

Heinz Maaß, Martin Möser und Manfred Gliese

Querrissbildung in den Rundnähten eines Heißwassererzeugers – Ursachen und Gegenmaßnahmen

Dipl.-Ing. Heinz Maaß, ZIS Halle

Dipl.-Ing. Martin Möser, AdW der DDR, Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie Halle

Dipl.-Ing. Manfred Gliese, VEB Chemie- und Tankanlagenbau Fürstenwalde

ZIS-Mitteilungen 31 (1989) H. 8, S. 807-812

Bei der Revision eines Heißwassererzeugers HWE (Ø 2000 mm, 20 mm Wanddicke, rd. 8500 mm lang) aus 19Mn5, wurden innen Querrisse in allen Rundnähten festgestellt in dem Bereich, der wasserbenetzt ist. Schadhafte Wandungsteile wurden zur Untersuchung herausgetrennt mit dem Ziel, die Rissursachen zu ermitteln und Gegenmaßnahmen abzuleiten. Darüber wird berichtet.

1. Sachverhalt und Aufgabenstellung

Der Heißwassererzeuger HWE wurde 3 Jahre mit 1,8 MPa und 210 °C betrieben, konstante Fahrweise mit einem An- und Abfahrvorgang pro Woche, d. h. effektive Lastzyklenzahl rd. 150. Bei der Revision wurden Querrisse in allen Rundnähten festgestellt in dem Bereich, der innerhalb des Wasserstandes liegt. Der HWE wurde außer Betrieb genommen und schadhafte Bereiche zur Untersuchung herausgetrennt mit den Schwerpunkten:

- Rissursachenermittlung und Gegenmaßnahmen
- Schweißtechnologie und notwendige Modifizierungen
- Schlussfolgerungen für den Weiterbetrieb der HWE.

2. Bauteildaten

Die wesentlichen Einzelheiten des HWE sind im Bild 1 schematisch dargestellt und wie folgt ergänzend zu beschreiben: Tragpratzen beiderseitig mittig angeordnet.

V-Naht, Öffnungswinkel 50° +5/-0;

Naht 1: V-Naht nach innen, 3 Lagen von innen, Kapplage von außen, beiderseitige UP-Schweißung (Pie 12 UPS, 10Mn4).

Naht 2 (Behältermitte): V nach außen, Kapplage innen („Montagenaht“),

E-Handsweißung E 43 4 B 110 20 H-Garant.

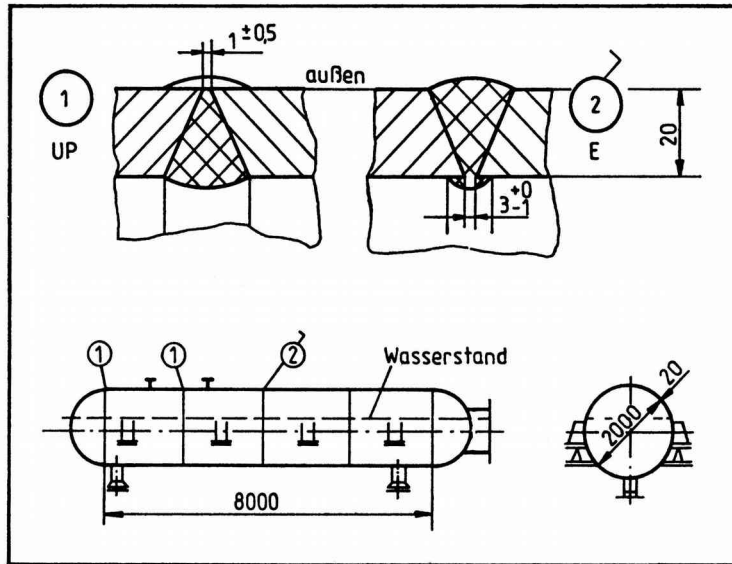


Bild 1: Heißwassererzeuger (schemat.) mit Hauptabmessungen und Schweißnahtangaben, Werkstoff 19Mn5

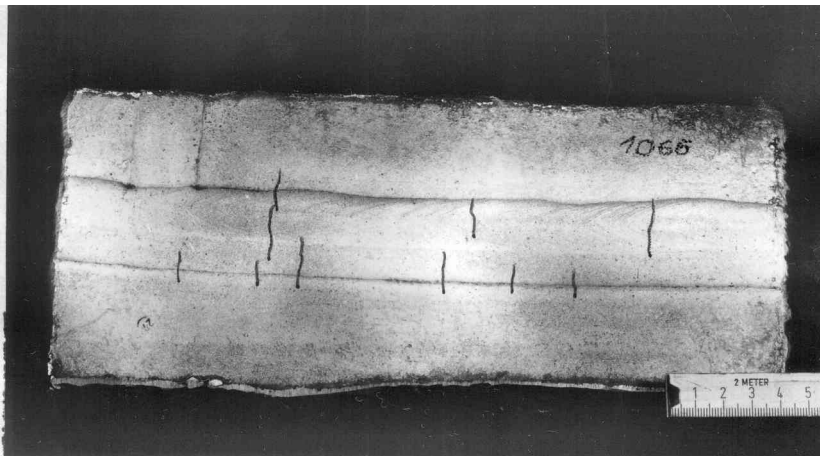


Bild 2: Herausgetrennter Schadbereich mit den typischen Rundnaht-Querrissen, Behälter-Innenseite (Foto: TÜ-WTL [1], Risse nachgezogen)

3. Lösungsweg

Zur Lösung der Teilprobleme wurden u. a. folgende Arbeiten durchgeführt:

- Fotodokumentation des Schadensbildes
- Metallografische Prüfung
- Fraktografische Prüfung (Rasterelektronenmikroskopie REM)
- Recherche zur Schweißtechnologie
- Recherche zum internationalen Stand der Technik

Die Wiedergabe beschränkt sich in den Ergebnissen auf die wesentlichen Aussagen.

4. Untersuchungs- und Prüfergebnisse

4.1. Schadensbild

Bild 2 zeigt das typische Schadensbild eines heraus getrennten Schadbereiches, d. h. Querrisse an der Innenwandung des HWE über die Rundnaht und in den Grundwerkstoff. Einer der Querrisse wurde ausgewählt und gewaltsam aufgebrochen.

Im Bild 3 ist zu erkennen, wie sich, von innen ausgehend, die „Alt-Anriss“- und korrodierte Fläche (dunkel) der ersten UP-Innennähte deutlich gegen die von außen geschweißten UP-Nähte (helle Gewaltbruchfläche) abgrenzt.



Bild 3: Aufgebrochener Querriss dunkel: „Alt-Anriss“- Fläche, innen
hell: Restquerschnitt Gewaltbruch (Foto: ZIS Halle [2])



Bild 4: *Eingeschweißter Stutzen DN 80, Ansicht von der Behälterinnenseite, mit Anrissen (Foto: ZIS Halle [2])*

In gleicher Weise ist Bild 4 auszuwerten, die Schädigung über die Schweißnaht am eingeschweißten Stutzen an der Behälterinnenwandung, die nur an den Stutzen im wasserberührten Bereich auftrat, in Übereinstimmung mit den Feststellungen aus der Literatur, worauf im nächsten Abschnitt eingegangen wird.

Bild 5 zeigt den Lagenaufbau der UP-geschweißten Rundnaht I im Makroschliff aus einem ungeschädigten Bereich.

Aus der REM-Prüfung wird auszugsweise Bild 6 wiedergegeben (Übersicht). Es zeigt im helleren Bereich M oben links Magnetit, im dunkleren Bereich R unten rechts den Restbruch, Rissausbreitungsrichtung M nach R. Das Bruchgefüge wird als wasserstoffbedingt erkannt.

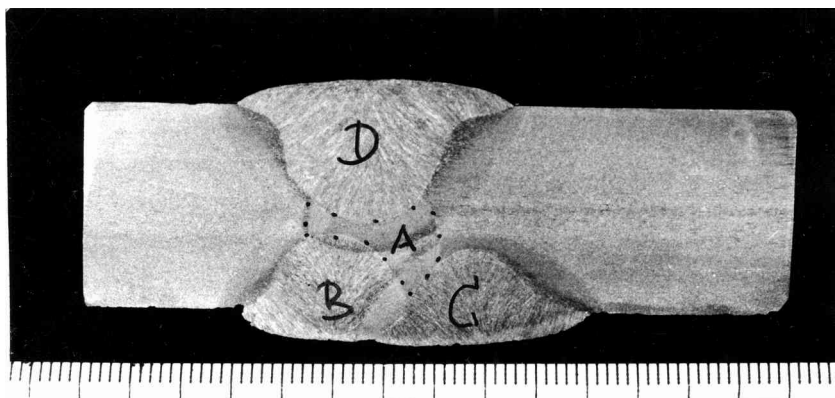


Bild 5: *Makroschliff UP-Naht, Lagenaufbau A, B, C innen, D Kapplage von außen (Foto: TÜ-WTL [2])*

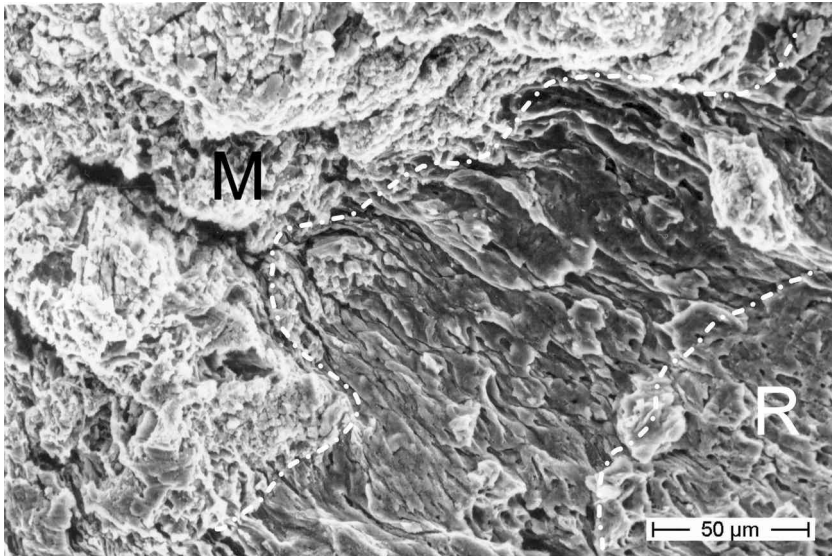


Bild 6: REM-Aufnahme, Übersicht, $V = 400:1$
heller Bildteil: Magnetit (oben links)
dunkler Bildteil: Restbruch (unten rechts) entsprechend
Rissausbreitungsrichtung (Foto: AdW, IFE Halle [3])

4.2. Schweißtechnologie

Die schweißtechnischen Angaben liegen beim Hersteller in allen Einzelheiten vor, sie entsprechen hinsichtlich UP- und E-Schweißung, Werkstoff und Wanddicke dem geltenden Stand der Technik [4] und sind für den Regelfall ohne Beanstandungen. Notwendige Modifizierungen ergeben sich aus den Erkenntnissen der Rissursachenermittlung.

4.3. Literaturangaben zur Schädigungsart

Über die dokumentierte Querrissbildung war zum Untersuchungszeitraum wenig bekannt. Effertz u. a. [5] beschreiben zwei artähnliche vergleichbare Schäden, verursacht durch „*dehnungsinduzierte* Spannungsrisskorrosion“, als deren mögliche Mechanismen werden sowohl anodische Auflösung als auch Wasserstoffversprödung genannt.

Nach den Erfahrungen bei Untersuchungen zur Wasserstoffversprödung [6, 7] wird diese als die wahrscheinlichere Möglichkeit angesehen, auch wenn die typische „Fischaugen“-Bildung als absolut sicheres Kennzeichen bei den untersuchten Proben des HWE nicht festgestellt wurde.

Von Bauteilen in Kesselanlagen ist die „*spannungsinduzierte* Korrosion“ bekannt, u. a. [5, 7, 8]. Sie tritt nach Lastzyklenzahlen von 500 bis 1000 An- und Abfahrvorgängen auf, d. h. nach längeren Betriebszeiten, und wird wie folgt erklärt: Die sich auf der Innenwandung ausbildende Magnetit-Schutzschicht ist nicht so elastisch wie der Stahl. Sie reißt auf, wenn die Wandung sich ausdehnt, insbesondere bei schnellen Temperaturänderungen. Bei wiederholtem Vorgang bildet sich bei dieser Rissstelle mit der Zeit eine tiefe Korrosionsmulde, von der aus ein Ermüdungsriss startet. Deutliche Korrosionsnarben kennzeichnen dementsprechend die Innenwandfläche.

Dieser Effekt tritt vorzugsweise an exponierten Stellen auf, wo hohe Belastungsspannungen durch örtliches Fließen abgebaut werden. Charakteristisch dafür sind z. B. die gefürchteten Lochkantenrisse und diesbezügliche Schädigungen in Rohrbögen. Schweißnähte sind kaum betroffen.

Das ist aber gerade beim vorliegenden HWE der Fall, obwohl die vorstehend beschriebenen „Auslöser“, d. h. (örtliche) Lastspannungen aus dem Innendruck, Dehnungen durch Temperatur-Wechselbeanspruchung und höhere Lastzyklenzahlen fehlen. Danach ist zu schlussfolgern, dass die Eigenspannungen der Schweißnaht, überlagert durch die Belastungsspannung, hauptsächlich für die Rissbildung verantwortlich sind. Diese hohen Eigenspannungen wurden bei einem vergleichbaren Fall in [5] röntgenografisch nachgewiesen.

Unbestritten ist ebenso der notwendige zusätzliche Einfluss von Wasserstoff, mit der REM-Prüfung mikrofraktografisch nachgewiesen [3]. Der Wasserstoff kann von der Metalloberfläche während der Dehnung direkt aus dem Wasser abgespalten werden als sog. Triboprozess, ohne dass eine merkliche Korrosion notwendig wäre [7, 9].

Der Bericht von Bolton [10] kann ebenfalls zur Auswertung mit herangezogen werden. Danach sind in den USA 1983 zahlreiche Schäden an artähnlich betriebenen Bauteilen aufgetreten, einige als folgenschwere Havarien mit tödlichem Personenschaden, in den Niederlanden wurden 1985 erste diesbezügliche Schädigungen bekannt, deren Erscheinungsbild und Ursachenbeschreibung in maßgebenden Einzelheiten mit denen des HWE übereinstimmt.

Als wichtigste Schlussfolgerungen von über 100 Bauteilüberprüfungen werden angegeben:

- von den inspizierten Bauteilen waren 65 % geschädigt, 50 % davon reparabel,
- das Bruchauftreten ist unabhängig von Herstellung, Bauteil, Werkstoff und Innendruck, aber immer im wasserbenetzten Bereich,
- es besteht kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Rissbildung und Bauteilalter bzw. Betriebsdauer,
- fachgerechte Reparaturschweißung ist möglich, aber es treten erneute Fehlstellenbildungen auf,
- verkürzte Inspektionsfristen.

5. Auswertung und Gegenmaßnahmen

Es kann als gesichert angesehen werden, dass die Rissbildung im untersuchten HWE durch dehnungs- bzw. spannungsinduzierte Korrosion verursacht wurde. Als maßgebende Einflüsse kommen hohe Eigenspannungen der Rundnaht in Verbindung mit der Betriebsbeanspruchung und Wasserstoffeintrag in Betracht. Zur Verringerung der Eigenspannungen wurde die Schweißtechnologie durch folgende Gegenmaßnahmen modifiziert:

- Schweißen mit reduzierter Streckenenergie,
- Verringerung des Schweißgut-Eintrags,
- Spannungsarmglühen nach dem Schweißen.

Alle in Betrieb befindlichen HWE wurden umgehend inspiziert, geschädigte Bauteile nicht weiterbetrieben. Bei Neuanfertigung wurde die Konstruktion so geändert, dass das komplette Bauteil abschließend spannungsarm gegläht wird. Eine weitere Gegenmaßnahme bestände darin, innen auf der Nahtoberfläche durch Kugelstrahlen Druckspannungen zu erzeugen. Diese Möglichkeit war z. Z. nicht gegeben. Es wurden verkürzte Revisionstermine festgelegt.

Literatur

- [1] TÜ-Prüfbericht Nr. 294/86 vom 21. 10. 1986, WTL (unveröffentlicht)
- [2] „Ursachenermittlung ...“. ZIS-Schreiben vom 11. 6. 1987 (unveröffentlicht)
- [3] „Rissbildung ...“. Schreiben der AdW, IFE Halle, vom 3. 11. 1986 (unveröffentlicht)
- [4] Schäfer, G.: ZIS-Richtlinie R 1.02-88 Schweißen von Stahl, Anwendung – Zusatzwerkstoffe – Wärmebehandlung
- [5] Effertz, P.-H., Forchhammer, P., Hickling, J.: Spannungsrissskorrosion an Bauteilen in Kraftwerken – Mechanismen und Beispiele. VGB Kraftwerkstechnik **62** (1982) 5, S. 390-408
- [6] Möser, M., (Oehmigen, G.): Bruch durch Wasserstoff – Kaltrissigkeit. Schweißtechnik, Berlin **34** (1984) 5, S. 198-199 und 11, S. 521-524; **35** (1985) 1, S. 45-47 und 3, S. 140-143
- [7] Möser, M.: Ermüdung in wasserstoffhaltiger Umgebung. In: Proceedings of the 7th International Colloquium on Mechanical Fatigue of Metals. Miskolc (Hung.) 1983; Publications of the Technical University, Series C (Machinery), Vol. 39, S. 57-80, Miskolc 1983

- [8] *Krägeloh, E., Navab-Mothlag, M. M.*; Spannungsinduzierte Korrosion an deckschichtgeschützten Metallen. *Z. Werkstofftechnik, Weinheim* **9** (1978) 9, S. 400-406
- [9] *Wandke, E., Lippmann, B., Möser, M.*; Zur Rolle des Wasserstoffs bei Strahl-Verschleißbeanspruchung. *Schmierungstechnik, Berlin* **17** (1986) 6, S. 174-178
- [10] *Bolton, I. G.*: Investigation into the Cause of Cracking in Deaerators in order to minimize the Risk of Collapsing. In: *Proceedings of the 7th European Conference on Fracture, Budapest, Hungary, 1988; Failure Analysis – Theory and Practice, Volume (I)*, S. 378-382