

Bitte beachten: Der vorliegende Bericht dient zu Informationszwecken! Der originale Inhalt ist stark verkürzt und nur auszugsweise wiedergegeben.

Untersuchungsbericht

Ermittlung der Leckageursache am Sammelrohr eines
Wärmetauscher-Blocks



Dr.-Ing. Korbinian Puchner ■ Werkstoffkundliche Schadensanalytik

Mariengasse 6
82234 Wessling

Tel.: +49 (0)8153 909 83 00
Mobil: +49 (0)173 996 50 80

Web: www.puchner-schadensanalytik.de
Mail: info@puchner-schadensanalytik.de



Untersuchungsgegenstand

Bild 1 zeigt den untersuchungsgegenständlichen Wärmetauscherblock in der Übersicht. Der Block und dessen Bestandteile sind aus korrosionsbeständigen Werkstoffen gefertigt. Die Schäden sollen nach einer Betriebsdauer von ca. einem Jahr aufgetreten sein.

Nach Angaben des Auftraggebers sollen sich insbesondere an der Anschlussverrohrung (Zwischenrohre zu den Kernrohren) eines der beiden Sammlerrohre des zweikreisig aufgebauten Moduls mehrfache Leckagen (Pfeil) befinden.



Bild 1: Übersichtaufnahme des bemängelten Sammlerrohres (Pfeil) mit mehrfachen Leckagestellen





Äußere Beurteilung

Die Übersichtsaufnahmen lassen teils erhebliche Verfärbungen der ursprünglich metallisch blanken Oberflächen erkennen. Insbesondere an den Gehäuseblechen liegen zähe, bräunliche Anhaftungen sowie filmartige Ablagerungen vor (Bild 2).

Insbesondere im Bereich der Schadenstellen sind stark geschädigte, partielle Reste einer grauen Oberflächenbeschichtung vorzufinden. Die zähe Beschichtung erscheint aufgequollen und in großen Teilbereichen von der Oberfläche der Verrohrung gelöst. Anhaftende Reste lassen sich unter geringer mechanischer Einwirkung flächig entfernen.

In der Peripherie der Schweißstellen liegen bräunliche, teils irisierende Verfärbungen der Rohroberflächen vor (Bild 3); diese korrelieren dem äußeren Anschein nach mit den Wärmeeinflusszonen der Fügebereiche.



Bild 2: Schrägansicht des Rahmenblechs mit flächiger, brauner Belegung



Bild 3: Detailaufnahme des Schadenbereichs

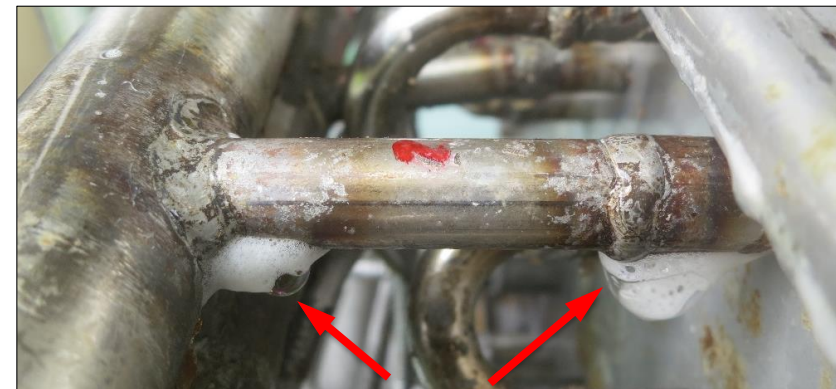
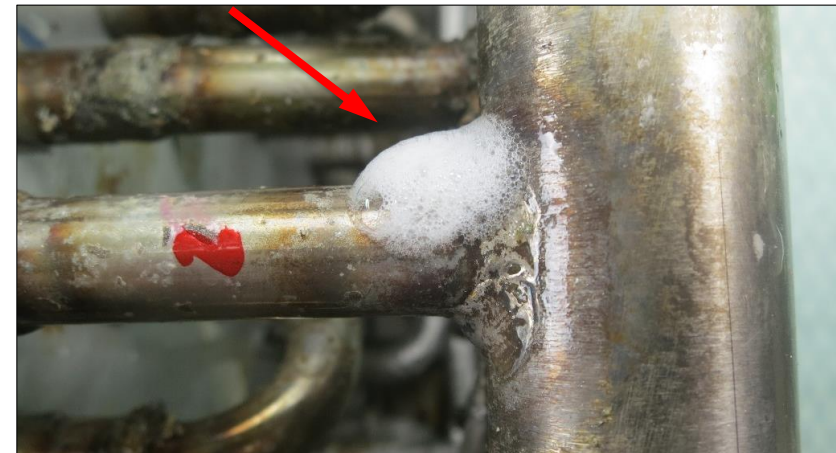


Leckageprüfung

Zur Lokalisierung der Leckagestellen wird der betroffene Kreis des Wärmetauscherblocks mit Druckluft beaufschlagt (4 bar). Die Visualisierung der Austrittsstellen erfolgt unter Zuhilfenahme eines Leckfinder-Sprays.

Anhand der dadurch erzeugten Blasenbildung werden Undichtigkeiten an mehreren Rohren vorgefunden.

Die Bilder 4 und 5 zeigen Detailaufnahmen der ermittelten Leckagebereiche. Auffallend ist eine Konzentration der punktförmigen Austrittsstellen in unmittelbarer Nähe der Schweißraupen.



Bilder 4 und 5: Detailaufnahmen der mittels Leckfinder-Spray visualisierten Schadenstellen





Makroskopische Untersuchung

Hinsichtlich des äußeren Erscheinungsbildes sind zwei Schadensbilder zu differenzieren. Die Bilder 6 und 7 verdeutlichen eine Oberflächentopographie, die durch muldenförmige Oberflächendefekte geprägt ist. Dem äußeren Anschein nach handelt es sich um korrosiv bedingte Werkstoffauflösungen. Auffallend ist der örtliche Zusammenhang dieser Korrosionsmerkmale mit der Wärmeeinflusszone der Schweißnaht, die anhand der oxidativen, irisierenden Oberflächenverfärbung der angrenzenden Rohroberfläche zu erkennen ist.

Als weiteres Oberflächenmerkmal erweisen sich partielle Rückstände von braunen, filmartigen Fremdanhaftungen (Pfeil in Bild 6). Augenscheinlich handelt es sich um artgleiche Rückstände wie am Blechrahmen des Wärmetauschers.



Bilder 6 und 7:
Übersichts- und
Detailaufnahme
einer
Leckagestelle,
Pfeil
kennzeichnet
braune,
filmartige
Rückständen



Makroskopische Untersuchung

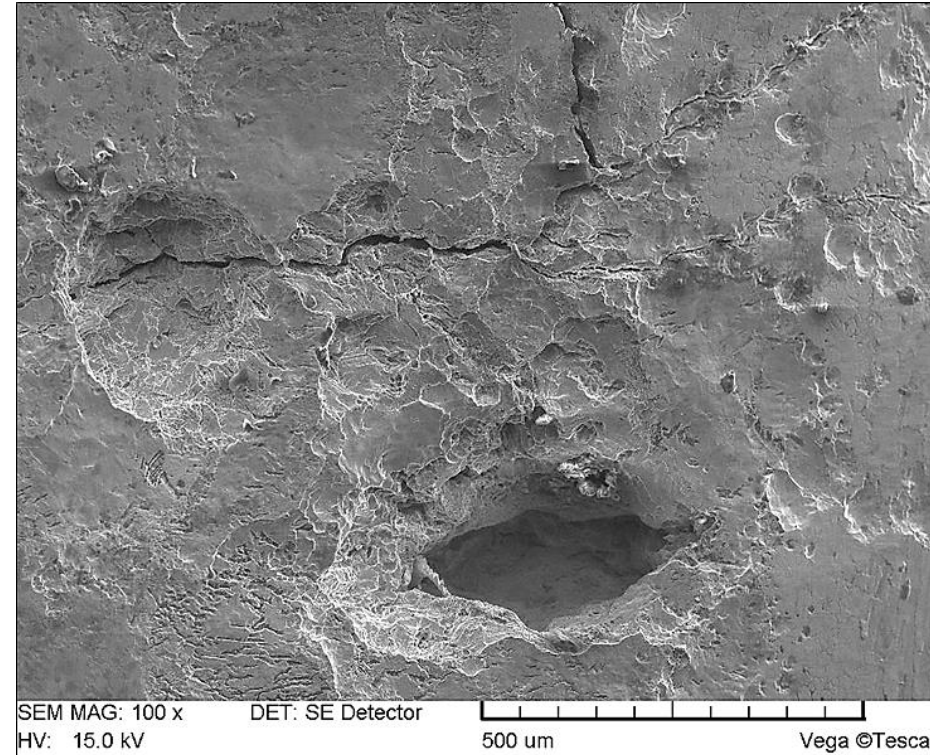
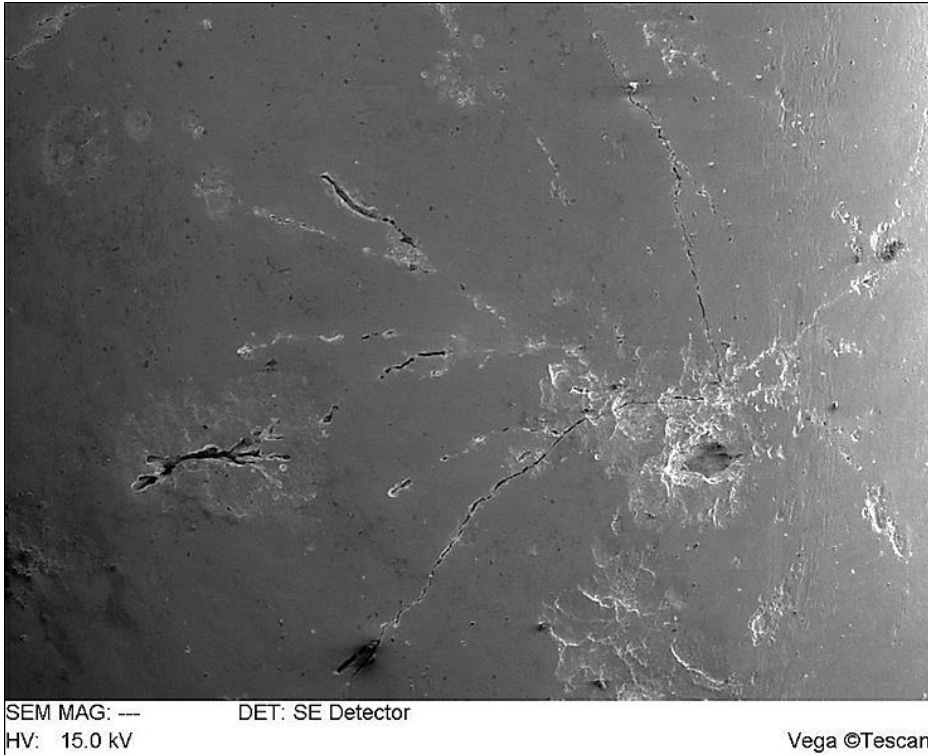
Die Bilder 8 und 9 zeigen vollkommen andere Oberflächenmerkmale als die in den Bildern 6 und 7 dokumentierten Korrosionsmulden. Als charakteristisch erweisen sich verästelte Rissysteme, durch sich über Teilbereiche der Rohroberflächen erstrecken. Die Rissverläufe orientieren sich bevorzugt senkrecht zur Rohr-achse. Auch für diese Schadensmerkmale scheint die örtliche Nähe zu den Fügestellen ein lagebestimmendes Kriterium darzustellen.



Bilder 8 und 9:
Übersichts- und
Detailaufnahme der
Leckagestelle im
Bereich einer Kehlnaht



Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung



Bilder 11 und 12:
Rasterelektronenmikroskopische Übersichts- und Detailaufnahme einer Leckagestelle

Die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen (Bilder 11 und 12) verdeutlichen die lichtoptischen Befunde. Insbesondere zu erkennen sind die feinen Verästelungen in den Rissbereichen mit Überlagerungen durch punktförmige Oberflächenangriffe.



Feinbereichsanalysen



Bild 13 zeigt das in einem belagsfreien Abschnitt der Rohroberfläche ermittelte EDX-Spektrum. Als chemische Hauptbestandteile sind die Elemente Eisen, Chrom und Nickel sowie ein gering ausgeprägter Silicium-Peak zu ermitteln. Zusätzlich wird ein signifikanter Kohlenstoffpeak detektiert.

Während die Elemente Kohlenstoff und Silicium auf äußere Verunreinigungen hindeuten, sind die Elemente Eisen, Chrom und Nickel ein Indiz für die Verwendung eines hochlegierten Chrom-Nickel-Stahls (z.B. der austenitische, korrosionsbeständige Werkstoff X5CrNi18-10 / 1.4301).

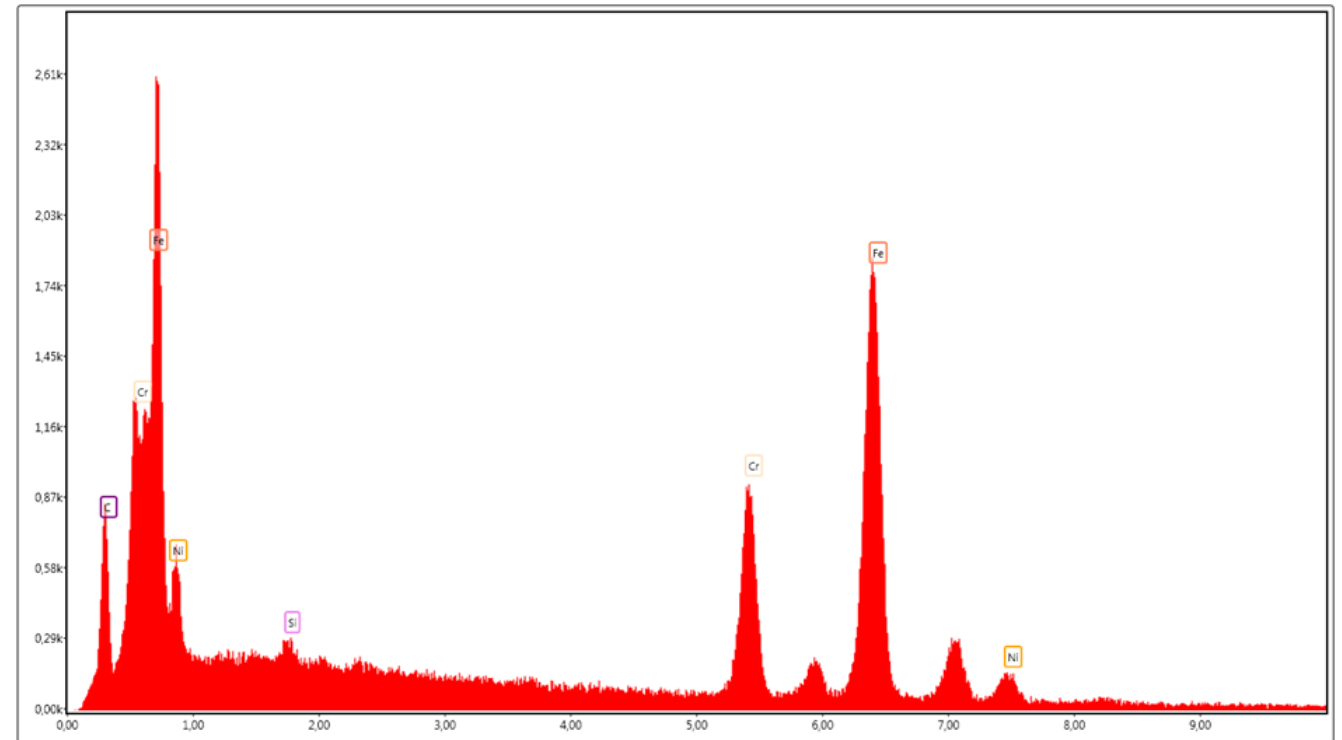


Bild 13: Energiedispersive Analyse des Grundwerkstoffs



Feinbereichsanalysen



Das Spektrum der in den Oberflächenrissen vorhandenen Rückstände ist in Bild 14 dargestellt. Als chemische Hauptbestandteile erweisen sich die Elemente Kohlenstoff, Silicium, Phosphor und Calcium. Der dominierende Sauerstoffpeak kennzeichnet das Vorliegen oxidischer Verbindungen. In geringen Anteilen werden die Elemente Natrium, Magnesium, Aluminium sowie Schwefel und Kalium detektiert.

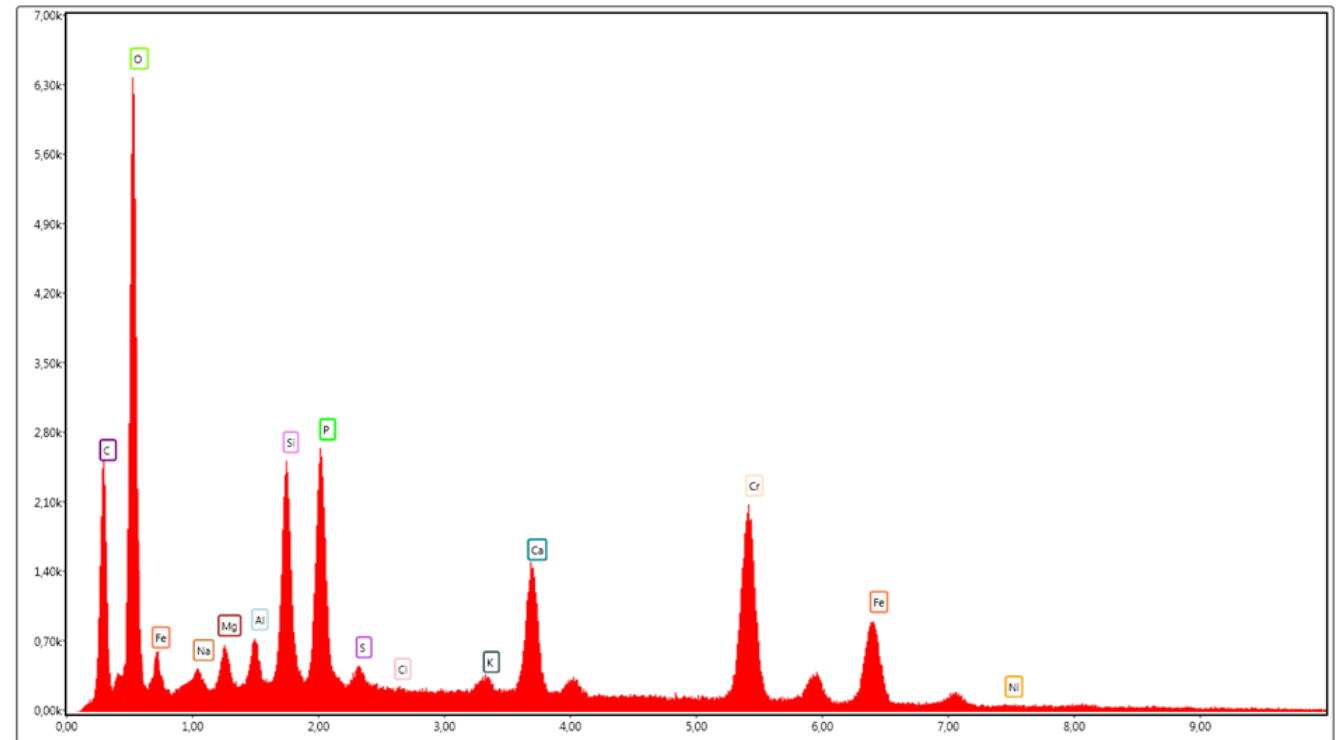


Bild 14: Energiedispersive Analyse einer Ablagerung in einem Oberflächenriss





Makroschliffpräparation und Innenuntersuchung

Zur Begutachtung der Innenoberflächen sowie zur Präparation metallographischer Schliffe wird ein Schadensrohr entlang der Mittenebene getrennt (Bild 15). Das in das Sammlerrohr hineinragende Rohrende ist bei der Erstellung der Kehlnaht partiell abgeschmolzen. Ebenso zu erkennen ist ein lokaler Rückfall der Nahtwurzel (Pfeil).

Die Innenoberflächen zeigen einen unauffälligen Befund mit gleichmäßig geschlossener, matter Oberflächenbelegung. Mit Ausnahme der durch den Einfluss der Schweißwärme verfärbten Umgebungsbereiche der Fügestellen liegt ein homogenes Erscheinungsbild vor, aus dem sich keine Hinweise auf einen Korrosionsangriff auf die medienberührten Innenoberflächen ableiten lassen.

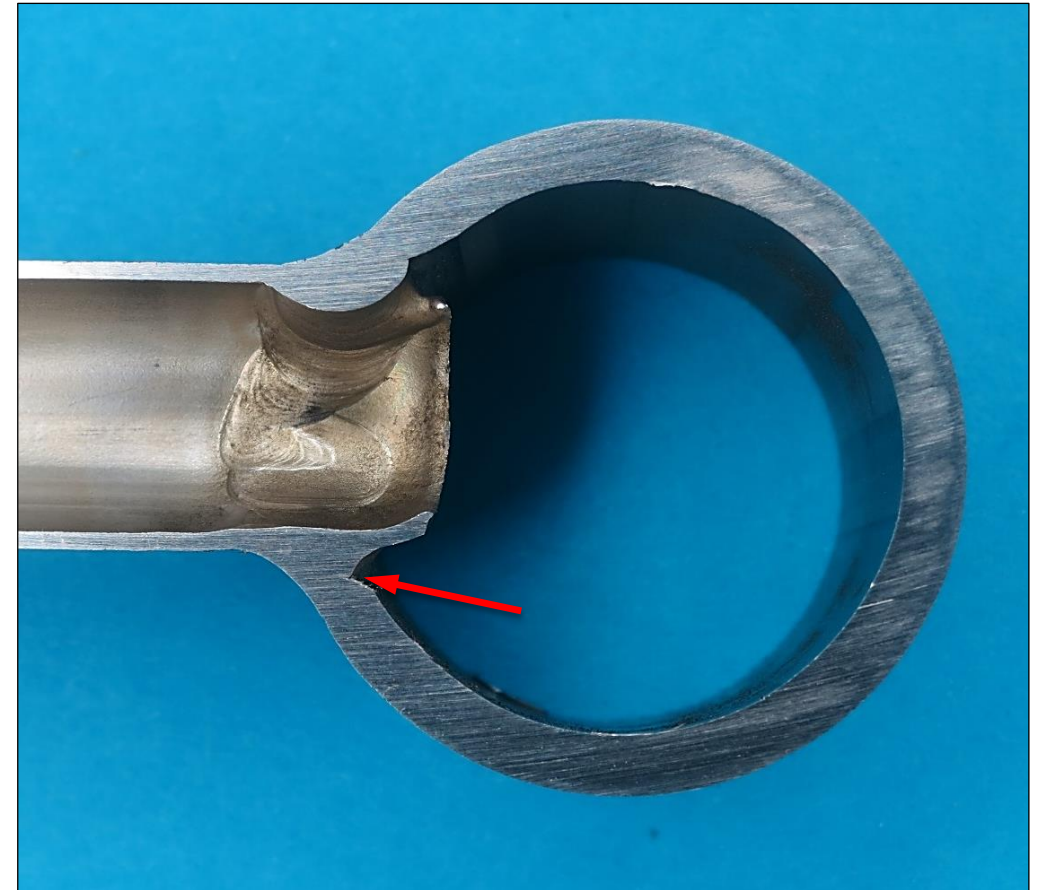


Bild 15: Makroschliff durch eine geschädigte Kehlnaht





Mikroschliffpräparation

Unter digitalmikroskopischer Betrachtung ist zu erkennen, dass der gesamte Bereich der Kehlnaht sowie des daran angrenzenden Rohrabschnitts von feinen Rissnetzwerken durchzogen ist (Bilder 16 und 17).



Bild 16: Metallographisches Schlibbild einer geschädigten Kehlnaht

Die von der Außenoberfläche ausgehenden Risse zeigen ein fein verästeltes Bild. Die transkristallinen Risse erstrecken sich teils über den gesamten Wandquerschnitt und bilden somit Leckagepfade.

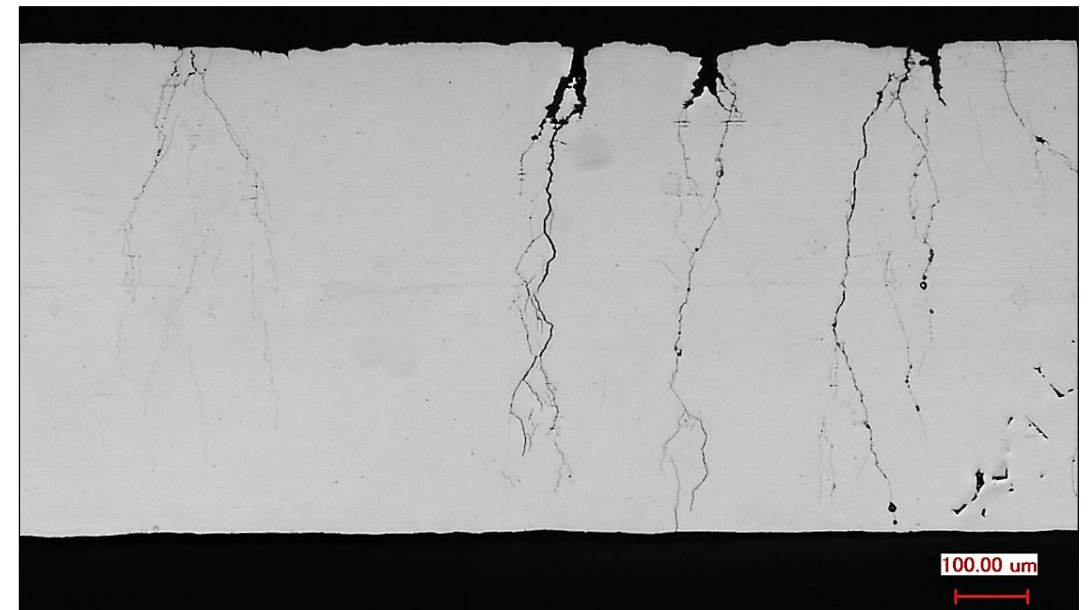


Bild 17: Metallographisches Schlibbild in der Peripherie der Kehlnaht



Ergebnisbewertung



Die Leckageprüfung hat zum Ergebnis, dass die Undichtigkeiten sowohl im Bereich der Stumpfstöße der Kernrohre sowie an den Kehlnähten des Sammlerrohres zu lokalisieren sind. Sämtliche Schadensstellen befinden sich somit der Peripherie von durch Schmelzschweißen hergestellten Fügestellen.

Die Peripherie der Schweißstellen ist durch bräunliche, teils irisierende Verfärbungen der Rohroberflächen gekennzeichnet. Als äußerlich erkennbare Schadensmerkmale sind zum einen muldenförmige Korrosionsangriffe zu ermitteln, zum anderen verästelte Oberflächenrisse.

Die metallographischen Schliffbilder verdeutlichen, dass es sich dabei nicht nur um einen Oberflächenbefund handelt, sondern um verzweigte Risssysteme, sie sich ausgehend von den Außenoberflächen über den gesamten Werkstoffquerschnitt ausweiten. Aufgrund der charakteristischen Merkmale ist ein derartiger Schadensbefund zweifelsfrei dem Einwirken einer Spannungsrisskorrosion (SpRK) ursächlich zuzuordnen.

Ein derartiges Korrosionssystem erfordert das gleichzeitige Einwirken von drei Parametern, nämlich

1. spezifisches Angriffsmittel
2. gegenüber SpRK empfindlicher Werkstoff
3. mechanische (Zug-)Spannungen



Ergebnisbewertung



Zu 1.: Die Außenoberfläche des Wärmetauschers zeigt eine teils ausgeprägte Verunreinigung. Mittels EDX-Analysen wird der Nachweis erbracht, dass organische Verunreinigungen mit einer großen Anzahl an Begleitelementen vorliegen. Chloride als typisches spezifisches Angriffsmittel für hochlegierte Chrom-Nickel-Stähle sind jedoch nicht nachzuweisen. Der Beständigkeitsbereich hochlegierter Chrom-Nickel-Stähle gegenüber SpRK nimmt mit steigender Temperatur deutlich ab. Die Schädigung der Oberflächenbeschichtung ist als Indiz für eine Temperaturbeaufschlagung anzusehen.

Zu 2.: Grundsätzlich zählen hochlegierte austenitische Stähle zu den gegenüber SpRK empfindlichen Werkstoffen. Dies ist auf deren Neigung zur Mehrphasigkeit zurückzuführen, wodurch sich insbesondere gegenüber selektiver Korrosion eine erhöhte Anfälligkeit ergibt. Dies gilt insbesondere für Schweißnähte, da in deren Wärmeeinflusszone (WEZ) Entmischungs- und Ausscheidungsvorgänge gefördert werden. Zudem vermindern die im Schweißnahtbereich entstehenden Oxidfilme die Korrosionsbeständigkeit, wodurch der örtliche zugeordnete Lochfraß zu erklären ist. Aus diesem Grund sollte eine Beizbehandlung zur Regenerierung der Oberfläche vorgenommen werden.

Zu 3.: Insbesondere Schweißnähte stellen aufgrund der thermischen Einwirkung Bereiche höchster Spannungskonzentration dar. Dies erklärt, warum die Rissbildung auf die Peripherie der Schweißnähte beschränkt bleibt. Es handelt sich hierbei um die Bereiche, in denen durch Schweißspannungen ein kritisches Zugspannungsniveau als Voraussetzung einer SpRK überschritten wird.



Zusammenfassung



Die werkstoffkundliche Schadensanalyse ergibt, dass als Schadenursache die Bildung eines Spannungsrissskorrosions-Systems zu ermitteln ist. Zweifelsfrei liegt ein chemischer Angriff von der Außenoberfläche her vor, der in der sensibilisierten Wärmeeinflusszone der Schweißnähte zu einer Vergesellschaftung mit örtlichem Lochfraß führt. Dies wiederum begünstigt die Spannungsrissskorrosion durch Aufkonzentration spezifischer Angriffsmittel, Einstellung kritischer pH-Werte und Spannungskonzentration durch Kerbwirkung an den entstandenen Löchern.

