

Fraktographie der Wasserstoffrissigkeit in Stahl

Martin Möser,
8th Congress on Materials Testing, Budapest 1982, Vol. 1, S. 46-50

Wasserstoff kann im atomaren Zustand wegen seines geringen Atomradius leicht ins Metallgitter eindiffundieren und führt dort, sofern das Bauteil zumindest lokal unter Zugspannung steht, oft zu Rissbildung.

Folgende Regelmäßigkeiten lassen sich bei Stahl beobachten: Gefährdet sind vor allem Stähle mit Festigkeiten oberhalb 1000...1250 MPa. Schon relativ geringe Wasserstoffmengen, wie sie etwa beim elektrolytischen Beschichten eingetragen werden, können rissauslösend wirken.

Bei den weniger festen Stählen ist das Auftreten von Wasserstoffrissigkeit an folgende Voraussetzungen gebunden [1]:

- Starker Wasserstoffeintrag (gegeben z. B. bei Korrosion durch H₂S oder bei Wasserstoffaufnahme über die Schmelze)
- Zwischenspeicherung des Wasserstoffes in Hohlräumen (in Poren, an Einschlüssen und Ausscheidungen)
- Verformungsvorgänge

Am deutlichsten wird dies bei den sogenannten Fischaugen, wie sie auf den Bruchflächen von Schweißbiegeproben gefunden werden, wenn mit feuchten Elektroden geschweißt wurde. Von diesen Fischaugen weiß man, dass sie erst entstehen, wenn die Streckgrenze überschritten wurde. Die Wände der Poren, in denen sich der Wasserstoff in molekularer Form und unter Aufbau beträchtlicher Drücke nach der Erstarrung gesammelt hat, bilden bei der plastischen Verformung neue Oberflächen aus, an denen die Moleküle adsorbiert und schließlich dissoziiert werden [2]. Mit den gleichzeitig entstehenden Versetzungen wird der atomare Wasserstoff, einem Dammbbruch vergleichbar, ins Gitter eingeschwemmt, wo Rissbildung entlang von Gleitebenen (110-Ebenen [3]) einsetzt. Dies hinterlässt ein charakteristisches, feinstrukturiertes Bruchgefüge mit dem jeweiligen Speicher als lokales Rissausgangsgebiet (Bild 1 und 2).

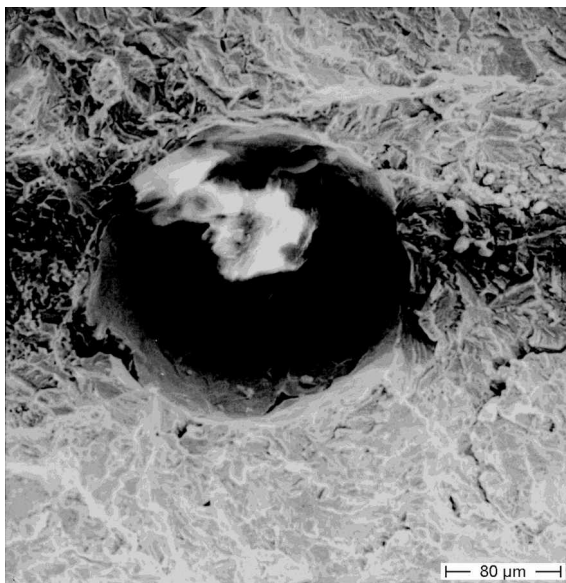


Bild 1. Pore mit Einschluss im Zentrum eines Fischauges, 260 x

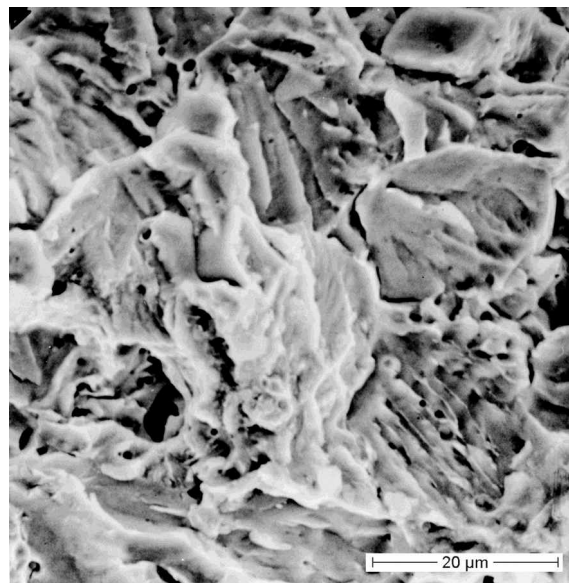


Bild 2. Wasserstofftypisches Bruchgefüge im Fischaugenhof, 1600 x

Die Frage ist nun, warum die Gleitebenen aufreißen. Anzunehmen ist, dass der Wasserstoff die Versetzungen blockiert. Im atomaren Zustand ist er dazu kaum in der Lage, vielmehr gibt es Belege dafür, dass er sogar die Gleitung erleichtert [4]. Um sie behindern zu können, muss der Wasserstoff erst wieder zum Molekül rekombinieren (siehe auch [5]), wofür er in den stark gestörten Gleitebenen offensichtlich genügend Raum findet [6].

Der eben beschriebene Mechanismus („Fischaugeneffekt“) lässt sich zur Erklärung fast aller Erscheinungen der Wasserstoffrissigkeit bei Stählen heran ziehen. Beispielsweise konnte damit der ungewöhnliche Fall geklärt werden, dass ein Behälter nicht bei der Wasserdruckprobe, sondern wenige Tage nach der Wiederinbetriebnahme aufreißt: Durch H_2S im Medium war es zu starker Beladung mit Wasserstoff gekommen, der sich an Einschlüssen molekular gesammelt hatte. Während der Druckprobe wurden im Bereich der Innenwand (neben einer Schweißnaht) plastische Verformungen aufgebracht und damit der Fischaugeneffekt ausgelöst. Nach der Wiederinbetriebnahme wuchsen diese Risse durch weitere Beaufschlagung mit H_2S schnell, bis ein Leck entstanden war (Bild 3).

Einschlussreiche Stähle bieten dem Wasserstoff zwangsläufig viele Speicher. Besonders günstig sind die Bedingungen für die Rissbildung, wenn in Dickenrichtung belastet wird, weil durch die flachgewalzten Einschlüsse (Sulfide) eine große wirksame Speicherfläche einer stark geschwächten Matrix gegenüber steht. Das erklärt z. B. die Gefahr von Unternahtissen beim Schweißen von Kehlnähten (Bild 4).

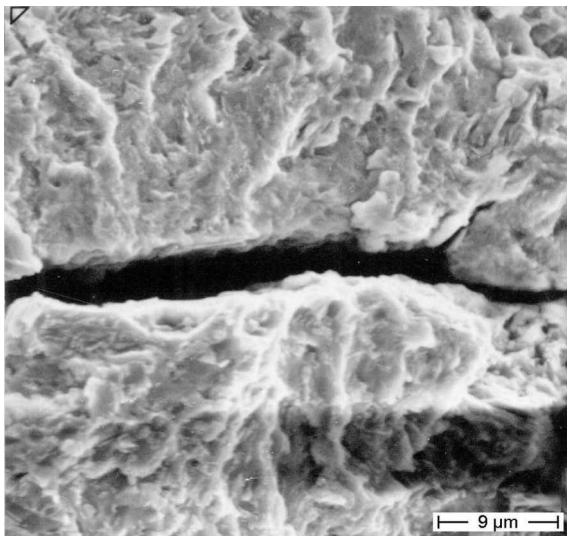


Bild 3. Einschlusshohlraum als lokales Rissausgangsgebiet, 2400 x

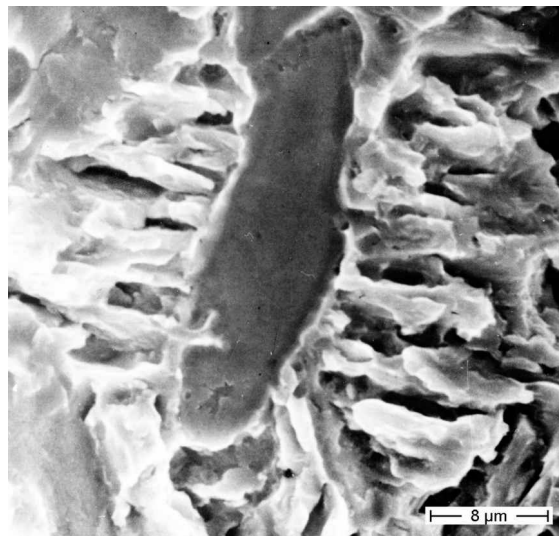


Bild 4. Unternaht (Minifischaug), 2250 x

Der sich in den Einschlussräumen aufbauende Innendruck überlagert sich mit einer äußeren Last und kann schließlich so hoch werden, dass es selbst in unbelasteten Proben zum Fließen der metallischen Zwischenstege und damit zur Auslösung des Fischaugeneffektes kommt. Eine Entschwefelung, möglichst verbunden mit einer Sulfidformkontrolle, vermindert die Zahl der Speicherplätze und damit die Rissanfälligkeit.

Bei den hochfesten Stählen erfolgt die Rissausbreitung vorzugsweise entlang der primären Austenitkorn Grenzen, die durch mehr oder weniger ausgeprägte Segregationen markiert sind [6]. Diese Segregationen kann man sich als feinste Einschlüsse (Durchmesser: 10 nm)

denken, an denen der Wasserstoff wiederum rekombiniert. Ist der Innendruck dort genügend hoch, werden die Primärkorngrenzen möglicherweise dadurch aufgetrennt, dass in extrem kleinen Bereichen der Fischaugenmechanismus abläuft. Sind die Korngrenzen ausreichend markiert, dann findet sich auch hier der transkristalline Bruchmodus, und die Stähle sind weniger empfindlich. Gelegentlich dienen auch bereits ausgebrochene Korngrenzen als Speicher und damit als Ausgangsgebiet für transkristalline Risse (Bild 5).

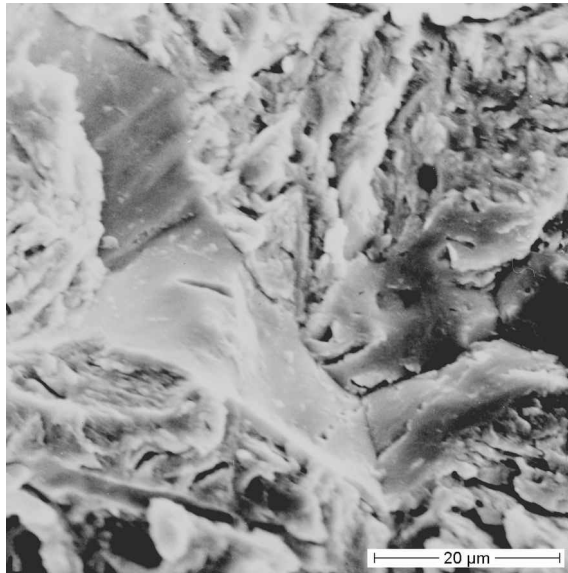


Bild 5. Aufgebrochene Korngrenze als lokales Rissausgangsgebiet, 1600 x

Der makroskopische Ort der Rissbildung sind gewöhnlich dreiaxig verspannte Zonen, wie sie unter Kerben usw. existieren, weil in diese der Wasserstoff verstärkt eindiffundiert, das Wasserstoffangebot hier also höher ist.

Zusammenfassung

Es besteht die Vermutung, dass letztendlich immer der molekulare Wasserstoff für die Rissbildung verantwortlich ist, der atomare Zustand dagegen nur für den Transport benötigt wird. In Hohlräumen („traps“) wird lokal ein kritisches Wasserstoffangebot erzeugt, um schließlich über den Fischaugeneffekt die Gleitebenen genügend mit Wasserstoff zu sättigen und zum Aufreißen zu bringen.

Literatur

- [1] Möser, M.; in: Elektronenmikroskopie in der Festkörperphysik. Dt. Verlag, d. Wissenschaften, S. 341-358
- [2] Ruge, J.; in: Bruchuntersuchungen und Schadenklärung – Probleme bei Eisenwerkstoffen, München u. Berlin 1976, Allianz Vers.-AG, S. 206-210
- [3] Kikuta, Y., Araki, T.; Kuroda, T.; in: ASTM STP 645, S. 107-127.
- [4] Chu, W.-Y.; Hsiao, C.-M.; Li, S.-Q.; Eng. Fract. Mech. 16 (1982) S. 115-127.
- [5] Dahl, W., Lange, K.; Hwang, S.-H.; Untersuchungen zur Wasserstoffversprödung von Stahl, Opladen (1979), Westdeutscher Verlag
- [6] Joshi, A.; Corrosion, 34 (1978) S. 47-52.

[Fractography of hydrogen cracking in steel] **Summary**

Especially susceptible to hydrogen cracking are steels with a strength above 1000...1250 MPa. The cracks follow the grain boundaries of the primary austenite, which are marked by segregations.

For steels of lower strength, there must be a co-operation of strong hydrogen charging, storage in inclusion-holes and plastic deformation: In steel, the atomic hydrogen diffuses to the inclusions or other holes, recombines there to molecules and generates high pressure. If plastic deformations occur, new surfaces are created in the hole walls. There the hydrogen molecules are adsorbed and dissociated to atoms. Dislocations sweep the hydrogen atoms into the lattice, where, after a repeated recombination, the hydrogen induces a separation of slip-planes. Examples are given mainly by means of failures.

digitalisiert: 16. Oktober 2015