

Korrosionsschäden an gelöteten Plattenwärmetauschern

G. Pajonk

Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen, 44287 Dortmund

Einleitung

Wärmetauscher sind technische Bauelemente, mit denen sich Kreisläufe wärmetechnisch untereinander verbinden lassen, die mit verschiedenen Betriebsmitteln und bei verschiedenen Betriebsdrücken betrieben werden, ohne daß es zum Druckausgleich und zu einer Vermischung kommt. Ihre Aufgabe ist es, Stoffströme auf die benötigte Temperatur aufzuheizen oder abzukühlen. Mit der Temperaturänderung kann auch ein Phasenübergang – wie die Verdampfung oder Kondensation verbunden sein. Bauelemente, bei denen die Wärme – wie im vorliegenden Fall - *indirekt* über eine Trennwand übertragen wird, heißen auch *Rekuperatoren* (lat.: recuperare - wiedererlangen).

Plattenwärmetauscher stellen eine preiswerte Alternative zu den zumeist industriell genutzten Rohr-bündel- und Spiralwärmetauschern dar. Sie werden wegen ihrer hohen Wärmeübertragungsleistungen bei zugleich kompakter Bauweise u.a. in der Hausinstallation eingesetzt und zeichnen sich durch einen geringen Platzbedarf sowie durch geringe Investitions- und Betriebskosten aus. Ein Plattenwärmetauscher aus 20 Einzelplatten hat beispielsweise die Abmessungen 310 mm x 112 mm x 48 mm, wiegt nur 4 Kg und kostet ca. € 200,-. Seine Montage ist einfach, da zahlreiche Bauvarianten mit Gewinde - und Flanschanschlüssen sowie in Norm von löt- und schweißbaren Verbindungen existieren. Plattenwärmetauscher sind daher ein effizienter Weg, um z.B. in der Gebäudetechnik einzelne Wohnobjekte an ein Nah- oder Fernwärmenetz anzubinden.

Die Konstruktion

Plattenwärmetauscher für gebäudetechnische Anwendungen werden fast ausschließlich aus 18-10 CrNi Stahl der Qualität X5 CrNiMo 17 12 2 (Werkst.-Nr. 1.4401) hergestellt. Für andere Anwendungsbereiche z.B. in der Chemie, Pharmazie, Textil und Lebensmittelindustrie stehen weitere Werkstoffe wie z.B. Nickelbasislegierungen bis hin zum Titan zur Verfügung. Plattenwärmetauscher bestehen aus profilgeprägten Blechen, die zu Paketen geschichtet sind und durch Verschrauben oder durch thermisches Fügen – wie Schweißen und Löten verbunden werden. Durch die besondere Plattengeometrie entsteht ein neben- und übereinander liegendes System aus schmalen Kanälen, das von den Betriebsmitteln im Gegenstrom turbulent durchströmt wird. Die kurzen Abstände und geringen Blechdicken (ca. 1 mm) gewährleisten zugleich einen guten Wärmeübergang von der Primär- zur Sekundärseite. Plattenwärmetauscher werden für Wasser und für viskose Medien wie z.B. Hydrauliköl angeboten. Die Plattengeometrie ist hierbei auf die Eigenschaften des Betriebsmittels abgestimmt. Die Prägung der Platten und ihr Abstand läßt sich planungsgemäß variieren und steuern bei einem gegebenen Medium den Druckverlust, die Fließgeschwindigkeit und den Wärmeübergang.

Gelötete Plattenwärmetauscher sind kompakter als geschraubte Wärmetauscher und höher belastbar (max. Druck bis 30 bar, max. Temperatur bis 225°C). Sie werden im Vakuumverfahren mit Kupfer- oder Nickelbasisloten zu einer kompakten und druckfesten Einheit gefügt. Bei ihnen entfällt daher im Vergleich zu den schraubbaren Varianten die Notwendigkeit von Dichtungen zwischen den Blechen. Durch das Fügen geht allerdings die Möglichkeit des leichten Öffnens und der schnellen und einfachen Reinigung verloren.



Bild 2 Anordnung der Strömungskanäle im PWT

Temperaturdifferenz (prim/sec.)		≤ 100°C
Heizmitteltemperatur:		≤ 65 – 70 °C
Wasseraustrittstemperatur:		≤ 60°C
pH-Wert		7 – 9,5
El. Leitfähigkeit	[μS/cm]	10 - 500
Sulfat	[mg/Kg]	< 100
Ammoniak	[mg/Kg]	< 2
Nitrat	[mg/Kg]	< 100
Eisen	[mg/Kg]	< 0,2
Mangan	[mg/Kg]	< 0,1
Chlorid	(≤ 50°C) [mg/Kg]	< 300
	(≤ 75°C)	< 100
	(≤ 90°C)	< 10
	(>100°C)	nicht zulässig
freies Chlor	[mg/Kg]	nicht zulässig
freie Kohlensäure	[mg/Kg]	< 20

Tab2 Betriebsparameter für den Trinkwassereinsatz

pH-Wert		7,53
El. Leitfähigkeit	[μS/cm]	421
Basenkapazität bis 8,2		0,26
Säurekapazität bis 4,3		4,36
Gesamthärte	°dH	13,3
Carbonathärte	°dH	12,2
Freie Kohlensäure	[mg/l]	11
Sulfat	[mg/l]	20,8
Ammoniak	[mg/l]	< 0,02
Nitrat	[mg/l]	1,1
Eisen,Mangan,Aluminium	[mg/l]	< 0,01
Chlorid	[mg/l]	8,7
TOC (organ. Kohlenstoff)	[mg/l]	0,93

Tab 3 Auszug aus der Trinkwasseranalyse

Der Schadensfall

Zur Untersuchung lag der in Bild 1 dargestellte Plattenwärmetauscher vor. Er hat die Abmessungen 530 mm x 113 mm x 84 mm und ist mit vier Gewindeanschlüssen zu jeweils 1“ ausgestattet. Der Plattenwärmetauscher besteht aus 20 rautenförmig geprägten Blechen, die übereinander geschichtet und mittels Kupferlot Cu 99,9 gefügt sind (Bild 2). Beim Verlöten sind zahlreiche, gewinkelte Strömungskanäle entstanden, die je Kreislauf von unterschiedlichen Wasserqualitäten durchströmt wurden. Die Lamellen des Wärmetauschers bestehen – wie spektralanalytisch und durch konduktometrische Kontrollmessungen bestätigt wird (Tab. 1) - aus dem Stahl X5 CrNiMo 17 12 2 (Werkst.-Nr. 1.4401). Die obere und untere Abschlußplatte sowie die Zuläufe des Wärmetauschers wurden aus X5 CrNi 18 10 (Werkst. -Nr. 1.4301) hergestellt.

Das Bauteil wurde 1996 gefertigt und ist lt. Hersteller für einen zulässigen Betriebsdruck von 30 bar und eine max. Betriebstemperatur von 195°C ausgelegt. Laut Betriebsanleitung ist es nicht für den Einsatz in druckstoßgefährdeten Systemen sowie in korrosiven Medien geeignet, die Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Säuren oder hohe Salzkonzentrationen enthalten. Die vom Hersteller für den Einsatz in Trinkwasser angegebenen Grenzen sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Der Plattenwärmetauscher war bis zu seiner Demontage in einer 10 Jahre alten Wohnanlage mit ca. 300 Wohneinheiten installiert. Dort hat er nach einer Betriebsdauer von nur 2 Jahren versagt. Der Plattenwärmetauscher diente in einer Übergabestation zur Anbindung an ein Nahwärmenetz, das aus einem zentralen 2 MW-Gaskraftwerk und insgesamt 20 gleichartigen Stationen besteht. Primär- und sekundärseitig liegen geschlossenen Kreisläufe vor. Das Betriebsmittel des versorgenden Kreislaufs ist Trinkwasser von ca. 90°C (Leitungsdruck: 2 bar bis 3 bar), das vor seiner Einspeisung zunächst entgast und entkalkt wird. Das Betriebsmittel des abgehenden Kreislaufs ist Trinkwasser der örtlichen Qualität (Leitungsdruck: 2 bar bis 3 bar), dem als Korrosions-

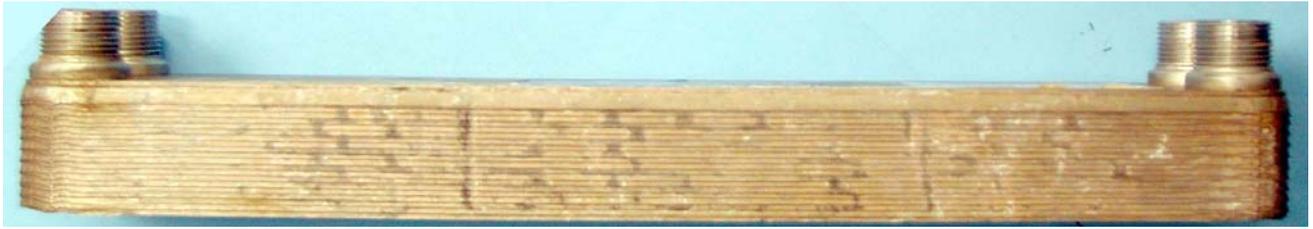


Bild 1 Schadhafter Plattenwärmetauscher in der Seitenansicht

	C	Fe	Mn	Cr	Ni	Mo	Si	P	S	Cu	Ti	N
Außenbech	0,035	Rest	1,41	17,6	8,45	0,2	0,52	0,037	0,002	0,35	0,03	0,055
Stahl 1.4301	≤0,07	Rest	≤2,00	17,00-19,50	8,00-10,50		≤1,00	≤0,045	≤0,015			≤0,11
Innenbleche	0,045	Rest	1,49	17,1	10,4	2,0	0,39	0,028	0,003	0,41		
Stahl 1.4404	0,03	Rest	≤2,00	16,50-18,50	10,00-13,00	2,00-2,50	≤1,00	≤0,045	≤0,015			≤0,11

Tabelle 1 Chemische Zusammensetzung der Wärmetauscherplatten, spektralanalytisch

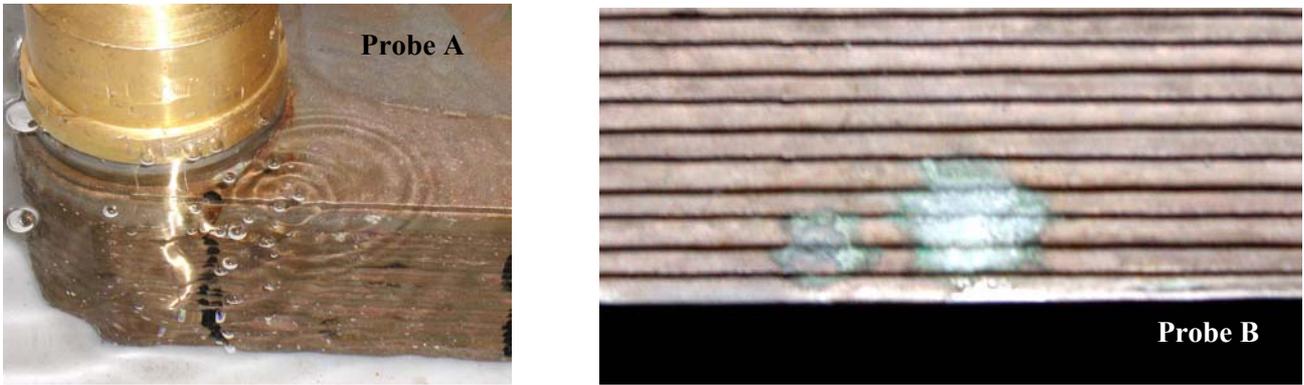


Bild 3 Leckagen am Plattenwärmetauscher



Bild 4 Ablagerungen in den Kanälen des Plattenwärmetauschers

	Fe	Mn	Cr	Ni	Co	Mo	Si	P	S	Cu	Zn	Al	Mg	Ca	Sr	Ba	K	Cl
Probe.B	0,08	0,01	0,01	0,01	---	---	0,46	0,02	0,02	0,02	0,004	53,4	0,48	0,03	---	---	---	---
	8,38	0,43	2,58	0,78	0,01	0,13	0,09	0,48	1,02	21,3	0,09	0,05	1,03	26,23	0,08	0,02	---	0,06
Probe A	3,56	0,13	1,41	0,23	0,006	0,04	0,08	0,21	0,32	2,26	0,06	0,36	1,04	31,90	0,11	0,05	0,04	0,01
	2,55	0,11	0,98	0,16	0,004	0,05	0,07	0,17	0,16	2,12	0,06	0,37	1,08	32,37	0,12	0,05	0,01	0,01

Tabelle 4 Zusammensetzung der Korrosionsprodukte im Wärmetauscher, röntgenfluoreszenzanalytisch

schutz und zum Verhindern von Kalkfällungen eine Zubereitung auf Alkalipolyphosphatbasis kontinuierlich zudosiert wird. Das Wasser des Sekundärkreises wird im Wärmetauscher auf 60°C bis 65°C aufgeheizt. Außerdem wird von einer Fehlfunktion der Dosieranlage berichtet, wonach es zu einer erheblichen Überdosierung gekommen sei.

Das Rohwasser des Sekundärkreises ist neutral bis schwach alkalisch und in Leitfähigkeit (421µS/cm), Härte (13,3 °dH) und chemischer Zusammensetzung eher durchschnittlich (siehe Tab. 3). Wie der Vergleich bestätigt, sind die Werte der Trinkwasseranalyse für pH-Wert, Leitfähigkeit, Sulfat, Nitrat, Chlorid und freie Kohlensäure in allen Fällen konform zu den Vorgaben des Wärmetauscherherstellers.

Die Zubereitung, die dem Wasser laut Produzent in Verdünnungen von 100 ml/m³, i.e. 1:10000 hinzudosiert werden soll, hat im Anlieferungszustand einen pH-Wert von 4,9. Sie verdankt ihre

härtestabilisierende Wirkung ihrem Kalklösevermögen als Säure und ihrem Gehalt an Polyphosphaten, die mit Calcium- und Magnesiumsalzen lösliche Komplexe bilden. Das Sicherheitsdatenblatt nennt für unterschiedliche Verdünnungen ein pH- Intervall von 4,9 bis 6,5.

Der Wärmetauscher wurde nach Anlieferung zunächst visuell untersucht. In der Nähe des sekundärseitigen Zulaufs wurde bei der Druckprobe eine Leckage festgestellt. Auf der anderen Seite des Wärmetauschers waren ungefähr in der Mitte Verfärbungen durch Korrosionsprodukte und Wasserinhaltsstoffe zu erkennen, die dort auf eine weitere Leckage schließen ließen (Bild 4). An beiden Stellen wurden Proben für weitere Untersuchungen entnommen.

Nach dem Zerteilen wurden sich in beiden Betriebs-hälften Sedimente gefunden (Bild 3), die sich – je nach Kreislauf - in Farbe und Zusammensetzung voneinander unterscheiden (Tab. 4). Die Kanäle des Sekundärkreises enthalten größere Volumina einer grünen, kristallinen Masse, die insbesondere im Bereich des Zulaufs zahlreiche Gänge verschlossen hat (Bild 4b). Sie besteht vorzugsweise aus Wasserinhaltsstoffen in Form von Salzen des Calciums, Magnesiums, Strontiums und Bariums. Daneben sind in geringeren Konzentrationen Eisen, Chrom, Nickel, Mangan und Molybdän als Korrosionsprodukte des Stahls 1.4401 und Kupfer als Korrosionsprodukt des Lots vorhanden. Alle Salze liegen erfahrungsgemäß vor allem als Carbonate und als Sulfate vor. Außerdem ließ sich eine gewisse Menge Phosphat nachweisen, das aus der Wasserbehandlung stammt. Im Bereich der zweiten Schadensstelle existieren weniger Ablagerungen, da die Wasserin-

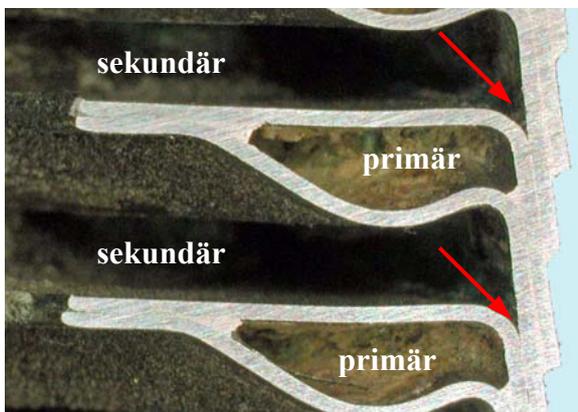


Bild 5 Materialverlust an den Lötflächen der Sekundärseite



Bild 6 Kaum mit Lot gefüllte Naht an der Außenseite des Wärmetauschers

haltsstoffe bereits beim Eintritt in den Wärmetauscher sedimentiert sind. Dementsprechend sinkt ihr Gehalt zu Lasten der Korrosionsprodukte. Die absolute Menge an Sedimenten ist auf der Primärseite sehr viel kleiner als sekundärseitig. Die Ablagerungen sind gelbbraun gefärbt und enthalten vorwiegend Aluminiumverbindungen. Phosphate sind dagegen kaum nachweisbar.

Zur Aufklärung der Schadensursache wurden die Löt Nähte an der Außenwand des Wärmetauschers näher untersucht. Alle Nähte sind im Primärkreis vollständig mit Kupferlot gefüllt. In Bild 5 sind im Sekundärkreis hingegen deutlich trichterförmige Ankerbungen und Spalten zwischen den Stahlblechen zu erkennen, wo das Lot in der Zone zwischen den Stahlblechen fehlt. Dort sind durch Korrosion zunächst schmale Einschnitte entstanden, an denen sich das Lot von der Metallplatte gelöst hat (Bild 7). Dabei wurden Spalten zwischen den Blechen erzeugt, die – wie Bild 6 belegt – an einigen Stellen bis zur Außenseite des Wärmetauschers durchgehen können. An einer derartigen Stelle hat der Wärmetauscher versagt, so daß dort Wasser ausgetreten ist.

Im vorliegenden Fall wurden bevorzugt die Kanäle und Löt Nähte der Sekundärseite korrodiert. Der Korrosionsprozeß, der zum Verlust des Lots geführt hat, folgte dort der Phasengrenze zwischen Kupferlot und Stahl, wobei speziell die zum Kupferlot benachbarten Bereiche in der Wärmeeinflußzone betroffen sind (Bild 8). Im Querschliff lassen sich dort auf den Korngrenzen Carbid-Ausscheidungen nachweisen (Bild 9). In den Spalten, wo kein Lot mehr existiert, ist am Stahlblech interkristalliner Kornzerfall sichtbar, der entlang der Korngrenze bis ins Innere des Stahls fortgeschritten ist. Hierdurch ist die Haftung zwischen den Platten verloren gegangen. Auf der Sekundärseite werden auch außerhalb der Naht, insbesondere in den Verformungszonen des Stahls weitere Stellen mit interkristalliner Korrosion beobachtet (Bild 10). Von dort geht vereinzelt Spannungsrißkorrosion aus, die nach außen verläuft und die Außenseite des Wärmetauschers erreicht (Bild 11).

Das Ergebnis:

Im vorliegenden Fall hat ein mit Kupferlot hartgelöteter Plattenwärmetauscher aus 18 10 CrNi Stahl durch Messerschnittkorrosion versagt. Messerschnittkorrosion hat die Lötstelle zwischen den einzelnen Platten des Wärmetauschers zerstört. Der Wärmetauscher ist außerdem an zahlreichen Stellen vorgeschädigt, so daß dort weitere potentielle Versagensstellen existieren. Der Begriff Messerschnittkorrosion beschreibt nach EN ISO 8044 phänomenologisch eine spezielle Form der selektiven Korrosion, bei der die Schädigung –wie bei einem Schnitt mit einem Messer - entlang einer scharfen Linie auf der Phasengrenze Lot/Grundwerkstoff oder neben der Löt Naht in der Wärmeeinflußzone verläuft. Bei der Betrachtungsweise nach EN ISO 8044 bleiben Unterschiede im Korrosionsmechanismus unberücksichtigt. Sie unterscheidet nicht die unterschiedlichen Ursachen, die zu einer selektiven Auflösung des Lots oder der Wärmeeinflußzone führen können.

Die Ursache für die *selektive Korrosion am Lot* ist Bimetallkorrosion. In einem geeigneten Korrosionsmedium bilden verschiedene Werkstoffe wie Kupfer und Stahl ein Kontaktelement, bei dem der unedlere von beiden Werkstoffen anodisch aufgelöst wird. Da die Oberfläche von nichtrostenden Stahlsorten von einer dünnen Oxidschicht bedeckt ist und Oxide im allgemeinen edler sind als Metalle, geht das Kupfer im Regelfall – die Potentiallage hängt von der Zusammensetzung des Korrosionsmediums ab -in Form von Ionen in Lösung. In diesem Fall wird speziell das Lötgut aufgelöst, was zwangsläufig zu Leckagen und zur Zerstörung des gefügten Bauteils führt.

Beim aktuellen Schaden verlaufen die Schädigungen *in der Wärmeeinflußzone parallel zur Löt Naht*. Die Trennung zwischen Lot und Stahl wurde dort durch interkristallinen Kornzerfall am Stahl ausgelöst. Außerhalb der Löt Naht – insbesondere an Stellen, an denen das Blech stärker verformt ist, konnten weitere Schäden durch interkristalline Korrosion nachgewiesen werden. Im Querschliff ließen sich auf den Korngrenzen in der Wärmeeinflußzone Ausscheidungen nachweisen, bei denen

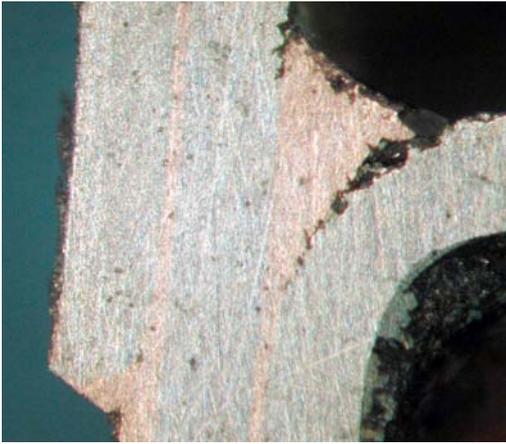


Bild 7 Beginnende Korrosion entlang der Phasengrenze Lot / Grundwerkstoff



Bild 8. Interkristalliner Kornzerfall der Wärmetauscherplatte neben der Naht



Bild 9 Sondercarbide auf den Korngrenzen in der Wärmeeinflußzone der Lötnaht

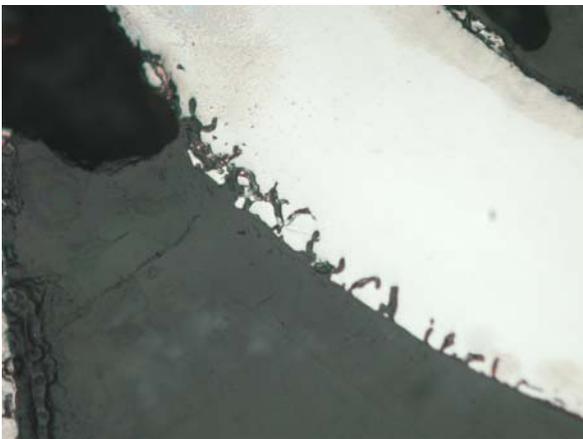


Bild 10 Interkristalliner Kornzerfall der Wärmetauscherplatte im Sekundärkreis außerhalb der Fügezone

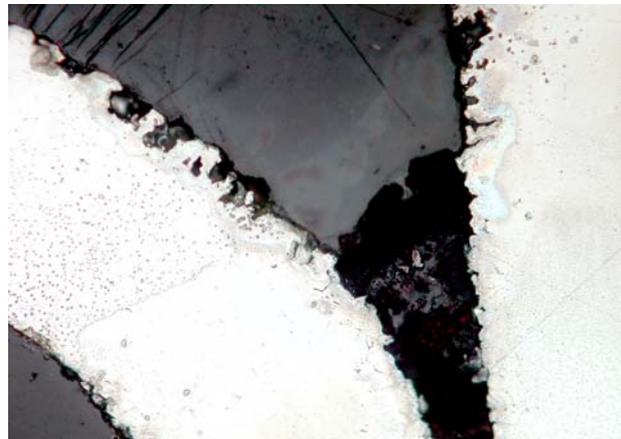


Bild 11 Korrosionsspannungsrisse in der Verformungszone der Bleche

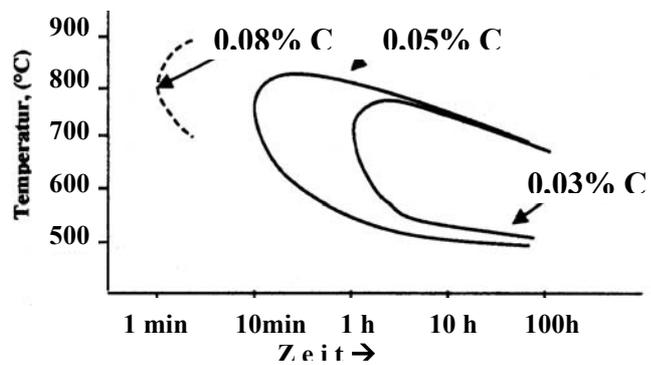


Bild 12 Zeit-Temperatur-Sensibilisierungs-Diagramm für 18-10 CrNi-Stahl mit verschiedenen Kohlenstoffgehalten

es sich um Chromcarbide handelt. Sie haben den Stahl, aus dem die Platten des Wärmetauschers bestehen, für interkristalliner Kornzerfall sensibilisiert. Die Lamellen des Wärmetauschers bestehen aus dem Stahl X5 CrNiMo 17 12 2 (Werkst.-Nr. 1.4401). Dieser Werkstoff ist wegen seines Kohlenstoffgehalts von 0,05 Gew.% nicht gegen interkristalline Korrosion beständig. Wie das ZTS-Diagramm für 18-10-CrNi-Stähle (Bild 12) belegt- reichen beim 1.4401 bereits relativ kurze Glühzeiten von 10 Minuten aus, um Carbide auszuscheiden und ihn für interkristalline Korrosion zu sensibilisieren. Im vorliegenden Schadenfall ist die Sensibilisierung beim Verlöten der Stahlbleche mit dem Kupferlot Cu 99,9 eingetreten. Sobald sich der Stahl im Temperaturintervall zwischen 500°C bis 900°C befindet, wandert Kohlenstoff an die Korngrenzen und wird dort als Chromcarbide chemisch gebunden. Zugleich verarmen die zur Korngrenze benachbarten Bereiche an Chrom und werden selektiv korrodierbar. In einem entsprechenden Korrosionsmedium wird das Korn zur großflächigen Kathode, die relativ kleine Korngrenze zur Lokalanode, Diese wird bei relativ hoher Stromdichte mit hoher Korrosionsgeschwindigkeit aufgelöst. Dieser Vorgang endet letztlich mit dem Verlust des Kristalls. Da beim 1.4401 bereits 10 min für eine Sensibilisierung ausreichen, ist eine hinreichend lange Wärmebehandlung sehr wahrscheinlich. Reines Kupfer schmilzt bei 1083 °C. Daher wird das kritische Temperaturintervall zwischen 500°C bis 900°C beim Löten des Wärmetauschers zweimal durchfahren. Im vorliegenden Fall wird davon ausgegangen, daß insbesondere die Abkühlgeschwindigkeit zu Lasten der Verweilzeit im kritischen Temperaturfenster verringert wurde, um ein Abreißen des Lots von den Platten als Folge thermo-mechanische Spannungen beim zu schnellen Abkühlen zu verhindern.

Der Schaden ist im Sekundärkreis des Wärmetauschers eingetreten, da dort ein geeignetes Korrosionsmedium mit niedrigem pH-Wert und hoher Leitfähigkeit existiert hat. Auf der Primärseite ließen sich hingegen keine besonderen Veränderungen durch Korrosion feststellen. Das Korrosionsmedium war im vorliegenden Fall Trinkwasser der örtlichen Qualität, dem zur Härtestabilisierung eine alkalipolyphosphathaltige Zubereitung zugesetzt wurde. In den Ablagerungen des Sekundärkreises war daher Phosphat in einer hohe Konzentration nachzuweisen, das nicht aus dem örtlichen Trinkwasser stammen kann. Eine Fehlfunktion der Dosieranlage ließ sich jedoch weder bestätigen, noch widerlegen.

Unbehandeltes Trinkwasser örtlicher Qualität verletzt keine vom Hersteller für diesen Plattenwärmetauscher angegebene Einsatzgrenze (vergleiche: Tab. 2 ↔ Tab: 3). Es erfüllt alle Anforderungen, die der Hersteller des Plattenwärmetauschers an das Betriebsmittel stellt. Allerdings liegt seine Leitfähigkeit bereits in der Nähe der Herstellergrenze von 500 µS/cm. Anhand des vorliegenden Materials läßt sich nur schwer vorhersagen, ob ein Plattenwärmetauscher gleicher Bauart aus 1.4401, der gleichermaßen sensibilisiert ist und an parallelen Einsatzstellen ohne Zusatzmittel betrieben wird, auch unter diesen Bedingungen schadensfrei bleibt.

Das dem Trinkwasser hinzugefügte Mittel ist eine sauer reagierende Flüssigkeit (pH = 4,9), die selbst bei einer Dosierung nach Anleitung den pH-Wert und die Leitfähigkeit in einen Bereich verschiebt, in dem Plattenwärmetauscher nach Angaben des Herstellers aus Korrosionsgründen nicht mehr eingesetzt werden sollen. Sobald eine Säure zum Trinkwasser hinzugefügt wird, steigen die elektrolytische Dissoziation, die Wasserstoffionenkonzentration und hierdurch die Leitfähigkeit, wobei zugleich der pH-Wert unter 7 abfällt. Es ist daher davon auszugehen, daß sie schon bei bestimmungsgemäßer Zugabe der o.g. Zubereitung die Einsatzgrenzen überschritten werden. Die zugesetzte Zubereitung soll nach Angaben ihres Hersteller nur bei Temperaturen bis maximal 60°C verwendbar sein, da bei hohen Wassertemperaturen damit gerechnet werden muß, daß die Härtestabilisierung verloren geht und die im Wasser gelösten Inhaltsstoffe sedimentieren. Der Betreiber des Fernwärmenetzes berichtet für die Sekundärseite eine Betriebstemperatur von 60°C bis 70°C. Bei bestimmungsgemäßem Einsatz werden daher in den Leitungen die Grenzen der Zubereitung bereits

erreicht. Der Wärmetauscher wird jedoch auf der Primärseite mit Wasser ca. 90°C versorgt. Daher ist davon auszugehen, dass auf der Sekundärseite in der Grenzfläche Stahl/Trinkwasser Temperaturen zwischen 60°C und 90°C vorliegen, bei denen das Limit <60°C deutlich überschritten wird. Diese Annahme wird durch das Untersuchungsergebnis bestätigt, wonach in den Kanälen des Wärmetauschers – insbesondere im Bereich des Wassereintritts – Kalk und zahlreiche Korrosionsprodukte gefunden wurden. An der Phasengrenze Stahl/ Wasser der Sekundärseite hat bis zum Versagen des Wärmetauschers ein 90 °C heißes hochwirksames Korrosionsmittel existiert. Die Ablagerungen im Schadensteil bestehen u.a. aus Eisen-, Kupfersalzen und Sulfat. Diese chemischen Verbindungen sind Grundchemikalien von Testlösungen für interkristalline Korrosion, wie sie in DIN 50 914 (Schwefelsäurere Kupfersulfatlösung nach Strauß) bzw. SEP 1877, Verfahren 3 (Schwefelsäurere Eisensulfatlösung) beschrieben werden. Nach seiner Sensibilisierung beim Lötten mußten daher die Platten des Wärmetauschers in diesem Korrosionsmittel interkristallin korrodiert werden und versagen.

Allgemeine Schlußfolgerungen und Maßnahmen

Der Plattenwärmetauscher hat im vorliegenden Fall durch Zusammenwirken mehrerer ungünstiger Faktoren versagt. Dies sind die Wahl eines sensibilisierbaren Werkstoffs zur Herstellung des Wärmetauschers sowie die Verwendung einer Zubereitung, die das Wasser in unzulässiger Weise verändert und Betriebsbedingungen, bei denen im Wasser enthaltene Inhaltsstoffe im Wärmetauscher sedimentieren konnten. Im Interesse der Planungssicherheit macht es allerdings keinen Sinn, den Einsatzbereich von Wärmetauschern, die in Trinkwasser eingesetzt werden sollen, durch zusätzliche Auflagen zu einzuschränken. Die TwVO 2003 begrenzt die Leitfähigkeit auf 2 mS/cm, den pH-Wert auf 6,5 bis 9,5 sowie die Konzentrationen von Sulfat auf 250 mg/L für, Chlorid auf 240 mg/L, Nitrat auf 50µg/L sowie Phosphat auf 6,7 mg/L vor. An diesen Werten müssen sich Anbieter von Bauteilen und Zubereitungen für die Trinkwasserversorgung orientieren.

Sinnvoller ist es, nur entsprechend voll für Trinkwasser geeignete Bauteile anzubieten. Der Plattenwärmetauscher wurde im vorliegenden Fall aus einem kohlenstoffhaltigen Stahl gefertigt, der fertigungsbedingt für interkristalline Korrosion sensibilisiert werden konnte. Schäden der vorliegenden Art, bei denen interkristalline Korrosion entsteht, lassen sich daher nur durch Verwenden kohlenstoffärmerer Stahlqualitäten sicher vermeiden, bei denen das verminderte Angebot an segregationsfähigem Kohlenstoff zur Verlängerung der Sensibilisierungsdauer führt. Kohlenstoffärmere Stahlsorten, sog. LC- Qualitäten (low carbon) sowie titan- und nioblegierte Stähle, die Kohlenstoff feinverteilt im Gitter als Titancarbid oder Niobcarbid binden, sind wesentlich schwerer für IK zu sensibilisieren. Zu diesen Sorten zählt beispielsweise der Stahl X2 CrNiMo 17 12 2 (Werkst.-Nr. 1.4404), dessen Kohlenstoffgehalt mit max. 0,03 Gew.% wesentlich geringer als beim 1.4401 und bei dem die Sensibilisierungsdauer mehr als 1 h beträgt.

Der Wechsel zu einer IK-beständigen Stahlsorte mindert für gelötete Plattenwärmetauscher nicht das Risiko, in geeigneten Trinkwässern durch Bimetallkorrosion zu versagen. Es ist allgemein bekannt, daß zwischen den Stahlplatten und der Lötnaht eines mit Kupferlot gefügten Plattenwärmetauschers eine elektrische Potentialdifferenz besteht, die in einem hinreichend leitfähigen Wasser zur anodischen Auflösung der Naht und zum Versagen des Wärmetauschers führt. Derartige Probleme lassen sich nur durch Wechseln des Lötwerkstoffs oder durch Schweißen mit einem geeigneten – höherwertigen - Zusatzwerkstoff beseitigen. Beim Wechseln des Lots ist allerdings stets zu bedenken, daß dieser Werkstoff beim Einsatz in Trinkwasser neben technischen auch hygienische Anforderungen zu erfüllen hat. Wegen ihrer Fähigkeit Nickelionen in nichtzulässiger Menge an das Trinkwasser abzugeben, sind nickelhaltige Lote mit Inkrafttreten der novellierten Trinkwasserverordnung zum 1.1.2003 nicht mehr für trinkwasserführende Leitungssysteme zugelassen.