

DIN EN ISO 7539-9



ICS 77.060

Entwurf

Einsprüche bis 2020-09-24
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 7539-9:2008-08

**Korrosion von Metallen und Legierungen –
Prüfung der Spannungsrissskorrosion –
Teil 9: Vorbereitung und Anwendung von angerissenen Proben für die
Prüfung mit zunehmender Kraft oder zunehmender Verformung
(ISO/DIS 7539-9:2020);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 7539-9:2020**

Corrosion of metals and alloys –
Stress corrosion testing –
Part 9: Preparation and use of pre-cracked specimens for tests under rising load or rising
displacement (ISO/DIS 7539-9:2020);
German and English version prEN ISO 7539-9:2020

Corrosion des métaux et alliages –
Essais de corrosion sous contrainte –
Partie 9: Préparation et utilisation des éprouvettes préfissurées pour essais sous charge
croissante ou sous déplacement croissant (ISO/DIS 7539-9:2020);
Version allemande et anglaise prEN ISO 7539-9:2020

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-07-24 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

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

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

Gesamtumfang 74 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 7539-9:2020) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 156 „Corrosion of metals and alloys“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 262 „Metallische und andere anorganische Überzüge, einschließlich des Korrosionsschutzes und der Korrosionsprüfung von Metallen und Legierungen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-01-77 AA „Korrosionsprüfverfahren“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

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

ISO 7539-1	siehe	DIN EN ISO 7539-1
ISO 7539-6	siehe	DIN EN ISO 7539-6
ISO 7539-7	siehe	DIN EN ISO 7539-7
ISO 7539-8	siehe	DIN EN ISO 7539-8
ISO 11782-2	siehe	DIN EN ISO 11782-2
ISO 15653	siehe	DIN EN ISO 15653

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 ISO 7539-9:2008-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Bilder wurden in Anhang C verschoben;
- b) Überarbeitung Abschnitt 7;
- c) Aktualisierungen von Anhang A, B und C;
- d) redaktionelle Anpassungen.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 7539-1, *Korrosion der Metalle und Legierungen — Prüfung der Spannungsrisskorrosion — Teil 1: Allgemeiner Leitfaden für Prüfverfahren*

DIN EN ISO 7539-6, *Korrosion der Metalle und Legierungen — Prüfung der Spannungsrisskorrosion — Teil 6: Vorbereitung und Anwendung von angerissenen Proben für die Prüfung unter konstanter Last oder konstanter Auslenkung*

DIN EN ISO 7539-7, *Korrosion der Metalle und Legierungen — Prüfung der Spannungsrisskorrosion — Teil 7: Prüfung mit langsamer Dehngeschwindigkeit*

DIN EN ISO 7539-8, *Korrosion der Metalle und Legierungen — Prüfung der Spannungsrisskorrosion — Teil 8: Vorbereitung und Anwendung von Proben zur Bewertung von Schweißverbindungen*

DIN EN ISO 11782-2, *Korrosion von Metallen und Legierungen — Prüfung der Schwingungskorrosion — Teil 2: Rissausbreitungsprüfung an angerissenen Proben*

DIN EN ISO 15653, *Metallische Werkstoffe — Prüfverfahren zur Bestimmung der quasistatischen Bruchzähigkeit von Schweißverbindungen*

— Leerseite —

<i>Titel de:</i>	Korrosion von Metallen und Legierungen — Prüfung der Spannungsrisskorrosion — Teil 9: Vorbereitung und Anwendung von angerissenen Proben für die Prüfung mit zunehmender Kraft oder zunehmender Verformung (ISO/DIS 7539-9:2020)
<i>Titel en:</i>	Corrosion of metals and alloys — Stress corrosion testing — Part 9: Preparation and use of pre-cracked specimens for tests under rising load or rising displacement (ISO/DIS 7539-9:2020)
<i>Titel fr:</i>	Corrosion des métaux et alliages — Essais de corrosion sous contrainte — Partie 9: Préparation et utilisation des éprouvettes préfissurées pour essais sous charge croissante ou sous déplacement croissant (ISO/DIS 7539-9:2020)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	6
4 Kurzbeschreibung	6
5 Probenarten	7
5.1 Allgemeines	7
5.2 Form der Proben	8
5.3 Betrachtungen zum Spannungsintensitätsfaktor	9
5.4 Probenvorbereitung	10
5.5 Kennzeichnung der Proben	10
6 Einleitung und Ausbreitung von Ermüdungsanrissen	11
7 Durchführung	12
7.1 Allgemeines	12
7.2 Betrachtungen zur Prüfumgebung	12
7.3 Klimaprüfkammer	12
7.4 Kontrolle und Überwachung des Prüfmediums	13
7.5 Auswahl des anfänglichen K-Wertes vor der dynamischen Belastung	13
7.6 Bestimmung von K_{ISCC}	14
7.6.1 Allgemeines	14
7.6.2 Ablauf der Bestimmung	14
7.6.3 Validierung der Prüfergebnisse	16
7.7 Bestimmung der Rissgeschwindigkeit	16
8 Prüfbericht	16
9 Verweisungen	18
Anhang A (informativ) Bestimmung einer geeigneten Verformungsgeschwindigkeit, um aus den Prüfungen mit konstanter Verformungsgeschwindigkeit den K_{ISCC} -Wert zu ermitteln	19
A.1 Allgemeines	19
A.2 Durchführung	19
Anhang B (informativ) Bestimmung der Risswachstumsgeschwindigkeit	21
Anhang C (informativ) Angaben zu indirekten Verfahren zum Messen der Risslänge (siehe auch ISO 21153)	22
C.1 Verfahren mit Messung des elektrischen Widerstands	22
C.1.1 Potentialabfallverfahren unter Anwendung von Gleichstrom	22
C.1.2 Potentialabfallverfahren unter Anwendung von Wechselstrom	22
C.2 Verfahren unter Anwendung der elastischen Nachgiebigkeit (Compliance-Verfahren)	23

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 7539-9:2020) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 156 „Corrosion of metals and alloys“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 262 „Metallische und andere anorganische Überzüge, einschließlich des Korrosionsschutzes und der Korrosionsprüfung von Metallen und Legierungen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 7539-9:2008 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 7539-9:2020 wurde von CEN als prEN ISO 7539-9:2020 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

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.

Internationale Normen werden in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der Direktiven, Teil 3 erarbeitet.

Die von den Technischen Komitees angenommenen Norm-Entwürfe werden den Mitgliedsorganisationen zur Umfrage zur Verfügung gestellt. Für eine Veröffentlichung als Internationale Norm wird eine Zustimmung von mindestens 75 % der Mitgliedsländer, die abgestimmt haben, benötigt.

Die Internationale Norm ISO 7539-9 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 156, *Corrosion of metals and alloys*, in Zusammenarbeit mit dem GKSS (Deutschland), erarbeitet.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 7539 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

1 Anwendungsbereich

1.1 Dieser Teil von ISO 7539 behandelt Verfahren für die Gestaltung, Vorbereitung und Anwendung von angerissenen Proben zur Untersuchung der Beständigkeit von Metallen gegen Spannungsrisskorrosion mithilfe von Prüfungen, die mit zunehmender Kraft oder zunehmender Verformung durchgeführt werden. Prüfungen mit konstanter Kraft oder konstanter Verformung werden in ISO 7539-6 behandelt.

In diesem Teil von ISO 7539 werden mit der Benennung „Metall“ auch Legierungen erfasst.

1.2 Für die Bewertung dünner Produkte, z. B. Feinbleche oder Drähte, sind angerissene Proben nicht geeignet, weil die Notwendigkeit besteht, die Plastizität an der Risspitze zu beschränken; sie werden im Allgemeinen zur Bewertung dickerer Produkte angewendet, zu denen Grobbleche, Stangen und Schmiedestücke gehören. Sie können auch zur Bewertung von Schweißverbindungen angewendet werden.

1.3 Zur quantitativen Beanspruchung der angerissenen Proben darf eine Prüfeinrichtung angewendet werden, die an den Kraftangriffspunkten eine monoton zunehmende Kraft oder Verformung aufbringt.

1.4 Ein besonderer Vorteil angerissener Proben mit bekannter Geometrie, die bekannten Spannungen ausgesetzt werden, ist die Möglichkeit zur Ermittlung von Daten zur Abschätzung kritischer Fehlergrößen, bei deren Überschreitung das Auftreten von Spannungsrissen möglich ist. Mithilfe von angerissenen Proben ist es ferner möglich, die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Spannungskorrosionsrissen zu bestimmen.

1.5 Der wichtigste Vorteil dieser Prüfung ist, dass der potentielle Einfluss einer dynamischen Verformung auf den Grenzwert zur Auslösung von durch Spannungskorrosion erzeugten Rissen berücksichtigt wird.

1.6 Nach diesem Verfahren können bei einer ausreichend niedrigen Beanspruchungsgeschwindigkeit kleinere oder gleich große KISSC-Werte rascher ermittelt werden als nach dem Verfahren mit konstanter Kraft oder Verformung.

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 7539-1: *Corrosion of metals and alloys — Stress corrosion testing — Part 1: General guidance on testing procedures*

ISO 7539-6: *Corrosion of metals and alloys — Stress corrosion testing — Part 6: Preparation and use of pre-cracked specimens for tests under constant load or constant displacement*

ISO 7539-7: *Corrosion of metals and alloys — Stress corrosion testing — Part 7: Slow strain rate stress corrosion tests*

ISO 7539-8: *Corrosion of metals and alloys — Stress corrosion testing — Part 8: Preparation and use of specimens to evaluate weldments*

ISO 11782-2: *Corrosion of metals and alloys — Corrosion fatigue testing — Part 2: Crack propagation testing using precracked specimens*

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

ISO 15653: *Metallic materials — Method of test for the determination of quasistatic fracture toughness of welds*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 7539-6 und die folgenden Begriffe.

3.1 Geschwindigkeit der Änderung der Rissöffnungsverschiebung in der Beanspruchungsebene

$\dot{V}_{LL}$

Auslenkung, die am Kraftangriffspunkt über eine bestimmte Zeit gemessen wird

3.2 Spannungsintensitätsfaktor bei Risseinleitung

K_{I-init}

Spannungsintensität, die zu Beginn des messbaren Risswachstums wirksam ist

3.3 Bereich des Spannungsintensitätsfaktors bei Ermüdung

ΔK_f

innerhalb eines Lastspiels die algebraische Differenz aus dem größten und dem kleinsten Wert für den Spannungsintensitätsfaktor

3.4 Verformungsgeschwindigkeit

dq/dt

Rate der zunehmenden Verformung, die entweder an oder außerhalb der Kraftangriffslinie gemessen wird

4 Kurzbeschreibung

4.1 Bei Anwendung angerissener Proben muss unbedingt sichergestellt werden, dass weder bei der Herstellung noch beim anschließenden Einsatz rissähnliche Fehler eingebracht werden. Das Vorhandensein dieser Fehler kann außerdem eine erhöhte Anfälligkeit für Spannungsrisskorrosion verursachen, die bei bestimmten Werkstoffen (z. B. Titan) bei Prüfungen unter konstanter Belastung an glatten Proben möglicherweise nicht erkennbar ist. Die Grundsätze der linearelastischen Bruchmechanik können angewendet werden, um den Spannungszustand an der Rissspitze in einer angerissenen Probe bzw. einem angerissenen Bauteil über die Spannungsintensitäten des ebenen Dehnungszustands quantitativ zu erfassen.

4.2 Bei der Prüfung wird eine Probe, in die ausgehend von einer maschinell gefertigten Kerbe ein Ermüdungsanriss (Daueranriss) eingebracht wurde, entweder einer zeitlich zunehmenden Belastung oder einer zeitlich zunehmenden Verformung unter gleichzeitiger Einwirkung eines chemisch angreifenden Mediums ausgesetzt. Der Zweck der Prüfung besteht darin, zum einen die Bedingungen quantitativ zu erfassen, unter denen eine durch die Umgebungsbedingungen begünstigte Risserweiterung auftreten kann, wozu die für das Auftreten von Rissen durch Spannungskorrosion kritische Spannungsintensität K_{ISCC} angewendet wird und zum anderen in der quantitativen Bewertung der Risswachstumskinetik.

4.3 Die Prüfungen können unter Anwendung einer Zug- oder Biegebeanspruchung durchgeführt werden. Das wichtigste Merkmal der Prüfung ist die Anwendung einer geringen Geschwindigkeit bei der Kraftaufbringung/Verformung.

4.4 Wegen der dynamischen Verformung, die bei diesem Verfahren stattfindet, können sich die ermittelten Daten von den Ergebnissen unterscheiden, die für angerissene Proben unter einer statischen Beanspruchung in der gleichen Kombination Prüfmedium/Werkstoff bestimmt werden.

4.5 Die empirischen Daten können bei der Auslegung von Bauteilen oder zur Vorhersage ihrer Lebensdauer angewendet werden, um sicherzustellen, dass entweder die Spannungen in großen Bauteilen nicht so hoch werden, dass die Entstehung von durch die Umgebungsbedingungen hervorgerufenen Rissen unabhängig von der Art der existierenden Fehler gefördert wird, oder aber, dass das Ausmaß des

Risswachstums, das innerhalb der geplanten Lebensdauer oder in den Überprüfungsintervallen auftreten könnte, ohne das Risiko eines instabilen Bruchs toleriert werden kann.

4.6 Die Rissbildung durch Spannungskorrosion unterliegt sowohl mechanischen als auch elektrochemischen Einflüssen. Die elektrochemischen Wirkungen können in Abhängigkeit von der Tiefe, der Öffnung oder der Form des Risses, bedingt durch Änderungen der Risspitzen-Chemie und des Elektrodenpotentials, schwanken, sodass nur mithilfe des Spannungsintensitätsfaktors und der Bruchmechanik keine eindeutige Beschreibung von Spannungskorrosionsrissen möglich ist.

4.7 Zu den mechanischen Wirkungen gehören sowohl von außen aufgebrachte als auch innere Spannungen. Der mögliche Einfluss dieser Eigenspannungen sollte bei der Laborprüfung und auch bei Prüfungen an Proben mit komplizierteren geometrischen Formen berücksichtigt werden. Die Gradienten der Eigenspannung in einer Probe können zu einem ungleichmäßigen Risswachstum entlang der Rissfront führen.

4.8 Der Spannungsintensitätsfaktor K_{ISCC} ist eine Funktion der Umgebung und der Beanspruchungsbedingungen, wobei die beim Einsatz vorliegende Umgebung simuliert werden sollte.

5 Probenarten

5.1 Allgemeines

5.1.1 Eine große Anzahl von Proben mit Normmaßen, die für Risszähigkeitsprüfungen vorgesehen sind, darf verwendet werden. Die am häufigsten verwendeten Proben werden in ISO 7539-6 beschrieben. Der jeweils anzuwendende Probentyp hängt von der Art, der Festigkeit und der Anfälligkeit des zu untersuchenden Werkstoffs für Rissbildung durch Spannungskorrosion sowie vom Zweck der Prüfung ab.

5.1.2 Eine grundlegende Anforderung besteht darin, dass die Maße der Proben ausreichend sein müssen, um überwiegend dreiaxiale Bedingungen (ebener Dehnungszustand) beizubehalten, bei denen die plastische Verformung im Bereich der Risspitze beschränkt ist. Die bei Risszähigkeitsprüfungen gewonnenen Erfahrungen haben gezeigt, dass für eine korrekte Messung des K_{IC} -Wertes sowohl die Risslänge a als auch die Dicke B nicht kleiner sein sollten als

$$2,5 \cdot \left(\frac{K_{IC}}{R_{p0,2}} \right)^2$$

und dass nach Möglichkeit größere Proben angewendet werden sollten, bei denen die Werte sowohl für a als auch für B mindestens die folgende Gleichung erfüllen müssen,

$$4 \cdot \left(\frac{K_{IC}}{R_{p0,2}} \right)^2$$

um eine ausreichende Verformungsbeschränkung sicherzustellen.

Vom Standpunkt der Bruchmechanik kann eine Mindestdicke, ab der ein unveränderlicher Wert für K_{ISCC} erhalten wird, gegenwärtig nicht festgelegt werden. Die Anwesenheit eines aggressiven Mediums während der Spannungsrissskorrosion kann den Grad der mit dem Bruch einhergehenden Plastizität verringern, sodass Probenmaße erforderlich sind, die eine plastische Verformung begrenzen. Um jedoch das Risiko einer nicht ausreichenden Verformungsbeschränkung auf ein Minimum zu verringern, wird empfohlen, dass ähnliche Kriterien wie bei der Risszähigkeitsprüfung auch auf die Probenmaße angewendet werden sollten, d. h. die Werte sowohl für a als auch für B sollten nicht kleiner sein als

$$2,5 \cdot \left(\frac{K_{IC}}{R_{p0,2}} \right)^2$$

und vorzugsweise nicht kleiner als

$$4 \cdot \left(\frac{K_{Ic}}{R_{p0,2}} \right)^2$$

wobei K_I die während der Prüfung wirksame Spannungsintensität ist.

Der letztendlich ermittelte kritische Wert der Spannungsintensität muss bei einer Prüfung zur Ermittlung seiner Gültigkeit in den ersten dieser Ausdrücke für K_I eingesetzt werden.

5.1.3 Wenn die Proben für die Bestimmung des K_{ISCC} -Wertes anzuwenden sind, sollte die anfängliche Größe der Probe basierend auf einem geschätzten K_{ISCC} -Wert des Werkstoffs ausgewählt werden (es ist zunächst günstiger, den K_{ISCC} -Wert etwas höher anzusetzen und folglich eine größere Probe anzuwenden als die, die sich schließlich als notwendig erweist). Wenn die Einsatzbedingungen die Verwendung eines Werkstoffs mit einer Dicke verlangen, die nicht ausreichend ist, um die Gültigkeitsbedingungen zu erfüllen, dürfen Proben mit einer ähnlichen Dicke unter der Voraussetzung geprüft werden, dass eindeutig festgelegt wird, dass sich der für die Spannungsintensität ermittelte Grenzwert K_{QSCC} nur auf diese spezifische Anwendung bezieht. Wenn das Risswachstum als eine Funktion der Spannungsintensität zu bestimmen ist, sollte die Probengröße basierend auf einem Schätzwert der höchsten Spannungsintensität ausgewählt werden, bei der die Risswachstumsgeschwindigkeiten zu messen sind.

5.1.4 Eine große Auswahl von Probengeometrien ist verfügbar, um eine Anpassung an die Art des Prüfwerkstoffs, die verfügbaren Prüfeinrichtungen und die Zwecke der Prüfung zu ermöglichen. Es können zwei Grundarten von Proben angewendet werden:

- a) Proben, die durch Zugkraft beansprucht werden;
- b) Proben, die durch Biegekraft beansprucht werden.

Das bedeutet, dass das Risswachstum unter Biegebeanspruchungsbedingungen oder unter Zugbeanspruchungsbedingungen untersucht werden kann. Die Proben können entweder zur Bestimmung des K_{ISCC} -Wertes durch das Auslösen eines Spannungskorrosionsrisses ausgehend von einem zuvor vorhandenen Ermüdungsrisse an einer Reihe von Proben angewendet werden und zu Messungen der Risswachstumsgeschwindigkeiten. Weil die Proben während der Einwirkung des Prüfmediums belastet werden, wird ein Risiko durch unnötige Inkubationszeiten vermieden.

5.1.5 Risslängenmessungen können einfach durch eine Anzahl kontinuierlicher Überwachungsverfahren durchgeführt werden, z. B. durch Verfahren unter Ausnutzung des elektrischen Widerstands (Anhang C).

5.1.6 Biegeproben können grundsätzlich in einer relativ einfachen Prüfeinrichtung für Biegebalken geprüft werden, dagegen ist für Proben, die einer Zugbeanspruchung ausgesetzt sind, eine Zugprüfmaschine erforderlich.

5.2 Form der Proben

5.2.1 Die Proben können entweder einer Zug- oder einer Biegebeanspruchung ausgesetzt werden. In Abhängigkeit von der Form können in zugbeanspruchten Proben an der Risspitze überwiegend Zugspannungen entstehen (in Zugproben, in denen eine entfernte Lastaufbringung erfolgt, z. B. in einem Blech mit einem in der Mitte vorhandenen Anriss), oder sie enthalten eine signifikante Biegekomponente (wie bei den in der Rissebene beanspruchten Proben, z. B. den kompakten Zugproben). Das Vorhandensein einer signifikanten Biegespannung an der Risspitze kann sich nachteilig auf die Stabilität des Rissverlaufs während der Spannungskorrosionsprüfung auswirken und kann in bestimmten Werkstoffen eine Verzweigung der Risse erleichtern. Biegeproben können durch eine 3-Punkt-, 4-Punkt-Biegung oder mittels eines Hebelsystems beansprucht werden.

5.2.2 Das Auftreten einer Biegebeanspruchung in der Rissebene mit einer Tendenz zur Rissablenkung aus der Ebene heraus kann durch das Anbringen seitlicher Einkerbungen eingeschränkt werden.

5.2.3 Eine Anzahl der oben beschriebenen Probenformen hat bestimmte Vorteile, die dazu geführt haben, dass sie häufig für die Prüfung der Spannungsrisskorrosion mit zunehmender Kraft/Verformung angewendet werden. Es handelt sich dabei um folgende Probenformen:

- a) kompakte Zugproben/CT-Proben (CTS, en: compact tension specimens), die den Materialaufwand für Prüfungen minimieren;
- b) Hebelarm- sowie 3-Punkt- und 4-Punkt-Biegeproben, die leicht zu bearbeiten und mit geringem Kostenaufwand zu prüfen sind;
- c) C-Proben, die aus dickwandigen Zylindern maschinell gefertigt werden können, um die radiale Ausbreitung von in Längsrichtung verlaufenden Rissen zu untersuchen.

Einzelheiten für genormte Probeformen für verschiedene dieser Probenarten werden in Bild 1 bis Bild 3 angegeben. Weitere Beispiele für andere Geometrien einschließlich 4-Punkt-Biegung können Verweisung 1 entnommen werden.

5.2.4 Bei Bedarf, beispielsweise wenn die Auslösung und/oder Ausbreitung eines Ermüdungsrissses nur schwierig zufrieden stellend zu überwachen ist, darf eine Probe mit Chevron-Kerbe nach Bild 4 angewendet werden. Falls erforderlich, darf der eingeschlossene Winkel von 90° auf 120° vergrößert werden.

5.2.5 Wenn Rissöffnungsverschiebungen zu messen sind, können die Messkanten der Wegaufnehmer nach Bild 5a) in den Bereich der Kerböffnung eingearbeitet werden. Spezielle Messkanten können aber auch an die Proben an den einander gegenüberliegenden Kerbseiten nach Bild 3c) entweder aufgeschraubt oder aufgeklebt werden. Einzelheiten zu einem geeigneten Wegaufnehmer sind in Bild 3c) angegeben.

5.3 Betrachtungen zum Spannungsintensitätsfaktor

5.3.1 Unter Anwendung der Elastizitätstheorie kann gezeigt werden, dass der Spannungsintensitätsfaktor K_I , der an der Risspitze in Proben oder Bauteilen mit unterschiedlichen geometrischen Formen wirkt, über Beziehungen von Größen in der folgenden Art angegeben werden kann:

$$K_I = Q \cdot \sigma \sqrt{a}$$

Dabei ist

- Q die geometrische Konstante;
- σ die erzeugte Spannung, in Megapascal (MPa);
- a die Risslänge, in Meter (m).

5.3.2 Die mathematischen Lösungen für K_I -Werte für Proben mit einer bestimmten Geometrie und für besondere Beanspruchungsverfahren können mithilfe einer Spannungsanalyse nach der Finite-Element-Methode oder entweder durch eine experimentelle oder eine theoretische Bestimmung der elastischen Nachgiebigkeit (Compliance) der Probe ermittelt werden.

5.3.3 Die K_I -Werte können nach der folgenden Gleichung mithilfe eines dimensionslosen Spannungsintensitätskoeffizienten Y berechnet werden, der auf die mithilfe des Quotienten a/W angegebene Risslänge bezogen wird:

$$K_I = \frac{Y P}{B \sqrt{W}}$$

für kompakte Zugproben und für C-Proben, wobei W die Breite der Probe in Meter und P die aufgebrachte Kraft ist.

5.3.4 Wenn es erforderlich ist, Proben mit seitlichen Kerben zu verwenden, um die Neigung zur Rissverzweigung usw. einzuschränken, können seitliche Einkerbungen mit geringer Tiefe (im Allgemeinen 5 % der Probendicke an beiden Seiten der Probe) eingebracht werden. Es können entweder halbkreisförmige Kerben oder V-förmige Kerben mit einem Öffnungswinkel von 60° eingearbeitet werden; es sollte jedoch erwähnt werden, dass selbst bei halbkreisförmigen seitlichen Kerben mit einer Tiefe von bis zu 50 % der Probendicke der Riss nicht immer in der gewünschten Ausbreitungsebene zu halten ist. Wenn seitliche Kerben angewendet werden, kann der Einfluss der durch die Kerben verringerten Dicke B_n auf die Spannungsintensität berücksichtigt werden, indem im oben angegebenen Ausdruck B durch $\sqrt{B \cdot B_n}$ ersetzt wird. Der Einfluss der seitlichen Einkerbungen auf den Spannungsintensitätsfaktor ist jedoch absolut noch nicht geklärt, und Korrekturfaktoren sollten mit Vorsicht behandelt werden, besonders dann, wenn tiefe seitliche Einkerbungen angewendet werden.

5.3.5 Die Lösungen für Y für Proben mit Formen, die häufig für die Prüfung der Spannungsrissskorrosion verwendet werden, sind in Bild 7 bis Bild 9 angegeben. ISO 11782-2, ISO 13235 und Verweisung 1 enthalten Angaben zu anderen geometrischen Formen.

5.4 Probenvorbereitung

Eigenstressungen können die Rissbildung durch Spannungskorrosion beeinflussen. Die Wirkung kann signifikant sein, wenn die Proben aus einem Werkstoff entnommen werden, in dem ein vollständiger Spannungsabbau nicht möglich ist, z. B. in Schweißverbindungen, in Werkstoffen im abgeschreckten Zustand und in Bauteilen mit komplizierten Schmiede- oder Pressformen. Eigenstressungen, die der aufgebrachten Spannung überlagert werden, können dazu führen, dass der örtliche Spannungsintensitätsfaktor an der Risspitze sich von dem unterscheidet, der nur für von außen aufgebrachte Kräfte berechnet wird. Das Vorhandensein von signifikanten Eigenstressungen, offenbart sich häufig in der Form von unregelmäßigem Risswachstum, das als übermäßige Krümmung der Rissfront oder Wachstum des Risses aus der Rissebene heraus auftritt. Die Eigenstressungen sollten gemessen werden.

5.4.1 Proben mit der geforderten Orientierung (siehe Bild 10) müssen nach Möglichkeit nach Abschluss der Wärmebehandlung maschinell bearbeitet werden. Für Proben aus einem Werkstoff, der in diesem Zustand nicht ohne Weiteres vollständig maschinell bearbeitet werden kann, darf die endgültige Wärmebehandlung vor Einarbeitung der Kerben und der abschließenden Oberflächenbehandlung unter der Voraussetzung erfolgen, dass in diesem Stadium der Oberflächenbehandlung von jeder Fläche eine mindestens 0,5 mm dicke Schicht abgearbeitet wird. Die Wärmebehandlung darf jedoch in den Fällen an vollständig bearbeiteten Proben durchgeführt werden, in denen sie keine nachteiligen Oberflächenveränderungen, Eigenstressungen, Härterisse oder Verwerfungen zur Folge hat.

5.4.2 Nach der maschinellen Bearbeitung müssen die Proben vollständig entfettet werden, um sicherzustellen, dass während der nachfolgenden Ermüdungsrisssbildung oder der Spannungskorrosionsprüfung keine Verunreinigung der Risspitze eintritt. In Fällen, in denen an den Proben durch Weich- oder Hartlöten Elektroden für die Rissbeobachtung nach elektrischen Widerstandsverfahren anzubringen sind, müssen die Proben im Anschluss an diesen Arbeitsgang und vor Einbringung der Anrisse vollständig entfettet werden, um alle Spuren anhaftender Flussmittel zu entfernen.

5.5 Kennzeichnung der Proben

Die Kennzeichnungen der Probe dürfen entweder auf die gekerbte Probenfläche oder auf die zur Kerbe parallel verlaufenden Stirnflächen aufgestempelt oder in sie eingeritzt werden.

6 Einleitung und Ausbreitung von Ermüdungsanrissen

6.1 Die Prüfmaschine, die zum Erzeugen des Ermüdungsanrisses verwendet wird, muss die Belastung so aufbringen, dass die Spannungsverteilung symmetrisch zur Kerbe und die Messunsicherheit für die aufgebrachte Kraft nicht größer als $\pm 2,5$ % sind.

6.2 Die bei der Ermüdungsrisssbildung angewendeten Umgebungsbedingungen können ebenso wie die Beanspruchungsbedingungen das spätere Verhalten der Probe bei der Prüfung auf Spannungsrissskorrosion beeinflussen. Bei bestimmten Werkstoffen führt die Einwirkung des bei der Prüfung auf Spannungsrissskorrosion verwendeten Prüfmediums während des Einbringens des Anrisses zu einem gegenüber dem üblichen transkristallinen duktilen Modus der Bildung von Ermüdungsrisen veränderten Modus, der sich stärker an die bei Spannungsrissskorrosion auftretende Risssbildung annähert. Dadurch kann die spätere Auslösung der Risssbildung bei der Spannungsrissskorrosion erleichtert werden und zur Bestimmung konservativer Anfangswerte für K_{ISCC} führen. Wenn jedoch keine Einrichtungen zur Verfügung stehen, bei denen die Korrosionsprüfung unmittelbar nach der Anrissbildung erfolgt, kann das an der Rissspitze verbliebene Korrosionsmedium eine Abstumpfung der Rissspitze durch korrosiven Angriff begünstigen. Außerdem kann die Wiederholpräzision der Ergebnisse leiden, wenn die Anrissbildung in Anwesenheit eines aggressiven Mediums durchgeführt wird, und zwar wegen der größeren Anfälligkeit des Ermüdungsrisssmodus gegenüber zyklischen Beanspruchungsbedingungen. Hinzu kommt, dass für die Zwecke der Überwachung des Prüfmediums während der Anrissbildung kompliziertere Geräte notwendig sein können. Aus diesen Gründen wird empfohlen, sofern zwischen den Beteiligten keine anderen Vereinbarungen getroffen wurden, die Ermüdungsanrissbildung in der üblichen Laborumgebung in Luft durchgeführt werden sollten.

6.3 Der Anriss muss in die Proben durch Ermüdungsbelastung mit einem R-Wert im Bereich von 0 bis 0,1 eingebracht werden, bis sich der Riss mindestens über eine Länge von $2,5$ % W oder bis mindestens $1,3$ mm über die Kerbe hinaus an den Seitenflächen ausbreitet, wobei der größere dieser Werte gilt. Der Riss darf bei höheren als den erwarteten K_I -Werten eingeleitet werden; aber während der letzten $0,5$ mm der Risserweiterung muss die Ermüdungsanrissbildung bei einer möglichst niedrigen maximalen Spannungsintensität beendet werden (unterhalb des erwarteten K_{ISCC} -Wertes).

ANMERKUNG Die in ISO 11782-2 beschriebenen Lastverteilungsverfahren mit schrittweiser Lastverringerng können hilfreich sein, wenn niedrige K_{ISCC} -Werte zu erwarten sind.

6.4 Die endgültige Länge des Ermüdungsanrisses sollte so groß sein, dass die Anforderung nach einem überwiegend ebenen Dehnungszustand erfüllt ist, d. h.

$$a \geq 2,5 \cdot \left(\frac{K_I}{R_{p0,2}} \right)^2$$

Diese Bedingung ist optimiert, wenn das endgültige Verhältnis a/W in einem Bereich von $0,45$ bis $0,55$ liegt.

ANMERKUNG Die Rissgröße kann in Bezug auf die SCC (en: stress corrosion cracking, Risssbildung durch Spannungsrissskorrosion) wichtig sein.

6.5 Um die gegenseitige Beeinflussung der Spannungsfelder von Riss und Kerbe zu vermeiden, sollte der Riss innerhalb der in Bild 11 angegebenen Begrenzungslinie liegen.

6.6 Um die Gültigkeit der Spannungsintensitätsanalyse sicherzustellen, sollte der Ermüdungsanriss auf beiden Seiten der Probe daraufhin untersucht werden, dass kein Teil des Risses in einer Ebene liegt, deren Neigung einen Winkel von 10° gegenüber der Kerbebene überschreitet; der Längenunterschied darf 5 % W nicht überschreiten.

6.7 Weitere Hinweise auf Verfahren zum Einbringen von Ermüdungsanrissen sind in ISO 11782-2 angegeben, ISO 15653 enthält Leitlinien für Schweißnähte.

7 Durchführung

7.1 Allgemeines

7.1.3 Vor der Prüfung müssen die Dicke B und die Breite W auf 0,1 % W entlang einer Linie gemessen werden, die nicht weiter als 10 % W von der Rissebene entfernt ist. Außerdem muss die mittlere Länge des Ermüdungsanrisses auf beiden Seiten der Probe bestimmt werden; dieser Wert dient zur Abschätzung der Vorlast, die erforderlich ist, um die gewünschte Anfangsspannungsintensität K_I zu erzeugen (siehe 7.6).

7.2 Betrachtungen zur Prüfumgebung

7.2.1 Wegen der spezifischen Wechselwirkungen zwischen der Metall-Prüfumgebung ist es wichtig, dass Prüfungen zur Ausbreitung von Spannungskorrosionsrissen unter streng kontrollierten Umgebungsbedingungen durchgeführt werden (siehe nachfolgend 7.2.3 und 7.2.4).

7.2.2 Die mediumseitigen Prüfbedingungen hängen vom Zweck der Prüfung ab; sie sollten im Idealfall den Bedingungen beim vorgesehenen Einsatz der Legierung entsprechen oder mit den zu erwartenden Betriebsbedingungen vergleichbar sein.

7.2.3 Wichtige Umgebungsfaktoren sind das Elektrodenpotential, die Temperatur, die Zusammensetzung der Lösung, der pH-Wert, die Konzentration der gelösten Gase, die Strömungsgeschwindigkeit und der Druck. ISO 7539-1 bietet nützliche Hintergrundinformationen. Bei gasförmigen Medien ist die Reinheit des Gases ein kritischer Faktor.

7.2.4 Die Prüfungen dürfen unter Bedingungen eines offenen Kreislaufs durchgeführt werden, bei dem das Elektrodenpotential des Metalls von den für die jeweilige Prüfung spezifischen Umgebungsbedingungen abhängt, von denen der Belüftungsgrad ein wesentlicher Faktor ist. Eine andere Möglichkeit besteht darin, das Elektrodenpotential des Wertes aus dem offenen Kreislauf durch potentiostatische oder galvanostatische Verfahren zu ersetzen.

7.2.5 Zusatzelektroden zum Anlegen eines äußeren Stroms sollten so beschaffen sein, dass in der Probe eine gleichmäßige Stromverteilung erreicht wird, d. h., das Elektrodenpotential sollte konstant sein.

7.2.6 Wenn praktisch durchführbar, sollten die Proben erst dann beansprucht werden, wenn sie in das Prüfmedium eingetaucht sind. Anderenfalls sollten die beanspruchten Proben möglichst bald nach der Beanspruchung der Einwirkung des Prüfmediums ausgesetzt werden.

7.3 Klimaprüfkammer

7.3.1 Die Klimaprüfkammer muss den gesamten Prüfquerschnitt der Probe aufnehmen. Nach Möglichkeit sind die eingespannten Bereiche vom Kontakt mit der Prüflösung in der Klimakammer auszuschließen, um galvanische Effekte und Spaltkorrosion zu verhindern. Diese Probleme können durch die Anwendung von lokal begrenzten Zellen für das Prüfmedium in der in Bild 12 gezeigten Ausführung umgangen werden, in denen das Korrosionsmedium nur im Umfeld der Kerbe, des Anrisses und des erwarteten Rissausbreitungsbereichs der Probe einwirkt. Probleme durch Spaltkorrosion können sich ferner ergeben, wenn die Probe aus der Prü fzelle herausragt; diese Probleme sollten durch eine geeignete Gestaltung der Prü fzelle oder durch die Anwendung von Schutzüberzügen an den infrage kommenden Stellen vermieden werden. Wenn das vollständige Eintauchen in das Korrosionsmedium erwogen wird, sollten die Kraftangriffspunkte gegen Korrosion geschützt werden. Ist das nicht möglich, müssen geeignete Maßnahmen ergriffen werden, indem beispielsweise ähnliche Metalle, eine elektrische Isolation oder Schutzschichten angewendet werden.

7.3.2 Das Verhältnis des Lösungsvolumens zur Metallfläche muss (in Abhängigkeit von den Reaktionsgeschwindigkeiten und der Einwirkungsdauer) ausreichend groß sein, und im Allgemeinen ist ein Umlaufsystem erforderlich. Bei angelegtem Potential oder Strom kann eine gesonderte Zelle für die

Gegenelektrode notwendig sein, um alle Effekte einzuschränken, die durch Reaktionsprodukte von dieser Elektrode herrühren. Es sollte darauf hingewiesen werden, dass das erzeugte Elektrodenpotential an der Spitze eines Korrosionsanrisses beträchtlichen Abweichungen unterliegen kann, wenn die Risslänge zunimmt, was bei der Untersuchung des Mechanismus der Rissbildung durch Spannungskorrosion berücksichtigt werden sollte.

7.3.3 Falls durchführbar, sollten Klimaprüfkammer und Umlaufsystem aus nicht metallischen Werkstoffen hergestellt werden. Diese Werkstoffe müssen inert sein. Es muss beachtet werden, dass Glas und bestimmte Kunststoffe bei erhöhten Temperaturen nicht inert sind. Wenn Zellen aus Metall erforderlich sind, müssen sie gegenüber der Probe elektrisch isoliert sein, um galvanische Wechselwirkungen zu vermeiden.

7.3.4 Für Prüfungen in einem gasförmigen Medium wird eine Ganzmetallzelle bevorzugt.

7.4 Kontrolle und Überwachung des Prüfmediums

7.4.1 Das Prüfmedium muss während der Prüfung entsprechend der Anforderung kontrolliert und überwacht werden. In ungepufferten Systemen kann der pH-Wert durch Anwendung einer automatischen pH-Regeleinrichtung konstant gehalten werden; anderenfalls müssen die Auswirkungen von Schwankungen des pH-Wertes auf das Risswachstum berücksichtigt werden.

7.4.2 In zur Atmosphäre offenen Systemen kann eine Belüftung durch Einblasen von Luft in die Lösung erreicht werden. In geschlossenen Systemen ist eine Überwachung erforderlich. Die bei der Prüfung angewendeten Strömungsgeschwindigkeiten sollten aus dem Bereich ausgewählt werden, der den Einsatzbedingungen entspricht, weil die Strömung das Elektrodenpotential beeinflussen kann, z. B. durch Beeinflussen des Sauerstoffstroms und die Massen-Übertragung zwischen Riss-hohlraum und dem Hauptteil der Lösung. Die Strömungsrichtung, bezogen auf den Riss, kann im letztgenannten Fall von Bedeutung sein. Ein Abdichten der Risseiten zur Begrenzung der künstlichen Rissausbreitung durch die Dicke sollte erwogen werden, kann aber Probleme durch örtliche Spaltkorrosion einbringen.

7.4.3 Es wird unbedingt empfohlen, das Elektrodenpotential mit einer Bezugselektrode zu messen, die für die jeweilige Anwendung geeignet ist. Es muss darauf geachtet werden, dass der IR-Abfall beim Messen des Potentials zu begrenzen ist. Die Temperatur der Lösung muss auf ± 2 °C geregelt werden.

7.5 Auswahl des anfänglichen K-Wertes vor der dynamischen Belastung

7.5.1 In den Fällen, in denen keine Daten aus Risszähigkeitsdaten in Luft für den zu untersuchenden Werkstoff verfügbar sind, sollte in der Laborluft eine Vorprüfung durchgeführt werden (siehe ISO 12135). Dazu ist mindestens eine Probe anzuwenden, um nach den empfohlenen Verfahren die Risszähigkeit des Werkstoffs K_{Ic} (oder K_Q , falls der Wert nicht gültig ist) zu bestimmen. Dieser Wert legt die obere Grenze für K_{ISCC} fest.

7.5.2 Die Festlegung von Rissbildungsbedingungen in einer bestimmten Kombination Metall/Umgebung kann zeitabhängig sein, sofern diese Bedingungen nicht gleich zu Beginn der Prüfung vorliegen. In diesen Fällen kann eine Rissbildung durch Spannungskorrosion nur bei einer ausreichend langsamen Verformungsgeschwindigkeit beobachtet werden, sodass ein Versagen, das lediglich durch einen mechanischen Bruch bedingt ist, erst dann auftritt, wenn die erforderliche Zeit vergangen ist, während der die Rissbildungsbedingungen festgelegt wurden. Diese Schwierigkeiten können mitunter dadurch reduziert werden, dass die Proben dem Prüfmedium einige Zeit vor Einleitung der dynamischen Verformung ausgesetzt werden. Es wird empfohlen, die Proben für eine Dauer von mindestens 24 Stunden unter der Vorlast im Prüfmedium zu lagern, bevor die Prüfung beginnt. Eine übliche Vorlast für die erste Prüfung in einem Prüfmedium ist ein Wert, der einem anfänglichen K-Wert von 5 % von K_{Ic} (oder K_Q) entspricht.

7.5.3 Die Auswahl des anfänglichen K-Wertes ist insofern von Bedeutung, als dass sie die Prüfdauer bestimmt.

7.5.4 Der anfängliche K-Wert kann dem endgültigen Wert für $K_{\max}$ nach Bildung eines Ermüdungsanrisses entsprechen. Wenn ein hoher K_{ISCC} -Wert zu erwarten ist, darf die Kraft vor der dynamischen Beanspruchung bis zu einem beliebig höheren Wert gestuft aufgebracht werden. Falls sich bei der späteren Rissbildung eine geringe Zunahme des K-Wertes ergibt, muss ein niedrigerer anfänglicher K-Wert ausgewählt werden. Weil die dynamische Beanspruchung im Vergleich zu einer statischen Beanspruchung im Allgemeinen wie ein beschleunigtes Prüfverfahren wirkt, kann ein niedriger anfänglicher K-Wert angewendet werden. Auf der Grundlage der ersten Abschätzung für K_{init} darf jedoch eine konkretere Auswahl des anfänglichen K-Wertes vorgenommen werden.

7.6 Bestimmung von K_{ISCC}

7.6.1 Allgemeines

Die Prüfungen werden mit Traversengeschwindigkeiten durchgeführt, die vor jeder Prüfung ausgewählt werden und während der jeweiligen Prüfung konstant gehalten werden müssen. Die Geschwindigkeit der Lastlinienverschiebung ist jedoch der Parameter mit der größten Bedeutung. Diese ist aufgrund der zusätzlichen Verformung in der Lastaufnahmeeinheit geringer als die Traversengeschwindigkeit. Zur Bestimmung der Lastlinienverschiebung müssen Dehnungsaufnehmer verwendet werden. Die Geschwindigkeit der Lastlinienverschiebung ist bis zur Risseinleitung verhältnismäßig beständig, anschließend nimmt sie zu. Der bedeutsame Wert ist die beständige Geschwindigkeit vor der Risseinleitung.

7.6.2 Ablauf der Bestimmung

7.6.2.1 In den meisten Systemen ist der Spannungsintensitätsfaktor bei der Risseinleitung $K_{\text{I-init}}$ wahrscheinlich eine Funktion der angewendeten Verformungsgeschwindigkeit. Daher müssen die Prüfungen über einen für das zu untersuchende System geeigneten Bereich von Verformungsgeschwindigkeiten durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass ein konservativer Wert für K_{ISCC} erhalten wird. Bei den anzuwendenden Verfahren wird eine Anzahl von Proben unter Einhaltung des in 7.6.2.2. bis 7.6.2.9 angegebenen Ablaufplans unterschiedlichen Verformungsgeschwindigkeiten ausgesetzt.

7.6.2.2 Zur Bestimmung eines vorläufigen $K_{\text{I-init}}$ -Wertes, bei dessen Überschreitung mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Spannungsrissskorrosion ausgelöst wird, muss eine beliebige, aber niedrige Verformungsgeschwindigkeit ausgewählt werden. Diese Verformungsgeschwindigkeit hängt vom Werkstoff, der Probengröße und vom jeweiligen Prüfmedium ab und muss zwischen den Beteiligten vereinbart werden; für eine Vorprüfung können jedoch Geschwindigkeiten von $1 \cdot 10^{-8}$ m/s (36 $\mu\text{m/h}$) für Titanlegierungen und Geschwindigkeiten von $1 \cdot 10^{-9}$ m/s (3,6 $\mu\text{m/h}$) für höherfeste Stähle und Aluminiumlegierungen geeignet sein. Empfehlungen für eine geeignete Anfangsverformungsgeschwindigkeit werden in Anhang A angegeben.

Die Prüfung beginnt mit der in 7.5.2 ausgewählten Vorlast ohne vorherige Entlastung der Probe.

7.6.2.3 Während der Prüfung kann die Risslänge in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen stetig durch Messung des elektrischen Widerstands, der Dehnung an der Rückfläche oder mit alternativen Techniken überwacht werden (siehe Anhang C). Diese Messungen sollten einen Nachweis der Risseinleitung ermöglichen. Sie ermöglichen auch die Bestimmung der Rissausbreitungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von den Spannungsintensitätsfaktoren.

7.6.2.4 Das Kraft-Verformungs-Verhalten der Probe und die seit dem Start der Prüfung vergangene Zeit werden gemessen und aufgezeichnet. Die Prüfmaschine muss angehalten werden, entweder nachdem das indirekte Verfahren zum Messen der Risslängen oder ein Abfall der aufgezeichneten Last darauf hinweisen, dass eine Risseinleitung und ein nachfolgendes Risswachstum stattgefunden haben.

7.6.2.5 Nach Ablauf der Prüfung wird die Probe aus dem Prüfmedium entnommen, und die Rissfront muss entweder durch Wärmeabstufung oder die Bildung eines Ermüdungsanrisses in Luft gekennzeichnet werden. Die Bildung von Ermüdungsanrissen muss bei einem R -Verhältnis größer als 0,6 durchgeführt werden, um eine Beschädigung der Bruchflächen durch Risschließeffekte zu vermeiden. Die größte

Ermüdungslast darf drei Viertel der endgültigen Kraft nicht überschreiten, die während der Prüfung gemessen wird. In bestimmten Umgebungen kann sich herausstellen, dass die Rissfront nach Abschluss der Prüfung bereits ausreichend durch sichtbare Rückstände des Prüfmediums markiert ist, sodass keine weitere Kennzeichnung mehr erforderlich ist.

7.6.2.6 Die Probe muss aufgebrochen werden und die Länge des Ermüdungsanrisses muss an beiden Kanten und in den folgenden drei Abständen von einer Kante gemessen werden: $0,25 B$, $0,50 B$ und $0,75 B$.

Der Mittelwert aus diesen fünf Messungen sollte als die effektive Anfangsrisslänge a_0 bei der Berechnung von K_{I-init} verwendet werden. Eine größere Genauigkeit kann durch Messung der Risslänge an neun Stellen entlang der Rissfront nach ISO 12135 erreicht werden.

7.6.2.7 Eine neue Probe wird unter gleichen Umgebungsbedingungen bei einer geringeren Verformungsgeschwindigkeit geprüft. Der anfängliche K-Wert darf verändert werden.

ANMERKUNG Eine Anleitung zur Auswahl einer neuen Verformungsgeschwindigkeit kann erhalten werden, wenn die Bruchfläche mit einem Mikroskop auf Anzeichen einer durch Spannungskorrosion bedingten Risserweiterung im Vergleich zur Bruchfläche einer in Luft geprüften Probe untersucht wird. Der Prozentanteil der durch die Umgebung bedingten Rissbildung auf der Bruchfläche im Bereich der stabilen Risserweiterung in der Nähe der Anfangsrissfront kann als Schätzwert für eine geeignete Verformungsgeschwindigkeit für die nachfolgende Prüfung nach Tabelle 1 angewendet werden.

Tabelle 1 — Empfohlene Faktoren zur Verringerung der Dehngeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Anteil der durch Spannungsrisskorrosion bedingten Rissbildung auf der Bruchfläche

Prozentanteil der SCC auf der Bruchfläche	Verringerung der Verformungsgeschwindigkeit um einen Faktor von
<10	50
10–30	20
30–50	10
50–80	5
>80	2

Wenn der gesamte Bereich der stabilen Risserweiterung durch Umgebungsrissbildung abgedeckt wird, kann möglicherweise eine weitere Verringerung der Verformungsgeschwindigkeit nicht mehr notwendig sein, obwohl eine entsprechende Bestätigung anzustreben ist. Anderenfalls muss eine Verformungsgeschwindigkeit ausgewählt werden, die um einen Faktor 10 niedriger ist als die für die vorherige Prüfung ausgewählte Verformungsgeschwindigkeit.

7.6.2.8 Falls die bei zwei aufeinander folgenden Prüfungen bestimmten Werte für K_{I-init} sich um nicht mehr als 5 % (oder die für den K_{ISCC} -Wert gewünschte Genauigkeit) unterscheiden, kann der niedrigere dieser beiden Werte als der vorläufige K_{QSCC} -Wert angesehen werden.

7.6.2.9 Wenn genügend Zeit zur Verfügung steht, kann die Zuverlässigkeit des vorläufigen Werts für K_{QSCC} durch eine weitere Spannungsrisskorrosionsprüfung bei einer Verformungsgeschwindigkeit überprüft werden, die um einen Faktor 5–10 niedriger ist als die in Schritt 7.6.2.8 verwendete Verformungsgeschwindigkeit. Eine weitere Prüfung wird nur dann erforderlich sein, wenn diese Prüfung eine weitere Verringerung des für K_{I-init} gemessenen Wertes ergibt. Anderenfalls können Hinweise auf die Abhängigkeit der Verformungsgeschwindigkeit von K_{I-init} zusammengetragen werden, indem die für K_{I-init}

gemessenen Werte als Funktion der angewendeten Verformungsgeschwindigkeit aufgetragen werden, um zu bestimmen, ob sich die Kurve, wie in Bild 13 dargestellt, dem K_{QSCC} -Wert asymptotisch annähert.

7.6.3 Validierung der Prüfergebnisse

Das Ergebnis für die Prüfreihe ist gültig, d. h. $K_{QSCC} = K_{ISCC}$, es sei denn,

- a) die Differenz zwischen zwei beliebigen dieser drei letzten Messungen überschreitet 2,5 % W ;
- b) die Differenz zwischen der maximalen und der minimalen Risslänge überschreitet 5 % W ;
- c) ein beliebiger Teil der Fläche des Ermüdungsanrisses liegt in einer Ebene, deren Neigung zur Kerbebene einen Winkel von 10° überschreitet;
- d) der Ermüdungsanriss verläuft außerhalb einer Ebene, d. h. Effekte einer Mehrfach-Risskeimbildung sind vorhanden;
- e) der Faktor

$$2,5 \cdot \left(\frac{K_{I-init}}{R_{p0,2}} \right)^2$$

ist größer als die Dicke der Probe und/oder die Risslänge;

- f) eine Unsicherheit über die Länge des Ermüdungsanrisses ist vorhanden.

7.7 Bestimmung der Rissgeschwindigkeit

7.7.1 Die in 7.6 durchgeführten Prüfungen, bei denen sich die für K_{I-init} ergebenden Werte in Übereinstimmung mit K_{ISCC} (oder K_{QSCC}) befinden, können zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Wachstums eines Umgebungsrisses angewendet werden, entweder als Durchschnittsdaten oder als Funktion des Spannungsintensitätsfaktors K , wozu das in Anhang B angegebene Verfahren anzuwenden ist. Um diese Daten zu bestimmen, sollten die Proben aufgebrochen und die Bruchflächen mit einem Mikroskop untersucht werden.

7.7.2 Die endgültige Rissfront sollte nach Möglichkeit auf die nächsten 0,5 % W an beiden Kanten und an den folgenden drei Positionen gemessen werden:

0,25 B , 0,50 B und 0,75 B .

Der Mittelwert aus diesen fünf Messungen sollte als die effektive endgültige Risslänge a_f angewendet werden.

Eine größere Genauigkeit kann durch Messung der Risslänge an neun Stellen entlang der Rissfront nach ISO 12135 erreicht werden.

7.7.3 Die mittlere Rissgeschwindigkeit $\Delta a / \Delta t$ wird ermittelt, indem die Differenz der endgültigen und der anfänglichen Risslänge $a_f - a_0$ durch die Zeit zwischen Risseinleitung und Beendigung der Prüfung dividiert wird.

8 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss mindestens folgende Angaben enthalten:

- a) eine vollständige Beschreibung des geprüften Werkstoffs, aus dem die Proben entnommen wurden, einschließlich der Zusammensetzung, des Gefügestands und der mechanischen Eigenschaften, der Art des Produkts und Dicke des Querschnitts. K_{Ic} (oder K_{I0} , falls die Gültigkeitskriterien nicht eingehalten werden), falls bestimmt;
- b) Beschreibung der verwendeten Prüfmaschine und der Prüfeinrichtung zum Messen der Risslänge und die Präzision, mit der die Risslängenmessungen durchgeführt wurden;
- c) Beschreibung der Klimaprüfkammer und aller für die Überwachung/Kontrolle der Umgebung verwendeten Einrichtungen;
- d) die Anfangszusammensetzung der Lösung, ihren pH-Wert, den Belüftungsgrad (oder die Konzentration anderer wichtiger Gase), die Strömungsbedingungen, Temperatur und das angegebene Elektrodenpotential, sofern es überwacht wird. Die Strömungsmenge sollte in Form der ungefähren linearen Strömungsmenge hinter der Probe bestimmt werden, falls die Bestimmung über die Umlaufrate erfolgt;

ANMERKUNG Die verwendete Bezugsselektrode sollte angegeben werden; ihr Potential sollte angegeben und auf eine geeignete Standardelektrode (beispielsweise Standard-Wasserstoffelektrode oder gesättigte Kalomelektrode bei 25 °C) bezogen werden. Änderungen dieser Parameter während der Prüfung sollten aufgezeichnet werden.

- e) das Startverfahren für die Prüfung;
- f) Ausgleichsvorgänge beim Prüfmedium oder bei der Beanspruchung (einschließlich Unterbrechungen der Prüfung) während der Prüfung unter Angabe der Art und Dauer, und wenn zutreffend, der zugehörigen Risslängen;
- g) für jede Probe:
 - 1) Probenart und Belastungsverfahren;
 - 2) Dicke B , in Millimeter (und B_n , bei Proben mit seitlichen Einkerbungen);
 - 3) Breite W , in Millimeter;
 - 4) Ermüdungsanriss:
 - i) Ermüdungsspannungsintensitätsfaktor K_f , während der Ausbreitung des letzten Rissabschnitts;
 - ii) das Verhältnis Ermüdung/Last R ;
 - iii) die Temperatur und das Prüfmedium während des Einbringens des Anrisses;
 - 5) Länge des Ermüdungsanrisses a ;
 - 6) Anfangs-Spannungsintensität K_{II} ;
 - 7) Startzeit für das Auslagern im Prüfmedium und die gesamte Prüfdauer;
 - 8) Angabe, ob eine stabile Risserweiterung aufgetreten ist;
 - 9) Rissebene und Ausbreitungsrichtung, nach Bild 10 gekennzeichnet;
- h) Bereich der angewendeten Verformungsgeschwindigkeiten, einschließlich Traversengeschwindigkeit und Geschwindigkeit der Lastlinienverschiebung;

- i) K_{ISCC} (oder K_{QSCC} , falls die Gültigkeitskriterien nicht erfüllt werden) und Angabe, bei welcher Verformungsgeschwindigkeit die Bestimmung erfolgte und welche Kriterien angewendet wurden;
- j) Angaben zum Risswachstum (mittlerer Wert oder Werte in Abhängigkeit von der Spannungsintensität), soweit sie vorliegen.

9 Verweisungen

H. Tada, P.C. Paris, G. R. Irwin, The stress analysis of cracks handbook, dritte Ausgabe, Professional Engineering Publishing Ltd., London, 2000.

Anhang A (informativ)

Bestimmung einer geeigneten Verformungsgeschwindigkeit, um aus den Prüfungen mit konstanter Verformungsgeschwindigkeit den K_{ISCC} -Wert zu ermitteln

A.1 Allgemeines

Dieses Verfahren basiert auf der Annahme, dass die Verformungsgeschwindigkeit $(dq/dt)_{SCC}$, bei der eine Prüfung im korrosiven Prüfmedium durchzuführen ist, um den K_{ISCC} -Wert eines Systems zu beurteilen, aus dem Verhältnis der gemessenen Risswachstumsgeschwindigkeit in einer inerten Umgebung $(da/dt)_{inert}$ und der Risswachstumsgeschwindigkeit in der Plateauregion für die durch die Umgebung induzierte Rissbildung $(da/dt)_{SCC}$ abgeschätzt werden kann, indem die folgende Beziehung angewendet wird:

$$(dq/dt)_{SCC} < \frac{(da/dt)_{SCC}}{(da/dt)_{inert}} \cdot (dq/dt)_{inert}$$

Die Risswachstumsgeschwindigkeit für die durch die Umgebung induzierte Rissbildung $(da/dt)_{SCC}$ kann innerhalb einer angemessenen Zeit durch eine Prüfung ermittelt werden, bei der lange Inkubationszeiten durch Anwendung hoher Spannungsintensitäten verhindert werden. Es kann sich dabei um Prüfungen handeln, bei denen eine konstante Verformung sowie kompakte Zugproben, DCB- oder WOL-Proben nach ISO 7539-6 angewendet werden, die dann beendet werden, wenn eine so ausreichende Rissausdehnung beobachtet wurde, dass $(da/dt)_{SCC}$ grob abzuschätzen ist. Für diesen Zweck sind auch Prüfungen mit einer schrittweisen Belastung gut geeignet. Es wurde festgestellt, dass die Angaben zur mittleren Rissgeschwindigkeit, die aus Prüfungen mit geringer Dehnrage an glatten Proben nach ISO 7539-7 bestimmt werden, unter den gleichen Umgebungsbedingungen vorteilhafterweise als unterer Grenzwert angewendet werden können.

A.2 Durchführung

A.2.1 Eine Probe, die in Größe und Form den Proben entspricht, die für die nachfolgenden SCC-Prüfungen angewendet werden, wird in Luft (oder in einer inerten Umgebung) bei einer Beanspruchungsrate geprüft, die zu einer Verformungsgeschwindigkeit des Kraftangriffspunkts $(dq/dt)_{inert}$ zwischen 0,1 W/min und 0,1 W/h führt. Das Kraft-Verformungs-Verhalten der Probe und die seit dem Start der Prüfung vergangene Zeit werden gemessen und aufgezeichnet. Die Prüfung wird fortgesetzt, bis eine Risserweiterung von mindestens 0,1 W gemessen wird.

A.2.2 Die Größe des Risswachstums wird entweder durch Wärmeabstufung oder Ermüdungsrissbildung gekennzeichnet.

A.2.3 Die Probe wird aufgebrochen, um die Bruchfläche offen zu legen; die anfängliche und die endgültige Risslänge a_0 und a_f werden an beiden Kanten und an den folgenden drei Positionen gemessen:

0,25 B, 0,50 B und 0,75 B.

Die Mittelwerte aus diesen fünf Messungen werden als die effektiven Risslängen a_0 und a_f angesehen.

A.2.4 Die mittlere inerte Risswachstumsgeschwindigkeit $(\Delta a/\Delta t)_{inert}$ wird ermittelt, indem die Differenz zwischen der endgültigen und der anfänglichen Risslänge $a_f - a_0$ durch die zwischen Risseinleitung und Beendigung der Prüfung vergangene Zeit dividiert wird.