

Spannungsrissskorrosion an Führungsdrähten von Herzkathetern durch Rückstände des Lötwassers

Die Führungs sonden von Herzkathetern brachen an einer Lötstelle.

Vorgeschichte

Bei einem Herzkatheter handelt es sich um einen dünnen biegsamen Kunststoffschlauch. In eine Vene oder Arterie wird zunächst eine elastische Führungssonde eingebracht. Über diese Sonde wird der Katheter geschoben. Die Sonde wird dann wieder entfernt, und der Arzt kann dann durch den Schlauch beispielsweise Röntgenkontrastmittel einspritzen oder den Druck in den Herzkammern messen.

Mitte der 1970-iger Jahre hatten solche Untersuchungen auch in der DDR ein höheres Ausmaß angenommen. Man hatte die Katheter bisher aus dem westlichen Ausland bezogen und beschloss nun, zur Eigenproduktion überzugehen.

Die Führungssonde bestand aus einem gestreckten (Stütz-)Draht, über den eine Spirale aus deutlich dünnerem Draht geschoben wurde (Hülldraht). Als Material für die Drähte diente kalt gezogener austenitischer Stahl mit Gehalten von 18% Chrom, 10% Nickel und ca. 2,5% Molybdän (X5CrNiMo18-10).

An der Spitze der Führungssonde müssen beide Drähte mit einander verbunden werden. Beim Westmodell war der Hülldraht mit dem Stützdraht mittels Laserstrahl verschweißt worden (Bild 1a).

Im Osten verfügte man über diese Möglichkeit noch nicht; man versuchte es mit dem Elektronenstrahlschweißen. Hierbei wird ein etwas größerer Volumenbereich aufgeschmolzen, entsprechend ist auch der Wärmeeintrag höher (Bild 1b). Die Kaltverfestigung der Drähte wurde damit aufgehoben, was im ersteren Fall offenbar nicht nachweisbar war.

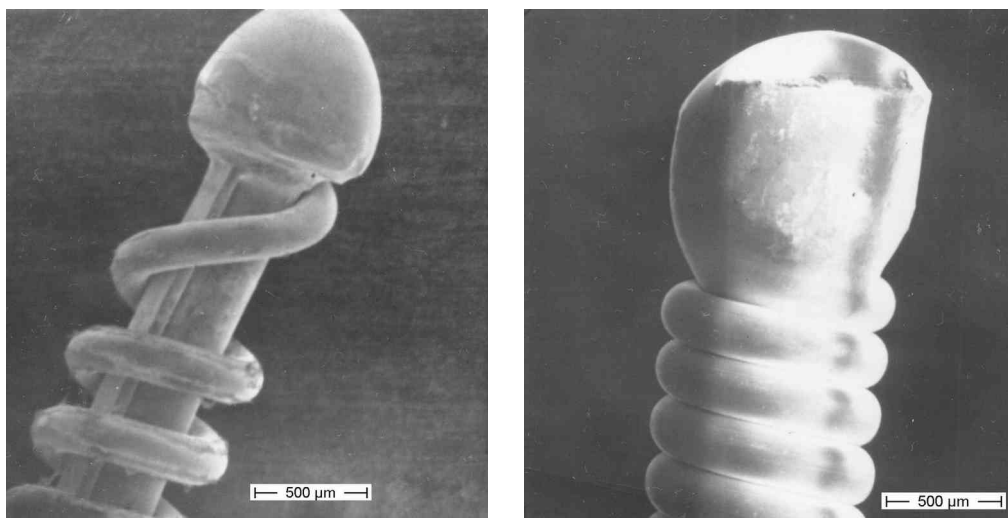


Bild 1: Herzkatheter-Führungsdrähte; Stützdraht und Hülldraht miteinander verschweißt. links Westmodell (Laserschweißung), rechts Ost-Versuchsmodell (Elektronenstrahlschweißung)

Um die Kaltverfestigung zu erhalten, ging man auf das Weichlöten über. Als Lot diente übliches Blei-Zinn-Lot. Das Lötwasser bestand aus Zink, welches in Salzsäure aufgelöst wurde. Schließlich wird noch etwas Ammoniumchlorid zugefügt. Vertrieben wurde diese Mischung unter dem Namen „Lötzwunder“.

Der Stützdraht war 0,4 mm stark, der Hülldraht 0,22 mm. Die Hüllspirale überragte den Stützdraht um 45 mm.

Mit zunehmender Einsatzdauer erschien der Hülldraht an der Lötstelle rostig und brach dann irgendwann beim Herausziehen der Sonde.

Neben einigen Betriebsschäden wurden zahlreiche Führungssonden angeliefert, die noch gar nicht benutzt worden waren. Sie trugen an der Lötstelle mehr oder weniger große Belagsflecken. Dort ließ sich der Hülldraht schon durch leichtes Rupfen auseinander reißen. In belagsfreien Bereichen konnte die Spirale dagegen voll auseinander gezogen werden (Bild 2).

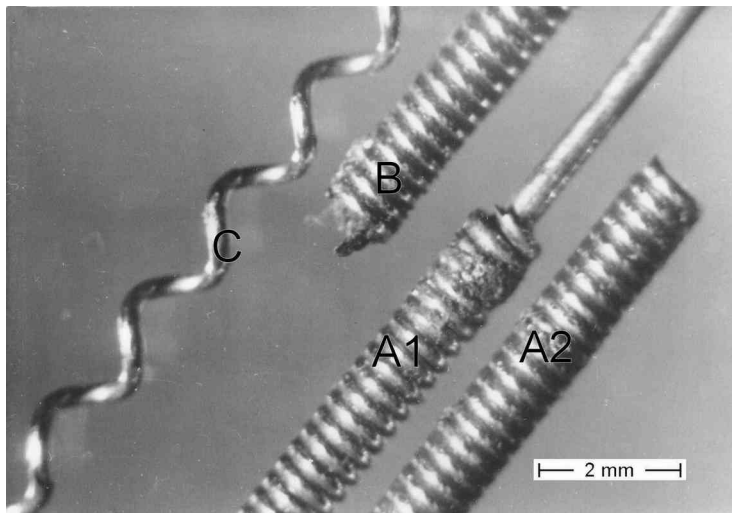


Bild 2:
zwei Hülldrähte, die im
Lötbereich
aufgebrochen wurden
(A und B),
Krusten erkennbar;

voll aufgezoogene
Spirale auf der
belagsfreien Restlänge
(C)

Untersuchungen (Probe A)

Die Probe A1 ist zunächst im ungereinigten Zustand zu sehen. Aus der lichtoptischen Übersichtsaufnahme wird ersichtlich, dass der eigentliche Verkrustungsbereich etwas hinter der Bruchstelle liegt, also an der unmittelbaren Lötstelle (Bild 3).

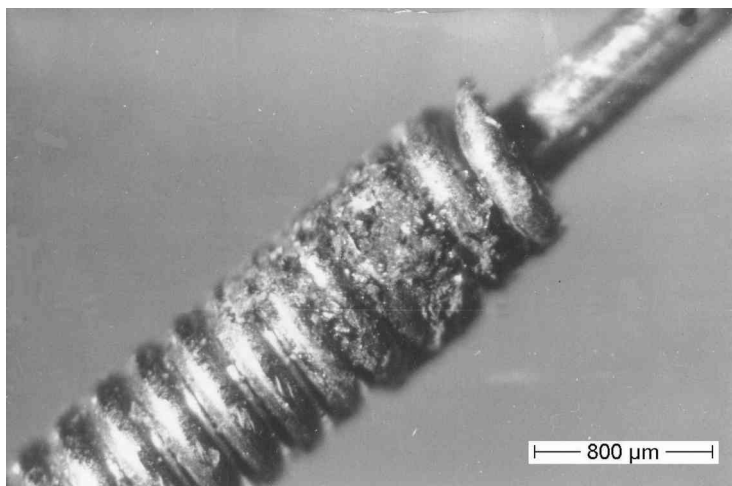


Bild 3:
Probe A1, starke
Verkrustung hinter der
Bruchstelle

Für die REM-Untersuchung kam die abgezogene Bruchhälfte (A2) zum Einsatz.

Bei dem Anteil der Bruchfläche, der sich an der Drahtachse orientiert, handelt es sich um den Anriss. Das Bruchgefüge ist faserig ausgebildet. Der Restbruch liegt senkrecht zur Achse und zeigt eine feine Wabenstruktur (Bild 4 a-c).

In Bild 4 d ist die Drahtwindung abgebildet, welche sich genau unter der Bruchfläche befindet. Der Anriss hat sich bis dorthin fortgesetzt.

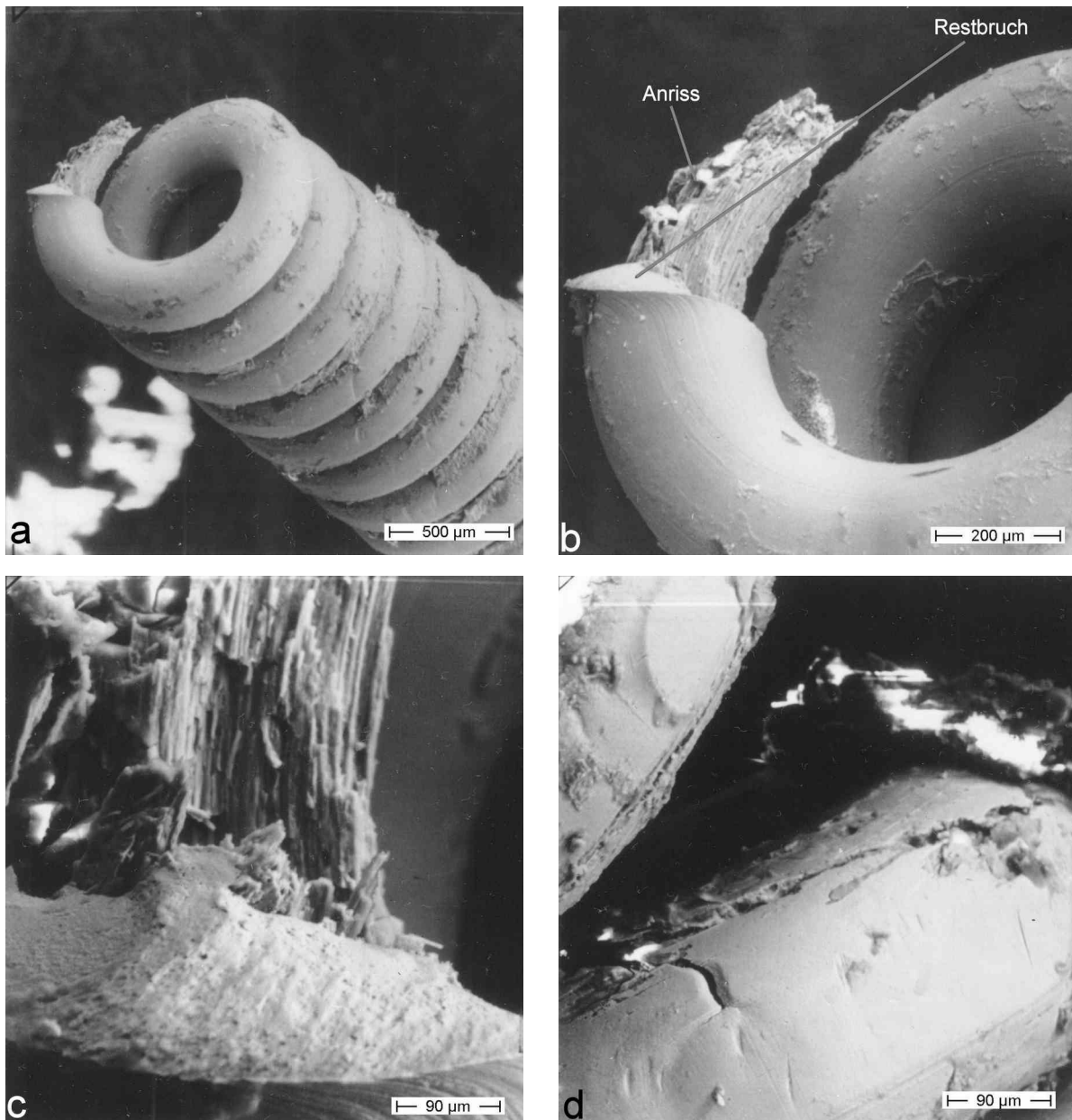


Bild 4: Probe A2, ungereinigt

- a) Übersicht des abgezogenen Hülldrahtbereiches
- b) Bruchstelle in der Übersicht: Anriss längs der Faser orientiert, Restbruch quer dazu
- c) Bruchstelle: Bruchgefüge im Anriss faserig, im Restbruch feinwabig
- d) Windung unterhalb der Bruchstelle, dort läuft Riss aus

Für höhere Vergrößerungen wurde die Bruchfläche gereinigt (mit inhibierter Salzsäure). Die Probe wurde gedreht, so dass der Blick direkt auf den Anrissbereich fällt. Das Bruchgefüge ist dort faserig und klar transkristallin ausgebildet (Bild 5 a-c). Der Restbruch erscheint extrem feinwabrig (Bild 5 d).

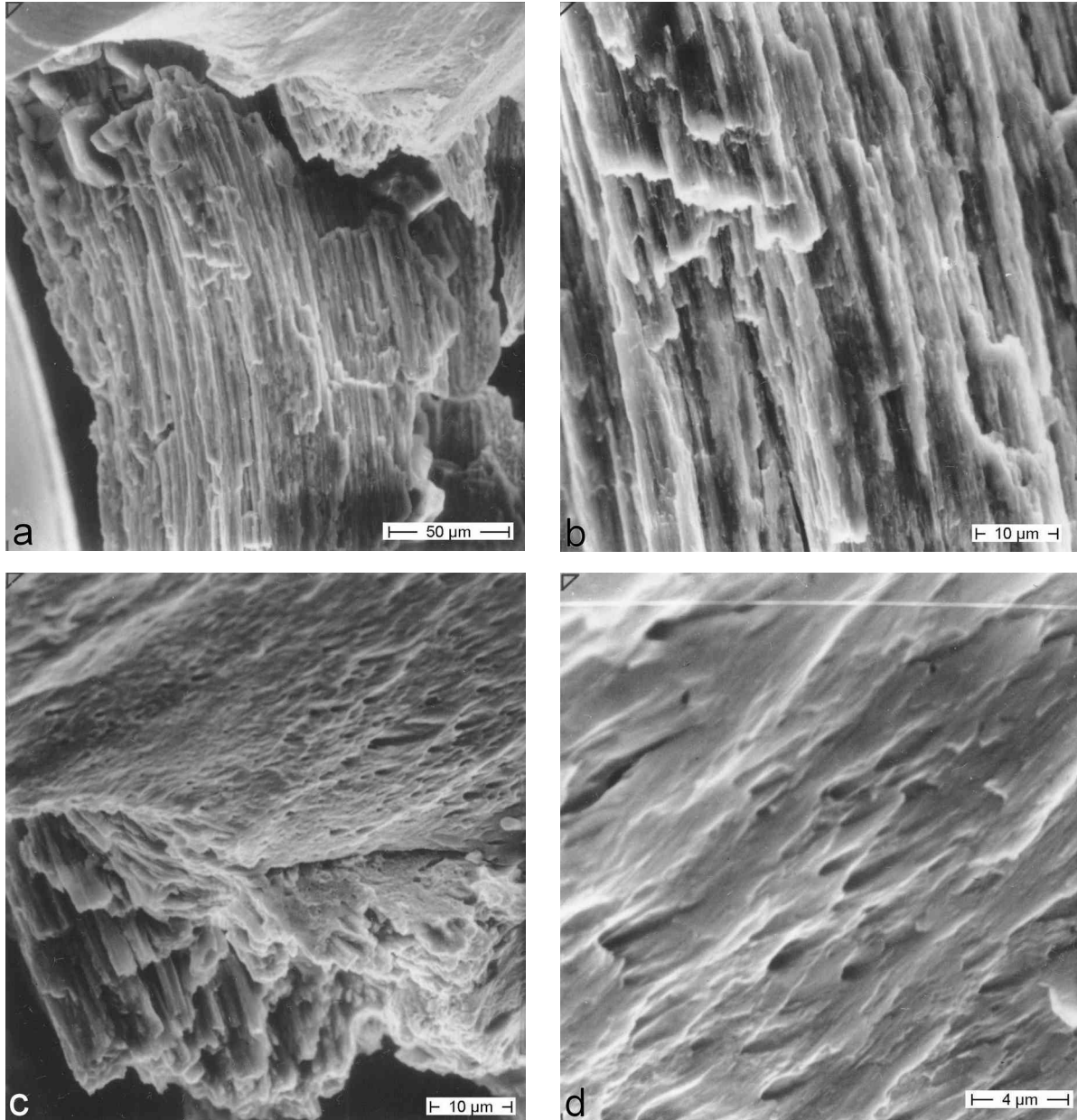


Bild 5: Probe A2 nach Reinigung

- a) Anrissbereich der Bruchfläche, Restbruch oben
- b) faserig-transkristalline Bruchausbildung
- c) Übergang zum Restbruchbereich (Detail aus Bild a oben)
- d) flache Abreißwaben im Restbruch (Detail aus Bild c)

Im Weiteren interessierte, wie weit der Draht auch flächig angegriffen war. Es finden sich zeilige Abzehrungen an der Außenfaser und daneben etwas Lochfraß (Bild 6). Insgesamt hielt sich der Angriff jedoch in Grenzen.

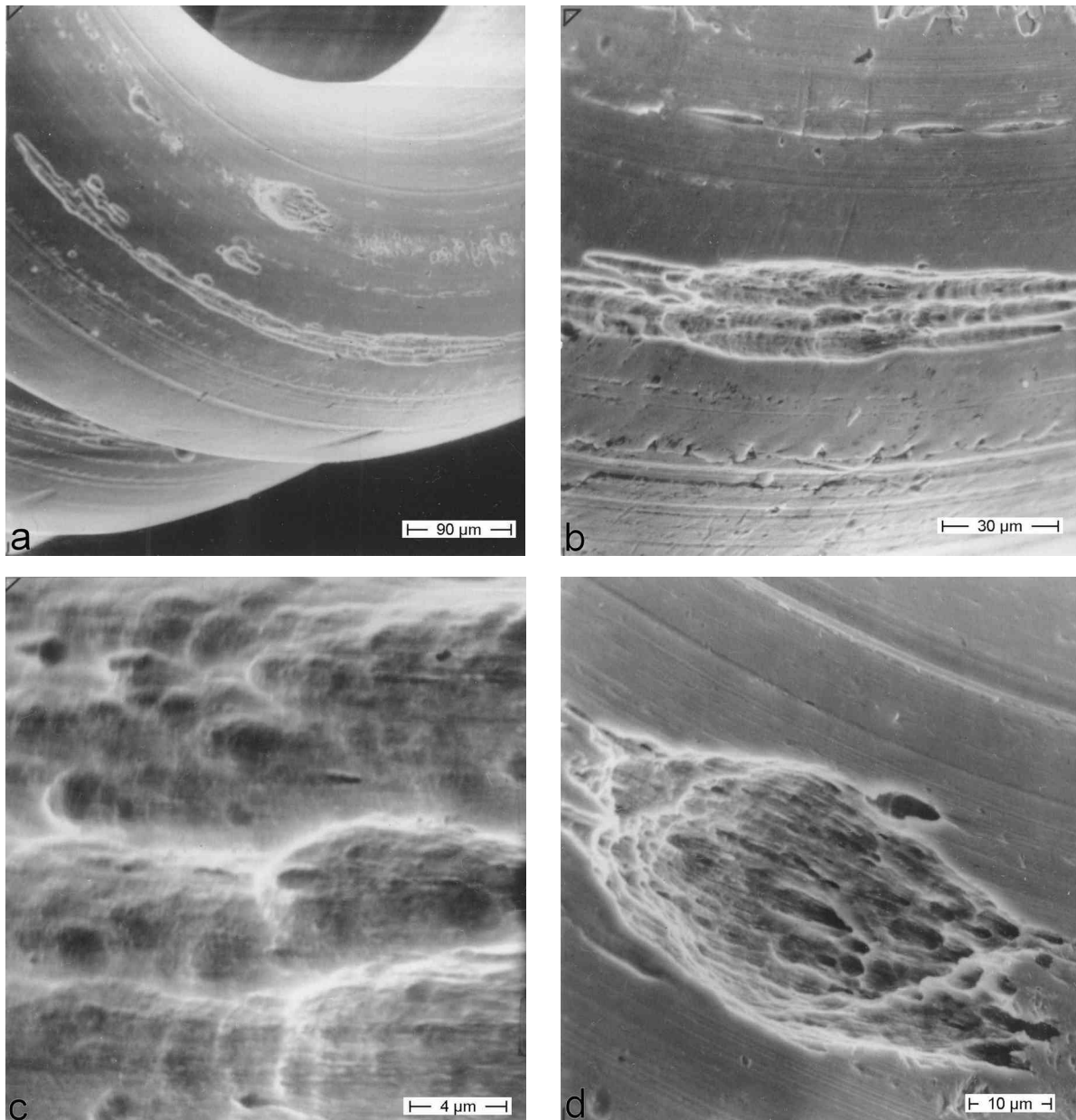


Bild 6: Probe A2, Drahtoberfläche
a) obere Windung mit zeiligem Angriff
b) langer Graben in der Breite von 30 µm (Detail aus Bild a)
c) Ätzstruktur (Detail aus Bild b)
d) Lochfraß (Detail aus Bild a, oben)

Analyse der Ablagerung (EDX)

Die Ablagerungen bestanden im Wesentlichen aus Chlor und Zink. Weiterhin wurden die Elemente der Unterlage mit erfasst (Chrom, Nickel und Eisen), die anteilig auch als Chloride vorliegen, siehe Bild 7.

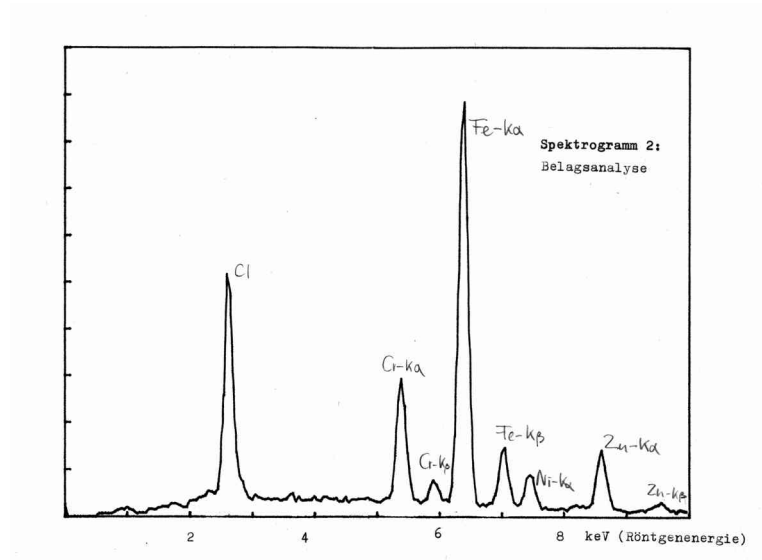


Bild 7:
Belagsanalyse:
Chlor und Zink,
daneben die Elemente
der Unterlage

Begleitende Untersuchungen

Ein Abschnitt aus dem Hülldraht wurde auf seine Festigkeit geprüft. Es ergab sich eine Bruchkraft von 50 N. Bei einem Drahtdurchmesser von 0,22 mm folgt daraus eine Festigkeit von 1315 MPa.

Einige Hülldrahtabschnitte wurden in gesättigte Kochsalzlösung gelegt (bei RT). Nach 64 Tagen waren die Proben noch unversehrt. Die Lösung wurde nun zum Kochen gebracht, und die Proben zerlegten sich in Minutenschnelle.

Diskussion

Unter Krusten haben sich im Hülldraht Risse ausgebildet. Das Bruchgefüge ist durch transkristalline Facetten geprägt. Flächiger Angriff hielt sich in Grenzen. Damit findet sich das Bild einer Spannungsrissskorrosion. Treibende Kraft waren Eigenspannungen, die sich aus der Kaltverformung ergaben. In den Krusten wurden Zink und Chlor nachgewiesen.

Das Lötwasser (Zinkchlorid, Salzsäure und Ammoniak) ist am Ort verblieben und dort eingetrocknet. Allerdings haben die Beläge auch immer wieder Luftfeuchtigkeit angezogen. Normalerweise gilt für die Spannungsrissskorrosion der austenitischen Stähle eine Temperaturuntergrenze von 60-80°C. Unter derart „scharfen“ Bedingungen, wie sie hier vorlagen, ist diese Art der Rissbildung auch bei Raumtemperatur möglich, vergleiche [1].

Es wurde ein Ultraschallreinigungsgerät angeschafft, womit sich das Problem erledigt hatte.

Im Jahre 1985 stürzte im Hallenbad von Uster (Schweiz) die Hallendecke ein. Diese aus Beton gefertigte Decke war „abgehängt“ worden; sie wurde von über 200 Stahl-Bügeln gehalten, welche aus dem Stahl X5CrNi18-10 bestanden. Etwa die Hälfte der Bügel war gebrochen.

Das Chlor, welches zum Desinfizieren des Wassers diente, hatte sich dort niedergeschlagen und ebenfalls bei Raumtemperatur eine Spannungsrisskorrosion erzeugt [2].

Literatur

- [1] Truman, J. E.: Influence of chloride content, pH and temperature of test solution on the occurrence of stress corrosion cracking (SCC) with austenitic stainless steel. Corrosion Science 17 (1977) S. 737-746
- [2] Faller, M.; Richner, P.: Sicherheitsrelevante Bauteile in Hallenbädern. Schweizer Ingenieur und Architekt 118 (2000), S. 364-370 ([online \(3.7MB\)](#))

Martin Möser, 13. Dezember 2010

Siehe auch folgende Arbeiten aus dieser Homepage

- Spannungsrisskorrosion an einem SAN-Reaktor aus CrNi-Stahl
- Wasserstoffversprödung eines Sägeblattes (Herzsäge)