

Transkristalline Spannungsrisskorrosion an Wärmetauscherrohren aus einem Druckwasserreaktor (KKW Rheinsberg)

1. Vorgeschichte

Mit dem Bau eines Kernkraftwerkes bei Rheinsberg nördlich von Berlin begann für die DDR das Zeitalter der Atomenergie. Als Bruttoleistung waren 70 MW geplant. 1966 wurde das Kraftwerk in Betrieb genommen und 1990 stillgelegt.

Ab 1974 wurden die ersten Rohre der Dampferzeuger undicht. Zur Leckbildung war es dort gekommen, wo die Rohre aus der Bodenplatte heraus traten. Die Risse waren quer zur Rohrachse orientiert. Es wurde zunächst angenommen, dass die Rohrbündel schwingen und somit Ermüdung der maßgebende Schadensmechanismus ist.

Übergeben wurde ein Rohrabschnitt mit einem größeren Leck, welches aufgebrochen wurde. Der Leckbereich war in drei Proben aufgeteilt worden. Zwei der Proben wurden untersucht (A, B).

Die Probe A stammte aus dem Randbereich des Risses; Probe B stellte den Bereich des unmittelbaren Durchbruchs dar.

Stahl: X8CrNi18-10, Durchmesser: 16 mm, Wanddicke: 1,4 mm

2. Untersuchungen

2.1 Anlieferungszustand

Probe A

Der Anriss ist grob strukturiert und trägt eine dunkle Oxidschicht. Er hebt sich dadurch vom glatten, blanken Restbruch (Gewaltbruch) ab. Der Anriss ist unter 90° zur Rohrachse orientiert, der Restbruch unter 45° (Scherbruch), siehe Bild 1.

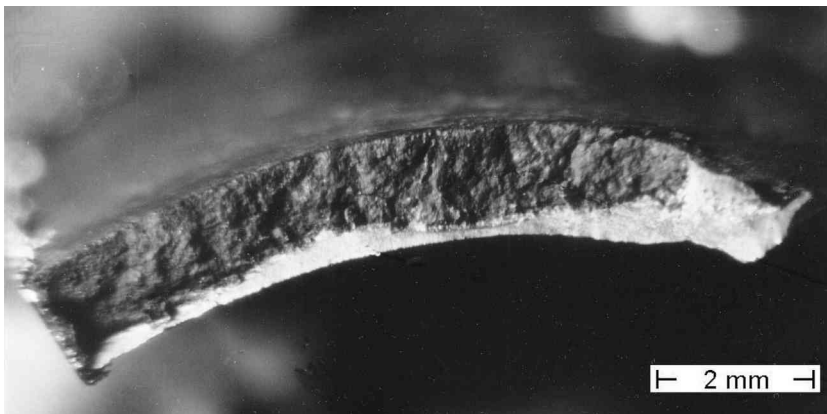


Bild 1:
lichtoptische
Übersichtsaufnahme
vom Probe A; Anriss
dunkel und grob
strukturiert,
Restbruch hell

Die grobe Struktur des Anrisses ist bedingt durch die Ausbildung von Nebenrisse (Bild 2).

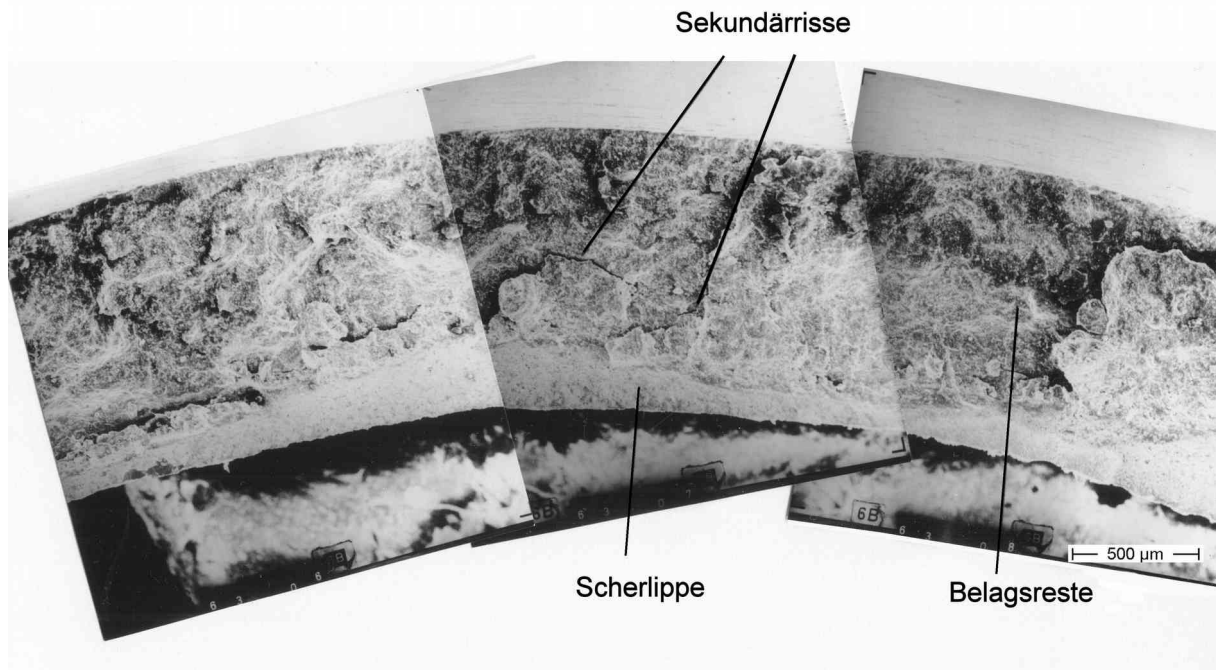


Bild 2: Übersicht mit dem REM; Nebenrisse im Anrissbereich (Ausschnitt aus Bild 1, rechts)

Unmittelbar an den Anriss grenzend, hat der Gewaltbruch ein Wellenmuster ausgebildet. Die restliche Gewaltbruchfläche ist durch die Ausbildung von Waben geprägt, welche einseitig verstreckt sind (Scherwaben), siehe Bild 3.

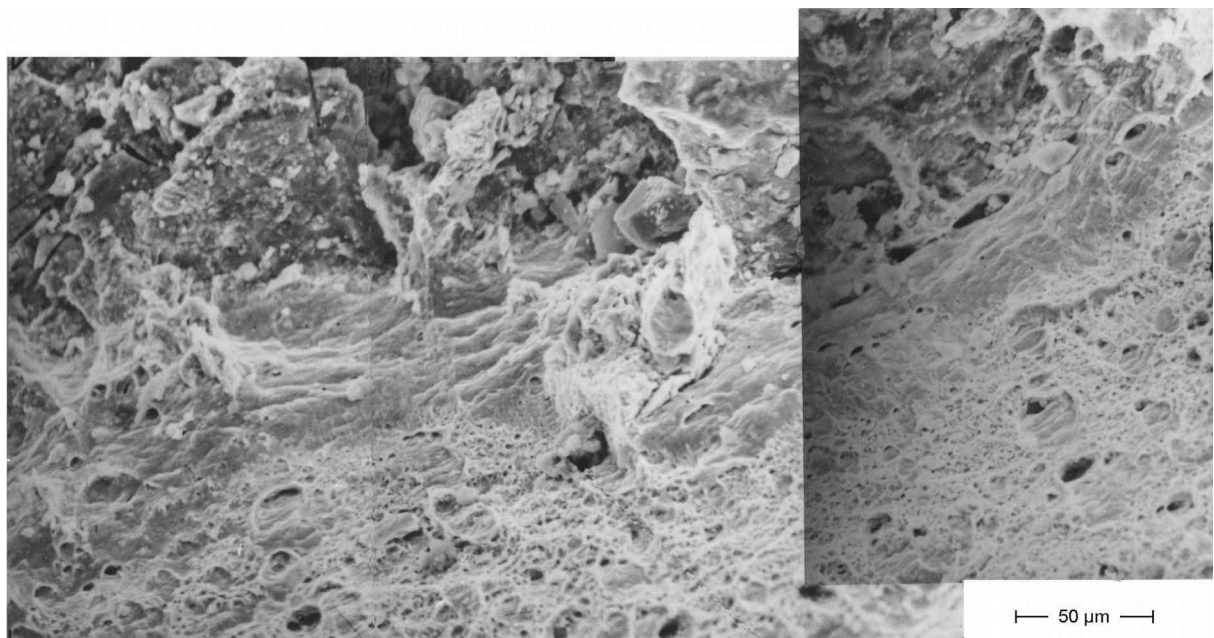


Bild 3: wellige Strukturen im Übergang vom Anriss zum Restbruch, dann Scherwaben

Probe B

Der Innenrand des Rohres war auf einer Breite von etwa 200 μm belagsfrei und unter 90° zur Achse orientiert. Schon bei der lichtoptischen Durchmusterung wurde ein Feld von feinen Linien erkennbar, welche ein Risswachstum kennzeichnen, das etappenweise erfolgte (Rastlinien), siehe Bild 4 und Bild 5. Der Restquerschnitt wurde somit durch Ermüdung aufgetrennt.

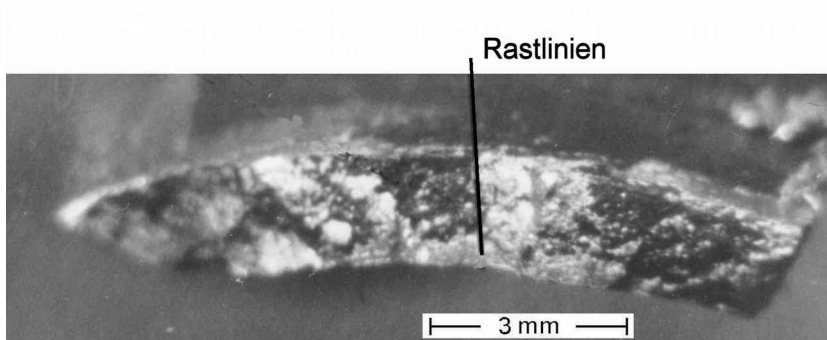


Bild 4:
Probe B,
Übersicht,
blanker Streifen
am Innenrand.
dort Linienfeld

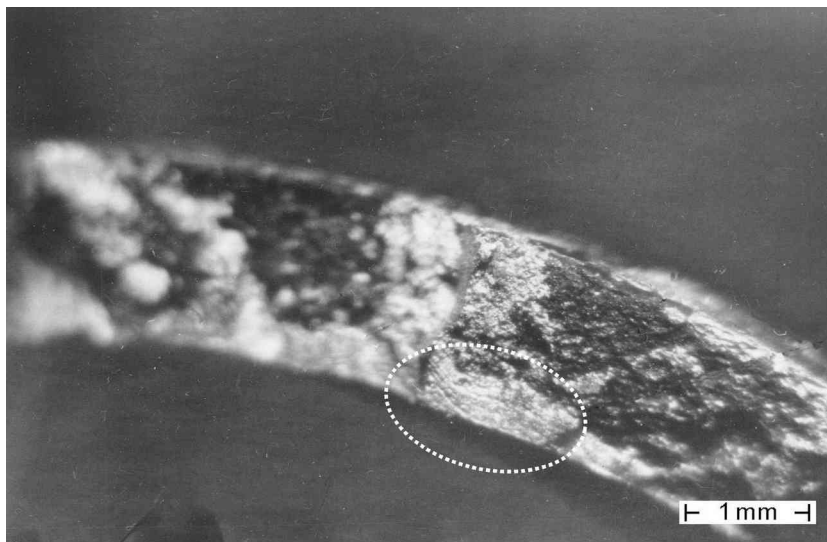


Bild 5:
Rastlinienfeld
markiert, so weit
es im Fokus liegt
(Ausschnitt aus
Bild 4)

Die Betrachtung des Rastlinienfeldes mit dem REM ergibt, dass es eine Länge von etwa 4 mm aufweist. Es hatte relativ große Höhengsprünge auszugleichen (Bild 6).

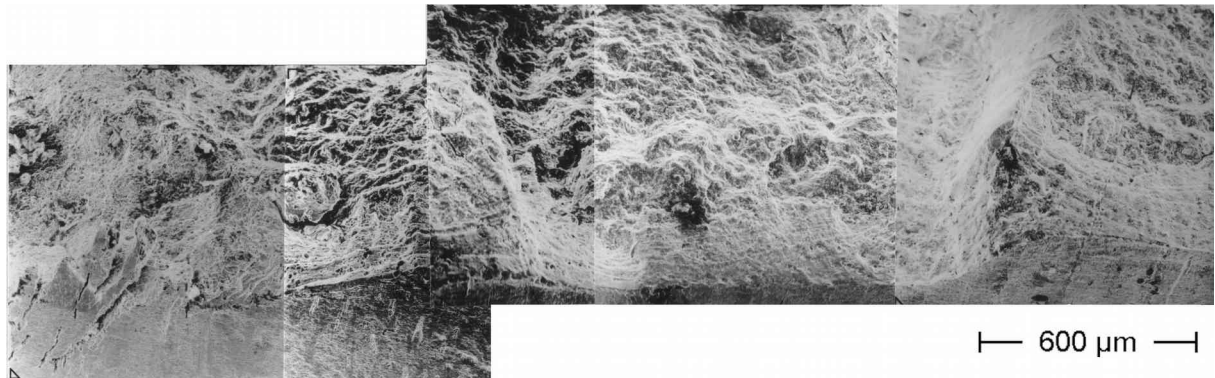


Bild 6: Rastlinienfeld in der Länge von etwa 4 mm, größere Höhengsprünge (Ausschnitt aus Bild 5)

Die Breite der Streifen beträgt etwa 20 µm (Bild 7).

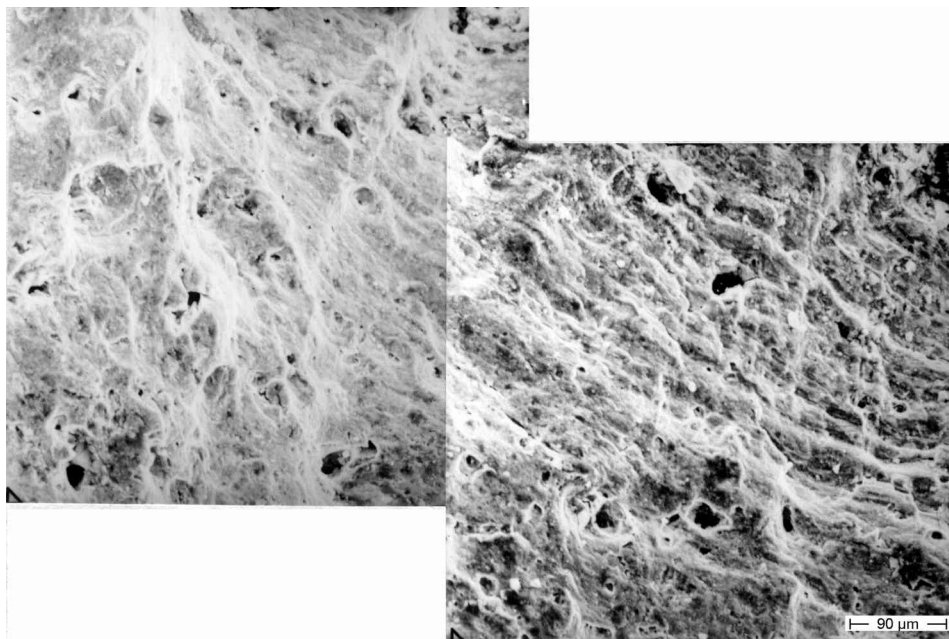


Bild 7:
Streifenbreite
etwa 20 µm
(Ausschnitt aus
Bild 6)

2.2 Zustand nach Reinigung (nur Probe A)

Im Anrissbereich hatte sich eine stabile Oxidschicht (Magnetit) ausgebildet. Durch Zusatz von Butindiol zu verdünnter Salzsäure gelang es, diese Schicht zu entfernen, ohne die Unterlage zu schädigen.

Es lässt sich eine Art Spaltbruch erkennen. Der Riss läuft an der Rohrwand ein; lokal ergaben sich deutliche Abweichungen von der Hauptrichtung, das heißt, die Rissfronten hatten sich stark aufgefächert (Bild 8).

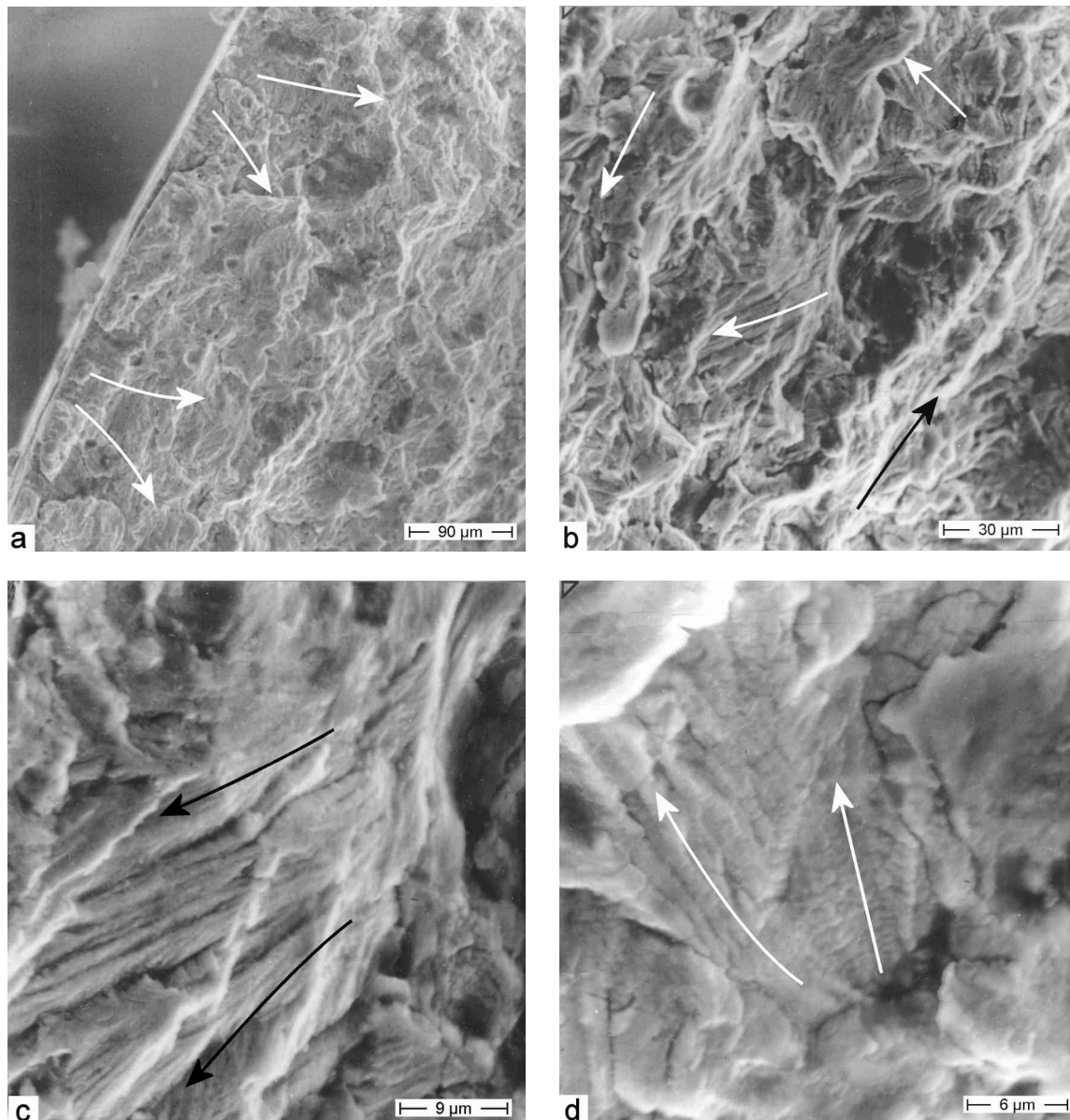


Bild 8: Risseinlauf von Probe A

- Übersichtsaufnahme: Risseinlauf am Außenrand
- Detail aus Teilbild a, transkristalline Bruchfacetten
- Detail aus Teilbild b, Mitte: örtlich rücklaufender Bruchfächer
- Detail aus Teilbild b, oben: ebenfalls rückwärts orientierter Fächer

3. Diskussion

Die Risse sind von der Außenwand eingelaufen und stark aufgefächert. Entsprechend wurden intensiv Rissverzweigungen (Sekundärrisse) gebildet. In der Endphase ist es zur Ermüdung gekommen.

Im Bereich der Anrisse erwies sich das Bruchgefüge als transkristallin und feinfacettiert ausgebildet. Der lokale Rissverlauf war teilweise rückwärts gewandt.

Der Gewaltbruch ist duktil erfolgt (Scherwaben). Eine Wellenbildung, die im Anfangsstadium der gewaltsamen Trennung erfolgte, ergab sich aus dem sogenannten Serpentinengleiten und ist – wie die Ausbildung von Waben – das Zeichen eines starken Verformungsvermögens.

Austenitischer Stahl zeigt grundsätzlich keine Anfälligkeit gegenüber transkristallinem Spalten. Das vorgefundene Gefüge ist also das Merkmal einer Spannungsrissskorrosion. Maßgebend dafür sind die Anwesenheit von Chloriden und eine genügend hohe Temperatur (über 80 °C). Die Spannungskomponente kann sich aus dem Innendruck oder aus der Herstellung ergeben (Lastspannungen bzw. Eigenspannungen).

Im vorliegenden Fall ist davon auszugehen, dass die Rohre zu hart in den Rohrboden eingewalzt wurden. Damit ist der Schaden primär durch Eigenspannungen bedingt. In solchen Fällen ist die Ebene der Normalspannung schlecht definiert. Die Risse werden entsprechend nur schwach geführt und spreizen daher stark auf.

Informationen finden sich auch in [1].

4. Zusammenfassung

Die Rohre der Dampferzeuger unterlagen der Ausbildung von quer orientierten Lecks infolge Spannungsrissskorrosion. Der Rissverlauf war transkristallin. Die Spannungskomponente ergab sich aus einem relativ harten Einwalzen der Rohre in den Rohrboden.

Literatur

- [1] Pastor, D.; Oertel, K.: Verhalten von Siederohren in Dampferzeugern in Druckwasserreaktoren. Kernenergie 22 (1979) 4, S. 118-126

Ein Fall von transkristalliner Rissbildung, der sich 1975 im KKW Rheinsberg an den sogenannten SUS-Standrohren (sie enthalten die Regelelementantriebe) ereignet hatte, ist beschrieben in:
„Die Anwendung elektronenoptischer Methoden bei der Aufklärung von Korrosionsschäden, Abschnitt 2.1 Ermüdungsbruch oder Spannungsrissskorrosion?“

Untersuchungen zur Rissbildung in den Dampferzeugerrohren des (größeren) Kraftwerkes Greifswald finden sich unter:

„Spannungsrissskorrosion in Wärmetauscherrohren aus CrNi-Stahl – Kernkraftwerk Greifswald“.
Hier waren die Risse längs orientiert, also durch Lastspannungen bedingt.

(beide Beiträge in dieser Homepage).

