

Interkristalline Spannungsrisskorrosion an der Kapsel einer Kobalt-Strahlenquelle infolge Elektrogravur

Allgemeines

Lebendgewebe wird durch kurzwellige Strahlung ionisiert und damit geschädigt. Das beginnt mit dem ultravioletten Bereich und reicht über die Röntgenstrahlung zur radioaktiven Strahlung. Diese allgemein beklagte Eigenschaft insbesondere der radioaktiven Strahlung, und dort wiederum der Gamma-Strahlung, lässt sich auch nutzbringend anwenden, so zur Behandlung von Tumoren oder zur Sterilisation. Am wirksamsten ist dieser Hinsicht das Isotop Kobalt 60. Eingeschweißt in Kapseln aus rostfreiem Stahl lässt es sich leicht zur entsprechenden „Kanone“ bringen.

Im Jahre 1986 hatte man in Spickendorf bei Halle/Saale eine Bestrahlungsanlage für Obst und Gemüse errichtet. Nach einem Jahr platzte dort eine Kobaltquellenkapsel, und zwar während des Betriebes.

Die Quellenkapsel hatte einen Durchmesser von 20 mm und eine Länge von etwa 30 mm. Als Stahl war der X8CrNiTi18-10 verwendet worden.

Den Boden der Kapsel hatte es in mehrere Teile zerlegt. Zur Untersuchung kam ein Bruchstück, das etwa einem Drittel der Bodenfläche entsprach. Die Probe wurde im ungereinigten Zustand übergeben, sie strahlte also noch.

Untersuchung

Das Teil wird zunächst von der Innenseite her betrachtet. Es finden sich mehrere Risse. Weiterhin erscheint die Oberfläche aufgeraut, siehe Bild 1 und Bild 2.

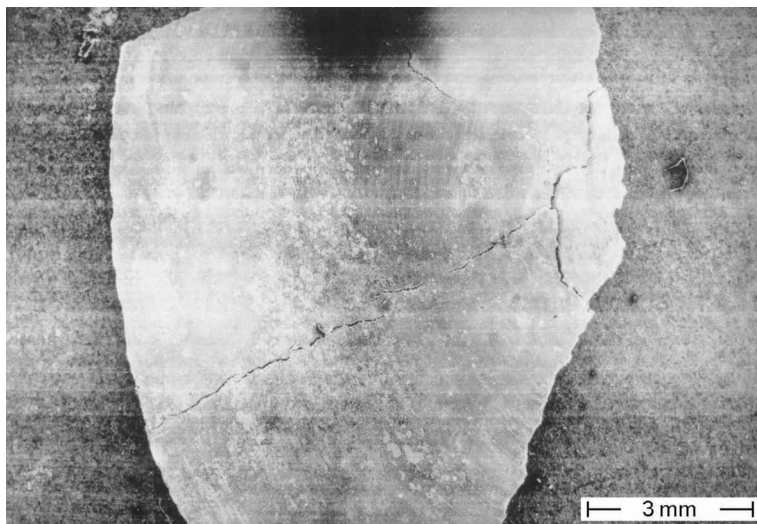


Bild 1:
Innenseite des
Bodenteiles mit Rissen

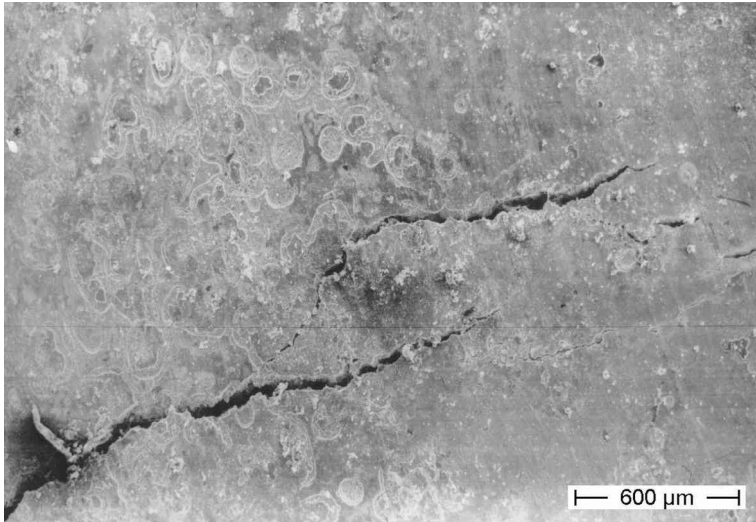


Bild 2:

Zwei Risse überlappen sich, Oberfläche rau (Ausschnitt aus Bild 1).

Bei höherer Vergrößerung wird erkennbar, dass sich die Rauigkeit durch Lochfraß ergeben hat (Bild 3).

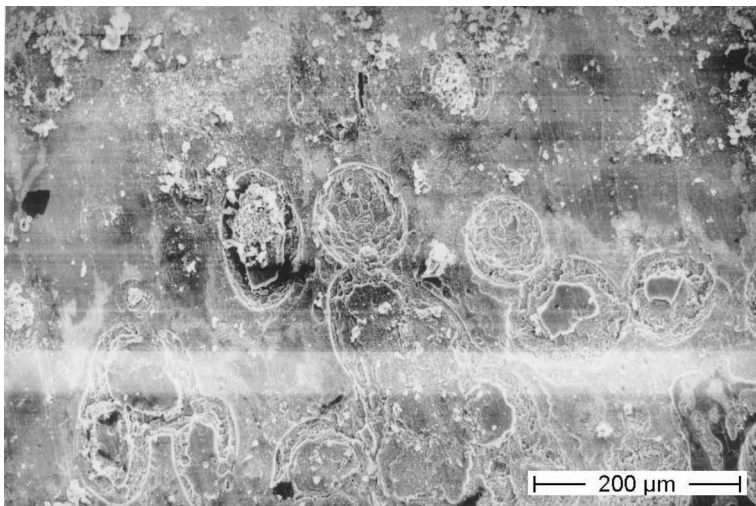


Bild 3:

Bereich mit Lochfraß (Ausschnitt aus Bild 2)

Die Löcher sind teilweise mit Krusten gefüllt, teilweise liegen sie frei. Im letzteren Fall deuten sich transkristalline (kristallographische) Muster an (Bild 4).

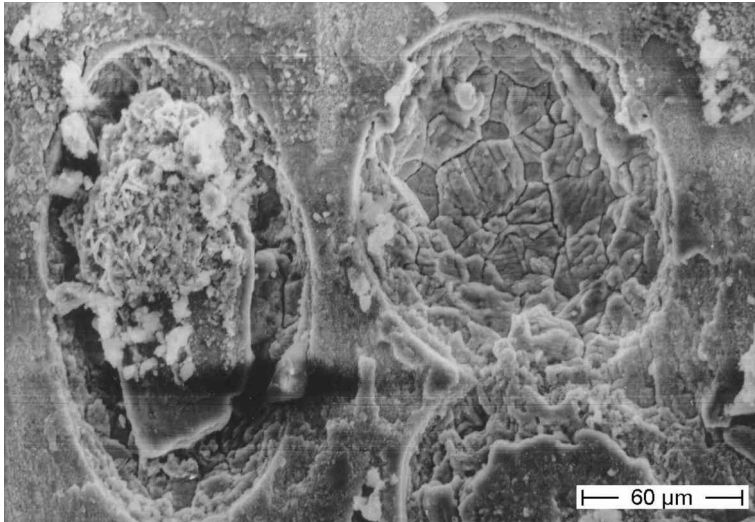


Bild 4:
Kruste im linken Korrosionsloch.
Das rechte Loch ist frei; dort transkristalline Ätzmuster angedeutet (Ausschnitt aus Bild 3)

In den Krusten hatte sich unter anderem Chlor angereichert (Bild 5).

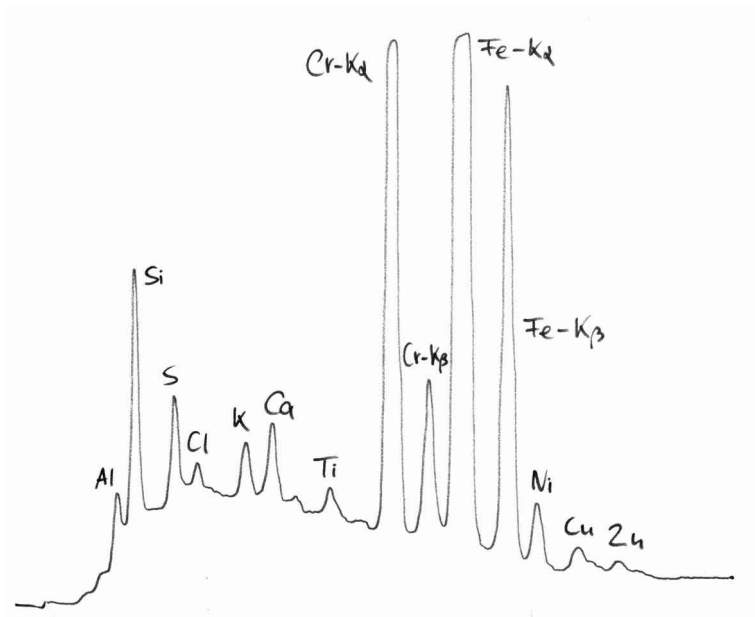


Bild 5:
Röntgenanalyse (EDS) der Kruste im linken Korrosionsloch von Bild 4:
Silizium, Schwefel, Calcium, Kalium, **Chlor**, Kupfer, Zink plus Legierungselemente aus der Unterlage

Die Probe wird so gedreht, dass die Außenseite untersucht werden kann. Es werden die Reste einer Elektrogravur sichtbar, welche teilweise den Riss führen (Bild 6 und Bild 7).

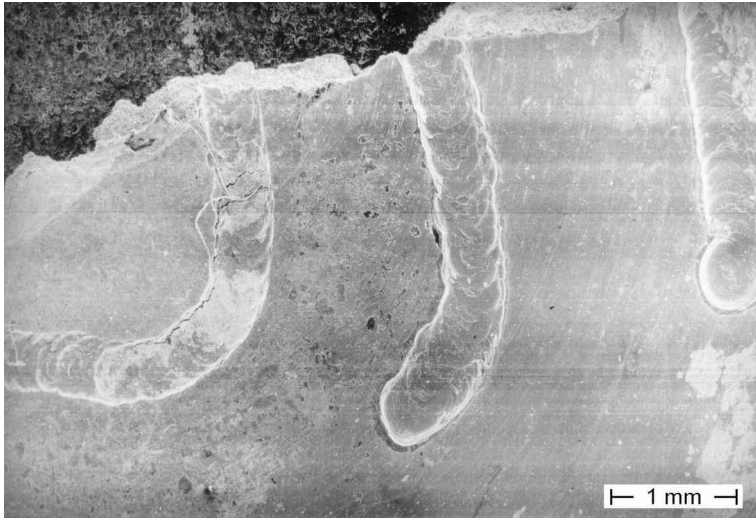


Bild 6:
Außenfläche mit
Elektrogravur

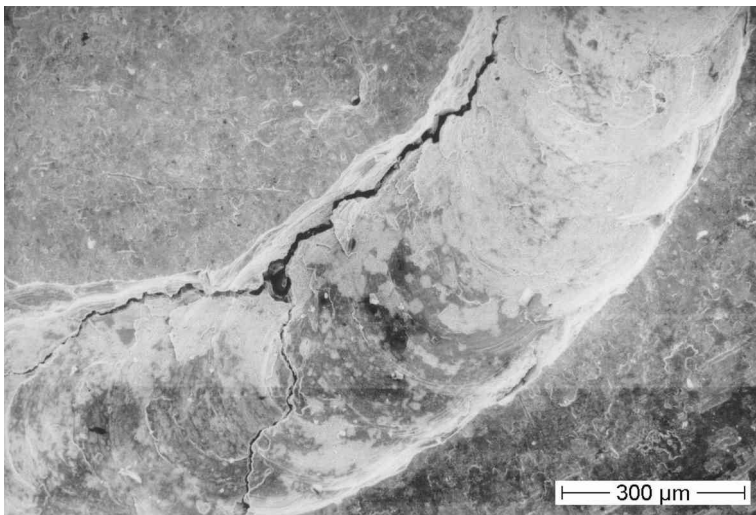


Bild 7:
Riss an der Flanke einer
Schreibspur (Ausschnitt
aus Bild 6, links)

An einer Rissabzweigung treten Einzelkörner zu Tage (Bild 8 und Bild 9).

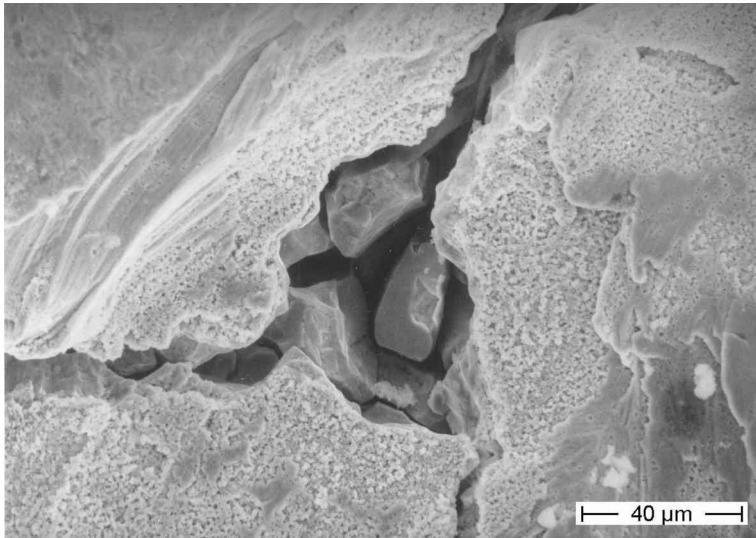


Bild 8:
Einzelkörner in einer
Rissabzweigung
(Ausschnitt aus
Bild 7)

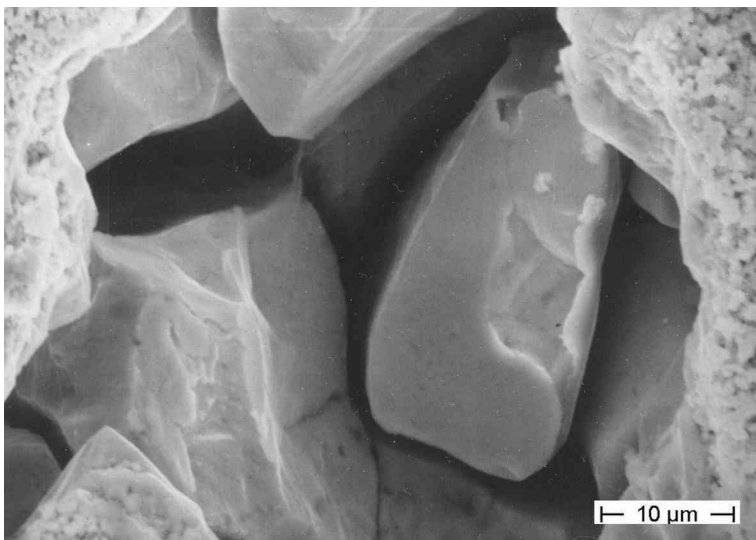


Bild 9:
klare Kornstruktur
(Ausschnitt aus Bild 8)

Die Probe wird nun so gekippt, dass die eigentliche Bruchfläche zu sehen ist. Sie ist durchgehend körnig ausgebildet (Bild 10 und Bild 11).

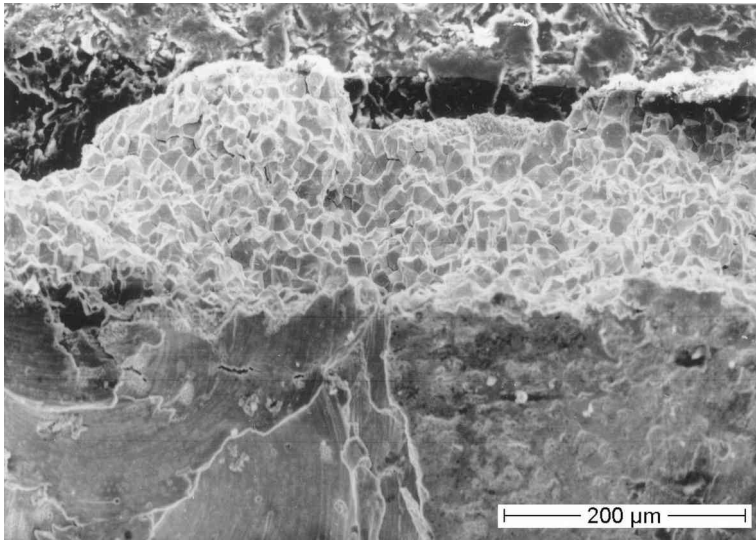


Bild 10:
Blick auf
Bruchfläche,
körniges Gefüge
(Ausschnitt aus
Bild 9)

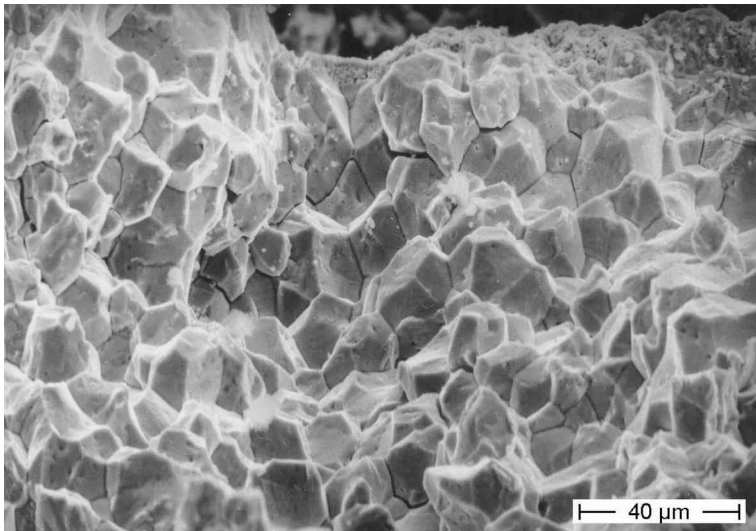


Bild 11:
durchgehend
Kornstruktur
(Ausschnitt aus
Bild 10)

Die Korngrenzflächen sind bestens erhalten (Bild 12).

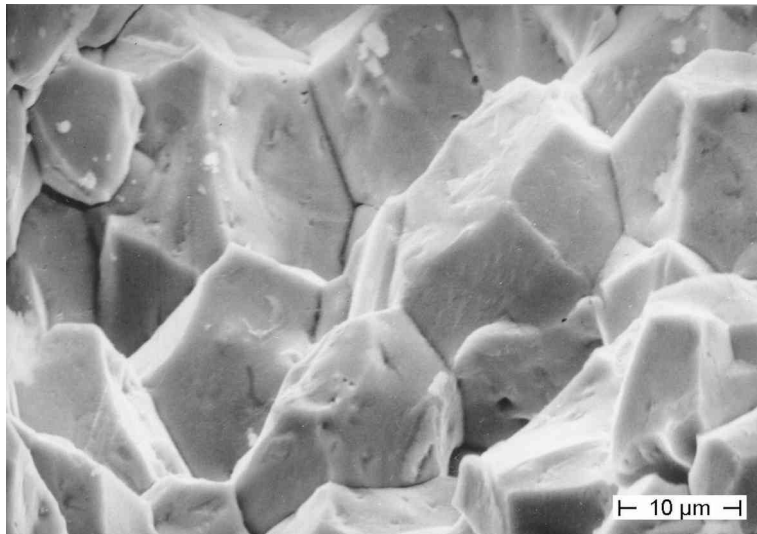


Bild 12:
glatte
Korngrenzflächen
(Ausschnitt aus
Bild 11)

Diskussion

Die Innenseite der Kapsel war von Lochfraß befallen; in den Lochfüllungen ließ sich u.a. Chlor nachweisen. Beim Verschweißen der Kapsel wurde Wasser eingeschlossen, welches stark verunreinigt war.

Das Bruchgefüge zeigte eine körnige (interkristalline) Struktur. Auf der Außenseite hatte man eine Elektrogravur aufgebracht, die ansatzweise den Rissverlauf bestimmte. Allerdings waren die Risse von innen her eingelaufen, denn nur dort lag ein ausreichend verunreinigtes Medium an. Hier muss einschränkend bemerkt werden, dass sich bei interkristallinen Bruchstrukturen die Ausbreitungsrichtung nicht abbildet.

Ursache der Korrosionsanfälligkeit der Korngrenzen ist die Anwesenheit von freiem Kohlenstoff und sein Hang zur Bildung von Karbiden.

Bei hohen Temperaturen (1050 °C) ist der Kohlenstoff im Kristallgitter frei beweglich. Kühlt der Stahl ab, verkürzen sich die Wanderwege des Kohlenstoffs, und er bindet mit dem Chrom ab (Chromkarbid). Das erfolgt vorzugsweise an den Korngrenzen, die entsprechend an Chrom verarmen und ihren Widerstand gegen Auflösung verlieren. Man spricht von einer „Sensibilisierung“, welche einen „Kornzerfall“ nach sich zieht.

Die Ausscheidung der Karbide benötigt eine gewisse Zeit. Bei weiterer Abkühlung wird der Kohlenstoff unbeweglich.

Je höher der Gehalt an Kohlenstoff ist, umso dichter werden die Korngrenzen mit Karbiden belegt und entsprechend schneller tritt die Sensibilisierung ein.

In früheren Zeiten lag die Grenze für eine Absenkung des Kohlenstoffgehaltes bei 0,05 Prozent. Mittels Anlegen eines Vakuums ist man heutzutage (seit etwa 1970) in der Lage, den Kohlenstoff weitgehend aus der Stahlschmelze heraus zu gasen.

Den Hang eines rostfreien Stahles zur Sensibilisierung überprüft man durch Kochen in standardisierten Lösungen. Zu nennen ist der Strauss-Test (Schwefelsäure / Kupfersulfat / Kupfer) und Huey-Test (Salpetersäure).

Der Ausscheidungsprozess in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit spiegelt sich in Kornzerfallsschaubildern wieder; typisch ist ein nasenartiger Verlauf (Bild 13, [1]).

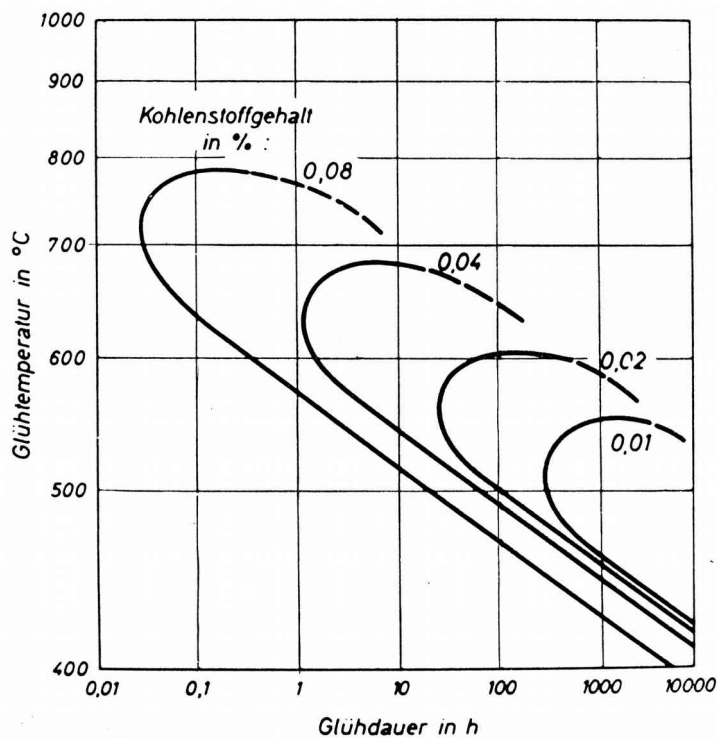


Bild 13:
Kornzerfallsschaubilder von 18/8-CrNi-Stählen mit verschiedenen Kohlenstoffgehalten in Abhängigkeit von Glühzeit, Prüfung im Strauss-Test (aus [1])

Beim Abkühlen vom Schweißen durchfährt die Naht zwangsläufig den Bereich der Ausscheidungsnahe. Je stärker das Blech ist, umso mehr Schweißwärme wird eingebracht; entsprechend langsamer kühlt es aus.

Wenn früher stärkere Bleche verschweißt werden sollten, musste man – um der Sensibilisierung vorbeugen – den Kohlenstoff chemisch abbinden. Im vorliegenden Fall erfolgte das durch Titan (die andere Möglichkeit ist Niob). Es scheiden sich beim Erstarren relativ grobe Karbide aus. Diese Primärkarbide überstehen das allgemeine Lösungsglühen (1050°C/Wasserabschreckung) und verhindern, dass man solche Stähle polieren kann. In Deutschland und den östlichen Ländern bestand die Tendenz, auch für dünnere Bleche stabilisierten Stahl einzusetzen.

Bei starker Erwärmung (1300°C), wie es beim Schweißen in unmittelbarer Nähe der Naht erfolgt (Grobkornzone), werden die Primärkarbide letztlich doch aufgelöst. Als Folge wird der Stahl wieder anfällig für Kornzerfall. Da die betroffene Zone streng an die Naht gebunden ist, spricht man von einer Messerlinienkorrosion, vgl. [1] - [3].

Nach Hoherhitzung beträgt die Minimalzeit für eine Sensibilisierung des Stahles, aus welchem die vorliegende Kapsel gefertigt wurde, etwa 30 Minuten bei 650°C, siehe Bild 14 [2]. Aus diesem Diagramm geht weiterhin hervor, dass die ersten Ausscheidungen bereits nach deutlich kürzeren Zeiten festgestellt werden (6 Minuten bei 750°C). Es muss erst ein gewisser Bedeckungsgrad der Korngrenzen erreicht werden, bevor der Kornzerfall ablaufen kann

Wenn gleichzeitig Spannungen anliegen, ist die Forderung an die Dichte der Karbidbelegung weniger streng. Es ergibt sich eine **interkristalline Spannungsrisskorrosion**.

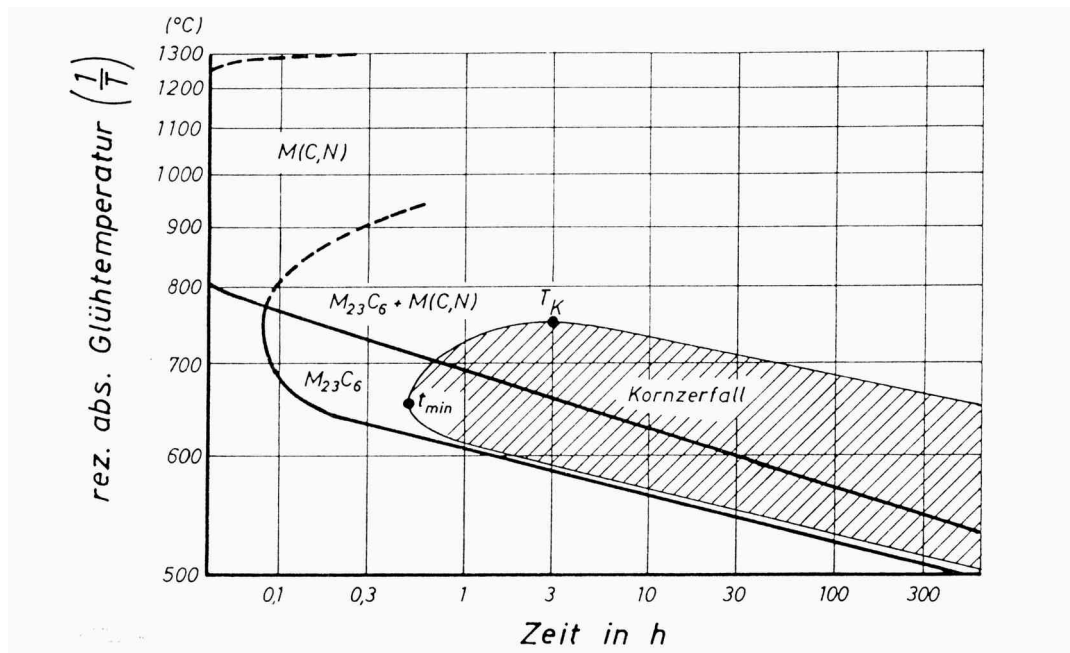


Bild 14: Kornzerfallsschaubild für den Stahl X10CrNiTi18-9, der bei 1300 °C lösungsgeglüht wurde. Sensibilisierungszeit etwa 30 min bei 650 °C (Prüfung im Strauss-Test), Auftreten der ersten Ausscheidungen nach weniger als 6 min bei 750 °C (aus [2])

Ein Elektroschreiber erzeugt einen Lichtbogen, der den Werkstoff schmilzt. Dabei wurde im gegebenen Fall derart viel Wärme eingetragen, dass der Werkstoff durchgehend sensibilisiert wurde. Als mechanische Komponente hat der Innendruck gewirkt; das eingeschlossene Wasser lieferte die chemische Komponente.

Der weiterhin vorgefundene Lochfraß war für die Schadensauslösung unwesentlich, er kennzeichnet allerdings die Aggressivität des Mediums.

Zusammenfassung

Die Kapsel wurde durch Risse geschädigt, die von der Innenseite ausgegangen waren und sich entlang der Korngrenzen ausgebreitet hatten. Der Stahl der Quellenkapsel – obwohl durch Titan „stabilisiert“ – wurde als Folge einer Elektrogravur sensibilisiert. Eingeschlossenes, verunreinigtes Wasser hat in Verbindung mit dem Innendruck die Rissbildung vorangetrieben. Es liegt somit eine interkristalline Spannungsrisskorrosion vor.

Literatur

- [1] Bäuml, A.: Korrosion in der Wärmeeinflusszone geschweißter chemisch beständiger Stähle und Legierungen und ihre Verhütung. *Werkstoffe und Korrosion* 26 (1975) S. 433-443
- [2] Herbsleb, G.; Schüller, H.-J.; Schwaab, P.: Ausscheidungs- und Korrosionsverhalten unstabilisierter und stabilisierter 18/10 Chrom-Nickel-Stähle nach kurzzeitigem sensibilisierendem Glühen. *Werkstoffe und Korrosion* 27 (1976) S. 560-568
- [3] Cihal, V.; Leka, M.: Messerlinienkorrosion von automatisch hergestellten Schweißverbindungen aus korrosionsbeständigen Stählen. *Werkstoffe und Korrosion* 22 (1971) S. 768-774

Martin Möser, 03. Mai 2012, ergänzt um die Bilder 13 und 14 am 11. September 2012

Siehe in dieser Homepage auch die Ausarbeitungen

- Spannungsrisskorrosion an der Kapsel einer Kobalt-Strahlenquelle
- Lochfraß an Kobaltquellen aus Chrom-Nickel-Stahl
- Interkristalline Korrosion an Faltenbälgen aus CrNi-Stahl beim Beizen
- Spannungsrisskorrosion an Manganaustenit, Teil I, Induktorkappe aus dem Kraftwerk Lauta (und Lübbenau)