

Fraktographische Analyse von Schäden

Möser, M.; Schmidt, V.; Proc. 7th Congr. Materials Testing, Budapest 1978, Vol. II, p. 851-855
(Originaltitel: Fractographic analysis of failures)

Durch Einführung des Rasterelektronenmikroskops (REM) ist die Fraktographie zu einer nützlichen Methode für die Untersuchung von Werkstoffen bzw. die Aufklärung von Schadensfällen geworden. Im Folgenden werden vier vergleichsweise ungewöhnliche Schadensbeispiele gebracht (Relaxationsrissigkeit, Heißrisse an Schweißungen, Heißrissbildung beim Schmieden und Spannungsrisskorrosion an austenitischem Manganstahl).

1. Relaxationsrissigkeit an einer Dampfleitung

Eine Heißdampfleitung riss wenige Tage nach Inbetriebnahme neben der Längsschweißnaht auf. Ausgegangen war der Hauptriss von Anrissen in der Wärmeeinflusszone, die ihren Ausgang unmittelbar neben der Schmelzlinie (Grobkornzone) hatten. Auf der gegenüberliegenden Seite der Naht wurden ebenfalls Risse gefunden (Bild 1). Die Bruchfläche war teilweise verzundert, doch konnten wir mit dem REM an einigen Stellen sehen, dass die Struktur interkristallin ausgebildet war und die Korngrenzflächen mit feinen Waben bedeckt sind (Bild 2).

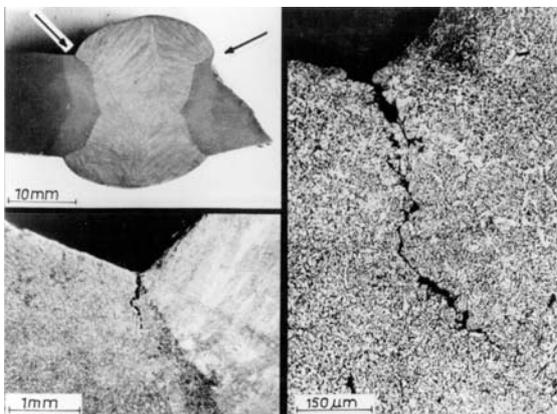


Bild 1: Interkristalline Rissbildung nahe der Schmelzlinie; starke Überhöhung der Schweißnaht

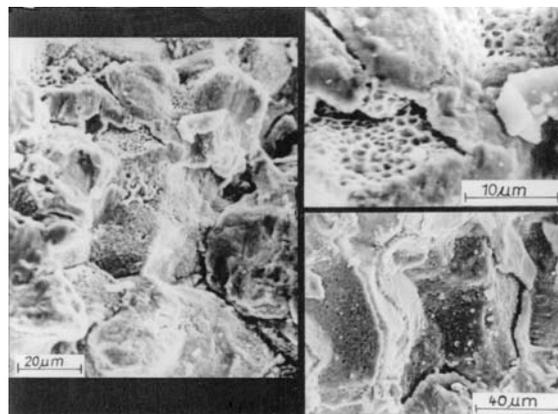


Bild 2: Riss geöffnet: feine Waben auf den Korngrenzflächen (oben rechts)

Die Lage der Risse und die Struktur der Rissflächen sind typisch für Relaxationsrisse, auch als Wiedererwärmungsrisse bezeichnet. Solche Risse entstehen hauptsächlich beim Spannungsarmglühen [1, 2]. Es wird u. a. angenommen, dass in der Grobkornzone neben der Schmelzlinie die Karbide beim Schweißen in Lösung gehen und sich beim Spannungsarmglühen feindispers wieder ausscheiden. Letzteres führt zu einer starken Verfestigung der primären Austenitkörner. Die Kriechvorgänge beim Spannungsarmglühen müssen sich auf den nur etwa 0,3 μm breiten ausscheidungsfreien Bereich entlang

der ehemaligen Austenitkorgrenzen beschränken. Dabei werden feine Poren gebildet, die sich zu einem Rissnetzwerk vereinigen.

Es ist bekannt, dass die Relaxationsrisse an Stellen entstehen, wo sich der Querschnitt der Leitung ändert (Spannungskonzentration). In unserem Fall wirkte die Überhöhung der Naht in diesem Sinne. Weiterhin stellte sich heraus, dass das Rohr gar nicht spannungsarm gegläht worden war. Der Abbau der Eigenspannungen und somit die Rissbildung liefen dann erst ab, als die Leitung in Betrieb genommen wurde.

2. Heißrissbildung durch das Schmelzen von Sulfiden beim Schweißen

An der Schweißung eines höherfesten Baustahls wurden interkristalline Risse gefunden, die sich von der Wärmeeinflusszone über die Schmelzlinie (Fusionslinie) in das Schweißgut erstreckten. Die Risse wurden aufgebrochen. Im Grundwerkstoff fanden sich Anhäufungen von flachen Einschlüssen (Bild 3). Die Einschlüsse wurden mittels EDAX (energiedispersive Mikroanalyse) im Wesentlichen als Sulfide bestimmt (Fe, MnS). Im Bereich der Fusionslinie waren die Sulfideinschlüsse teilweise oder ganz aufgeschmolzen worden. Die Sulfidschmelze hatte farnartige Strukturen ausgebildet (Bild 4). Sowohl diese „Sulfidverspritzungen“ als auch die Risse selbst können nur unter der Einwirkung von Spannungen entstehen, hier gegeben durch die Schrumpfspannungen [3].

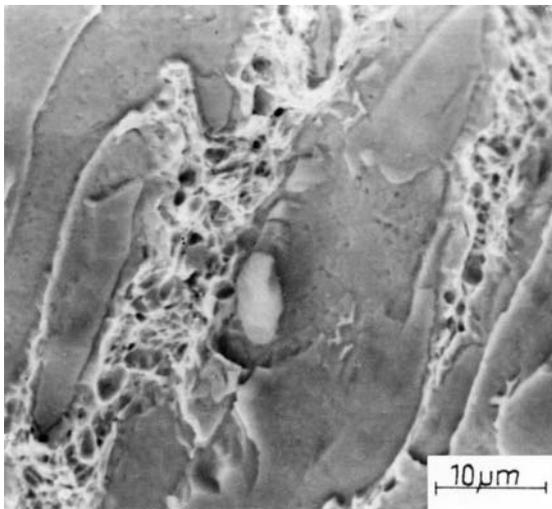


Bild 3: Sulfideinschlüsse im Grundwerkstoff

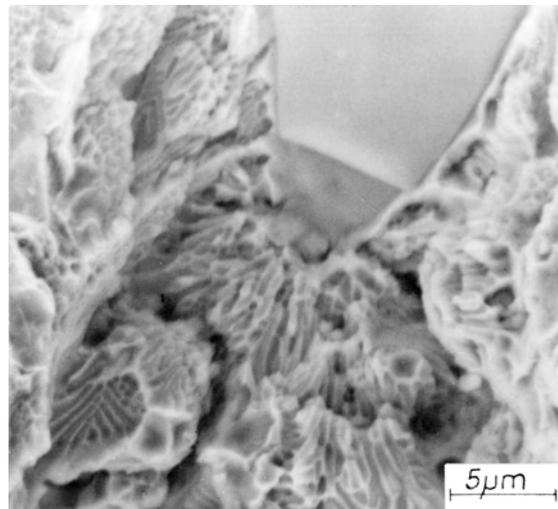


Bild. 4: Teilweise geschmolzener Sulfideinschluss mit farnartigen Strukturen im Bereich der Fusionslinie

3. Heißrissbildung beim Schmieden (Stauchen)

In geschmiedeten Teilen fanden sich Poren und Risse. In der Zone, die am stärksten verformt worden war, erschien die Bruchfläche schon dem bloßen Auge als sehr grobkörnig. Im weniger verformten Gebiet war die Oberfläche kristallin-glänzend; mit dem REM konnte man hier transkristallinen Spröbruch (Spaltbruch) sehen. Im Grobkornbereich war der Bruch interkristallin verlaufen. Die Korngrenzflächen zeigten sich oxidiert. Außerdem waren sie teilweise angeschmolzen worden (unter Ausbildung dendritischer Muster), woraus sich die Porosität ergab (Bild 5).

An einigen Stellen hoben sich die Oxidschalen regelrecht vom Untergrund ab. Auf den Korngrenzen fanden sich weiterhin Sulfide (Fe, MnS), welche farnartige Muster ausgebildet hatten (Bild 6).

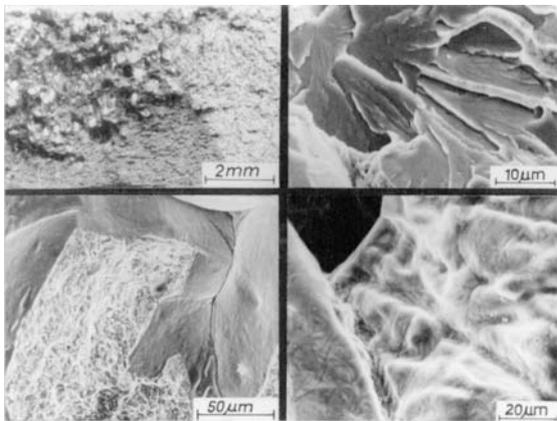


Bild 5: gestauchtes Teil: grobes Korn in der stark verformten Zone, Korngrenzen mit dendritischen Strukturen

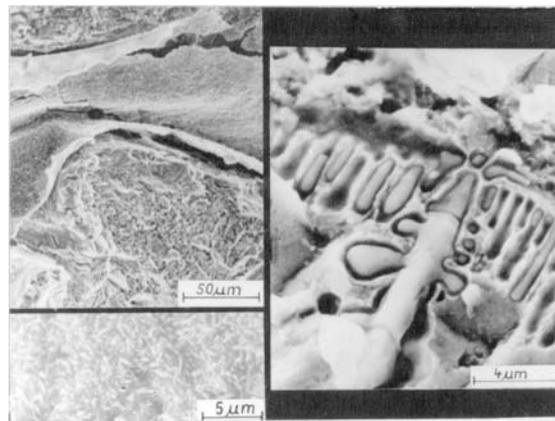


Bild 6: Abblättern von Oxidschalen (links) und farnartige Strukturen von niedrig schmelzenden Sulfiden (rechts)

Es wird angenommen, dass im Falle einer starken Überhitzung der Schwefel zu den Korngrenzen diffundiert und sich dort flüssige Sulfidfilme ausbilden [4]. Das Verspritzen der Sulfide erfolgte dann während des Schmiedens.

Aus der Existenz der Sulfidverspritzungen konnten wir schließen, dass die Teile bei einer Temperatur geschmiedet worden waren, welche nahe einer Schweißfusionslinie vorliegt, das heißt bei etwa 1300 °C, siehe Fall 2.

4. Bruch eines Generator-Endringes

Der Endring eines luftgekühlten Generators („Induktorkappe“) brach während des Betriebes. Solche Ringe werden aus austenitischem Mangan-Chrom-Stahl geschmiedet.

Der Ring war auf die Rotorwelle geschrumpft worden und lag mit beiden Rändern auf (Schrumpfsitze).

Auf der Bruchfläche fanden sich ausgedehnte Scherlippen, nur auf dem ersten Querschnittsdrittel fehlten sie (Bild 7). Scherlippen kennzeichnen den duktilen Gewaltbruch (Verformungsbruch). Für das erste Drittel der Bruchfläche nahmen wir deshalb an, dass es als Folge eines langsam ablaufenden Bruchmechanismus entstanden ist, es sich somit um den Anriss handelt.



Bild 7: Makrodarstellung der Bruchfläche des Endrings

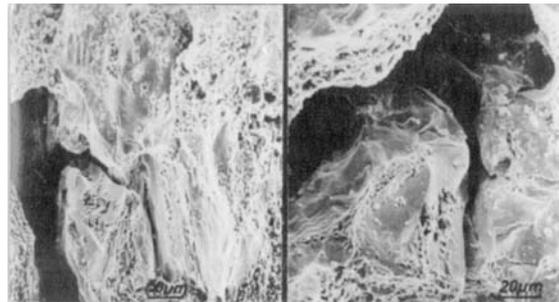


Bild 8: interkristalliner Bruch in der Zone langsamen Risswachstums

Bei der Betrachtung mit dem REM fanden wir dort durchgehend freigelegte Korngrenzen, von denen Sekundärrisse ausgingen (Bild 8).

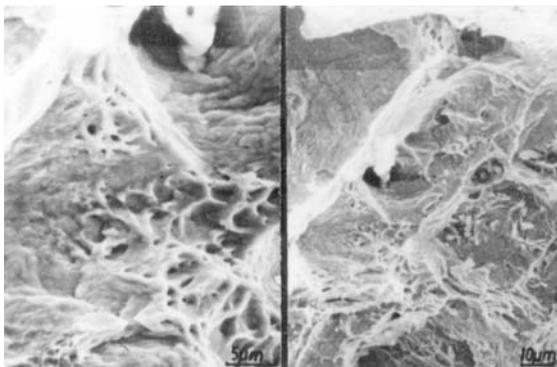


Bild 9: Waben und strukturarme Reißflächen in der Zone des Restgewaltbruches

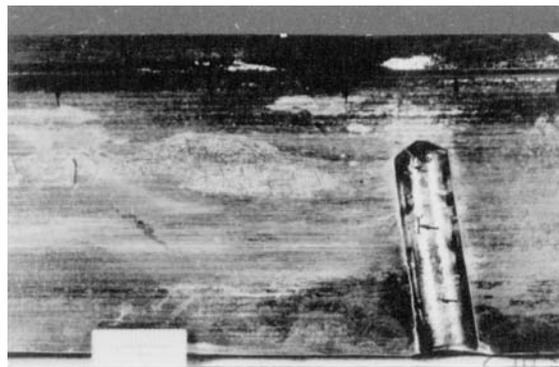


Bild 10: Schrumpfsitzfläche mit Nut, beide mit Zonen von Reibkorrosion [5]

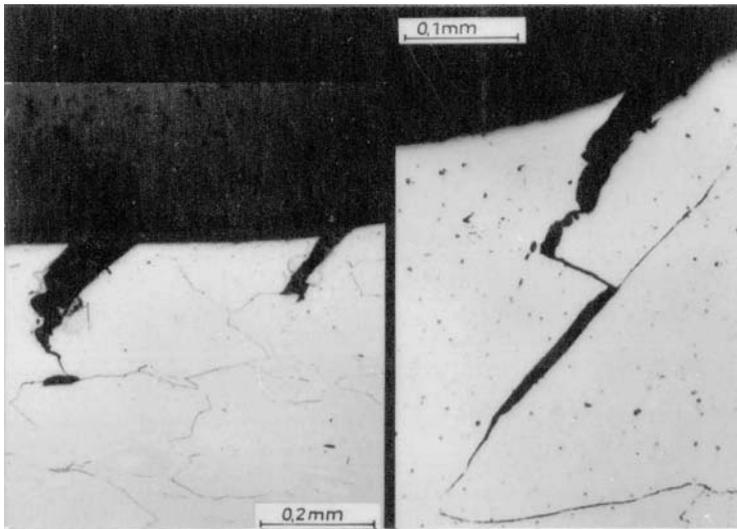


Bild 11: Die Risse (hier unterhalb der Nut) laufen transkristallin bis zur ersten Korngrenze und folgen ihr dann [5].

Es ist bekannt, dass die austenitischen Manganstähle in Nitratlösung stark anfällig gegenüber interkristalliner Spannungsrisskorrosion sind [6, 7]. Wenn sich diese Stähle im sensibilisierten Zustand befinden, dann erfolgt Rissbildung schon unter destilliertem Wasser [8].

Wie in [6, 7] nehmen wir deshalb an, dass der Bruch des Ringes durch Spannungsrisskorrosion ausgelöst wurde. Als Medium diente die Feuchtigkeit der (Industrie-)Atmosphäre, wahrscheinlich in Überlagerung mit Nitraten, die aus der Coronaentladung stammten [6, 7].

Die Auslösung der Spannungsrisskorrosion wurde durch zwei Umstände begünstigt:

- Durch Reibkorrosion hatten sich Risse gebildet.
- Unterhalb der Nuten war der Stahl im Zuge der spanenden Herstellung stark verfestigt worden.

Literatur

- [1] H.-J. Schüller, L. Hagn, A. Woitschek: Der Maschinenschaden 47, 1-13 (1974)
- [2] H. Kreye, I. Olefjord, J. Löttgers: Arch. Eisenhüttenwesen 48, 291-295 (1977)
- [3] E. Schmidtman, G. Wellnitz: Arch. Eisenhüttenwesen 47, 101-106 (1976)
- [4] E. Houdremont: Sonderstahlkunde. Springer-Verlag / Verlag Stahleisen, Düsseldorf (1956) S. 274-277
- [5] Untersuchungsbericht des Staatlichen Amtes für Technische Überwachung
- [6] O. Lissner: ASEA Journal S. 85-91 (1957), auch in E. Pohl „Das Gesicht des Bruches metallischer Werkstoffe“ Allianz Versicherungs-AG München und Berlin, Bd. III, S. 259
- [7] J. G. Parker, G. Wigmore, in „Bruchuntersuchung und Schadenklärung“ Allianz Versicherungs-AG München und Berlin 1976, S. 211-217
- [8] H. Kohl: Werkstoffe und Korrosion 23, 984-993 (1972)