

Rissbildung durch Wasserstoff an den Schweißnähten eines Wirbelschichtreaktors

1. Vorgeschichte

An dem Wirbelschichtreaktor eines Betriebes der Siliziumchemie wurden nach kurzer Betriebszeit (4 – 5 Monate) Risse entdeckt. Sie liefen von der Innenwand her ein und lagen beidseitig der Rundnaht. Eine ebenfalls vorhandene Längsnaht blieb rissfrei.

Technische Daten

Betriebstemperatur:	320 – 350 °C
Betriebsdruck:	0,3 – 0,5 MPa
Medium:	Ferrosilizium, Salzsäure, Wasserstoff
Stahl:	15Mo3
Wanddicke:	13 mm
Schweißnähte:	Rundnaht MAG, Längsnaht UP

2. Untersuchungen

Im Bereich der Rundnaht wurde die Wandinnenseite blank geschliffen und mit Farbeindringmittel bestrichen. Die Risse zeigten sich jeweils 10 – 30 mm neben der Naht.

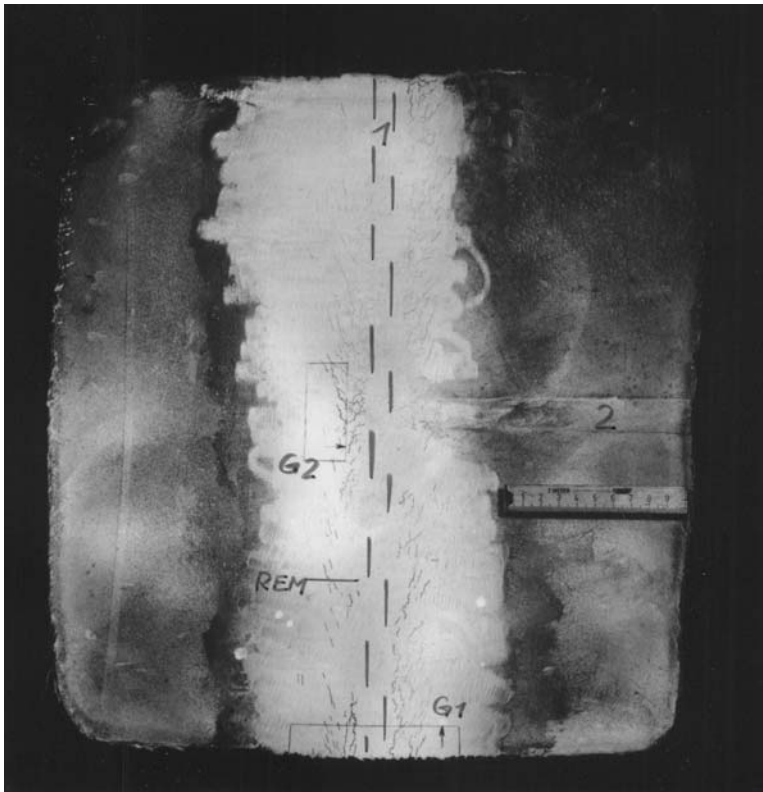


Bild 1:

Farbeindringprüfung der Innenwand
Spur 1 (gestrichelt) = Rundnaht
Spur 2 = Längsnaht
feines Rissnetzwerk beidseitig der Rundnaht
(Aufnahme: SATÜ)

Am Makroschliff ist erkennen, dass die Risstiefe sich mit etwa 2 mm in Grenzen hält (Bild 2).

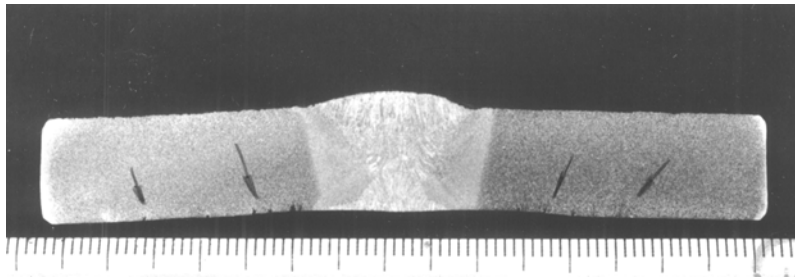
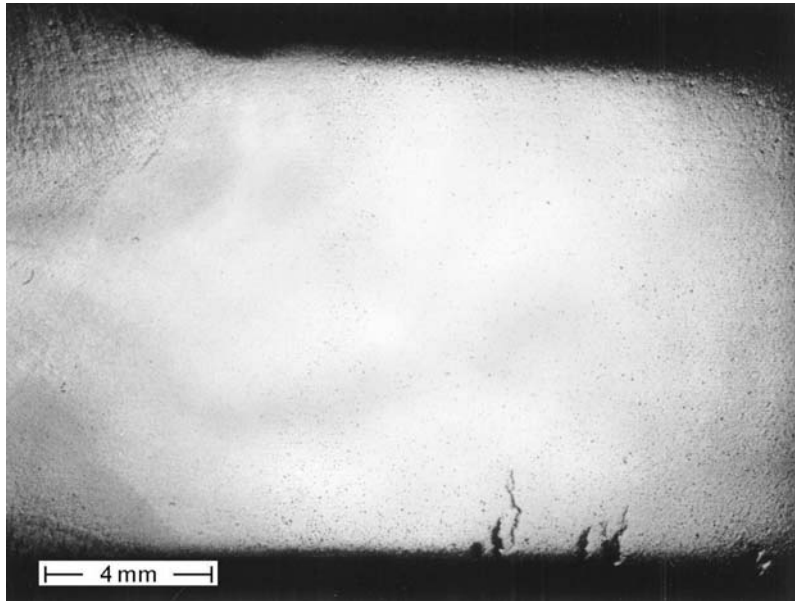


Bild 2:

Risslage am
Schliff;
Risse 2 mm tief

oben: Übersicht
unten: Detail von
rechter Seite

(Aufnahmen:
SATÜ)



Am Mikroschliff wird klar, dass der Riss transkristallin verläuft und sich verzweigt. Der Risseinlauf ist auskorrodiert (Bild 3).

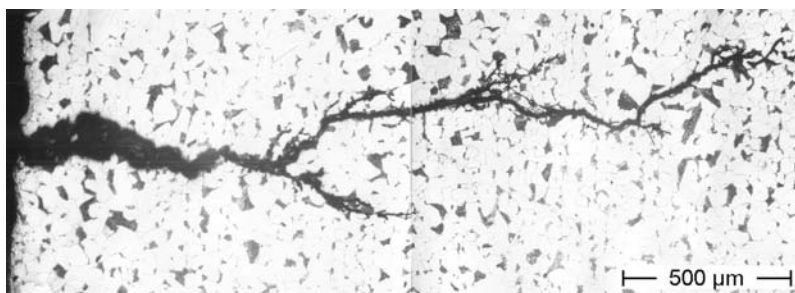


Bild 3:

Riss transkristallin
und verzweigt;
Einlauf durch
Korrosion
verbreitert

(Aufnahme:
SATÜ)

Der Schadensbereich wurde quer aufgebrochen. Die Risse sind linsenförmig ausgebildet und etwa doppelt so breit wie tief (Bild 4).

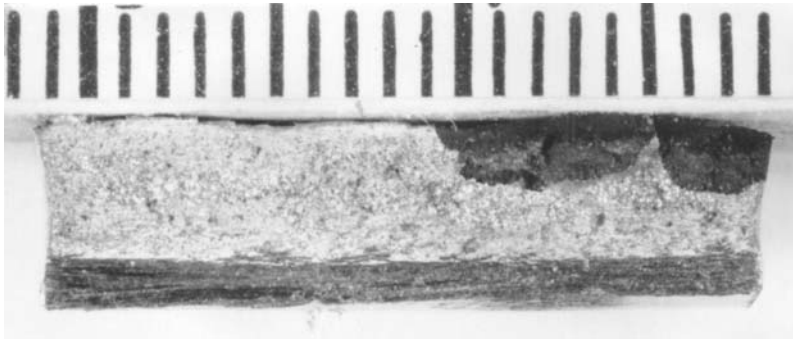


Bild 4:
Bruch entlang
von Linie G2
(aus Bild 1),
Anrisse dunkel;
Risstiefe 2 mm

(Aufnahme:
SATÜ)

Zum Zwecke der elektronenoptischen Untersuchung wurde die Probe entlang einer weiteren Linie erneut gebrochen. Die Übersichtsaufnahme wird von Bild 5 gegeben.

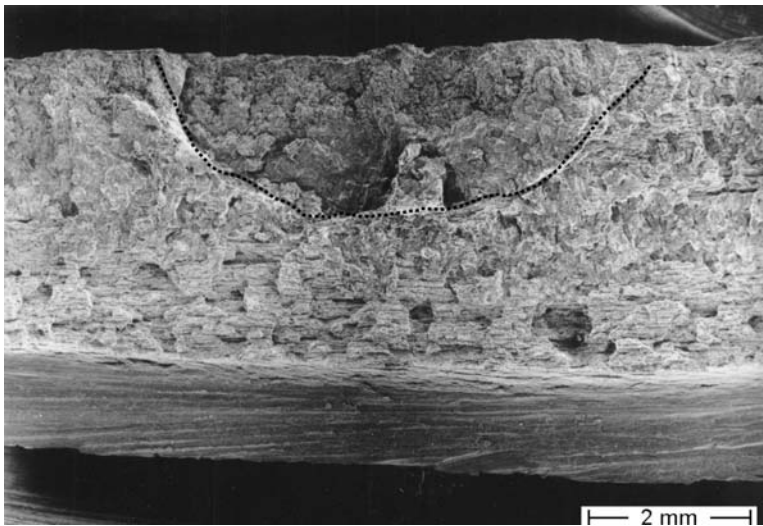


Bild 5:
elektronenoptische
Bruchaufnahme
von der mit
"REM"
bezeichneten
Stelle aus Bild 1

Die Bruchfläche war weitgehend verätzt; nur ein Bereich in der Breite von 200 µm unmittelbar an der Riss-Spitze erwies sich noch als auswertbar.

Der Bruch ist, wie schon am Schlibfbild erkennbar, transkristall verlaufen. Die Bruchfacetten sind ausgesprochen fein ausgebildet. Aufgeweitete Einschlusshohlräume dienen als Riss-Starter, das heißt, der Riss wächst auf die Innenwand zurück. Die Facetten erscheinen leicht angegriffen, siehe Bild 6.

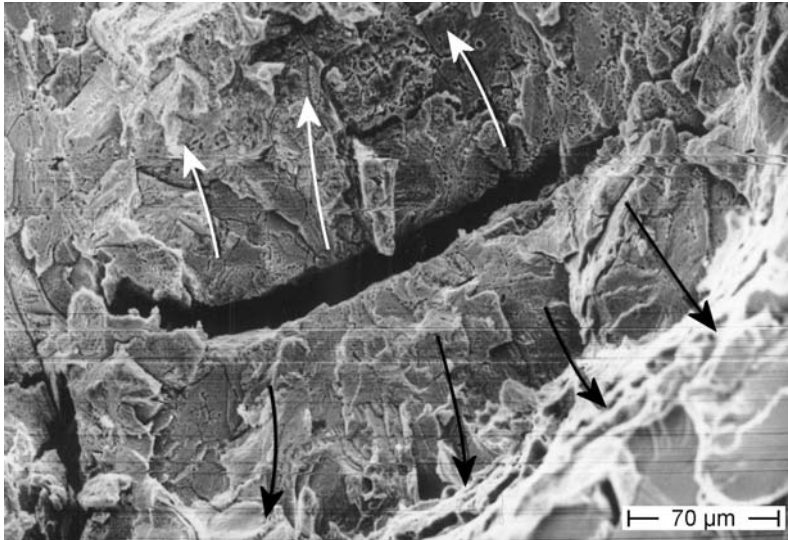


Bild 6:
Riss strahlt von einem Einschlusshohlraum nach beiden Seiten ab; Bruchgefüge feinfacettiert
(Ausschnitt aus Bild 5)

Ein weiteres Riss-Startgebiet ist Bild 7 und Bild 8 zu sehen. Hier sind die Facetten noch völlig frisch. Das Restversagen ist als Sprödbbruch erfolgt. Die Facetten sind dort deutlich gröber ausgebildet als im Anriss.

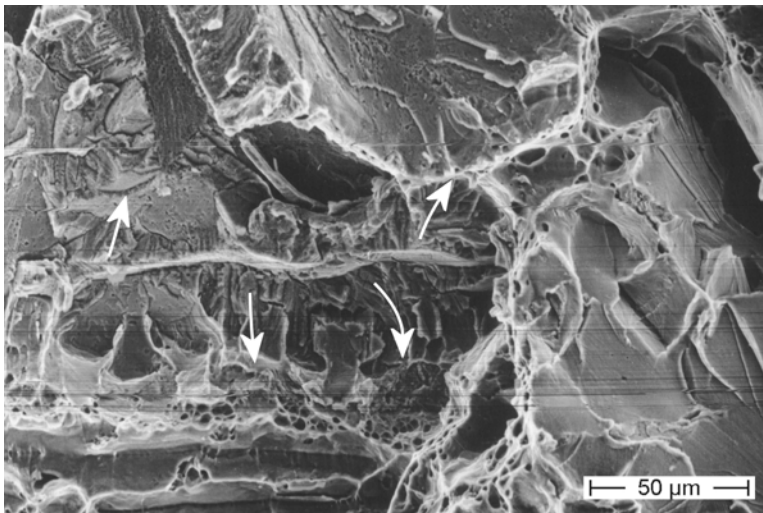


Bild 7:
ein weiterer Bruchhof, rechts normale (größere) Spaltfacetten im Restbruch

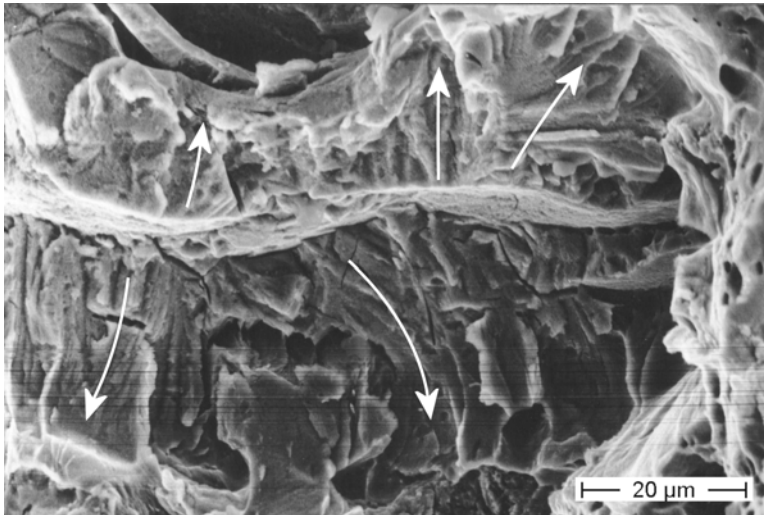


Bild 8:
Facetten gut
erhalten
(Ausschnitt aus
Bild 7)

3. Diskussion

Es finden sich lokale Bruchzentren mit feinfacettiertem Bruchgefüge, wie sie die Wasserstoffversprödung weicher Stähle kennzeichnen (Minifischaugen).

Wasserstoff ist im Medium enthalten. Ein weiterer Anteil entsteht als Folge von Korrosion des Stahles durch den Anteil der (gasförmigen) Salzsäure.

Während des Betriebes ist die Temperatur mit 320–350 °C genügend hoch, so dass der Wasserstoff in den Stahl eindringt und dort im atomaren Zustand verbleibt. Wenn der Behälter außer Betrieb genommen wird und schließlich auf Raumtemperatur auskühlt, sinkt das Lösungsvermögen für den Wasserstoff. Dieser diffundiert zu Einschlüssen, vorzugsweise Sulfide, und rekombiniert dort zum Molekül. Der Wasserstoff wird dadurch zum Druckgas und erzeugt eine „Innenlast“.

Die entsprechende Außenlast ist durch Eigenspannungen vorgegeben. Wenn das eingeschlossene Gas eine bestimmte Druckhöhe erreicht hat, kommt die Rissbildung in Gang. Die Trennung erfolgt entlang von {110}-Gleitebenen, vgl. [1].

Es wurde empfohlen, den Behälter spannungsarm zu glühen. Abfahrten sollten soweit verlangsamt werden, dass der eingedrungene Wasserstoff ausdiffundieren kann.

4. Zusammenfassung

Während des Betriebes gelangte Wasserstoff in den Stahl. Die Rissbildung erfolgte nach dem Auskühlen in Überlagerung mit schweißbedingten Eigenspannungen.

Literatur

- [1] Möser, M: Zum Wasserstoffbruch niedrigfester Stähle – Fischaugen und Blasenrisse. Neue Hütte 9 (1984) S. 229-233 (auch in dieser Homepage)