

Interkristalline Rissbildung an Wärmetauscherrohren aus einem Druckwasserreaktor (Überhitzung)

Vorgeschichte

Das Kernkraftwerk Rheinsberg war für eine Bruttoleistung von 70 MW geplant. Im Jahre 1966 wurde das Kraftwerk in Betrieb genommen und 1990 stillgelegt.

Als Stahl kam der X8CrNiTi18-10 zum Einsatz. Der Zusatz von Titan soll den Kohlenstoff abbinden und damit verhindern, dass beim Schweißen (in der Wärmeeinflusszone) der gelöste Kohlenstoff sich mit dem Chrom verbindet und folglich die Korngrenzen korrosionsanfällig werden. Man spricht davon, dass der Stahl durch Titan „stabilisiert“ wird.

Mit der Zeit stellten sich an den Wärmetauscherrohren der Dampferzeuger die üblichen Gebrechen ein, bekannt als Spannungsrissskorrosion. Diese Schadensart spaltet die Körner, was als transkristalline Rissausbreitung bezeichnet wird. Die Rissausbreitung entlang der Korngrenzen („interkristallin“) war soweit den westlichen Reaktoren vorbehalten, bei denen unstabilisierter Stahl (X5CrNi18-10) eingesetzt worden war.

Gegen Ende des Jahres 1980 stieß man in Rheinsberg auf Lecks, die ein interkristallines Rissbild aufwiesen.

Technische Daten:

Betriebstemperatur ca. 280 °C

Wanddicke der Rohre: 6 mm.

Mit 6 mm ist die Wandstärke relativ groß, so dass man annehmen kann, dass die Rohre aus dem Bereich stammten, welcher den eigentlichen Dampferzeugern nachgeschaltet war.

Untersuchungen

Der Rissbereich des angelieferten Rohres wurde endgültig aufgebrochen. Das Bruchgefüge erschien durchgehend körnig, so dass der Unterschied zwischen Anriss und Restbruch zunächst nicht auffällig ist (Bild 1 und Bild 2).

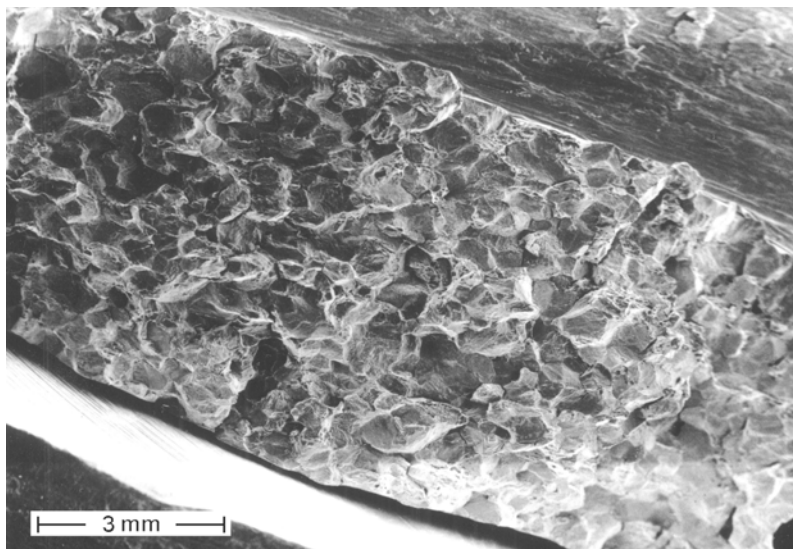


Bild 1:
aufgebrochener
Leckbereich in
der Übersicht;
rechts unten
Anriss,
links oben
Restbruch;

Bruchgefüge
durchgehend
körnig

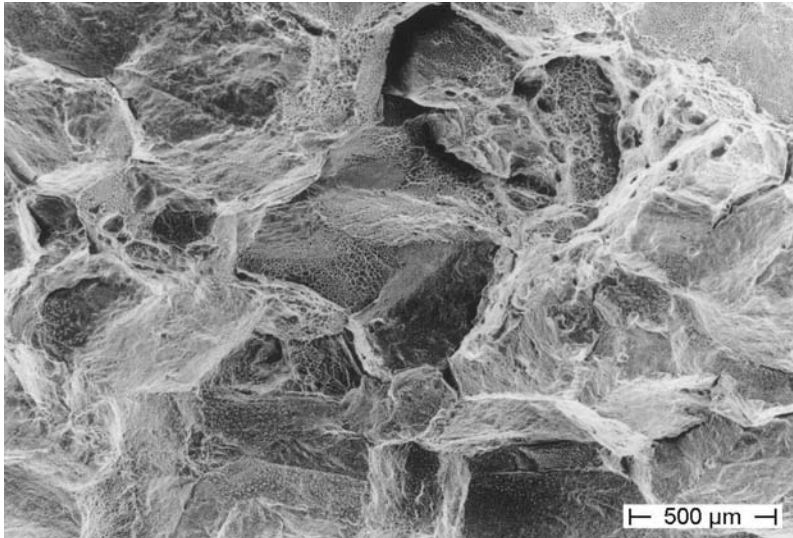


Bild 2:
Übergang vom
Anriss zum
Restbruch
(Ausschnitt aus
Bild 1)

Mit zunehmender Vergrößerung werden nun auch die Unterschiede zwischen Anriss und Restbruch sichtbar: ersterer ist oxidiert, letzterer ist wabig ausgebildet (Bild 3 und Bild 4).

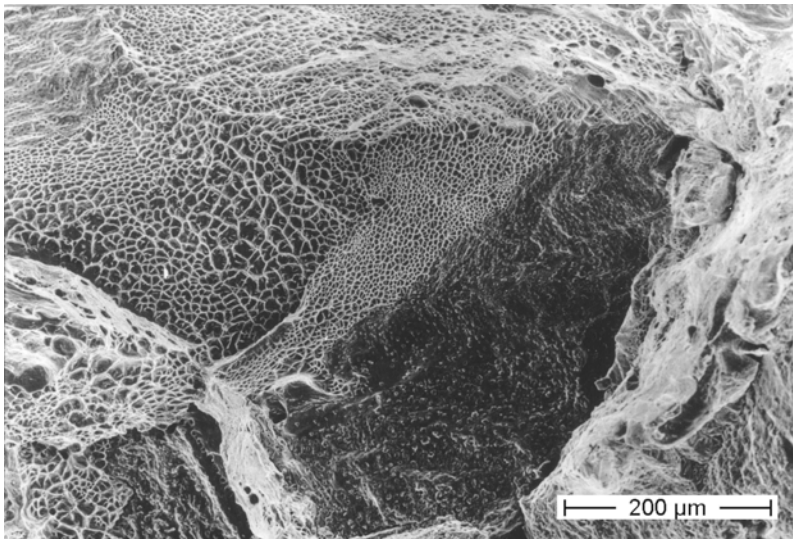


Bild 3:
Übergangsbereich;
rechts unten
Anriss, links oben
Restbruch,
(Ausschnitt aus
Bild 2)

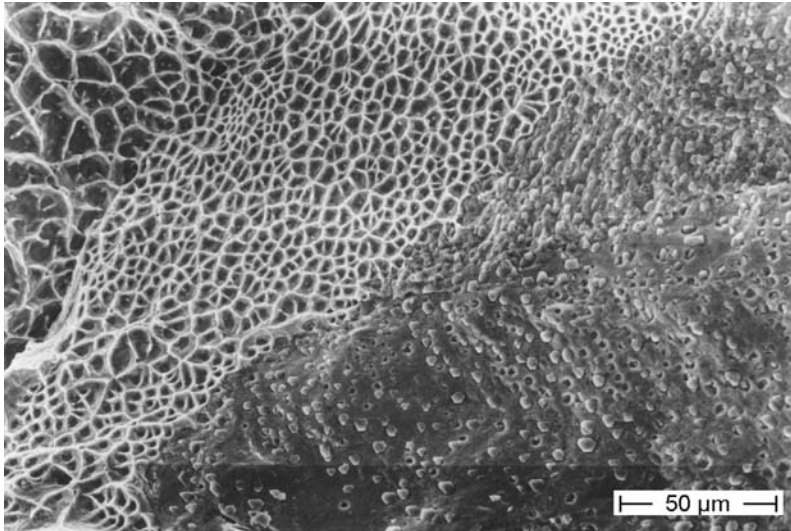


Bild 4:
Belag im Anriss,
flache Waben im
Restbruch
(Ausschnitt aus
Bild 3)

In der Oxidschicht haben sich Kristalle ausgebildet; erfahrungsgemäß handelt es sich um Magnetit (Bild 5).

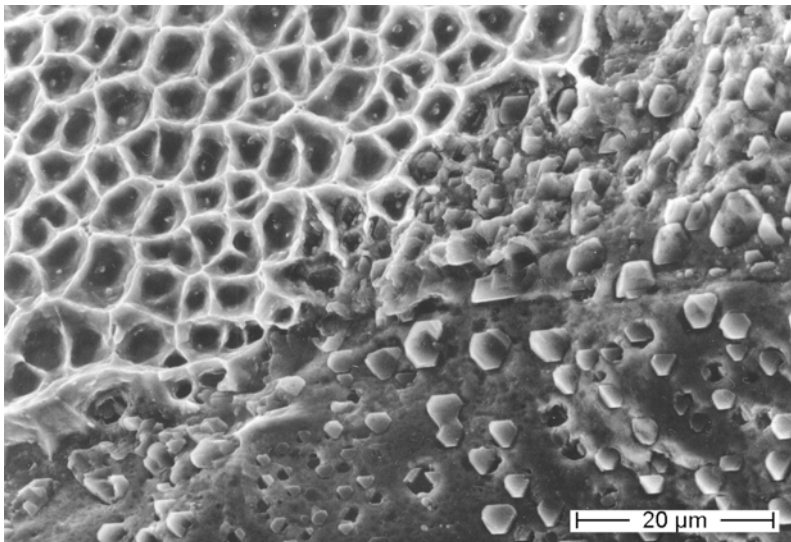


Bild 5:
Kristalle im
Belag mit,
flache Waben im
Restbruch
(Ausschnitt aus
Bild 4)

Betrachtet wird nun eine andere Stelle aus dem Bereich des Restbruchs, welche besser im Fokus liegt. Der Durchmesser der Waben beträgt ca. 5 μm . Innerhalb der Waben deuten sich Keime an (Bild 6).

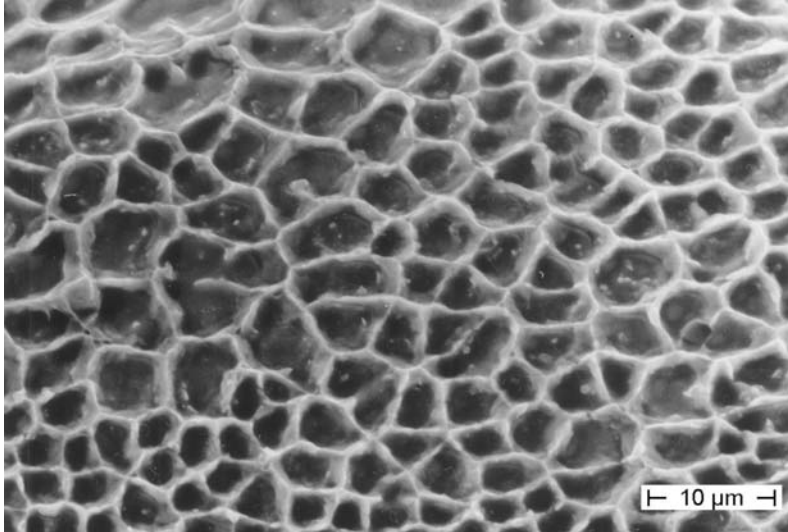


Bild 6:
Wabenkeime
angedeutet
(Ausschnitt aus
Bild 5)

Bei höherer Vergrößerung lassen sich die Wabenkeime recht gut erkennen; ihre Durchmesser beträgt etwa 0,3 μm (Bild 7).

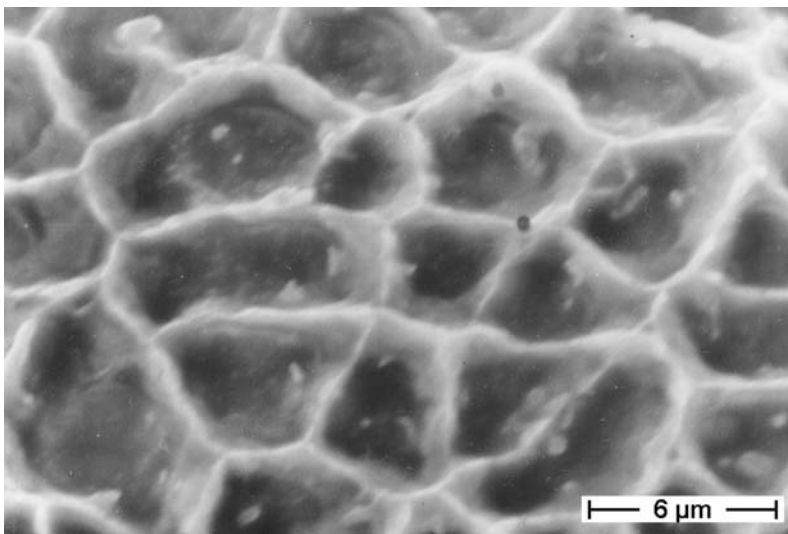


Bild 7:
Wabenkeime in
der Größe von
0,3 μm
(Ausschnitt aus
Bild 6)

Diskussion

Im Anriss folgte der Trennvorgang den Korngrenzen, entsprechend kann man eine interkristalline Spannungsrissskorrosion anzunehmen. Allerdings lag keine Schweißnaht in der Nähe, welche die Sensibilisierung hätte erklären können. Weiterhin spricht dem entgegen, dass sich im Restbruchbereich das gleiche Bruchgefüge fand. Der Kornverbund war also grundsätzlich geschwächt.

Im Restbruchbereich fand sich auf den Korngrenzflächen eine feine Wabenstruktur; die Keime der Waben wiesen eine Größe von etwa $0,3 \mu\text{m}$ auf. In erster Näherung kann man annehmend, dass es sich um Sulfide handelt. Diese werden an den Korngrenzen dann ausgeschieden, wenn bei überhöhter Temperatur warmverformt wird. Das Rohr wurde offenbar vor dem Walzen überhitzt. Zum fraktographischen Erscheinungsbild der Heißrissigkeit siehe u.a [1].

Die Korngrenzenbelegung mit Sulfiden hat der Korrosion offensichtlich einen Pfad gegeben.

Die Rohre wurden gewechselt; der Schaden hat sich nicht wiederholt. Allerdings betrug die verbleibende Betriebszeit nur 10 Jahre, was keinen Maßstab darstellt.

Zusammenfassung

Eine gröbere Belegung der Korngrenzen mit Teilchen (vermutlich Sulfide) führte nach längerer Betriebszeit zu interkristalliner Spannungsrissskorrosion.

Literatur

- [1] Möser, M.: Fraktographie und Mechanismus der Heißrissigkeit.
15. Vortragsveranstaltung des Arbeitskreises „Rastermikroskopie in der Materialprüfung“,
Dt. Verband für Materialforschung und -prüfung, 1992, S. 323-335 (auch in dieser Homepage

Ein Fall von transkristalliner Rissbildung, der sich 1974 in Rheinsberg an den Wärmetauscherrohren der Dampferzeuger ereignet hatte, ist beschrieben unter:

„Transkristalline Spannungsrissskorrosion an Wärmetauscherrohren aus einem Druckwasserreaktor (KKW Rheinsberg)“.

Ein weiterer transkristalliner Riss-Schaden fand sich 1975 in Rheinsberg an den sogenannten SUS-Standrohren (sie enthalten die Regelelementantriebe). Dieser Fall ist beschrieben in:

„Die Anwendung elektronenoptischer Methoden bei der Aufklärung von Korrosionsschäden, Abschnitt 2.1 Ermüdungsbruch oder Spannungsrissskorrosion?“

(beide Beiträge dieser Homepage).

Martin Möser, 31. Mai 2012