

# Wasserstoffversprödung an Austenit-Ferrit-Mischnähten

Martin Möser, 20. November 2010

In der Industrie lässt es nicht vermeiden, dass Teile aus un- oder niedriglegiertem Stahl mit Teilen aus hochlegiertem Stahl verschweißt werden.

Das Eisen verfügt bekanntlich über zwei Kristallgittertypen. Im unteren Temperaturbereich ist das Gitter kubisch-raumzentriert ausgebildet. Man spricht von einer  $\alpha$ -Struktur.

Nach dem lateinischen Elementnamen des Eisens (*Ferrum*) wird dieser Zustand auch als *ferritisch* bezeichnet.

Bei höheren Temperaturen liegt ein kubisch-flächenzentriertes Gitter vor. Dieser Zustand wird als  $\gamma$ -Struktur oder als *austenitisch* bezeichnet. Der britische Stahlforscher Roberts-Austen (1843 - 1902) diente hierfür als Namensgeber.

Alle besonders gut verformbaren Metalle, so Gold, Silber, Kupfer und auch **Nickel**, haben grundsätzlich ein kubisch-flächenzentriertes Gitter.

Die hochlegierten Stähle enthalten üblicherweise Nickel, welches bei Gehalten über 8% sein kubisch-flächenzentriertes Gitter dem Stahl aufprägt, das heißt, es erweitert den  $\gamma$ -Bereich zu tieferen Temperaturen hin. Diese Stähle werden entsprechend als Austenite bezeichnet.

Hinsichtlich der Unterschiede in der Anfälligkeit gegenüber Korrosion im Allgemeinen und Rosten im Besonderen bezeichnet man die ferritischen Stähle als „schwarz“ und die austenitischen Stähle als „weiß“. Schweißungen zwischen diesen beiden Stahltypen ergeben somit „Schwarz-Weiß-Verbindungen“.

Austenite leiten die Wärme schlechter und dehnen sich stärker als die Ferrite.

Nickellegierungen liegen im Ausdehnungskoeffizienten und der Wärmeleitzahl etwa beim ferritischen Stahl, weshalb man sie oft als Schweißgut einsetzt (Handelsnahme u.a.: Inconel), siehe folgende Tabelle (Werte entnommen aus [1]):

Werkstoff	Ausdehnungskoeffizient mm/m °C	Wärmeleitzahl J/cm s °C
unlegierte und niedriglegierte Stähle	0,011...0,014	0,55
nichtrostende austenitische Stähle	0,016...0,019	0,147
Nickelwerkstoffe	0,010...0,014	0,63

Ein weiteres Problem ergibt sich aus einer Auflegierung des schwarzen Stahles.

Diese Zone ist zwar schmal, härtet aber stark auf und wird damit anfällig gegenüber Wasserstoffversprödung, siehe [2]-[5].

Bei Temperaturen oberhalb 400 °C kann außerdem der Kohlenstoff von der schwarzen zur weißen Seite diffundieren, was aber für die im Folgenden dargestellten Fälle ohne Belang ist.

### Fall A: Aufreißen einer Flanschnaht

Ein Rohr der Nennweite 300 mm war aus dem Stahl X8CrNi18-10 gefertigt worden. Das Rohr wurde mit einem „Vorschweißflansch“ aus Stahl 15Mo3 verschweißt, welcher mit dem entsprechenden Flansch eines Adsorbers verschraubt wurde.

Die Wurzel der Naht wurde mit dem WIG-Verfahren unter Zugabe von Draht vom Typ 19% Cr – 11% Ni – 3% Mo geschweißt. Die weiteren Lagen schweißte man mit umhüllten Stabelektroden vom Typ 23% Cr -12% Ni - Nb.

Medium: Ammoniak, Temperatur: 380°C, Druck: 1,5 MPa, Betriebszeit: 88 000 Stunden.

Das Rohr war nach kurzzeitigem Abnebeln völlig abgerissen, siehe Bild 1 .

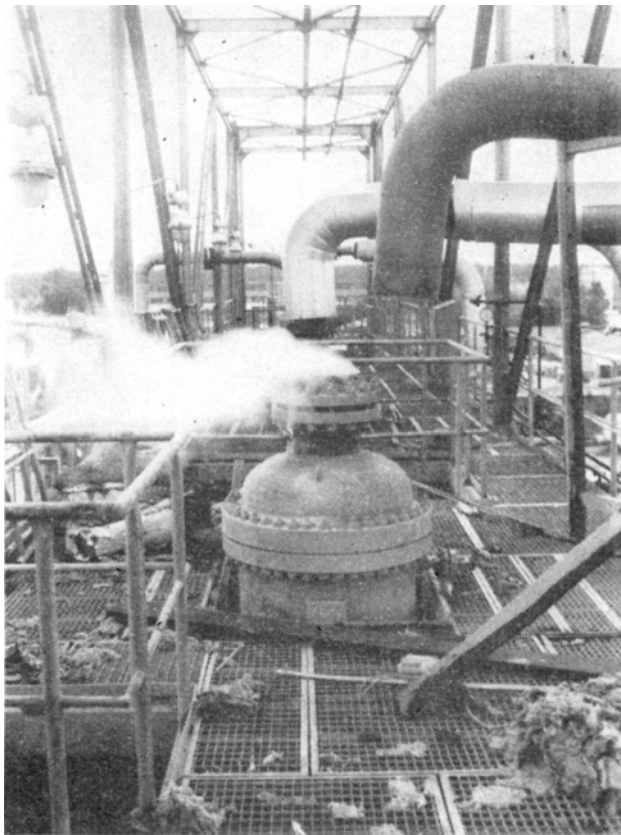


Bild 1:  
Zuleitungsrohr vom  
Flansch abgerissen  
(entnommen aus [6])

Die Rissbildung hatte sich entlang der Schmelzlinie auf Seiten des 15Mo3-Flansches eingestellt.

Die Wurzel hängt durch. Die Naht gleicht einen leichten Querschnittssprung zur Seite des Flansches aus. Weiterhin nimmt der Querschnitt dort stetig zu (Bild 2).

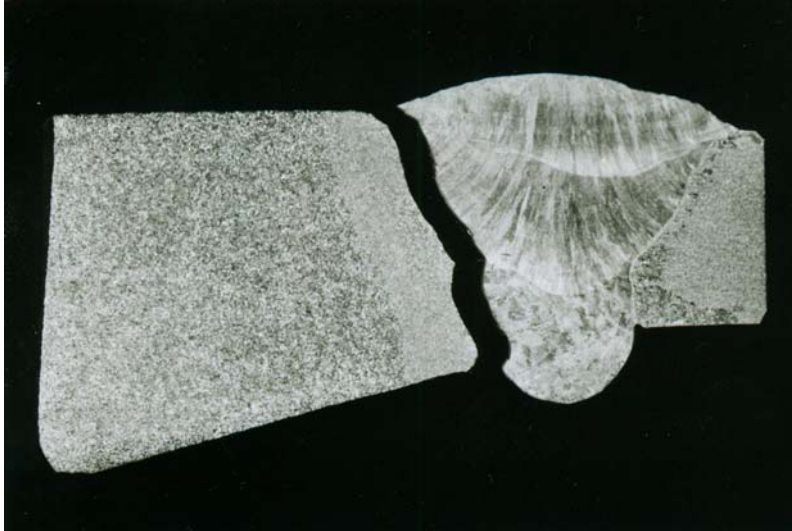


Bild 2:  
Riss folgt der  
Fusionslinie  
zwischen  
CrNi-Schweißgut  
und 15Mo3-Flansch.  
Wurzeldurchhang;  
Sprung und weitere  
Zunahme des  
Querschnittes auf der  
Flanschseite.  
(Aufnahme:  
ZIS Halle)

Auf der Bruchfläche bildet sich anhand einer gewissen Narbigkeit ebenfalls der Verlauf der Fusionslinie ab. Der Riss-Start erfolgte an der Wurzel. Ein schmales Restbruchgebiet hat sich an der Decklage eingestellt (Bild 3).

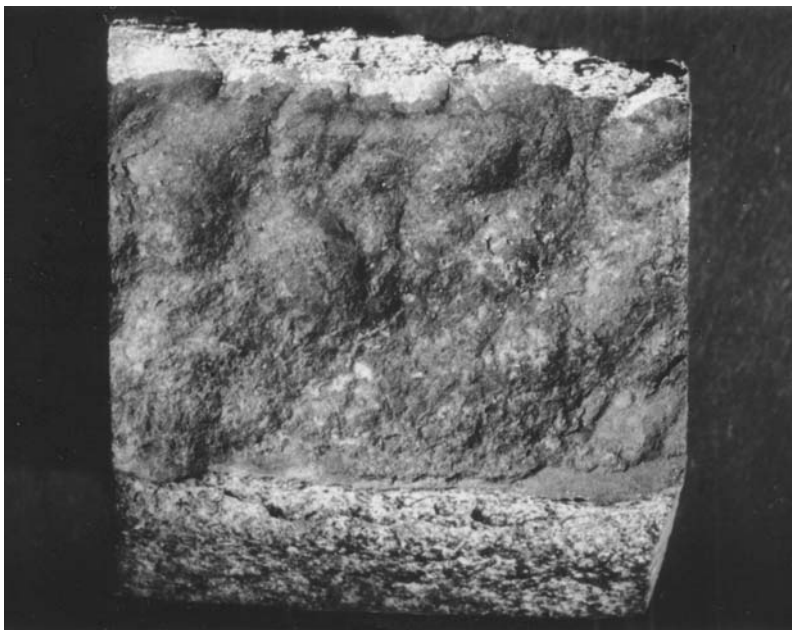


Bild 3:  
nahtseitige  
Bruchfläche;  
Narbigkeit als Abbild  
des Schweißgutes,  
schmales  
Restbruchgebiet oben  
(in der Decklage)

Im REM zeigte das Bruchgefüge eine feine (transkristalline) Facettenstruktur, die nur wenig in die Tiefe ausweicht (Bild 4 und Bild 5).

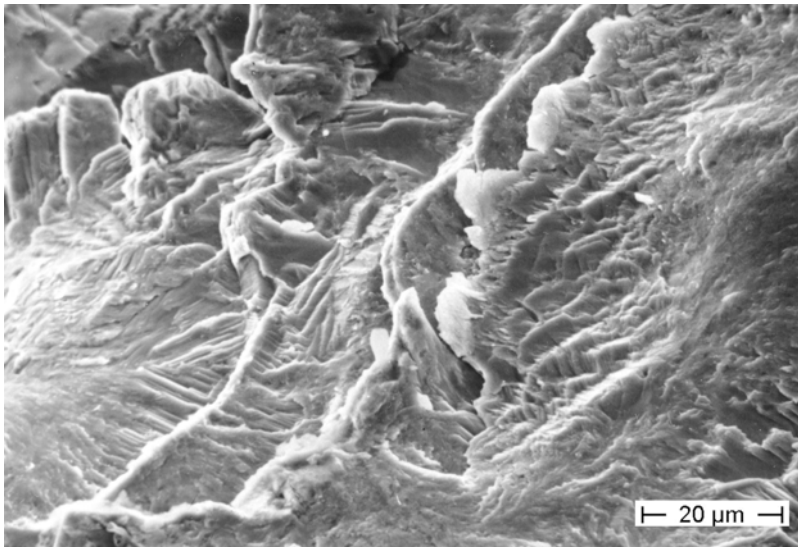


Bild 4:  
flache Facetten

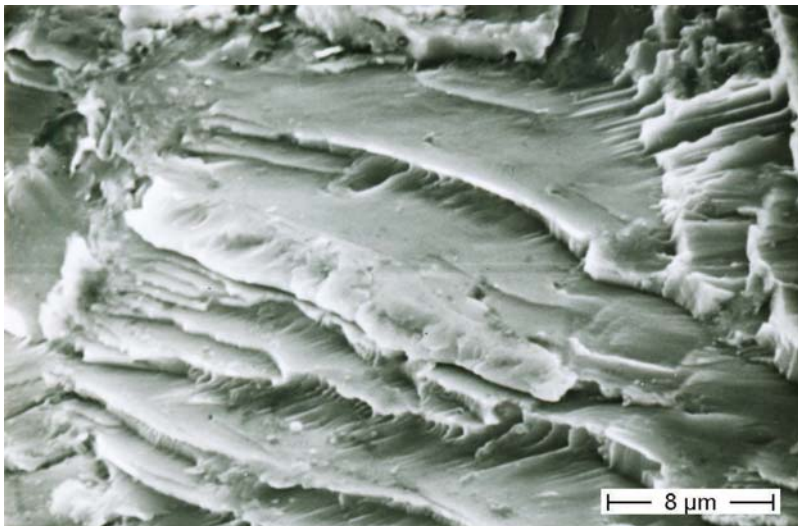


Bild 5:  
besser ausgeprägte  
Facetten

Die Breite der Legierungs- bzw. Aufhärtungszone wurde von [6] mit 40 µm ermittelt [5].

Da der Querschnitt auf Seiten des 15Mo3-Flansches leicht springt und dann stetig zunimmt, ergeben sich sogenannte Zusatzspannungen.

### **Fall B: Rissbildung an Wärmetauscher für Synthesegas**

Das Synthesegas (Ammoniak plus Wasserstoff) durchströmt die Rohre, die aus dem Stahl 10CrMo9-10 gefertigt wurden. Das Kühlmittel (Wasser) befindet sich außen (im Behälterraum).

Der Rohrboden wurde mit Stahl CrNi 18-8 plattiert. Die Rohre wurden mittels Inconel (NiCr20Mo9Nb) mit der Plattierung verschweißt.

Die Temperatur des Gases betrug 450°C; der Druck 23 MPa.

Die erste Undichtheit wurde nach 6 Monaten bemerkt, der Ausbau erfolgte nach 18 Monaten.



Bei der Untersuchung des Leckbereiches mit dem REM fand sich ausschließlich Korngrenzenbruch (Bild 6 - Bild 8).

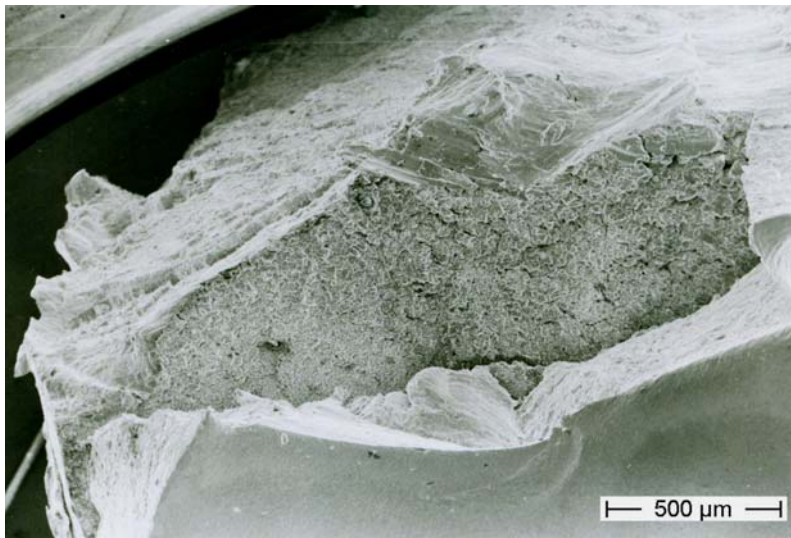


Bild 6:  
Übersichtsaufnahme  
des Leckbereiches

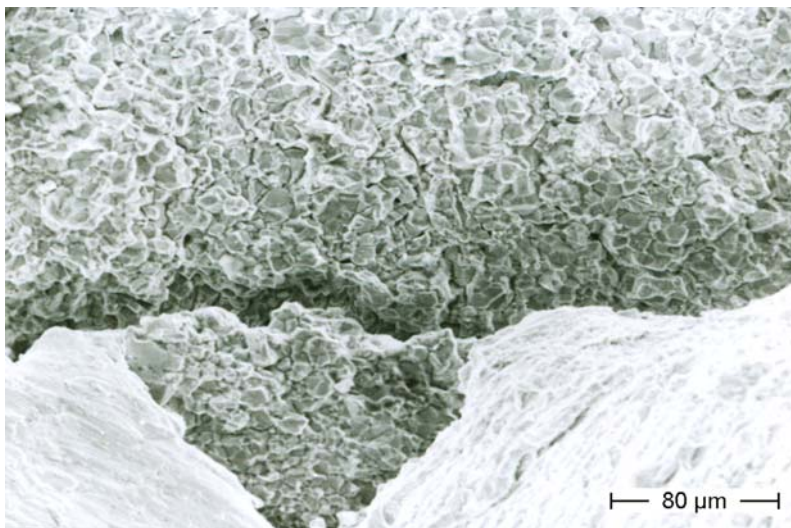


Bild 7:  
Körnigkeit  
angedeutet  
(Ausschnitt aus  
Bild 6)

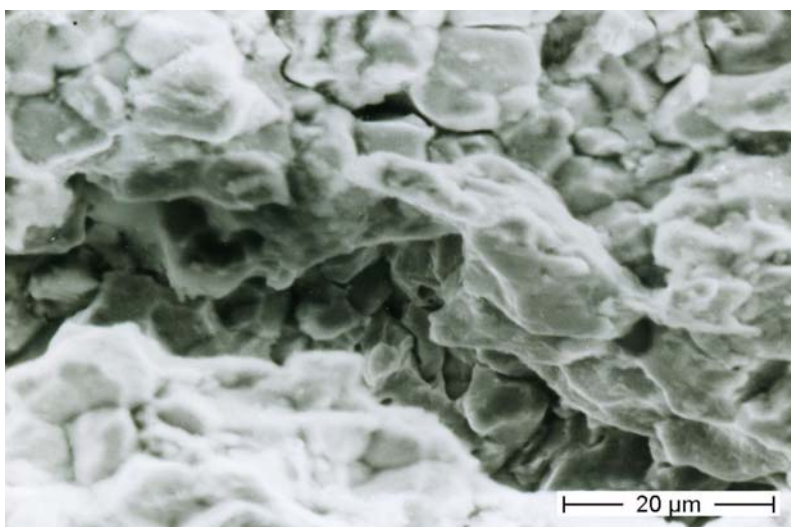


Bild 8:  
freigelegte  
Korngrenzflächen  
(Ausschnitt aus  
Bild 7)

## Diskussion

Mit einer feinen (transkristallinen) Fächerstruktur im Fall A und freigelegten Korngrenzflächen im Fall B fand sich erwartungsgemäß das Bruchbild der Wasserstoffversprödung.

Infolge Auflegierens ergibt sich auf der Seite des „Schwarzstahles“ eine Aufhärtungszone. Die Beladung mit Wasserstoff erfolgt bei Betriebstemperatur, das Risswachstum nach dem Auskühlen in der Aufhärtungszone.

Im ersteren Fall könnten Zusatzspannungen ausschlaggebend gewesen sein.

Weitere Ausführungen zum Thema finden sich in [7] - [9].

## Literatur

- [1] „Umschau“. Werkstoffe und Korrosion 41 (1990), S. 291-300
- [2] Thielsch, H.: Fehler und Schäden an Druckbehältern und Rohrleitungen. Vulkan-Verlag Dr. W. Classen, Essen 1967
- [3] Pohle, C.: Schweißverbindungen zwischen unlegierten Baustählen und austenitischen Chrom-Nickel-Stählen für Betriebstemperaturen bis zu 400 °C. DVS-Berichte 90 (1984) S. 81-88
- [4] Pohle, C.; Langer, E.-M.: Mikrohärtmessungen im Schmelzlinienbereich zwischen Kohlenstoffstahl und austenitischem Schweißgut. Schweißen und Schneiden 38 (1986) S. 315-320
- [5] Risch, K.: Wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion an der Schmelzgrenze zwischen einem niedriglegierten Stahl und hochlegiertem Schweißgut. Werkstoffe und Korrosion 38 (1987) S. 590-596
- [6] Kahle, H.; Wendt, W.: Schweißverbindungen zwischen ferritischen und austenitischen Stählen – Schadensfälle. Schweißtechnik (Berlin) 38 (1988) S. 548-551
- [7] Pohle, C.: Belastbarkeit von Austenit-Ferrit-Mischverbindungen in Chemieanlagen mit Betriebstemperaturen unter 400 °C. Schweißtechnik (Berlin) 39 (1989) S. 508-511
- [8] Pohle, C.: Eigenschaften geschweißter Mischverbindungen zwischen Stählen und Chrom-Nickel-Stählen. DVS-Verlag Düsseldorf: 1994
- [9] Schabereiter, G. u. a.: Schweißverbindungen zwischen hochlegierten CrNi-Stählen und niedriglegierten Stählen. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 129 (1984) S. 1-7