

Korrosion der Metalle
**Untersuchung der Beständigkeit von metallischen
 Werkstoffen gegen Spannungsrißkorrosion**
 Allgemeines

DIN
50 922

Corrosion of metals; testing the resistance of metallic materials to stress corrosion cracking; general
 Corrosion de métaux; essai de la résistance des matériaux métalliques à la corrosion fissurante; généralités

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich und Zweck	1	6 Untersuchungsverfahren	3
2 Begriffe	1	6.1 Untersuchungen mit zeitlich konstanter Gesamtdehnung	3
3 Grundsätze der Untersuchung	2	6.2 Untersuchungen mit zeitlich konstanter Kraft ...	4
4 Oberflächenbehandlung der Probekörper	2	6.3 Untersuchungen mit niedriger Dehngeschwindigkeit	4
5 Arten der mechanischen Beanspruchung von Probekörpern	3	7 Spannungsrißkorrosionsuntersuchungen bei freier Korrosion und mit elektrochemischer Kontrolle ...	5

1 Anwendungsbereich und Zweck

Diese Norm gibt allgemeine Hinweise für die Planung, Ausführung und Auswertung von Untersuchungen über die Beständigkeit metallischer Werkstoffe gegen Spannungsrißkorrosion insbesondere im Hinblick auf die Bedeutung mechanischer Einflußgrößen.

Als Spannungsrißkorrosion wird die Rißbildung in Metallen bei gleichzeitigem Einwirken von Zugspannungen und eines Angriffsmittels verstanden. Im Sinne dieser Norm ist es unerheblich, ob die Rißbildung durch Metallauflösung oder Einwirken des Angriffsmittels, z. B. Wasserstoff, ohne Metallaufbau entsteht. Der Rißverlauf kann interkristallin, transkristallin oder gemischt sein.

Bei Vorliegen von Zugspannungen sowie eines Angriffsmittels können auch andere Erscheinungsformen der Korrosion auftreten, z. B. durch Werkstoffdehnung rißartig verlängerte Korngrenzenangriffe sowie verlängerte oder erweiterte Korrosionsgrübchen (dehnungsinduzierte Rißbildung). Diese Erscheinungsformen der Korrosion werden nicht als Spannungsrißkorrosion im Sinn der vorliegenden Norm verstanden.

Zum Erzeugen von Spannungsrißkorrosion müssen zwei Voraussetzungen gegeben sein:

- Einwirken eines für einen gegebenen Werkstoff spezifisch wirkenden Korrosionsmediums: **kritisches System „Werkstoff und Korrosionsmedium“**;
- Vorliegen von statischen oder zeitlich zunehmenden oder zeitlich mit niedriger Frequenz wechselnden Zugspannungen.

Bei kritischen Systemen „Werkstoff und Korrosionsmedium“ tritt Spannungsrißkorrosion auf, wenn

- die Zugspannung σ einen kritischen Wert (Grenzspannung) überschreitet;
- die Dehngeschwindigkeit (Dehnrage) $\dot{\epsilon}$ in einem kritischen Bereich liegt, wobei unter Umständen ein unterer kritischer Wert überschritten werden muß;
- bestimmte Systemparameter vorliegen. Hierzu zählen: kritische Werte für das Potential, die Temperatur, die Konzentration des spezifisch wirkenden Angriffsmittels im Korrosionsmedium und unter Umständen auch die Konzentration von Legierungselementen im Werkstoff.

Die Ermittlung der kritischen Werte der Zugspannung, der Dehnraten und der oben genannten Systemparameter ist ein wesentliches Ziel der Untersuchung der Beständigkeit gegen Spannungsrißkorrosion. Die Prüfung bestimmter kritischer Systeme „Werkstoff und Korrosionsmedium“ ist nicht Gegenstand dieser Norm.

2 Begriffe

Siehe DIN 50 900 Teil 1 und Teil 2

Im Sinn der vorliegenden Norm werden außerdem die folgenden Begriffe verwendet:

2.1 Angriffsmittel

Spezifisch wirkende chemische Komponente im Korrosionsmedium, die für das Auftreten der Spannungsrißkorrosion bei einem gegebenen Werkstoff verantwortlich ist.

Fortsetzung Seite 2 bis 7

Normenausschuß Materialprüfung (NMP) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, gestattet.

2.2 Dehnrate

Relative Probenverlängerung in der Zeiteinheit durch mechanische Zugspannungen.

2.3 Kritische Dehnrate

Dehnrate, bei der Spannungsrißkorrosion auftritt. Es gibt einen unteren und einen oberen Grenzwert für kritische Dehnraten.

2.4 Grenzspannung (kritische Zugspannung)

Mindestwert der Zugspannung, bei der Spannungsrißkorrosion auftritt.

2.5 Kritisches System

Korrosionssystem, in dem ein metallischer Werkstoff Spannungsrißkorrosion erleiden kann.

2.6 Kritische Spannungsintensität für Spannungsrißkorrosion (K_{SCC})

Mindestwert der Spannungsintensität, bei der stabiles, durch Spannungsrißkorrosion erzeugtes Rißwachstum auftritt.

2.7 Systemparameter

Parameter eines Korrosionssystems, die für Spannungsrißkorrosion wichtig sind, z. B. Temperatur, Potential, Konzentration des Angriffsmittels, Gefügeausbildung, Konzentration von Legierungselementen oder Gefügebestandteilen im Werkstoff.

2.8 Kritische Systemparameterwerte

Werte von Systemparametern, bei denen Spannungsrißkorrosion auftritt. Kritische Systemparameterwerte sind miteinander funktionell verknüpft.

2.9 Standzeit

Lebensdauer einer Probe, Versuchsdauer bis zum Bruch.

2.10 Spannprobe

Probe, die durch eine Spannvorrichtung vor Versuchsbeginn um einen zeitlich konstanten Betrag längs verformt wird.

2.11 Biegeprobe

Probe, die durch eine Spannvorrichtung vor Versuchsbeginn einer zeitlich konstanten Biegeverformung unterworfen wird.

2.12 Zugprobe

Probe, die während der gesamten Versuchsdauer durch eine zeitlich konstant einwirkende Zugkraft einachsigt belastet wird.

2.13 Hebelprobe

Probe, die während der gesamten Versuchsdauer durch eine zeitlich konstante Kraft einer Biegebeanspruchung unterworfen wird.

2.14 Eigenspannungsprobe

Probe mit Eigenspannungen, die durch Umformen, Schweißen oder grobes Schleifen erzeugt werden.

3 Grundsätze der Untersuchung

Vor der Durchführung einer Spannungsrißkorrosionsuntersuchung muß über das Untersuchungsverfahren entschieden werden. Diese Entscheidung hängt weitgehend vom Untersuchungsziel und der benötigten Aussage ab.

Bei praxisnahen Untersuchungen sollen z. B. die durch die Betriebsbedingungen gegebenen mechanischen Einflußgrößen weitgehend nachgeahmt werden. Andere Untersuchungen können dagegen Aufklärung von Mechanismen der Spannungsrißkorrosion sowie die Ermittlung kritischer Werte von Zugspannung, Dehnrate und Systemparametern zum Ziel haben.

Für einfache, auch im Betrieb durchführbare Untersuchungen kann in bestimmten Fällen die Verwendung einfacher Biegeproben sinnvoll sein, während in Laboratoriumsversuchen auch verfeinerte Versuchstechniken angewendet werden. Zum Beispiel wird die Untersuchung von Rißfortschrittsgeschwindigkeiten die Anwendung angerissener Proben erfordern. Diese Probenform ist aber für eine Untersuchung des Einflusses der Oberflächenbeschaffenheit auf die Spannungsrißkorrosion nicht anwendbar.

Bei der Auswahl eines Untersuchungsverfahrens, welches eine „Ja/Nein“-Aussage gibt, ist zu beachten, daß die Korrosionsbelastung nicht so groß sein darf, daß ein für den bestimmten Anwendungszweck durchaus geeigneter Werkstoff dadurch ausgeschlossen wird. Sie darf aber auch nicht so gering sein, daß ein Werkstoff ausgewählt wird, der bei der betrieblichen Anwendung mehr oder weniger schnell durch Spannungsrißkorrosion versagt.

Durch Spannungsrißkorrosionsuntersuchungen sollen im allgemeinen für die Werkstoffauswahl Aussagen schneller erhalten werden, als dies durch Betriebserfahrungen möglich ist. Üblicherweise kann dies durch die wahlweise Anwendung erhöhter Spannungen, Versuche mit niedriger Dehnrate, Anwendung angerissener Proben, Erhöhen der Konzentration des spezifischen Angriffsmittels im Vergleich zu den betrieblichen Korrosionsmedien, erhöhte Temperatur sowie Einstellen kritischer Potentiale erreicht werden. Die Ergebnisse von Spannungsrißkorrosionsversuchen beschreiben jedoch im allgemeinen nur das Werkstoffverhalten in dem jeweils verwendeten Korrosionsmedium bei dem gegebenen Spannungszustand. Die Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse auf andere Angriffsmittel, die in wesentlichen Eigenschaften von dem untersuchten Medium abweichen, ist im Regelfall nicht gegeben. Weiterhin darf durch Verschärfen der Versuchsbedingungen der zur Rißbildung führende Korrosionsmechanismus nicht verändert werden.

Falls die genaue Nachahmung der Betriebsbedingungen zu schwierig ist, kann zum Ermitteln der in verschiedenen Stufen des Korrosionsprozesses wirksamen Einflußgrößen eine Analyse der Spannungsrißkorrosionsvorgänge hilfreich sein, damit die auszuwählende Prüfung dann auf maßgebliche Systemparameter beschränkt werden kann.

4 Oberflächenbehandlung der Probekörper

Bei der Probenherstellung ist zu beachten, daß durch mechanisches Bearbeiten in einer oberflächennahen Schicht, deren Dicke im allgemeinen 0,1 mm nicht überschreitet, Eigenspannungen erzeugt werden, die die Versuchsergebnisse beeinflussen können. Diese oberflächen-

nahe Schicht sollte durch elektrolytisches Polieren abgetragen werden. Hierzu eignen sich z. B. folgende Elektrolytlösungen:

- für unlegierte und niedriglegierte Stähle eine Mischung von 1000 ml H_3PO_4 ($\rho = 1,71 \text{ g ml}^{-1}$), 50 ml H_2O und 140 g CrO_3 ; Stromdichte $i = 0,5 \text{ A cm}^{-2}$; Badtemperatur: 70 bis 80 °C;
- für hochlegierte und chemisch beständige Stähle eine Mischung von 690 ml H_3PO_4 ($\rho = 1,71 \text{ g ml}^{-1}$), 140 ml H_2SO_4 ($\rho = 1,84 \text{ g ml}^{-1}$) und 205 ml H_2O ; Stromdichte $i = 1 \text{ A cm}^{-2}$; Badtemperatur: 45 °C;
- für Kupfer und Kupferlegierungen eine Mischung von 380 ml H_3PO_4 ($\rho = 1,71 \text{ g ml}^{-1}$) und 620 ml $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$; Stromdichte $i = 0,02$ bis $0,07 \text{ A cm}^{-2}$; Badtemperatur: 20 °C.

Der Abtrag einer oberflächennahen Schicht nach den beschriebenen Verfahren entfällt, wenn die Beständigkeit der Werkstoffoberfläche gegen Spannungsrißkorrosion im Lieferzustand oder einem oberflächenbehandelten Zustand mit untersucht werden soll.

5 Arten der mechanischen Beanspruchung von Probekörpern

Bei betrieblichen Beanspruchungen liegen meist mehrachsige und nur selten einachsige Spannungszustände vor. Einachsige Spannungszustände lassen sich durch unversehrte, glatte Zugproben, mehrachsige Spannungszustände durch gekerbte oder gelochte Probekörper einstellen. Die Verwendung gekerbter oder angerissener Probekörper ist sinnvoll, wenn konstruktiv- oder herstellungsbedingte Kerben oder Anrisse nachgeahmt werden sollen.

Unabhängig davon, ob ein Probekörper glatt, gekerbt oder angerissen ist oder mit angelieferter Oberfläche vorliegt, kann die Untersuchung auf Beständigkeit gegenüber Spannungsrißkorrosion mit folgenden Arten der mechanischen Belastung erfolgen:

- zeitlich konstante Gesamtdehnung (siehe Abschnitt 6.1);
- zeitlich konstante Kraft (siehe Abschnitt 6.2);
- niedrige Dehnrates mit zügiger oder zyklischer Belastung (siehe Abschnitt 6.3).

Bei angerissenen Proben werden anstelle der Grenzspannungen Grenzwerte der Spannungsintensität K_{SCC} definiert. Entsprechend können Versuche unter den Bedingungen konstanter oder zeitlich veränderlicher Spannungsintensität durchgeführt werden.

Durch Untersuchungen mit Probekörpern, die durch eine zeitlich konstante Gesamtdehnung beansprucht werden, können Bedingungen nachgeahmt werden, unter denen betriebliche Schäden als Folge von verarbeitungsbedingten Eigenspannungen zu erwarten sind.

Durch Untersuchungen mit Probekörpern, die durch eine zeitlich konstante Kraft beansprucht werden, können Bedingungen nachgeahmt werden, unter denen betriebliche Schäden als Folge von stationären, konstruktionsbedingten Spannungen und Betriebsspannungen zu erwarten sind. Solche Spannungszustände werden z. B. bei Rohrleitungen und Behältern durch den Innendruck erzeugt.

Durch Untersuchungen mit Probekörpern, die durch eine niedrige Dehnrates beansprucht werden, können Bedingungen nachgeahmt werden, unter denen Schäden als

Folge instationärer Betriebsweisen und damit zusammenhängender, meist periodischer Kraft- oder Dehnungsänderungen entstehen. Bei Versuchen mit niedriger Dehnrates kann zwar erkannt werden, welche Dehnrates für die Spannungsrißkorrosion kritisch sind, es werden aber keine Hinweise auf kritische Spannungshöhen gegeben. Aus diesem Grunde kann es auch erforderlich werden, bei der Belastung definierte periodische Dehnrates-Zeit-Funktionen vorzugeben, die die Spannungshöhe als Versuchsparameter enthalten.

Zur Vorhersage des betrieblichen Verhaltens soll die Belastungsart dem betrieblich zu erwartenden Spannungszustand entsprechend ausgewählt werden. Weiterhin darf die Spannung nicht so hoch sein, daß Schäden durch mechanisches Versagen (Überschreiten der Zugfestigkeit) entstehen.

Die Lage des Probekörpers in einem Halb- oder Fertigprodukt kann die Untersuchungsergebnisse beeinflussen, da nichtmetallische Einschlüsse und Ausscheidungen intermetallischer Phasen Auswirkungen auf das Spannungsrißkorrosionsverhalten haben. Die gleichen Überlegungen gelten für Verformungsrichtung, Verformungsgrad und Eigenspannungen.

Wenn eine aus einem metallischen Werkstoff bestehende Vorrichtung, durch die die mechanische Spannung aufgebracht wird, gleichzeitig mit dem Probekörper aus dem zu untersuchenden Werkstoff dem Korrosionsmedium ausgesetzt wird, muß Kontaktkorrosion vermieden werden (siehe DIN 50 905 Teil 1). Dies kann dadurch geschehen, daß die Spannvorrichtung entweder aus dem gleichen oder aus einem sich elektrochemisch gleichartig verhaltenden Werkstoff gefertigt wird wie der Probekörper. Ist dies nicht möglich, so sind die entsprechenden Vorrichtungen aus nicht metallleitenden, z. B. keramischen Stoffen zu fertigen oder elektrisch isolierende Beschichtungen zu verwenden.

Bei der Konstruktion von Spannvorrichtungen sind besonders bei erhöhten Temperaturen mögliche Beeinflussungen durch unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten der Werkstoffe zu beachten.

Die zur Feststellung einer Empfindlichkeit für Spannungsrißkorrosion zu wählenden Kriterien hängen von der Art der angewendeten mechanischen Belastung ab. Nach den Versuchen ist das Eintreten von Spannungsrißkorrosion aber in jedem Fall durch Inaugenscheinnahme oder mikroskopische Beurteilung festzustellen. In Zweifelsfällen ist eine metallografische Untersuchung an Schläffen parallel zur Hauptbelastungsrichtung erforderlich.

6 Untersuchungsverfahren

6.1 Untersuchungen mit zeitlich konstanter Gesamtdehnung

Für die hier zu verwendenden Proben kommen mehrere Arten in Betracht:

Aus Blechen werden Proben häufig als Biegeproben (Schlaufenproben, U-Proben), aus dickwandigem Halbzeug vorwiegend als Zugproben oder als C-Ringproben entnommen. Auch bei Rohren werden C-Ringproben gefertigt.

Biegeproben haben den Vorteil, daß sie einfach herzustellen sind und nur einfache Spannvorrichtungen erfordern. Die bei dieser Probenart auftretende Schwierigkeit