verlängerungsabschnitten verschweißt werden. Die Gesamtlänge des Prüfblockes, einschließlich Verlängerungen, muss eine Probe von ausreichender Länge ergeben, um den Krümmungsanforderungen nach Bild 6 zu entsprechen. Die angefügten Teile müssen weit genug von der zu untersuchenden Mikrostruktur entfernt sein, um eine Beeinflussung beim Fügeprozess zu vermeiden.

ANMERKUNG 2 Laser- und Elektronenstrahlschweißverfahren haben sich für die Herstellung schmaler Schweißnähte mit geringem Verzug zwischen dem Prüfblock und den Verlängerungsstücken als geeignet erwiesen.

Wenn eine Probe angestrebt wird, deren Dicke der des Bauteils entspricht, so ist die mechanische Bearbeitung auf ein Minimum zu begrenzen, um den Toleranzanforderungen und den Forderungen für die lokale Druckbelastung (siehe Abschnitt C.2) zu entsprechen.

Die Schweißnahtüberhöhung muss auf das Niveau der ursprünglichen Produktoberfläche abgearbeitet werden.

Unterscheidet sich die Plattendicke auf beiden Seiten der Schweißnaht um 10 % oder mehr, so ist die Blindprobe auf die Dicke der dünneren Seite abzarbeiten. In derartigen Fällen müssen die ursprünglichen und die endgültigen Maße der Blindprobe protokolliert werden.

8.2 Kerbpositionierung bei Proben mit wanddurchdringendem Riss

Die Verfahrensweise zur Positionierung des Kerbs bei Proben mit wanddurchdringendem Riss für die NP Rissebenen-Orientierung ist in Bild 8 dargestellt. Die zu kerbende Oberfläche (Seite A) und die gegenüber liegende Oberfläche (Seite B) liegen geschliffen und geätzt vor, wodurch Schweißnaht und Wärmeeinflusszone (WEZ) sichtbar sind. Auf jede vorbereitete Oberfläche A und B wird senkrecht zur Probenachse $\pm 5^\circ$ eine Referenzlinie entlang der zu untersuchenden Mikrostrukturbereiche gezogen. Diese gezogenen Linien werden auf die Flächen, die senkrecht zu den vorbereiteten Oberflächen liegen, übertragen. Eine neue Linie wird dann äquidistant zwischen den übertragenen Linien eingefügt. Diese Linie wird als Vorgabe für die Lage des einzubringenden Kerbs in Oberfläche A genutzt.

ANMERKUNG Dieses Verfahren wird gewählt, um sicherzustellen, dass die endgültige Risspitze in der gewünschten Mikrostruktur liegt (speziell wenn diese die Wärmeeinflusszone ist), wenn die Probenachse nicht senkrecht zur Schweißrichtung und $a_0/W = 0,5$ ist. Wenn $a_0/W \neq 0,5$ ist die konstruierte Linie als Vorgabe für die Lage des einzubringenden Kerbs seitlich der gewünschten Mikrostruktur positioniert.

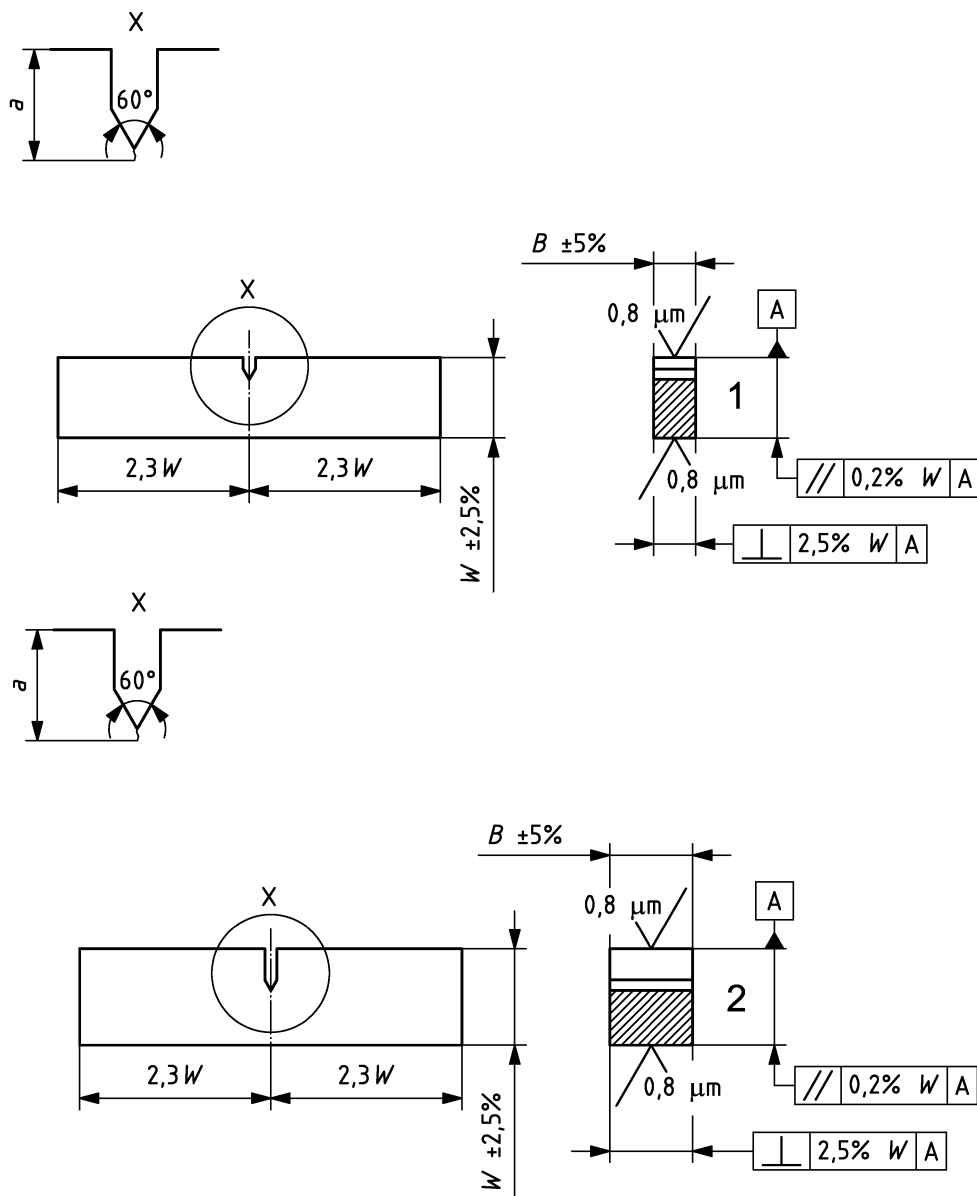
8.3 Kerbpositionierung bei Proben mit Oberflächenriss

Die Verfahrensweise zur Positionierung des Kerbs bei Proben mit Oberflächenriss für die NP Rissebenen-Orientierung ist in Bild 9 dargestellt. Die Seitenflächen (im rechten Winkel zu der Oberfläche, in die der Kerb einzubringen ist) sind geschliffen und geätzt, um die Schweißnaht und die Wärmeeinflusszone (WEZ) sichtbar zu machen. Vom ausgewählten Mikrostrukturbereich aus werden in Richtung der zu kerbenden Oberfläche Referenzlinien gezogen. An den Kanten werden diese Linien lotrecht (senkrecht zur Probenachse $\pm 5^\circ$) auf der zu kerbenden Oberfläche fortgesetzt. Eine neue Linie wird äquidistant zwischen den von beiden Kanten kommenden Linien eingefügt. Diese Linie wird dann als Vorgabe für die Lage des einzubringenden Kerbs genutzt.

ANMERKUNG Dieses Verfahren wird gewählt, um sicherzustellen, dass die endgültige Risspitze, im Bereich der mittleren Probendicke, in der gewünschten Mikrostruktur liegt, wenn die Probenachse nicht senkrecht zur Schweißrichtung ist.

8.4 Kerbfertigung

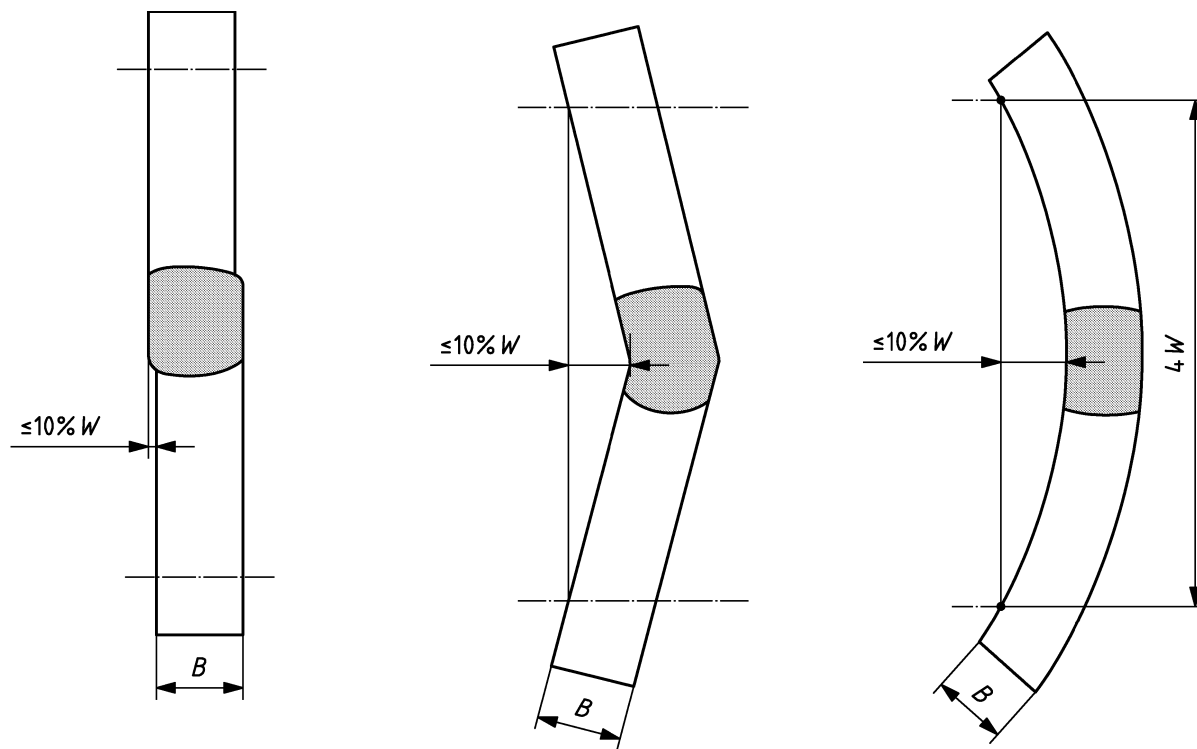
Die Kerbfertigung muss den in ISO 12135 vorgegebenen Richtlinien folgen.



- 1 quadratische Probe
Breite = W
Dicke = $B = 0,5 W$
Risslänge = $a = 0,45 W$ bis $0,7 W$
Spannweite = $4 W$
Kerbbreite = $0,065 W_{\max}$
Geradheit der Probe, siehe Bild 6

- 2 rechteckige Probe
Breite = W
Dicke = $B = W$
Risslänge = $a = 0,45 W$ bis $0,7 W$
Spannweite = $4 W$
Kerbbreite = $0,065 W_{\max}$
Geradheit der Probe, siehe Bild 6

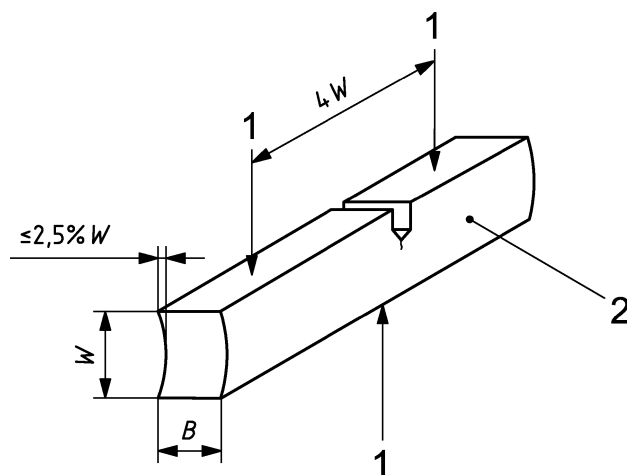
Bild 5 — Proportionalmaße und Toleranzen für Biegeproben



a) Versatz

b) Versatz und/oder Winkelversatz

c) Krümmung



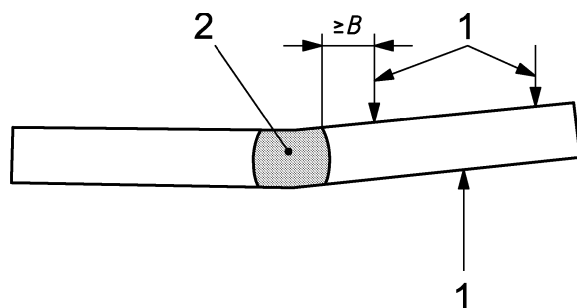
d) Krümmung

Legende

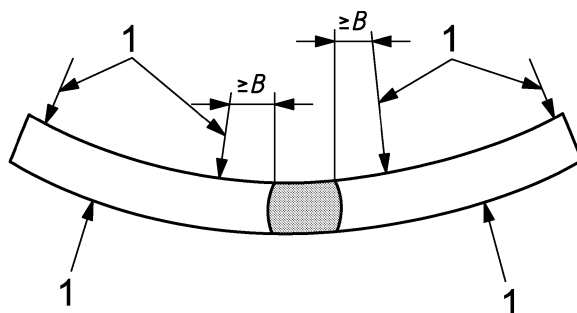
- 1 Lastangriffspunkte
- 2 gebogene Oberfläche aufgrund des Rohrradius

Stützweite = 4 W

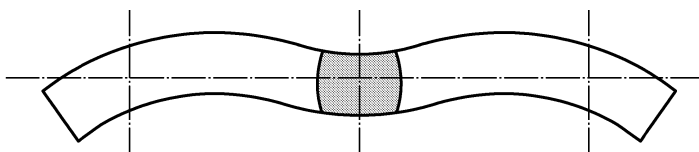
Bild 6 — Toleranzen für Versatz, Verzug und Krümmung in SE(B)-Proben



a) zur Reduzierung des Winkelversatzes



b) zur Reduzierung der Krümmung der Blindprobe aus dem Rohr
(der Richtprozess wird an jedem Probenarm getrennt vorgenommen)

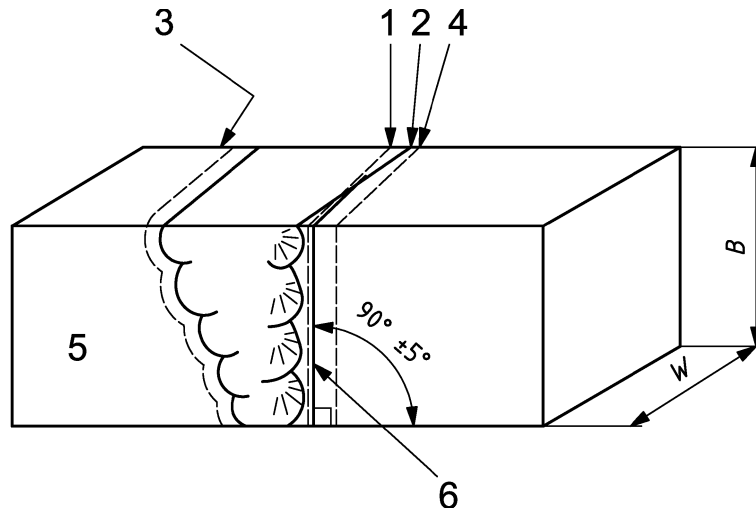


c) resultierender „Knickflügel“ der Blindprobe

Legende

- 1 aufgebrachte Kraft beim Richtprozess
- 2 Schweißnaht

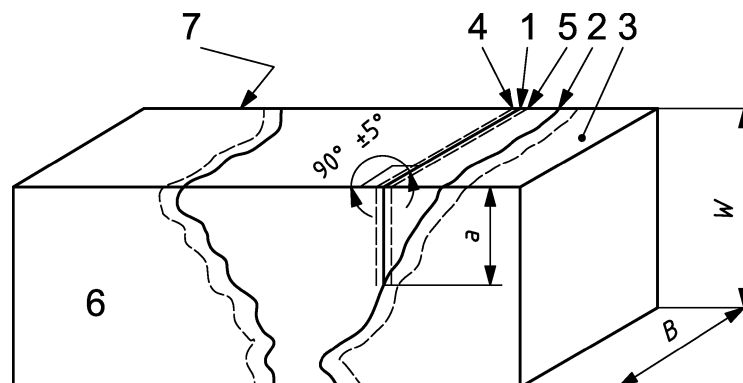
Bild 7 — Verfahren zum Richten von Biegeproben



Legende

- 1 Bezugslinie A
- 2 Schmelzlinie
- 3 Seite B (nicht gekerbte Seite)
- 4 Bezugslinie B
- 5 Seite A (gekerbte Seite)
- 6 Kerb

Bild 8 — Verfahren zur Positionierung des Kerbs mit Hilfe von Bezugslinien in einer Probe mit wanddurchdringendem Riss (NP Rissebenen-Orientierung)



Legende

- 1 Kerb
- 2 Schmelzlinie
- 3 gekerbte Seite
- 4 Bezugslinie B
- 5 Bezugslinie A
- 6 Seite A
- 7 Seite B

Bild 9 — Verfahren zur Platzierung des Kerbs mit Hilfe von Bezugslinien in einer Probe mit Oberflächenriss (NP Rissebenen-Orientierung)

9 Probenvorbereitung

9.1 Einbringung des Ermüdungsanrisses

Die Einbringung des Ermüdungsanrisses muss nach ISO 12135 erfolgen. Für Proben, bei denen die beabsichtigte Ermüdungsrissspitze im Schweißgut liegt, muss die Berechnung der Maximallast, F_F , und des maximalen Spannungsintensitätsfaktors, K_F , bei der Risseinbringung auf der Grundlage der Zugversuchskennwerte des Schweißgutes als dem Werkstoffbereich erfolgen, in den der Risseingebracht wird. In allen anderen Fällen müssen die Eigenschaften des angrenzenden Werkstoffs mit der jeweils geringsten Festigkeit verwendet werden.

Jede Wärmebehandlung nach dem Schweißen einschließlich Spannungsarmglühen muss vor der Einbringung des Ermüdungsanrisses erfolgen.

Wenn möglich, wird die Verwendung der kürzesten nach ISO 12135 zulässigen Ermüdungsrissslänge empfohlen, um die Rissfrontkrümmung zu minimieren und das Ausweichen des Risses in andere als die gewünschten Werkstoffbereiche möglichst gering zu halten.

Bei Proben im unbehandelten oder teilweise spannungsarm geglühten Zustand können hinsichtlich der Anforderungen an eine gerade Rissfront in Abschnitt 12.4 Probleme entstehen. In solchen Fällen sind die in Anhang C dargestellten Maßnahmen zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 1 Die Größenordnung und Verteilung der Eigenspannungen in Proben im unbehandelten und teilweise spannungsarmgeglühten Zustand hängen vom Werkstoff, dem Schweißverfahren, der Einspannung der zu schweißenden Konfiguration und ihrer Nachbehandlung ab.

ANMERKUNG 2 Eigenspannungen können (oder können nicht) zu einer ungeraden Ermüdungsrisssfront beitragen und gegebenenfalls auch die Bruchzähigkeit beeinflussen.

Wird die Probe aus einer spannungsarm geglühten Schweißverbindung entnommen, können die in Anhang C geschilderten Maßnahmen unnötig sein.

ANMERKUNG 3 Eine gerade Ermüdungsrisssfront kann ein Hinweis auf a) geringe oder b) gleichmäßig verteilte Eigenspannungen in der Nähe der Rissspitze sein.

Wenn der eingebrachte Ermüdungsanriss nicht den Anforderungen an die Geradheit der Rissfront nach 12.4 entspricht, muss das Verfahren der Risseinbringung nach Anhang C modifiziert werden. In diesem Fall ist die resultierende Bruchzähigkeit, wie in 12.4.4 beschrieben, zu kennzeichnen.

9.2 Seitenkerben

Werden Proben mit Seitenkerben gewählt, so hat dies in Übereinstimmung mit den Anforderungen nach ISO 12135 zu erfolgen.

10 Prüfgeräte, Anforderungen und Prüfverfahren

Die Prüfgeräte, Anforderungen und Verfahren zur Ermittlung von K_{Ic} , δ und J müssen den Festlegungen nach ISO 12135 genügen.

11 Metallographische Untersuchungen nach dem Versuch

11.1 Allgemeines

Metallographische Untersuchungen nach dem Versuch sind bei SM-Versuchen erforderlich, um die korrekte Lokalisierung der Riss Spitze in der gewünschten Mikrostruktur nachzuweisen. Dazu ist ein Abschnitt mit der Bruchfläche aus der Probe herauszuschneiden. Besteht die zu untersuchende Mikrostruktur aus Wärmeeinflusszonen-(WEZ)-Gefüge, so ist der Abschnitt aus der Seite der Probe zu entnehmen, die das Schweißgut enthält. Er ist dann für die in 11.2 und 11.3 beschriebene Analyse nach dem Versuch zum Nachweis der gewünschten Mikrostruktur an der Ermüdungsriss Spitze zu verwenden.

Für den Nachweis der Riss Spitzenposition relativ zu einem Bereich der Naht (WP) ist kein Zerlegen der Probe nach dem Versuch erforderlich.

Im Falle eines Sprödbruchs garantiert der Nachweis der spezifischen Mikrostruktur an der Riss Spitze nicht, dass der Spaltbruch tatsächlich in diesem Bereich initiiert wurde. Sollte der Kunde diese Information fordern, können deshalb ein weiteres Zerlegen der Probe und weitere metallographische Untersuchungen erforderlich werden. Die empfohlenen Zerlegetechniken sind die gleichen, die für den Nachweis von Pop-in-Ereignissen gefordert werden und werden in Anhang D beschrieben.

11.2 Proben mit wanddurchdringendem Riss

11.2.1 Zerlegung der Probe

Die Probe mit wanddurchdringendem Riss muss entlang einer Ebene senkrecht zur Bruchfläche zerlegt werden, und zwar hinter der Ermüdungsriss Spitze in einer Wanddickenposition innerhalb von 2 mm an der Stelle, wo der Ermüdungsanriss am längsten ist. Der entnommene Abschnitt muss den Ermüdungsriss über die zentralen 75 % der Probendicke (B oder B_N für seitengekerbte Proben) enthalten (siehe Bild 10, Schnitt A). Die herausgetrennte Fläche ist metallographisch zu untersuchen, um sicherzustellen, dass der Ermüdungsriss tatsächlich die gewünschte spezifische Mikrostruktur erfasst hat.

11.2.2 Bewertung

Die präparierte Fläche muss metallographisch untersucht werden, um sicherzustellen, dass die Ermüdungsrissfront die spezifische Mikrostruktur (SM) erfasst hat, und dass diese innerhalb der zentralen 75 % der Probendicke (B oder B_N) vorhanden war. Es ist eine Karte der Mikrostruktur zu erstellen, auf der alle Positionen und Abmessungen der spezifischen Mikrostrukturmerkmale innerhalb der zentralen 75 % der Probendicke (B oder B_N) erfasst sind. Ein Beispiel für eine Probe mit dem Kerb in der Wärmeeinflusszone (WEZ) findet sich in Anhang B.

11.3 Proben mit Oberflächenriss

11.3.1 Zerlegung der Probe

Versagt eine Probe durch Spaltbruch, so ist die Bruchfläche bei einer geeigneten Vergrößerung zu untersuchen, um die Stelle der Rissinitiation zu identifizieren. Mindestens ein Abschnitt muss so nah wie möglich an dieser Stelle entnommen werden. Hat lediglich eine stabile Rissausbreitung stattgefunden, so ist der Abschnitt an der tiefsten Stelle des Ermüdungsanrisses zu entnehmen. Die Schnittebene muss senkrecht zur Kerb-/Rissebene verlaufen (siehe Bild 11).

ANMERKUNG Die Bestimmung der Stelle der Rissinitiation darf visuell erfolgen, sie kann jedoch auch die Zuhilfenahme der Licht- oder Rasterelektronenmikroskopie erforderlich machen.

11.3.2 Bewertung

Die präparierte Fläche muss metallographisch untersucht werden, um sicherzustellen, dass die Ermüdungsrisssfront die spezifische Mikrostruktur (SM) erfasst hat. Befindet sich die SM vor der Ermüdungsrissspitze, so ist der kürzeste Abstand, s_1 , mit einer Genauigkeit von $\pm 0,05$ mm auszumessen [für die NQ Rissebenen-Orientierung, siehe Bild 12 a)]. Befindet sich die spezifische Mikrostruktur seitlich von der Ermüdungsrissspitze, so ist der Abstand, s_2 , mit einer Genauigkeit von $\pm 0,05$ mm auszumessen [siehe Bild 12 b)].

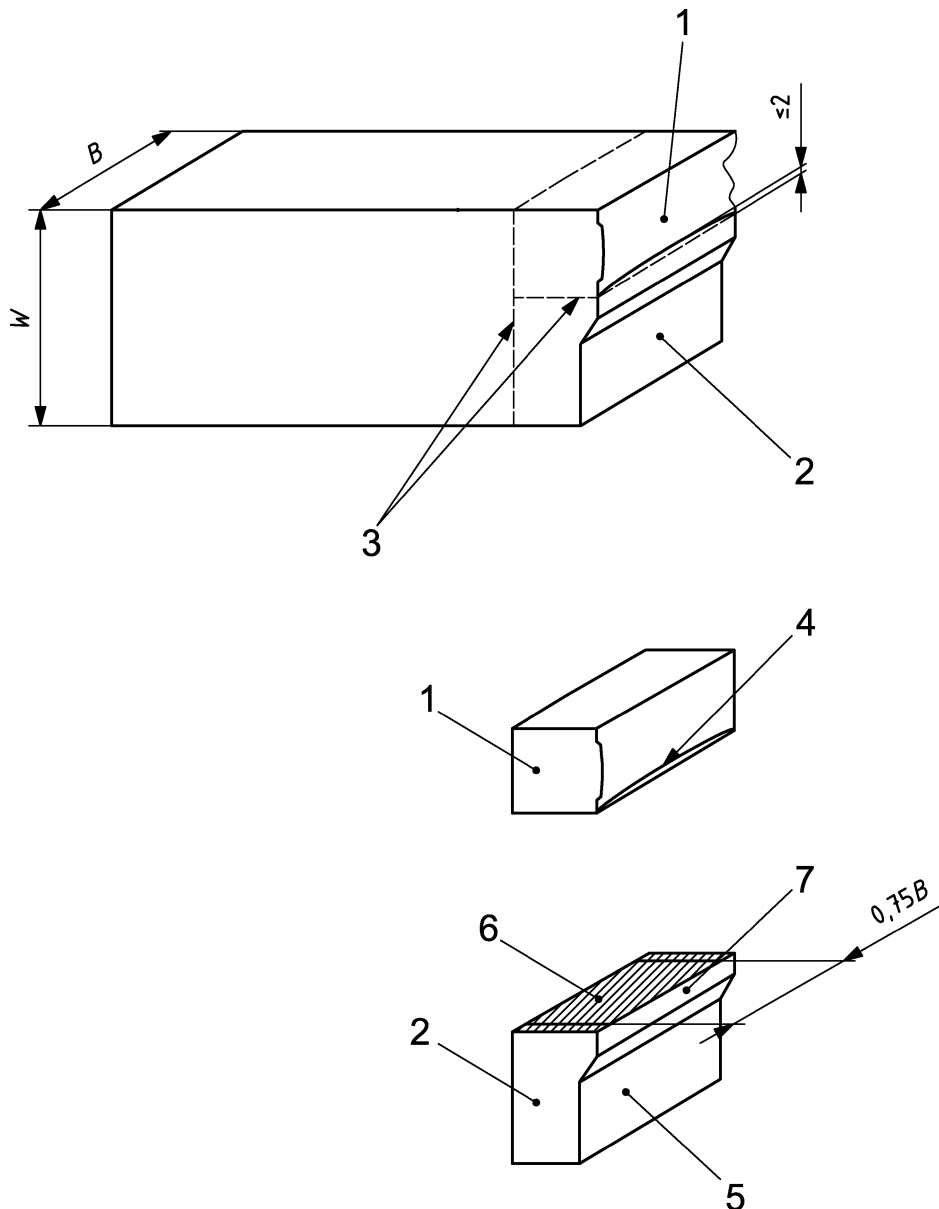
ANMERKUNG Es kann erforderlich sein, beide Bruchflächen zu zerlegen, um diese Abstände zu quantifizieren.

11.4 Bewertung von Pop-in-Ereignissen

Pop-in-Ereignisse, bei denen sowohl der Lastabfall als auch die Zunahme der Verschiebung weniger als 1 % betragen, müssen vernachlässigt werden. Alle anderen Pop-in-Ereignisse sind als signifikant anzusehen, es sei denn, ihre Insignifikanz ist mittels der in Anhang D beschriebenen fraktographischen und metallographischen Vorgehensweisen nachgewiesen.

ANMERKUNG Die in ISO 12135 beschriebenen Kriterien für Pop-in-Ereignisse sind für homogene Werkstoffe abgeleitet und können für Schweißverbindungen ungeeignet sein. Die Erfahrung zeigt, dass die Ausprägung des Pop-in-Ereignisses bei Schweißnähten in der Regel mit der Größe des spröden Gefügebereiches an der Rissspitze korreliert. Geringe Veränderungen der Position der Rissspitze können das Ausmaß des Pop-in-Ereignisses verändern. Folglich können die Kriterien für die Pop-in-Bewertung in ISO 12135 für Schweißverbindungen ungeeignet sein.

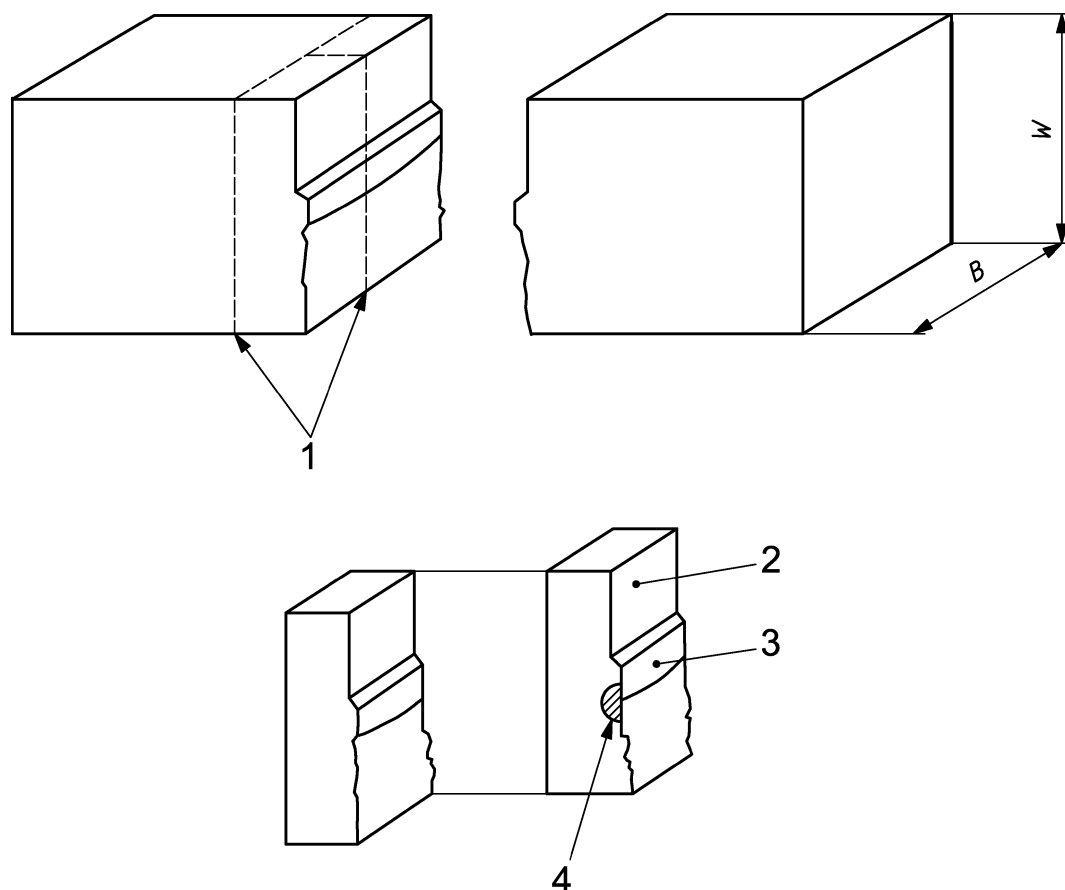
Maße in Millimeter



Legende

- 1 Schnitt B
- 2 Schnitt A
- 3 Trennschnitte
- 4 Ermüdungsrisspitze bei Eintreten des Bruchereignisses
- 5 Kerb
- 6 zu untersuchende Oberfläche (Schleifen und Ätzen)
- 7 Ermüdungsriss

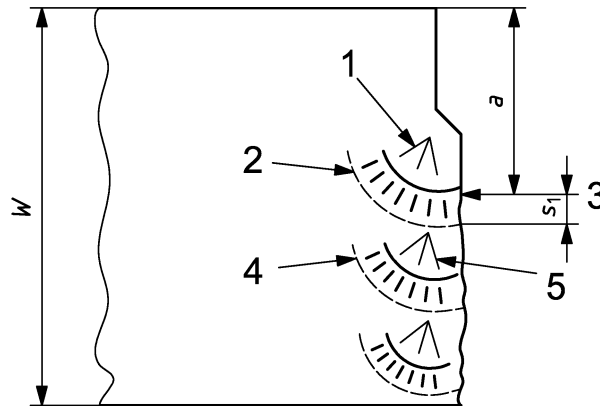
Bild 10 — Zerlegung der Probe nach dem Versuch zur Identifizierung der Mikrostruktur am Ermüdungsriss in einer Probe mit wanddurchdringendem Riss



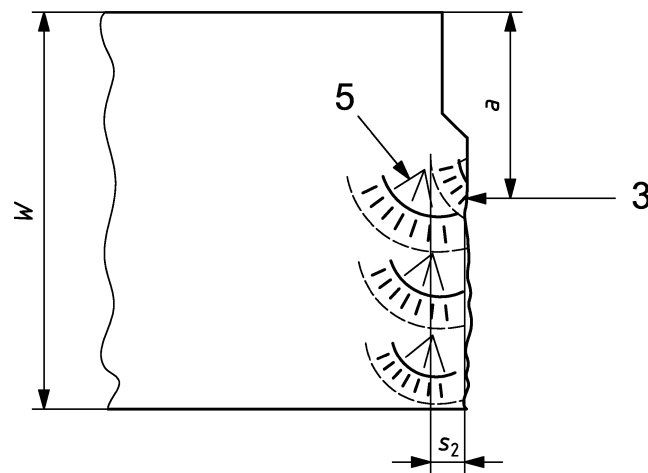
Legende

- 1 Trennschnitte
- 2 Kerb
- 3 Ermüdungsriss
- 4 zu untersuchende Oberfläche (Schleifen und Ätzen)

Bild 11 — Zerlegung einer Probe mit Oberflächenriss nach dem Versuch



a) zu prüfende Mikrostruktur vor der Ermüdungsrisspitze



b) zu prüfende Mikrostruktur seitlich der Ermüdungsrisspitze

Legende

- 1 Schweißraupe
- 2 wiedererwärmtes Schweißgut
- 3 Ermüdungsrisspitze
- 4 wiedererwärmtes Schweißgut
- 5 SM (zu prüfende Mikrostruktur)

Bild 12 — Bestimmung der Abstände s_1 und s_2 der spezifischen Mikrostruktur (SM) einer Probe mit Oberflächenriss (NQ Rissebenen-Orientierung)

12 Auswertung nach dem Versuch

12.1 Wahl der Zugversuchskennwerte

Befindet sich die Risspitze vollständig im Schweißgut, so sind die Festigkeitskennwerte einer Probe aus reinem Schweißgut einzubeziehen. Befindet sich die Probe ganz oder teilweise in der Umwandlungs-WEZ, so ist die jeweils höhere Festigkeit des Grundwerkstoffs oder Schweißgutes anzuwenden.

ANMERKUNG Die Einflüsse auf die Rissspitzenöffnungsverschiebung (CTOD) in der Wärmeeinflusszone (WEZ) sind von der Festigkeit und der Größe der Wärmeeinflusszone und der umgebenden Mikrostrukturbereiche beeinflusst. Legt man die höhere der Festigkeiten von Grundwerkstoff und Schweißgut zugrunde, so wird der Risswiderstand CTOD unterschätzt.

Können die Zugversuchsdaten für den Grundwerkstoff und das Schweißgut unlegierter Stähle oder von C-Mn-Stählen nicht gemessen werden, so können diese (in MPa) für Raumtemperatur aus der Härte (in HV10) wie folgt abgeschätzt werden:

$$\text{Grundwerkstoff [1], } R_{p0,2b} = 3,28 \text{ HV10} - 221, \text{ für } 160 < \text{HV10} < 495 \quad (1)$$

$$\text{Schweißgut, } R_{p0,2w} = 2,35 \text{ HV10} + 62, \text{ für } 170 < \text{HV10} < 330 \quad (2)$$

$$\text{Grundwerkstoff, } R_{mb} = 3,3 \text{ HV10} - 8, \text{ für } 100 < \text{HV10} < 400 \quad (3)$$

$$\text{Schweißgut, } R_{mw} = 3,0 \text{ HV10} + 22,1, \text{ für } 170 < \text{HV10} < 330 \quad (4)$$

Kann bei ferritischen Stählen kein Zugversuch unterhalb Raumtemperatur durchgeführt werden und ist die 0,2 %-Streckgrenze bei der niedrigen Temperatur des vorgesehenen Bruchmechanikversuchs nicht verfügbar, so kann diese aus der Streckgrenze bei Raumtemperatur mit der folgenden Beziehung (in MPa) abgeschätzt werden [2] (MPa):

$$R_{p0,2} (\text{bei tiefer Temperatur, } T) = R_{p0,2} (\text{bei Raumtemperatur}) + \frac{10^5}{(491 + 1,8T)} - 189 \quad (5)$$

Dabei ist

T die vorgesehene Temperatur des Bruchmechanikversuchs, in °C, und muss höher als -196 °C sein.

12.2 K_{Ic}

Die Auswertung der Versuchsdaten zur Bestimmung von K_{Ic} ist in Übereinstimmung mit ISO 12135 durchzuführen, wobei aber die zusätzlichen Anforderungen nach 12.1 dieser Internationalen Norm hinsichtlich der geeigneten Wahl von $R_{p0,2}$ zu erfüllen sind.

12.3 δ und J

Die Auswertung der Versuchsdaten zur Bestimmung von δ und J an Standard-Biegeproben oder Kompaktproben muss nach ISO 12135 und den zusätzlichen Anforderungen nach 12.1 erfolgen. Wird eine Biegeprobe mit kurzem Riss verwendet ($0,10 \leq a_0/W \leq 0,45$), so hat die Bestimmung von δ und J nach Anhang E zu erfolgen.

12.4 Gültigkeitskriterien

12.4.1 Allgemeines

Alle in ISO 12135 aufgeführten Kriterien zur Qualifikation der Versuchsergebnisse gelten auch für diese Internationale Norm, mit den nachfolgend aufgelisteten Modifikationen:

12.4.2 Verhältnis der Schweißnahtbreite zum Ligament vor der Risspitze

Bei Prüfungen des Schweißgutes ist das δ entsprechend dieser Internationalen Norm als geeignet zu erachten, wenn die folgenden Anforderungen erfüllt sind [3], [4]:

- a) bei einem Riss in der Schweißnahtmitte muss das Verhältnis aus Schweißnahtbreite (über die zentralen 75 % der Probendicke) zur Ligamentlänge größer als 0,2 sein, d. h. $2h/(W - a_0) > 0,2$ [siehe Bild 13 a) und Bild 13 b) für Proben mit wanddurchdringendem Riss und Bild 14 a) und Bild 14 b) für Proben mit Oberflächenriss];
- b) bei einem Versatz der Risslage gegenüber der Mittellinie der Schweißnaht muss das Verhältnis der effektiven Schweißnahtbreite (kürzester Abstand zwischen der Rissebene und der Schmelzlinie über die zentralen 75 % der Probendicke) zur Ligamentlänge größer als 0,1 sein, d. h. $h/(W - a_0) > 0,1$ [siehe Bild 13 c) und Bild 13 d) für Proben mit wanddurchdringendem Riss und Bild 14 c) und Bild 14 d) für Proben mit Oberflächenriss];
- c) für die beiden obigen Fälle a) und b) gilt als zusätzliche Anforderung, dass das Verhältnis der 0,2 %-Streckgrenzen des Schweißgutes und des Grundwerkstoffes sich im Bereich 0,50 bis 1,50 befinden muss, d. h.

$$0,50 < \frac{R_{p0,2w}}{R_{p0,2b}} < 1,50 \quad (6)$$

Bei Prüfungen des Schweißgutes ist das J -Integral entsprechend dieser Internationalen Norm nach [3] und [4] als geeignet zu erachten, wenn das Verhältnis der 0,2 %-Streckgrenzen des Schweißgutes und des Grundwerkstoffes sich im Bereich 0,50 bis 1,25 befindet, d. h.

$$0,50 < \frac{R_{p0,2w}}{R_{p0,2b}} < 1,25 \quad (7)$$

Für die Prüfungen der Wärmeeinflusszone (WEZ) müssen die Verfahren zur Ermittlung von δ und J nach ISO 12135 angewendet werden (siehe 12.1 zur Wahl der Streckgrenze für die Berechnung von δ). Bei der Protokollierung der Ergebnisse müssen die 0,2 %-Streckgrenzen des Grundwerkstoffes und des Schweißgutes angegeben werden.

ANMERKUNG Die Einhaltung dieser Bewertungs- und Gültigkeitskriterien kann für δ und J des Schweißgutes zu einem Fehler von $\pm 10 \%$ führen. Eine Überschätzung der Parameter ist möglich bei $R_{p0,2w}/R_{p0,2b} > 1,50$ für δ und $> 1,25$ für J . Eine Unterschätzung kann auftreten bei $R_{p0,2w}/R_{p0,2b} < 0,50$ für δ und J [3], [4]. Bei der Bestimmung des Risswiderstandes der Wärmeeinflusszone ist bei J und δ für $0,7 < R_{p0,2w}/R_{p0,2b} < 2,5$ ein Fehler zwischen $\pm 5 \%$ und -20% bis $+10 \%$ möglich [5].

12.4.3 Geradheit der Rissfront

Bei der Ermittlung von δ und J -Werten mittels Biegeproben darf keiner der sieben inneren Messwerte der Endrisslänge um mehr als $0,2 a_0$ vom Mittelwert der 9 Punktmessung abweichen. Für Kompaktproben sowie K_{Ic} -Versuche mit Kompakt- oder Biegeproben müssen die Anforderungen an die Geradheit der Rissfront vollständig in Übereinstimmung mit ISO 12135 sein.

ANMERKUNG 1 Die Anforderungen an die Geradheit der Rissfront beruhen auf empirischen Ergebnissen von Untersuchungen an Biegeproben [6].

ANMERKUNG 2 Um die Anforderungen an SM- und WP-Prüfungen zu erfüllen, ist eine Herabsetzung der Anforderungen an die Geradheit der Ermüdungsrisssfront möglicherweise nicht möglich und die strengeren Anforderungen der ISO 12135 können erforderlich sein.