

Spannungsrissskorrosion und Qualitätssicherung an Messinglegierungen

Erning, J.W.; Zunkel, A.; Klein, U. (1)

Messingwerkstoffe haben sich als Armaturen für Trinkwasser-Installationen seit vielen Jahren neben anderen metallischen Werkstoffen grundsätzlich bewährt. Fertigungstechnische und wirtschaftliche Vorteile sprechen für den Werkstoff in diesem Einsatzbereich. Die als nachteilig bekannte mögliche Neigung zur Spannungskorrosion, in deren Folge Ereignisse mit erheblichen Wasserschäden auftreten können, soll durch eine zuverlässige Überwachung der Produktion in der Anwendung vermieden werden. Ein typisches Messing-Bauteil wie die Hahnverlängerung dient als praxisnaher Prüfgegenstand.

Die Bestimmungen zur Gütesicherung der Gütegemeinschaft Messing-Hahnverlängerungen e.V. werden dahingehend überprüft, ob die Aussagefähigkeit und Anwendbarkeit für den Installateur unter Praxisbedingungen gegeben ist und damit das Risiko für den Schadenseintritt von vornherein minimiert werden kann. Die Aussagen stützen sich auf Werkstoff- und Gefügeuntersuchungen, Härtemessungen, gezielte Variation der Fertigungs-Parameter und umfangreiche Schraubversuche.

Im Ergebnis wird festgestellt, dass zwar die naturgesetzliche Neigung der untersuchten Messingwerkstoffe zur Spannungskorrosion auch an

den Erzeugnissen der Gütegemeinschaft nachweisbar ist, aber eine korrekte Berücksichtigung von Grenzwerten besonders der Härte im Herstellungsprozess der Bauteile die Empfindlichkeit deutlich herab setzt. Die Gütesicherung kann hier ausreichend beständige Bauteile gewährleisten.

Anlass der Arbeiten

Im Bereich der Trinkwasserinstallation kam es bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt immer wieder zu Schäden in und an Gebäuden infolge von plötzlichem Wasseraustritt, wobei sich als Ursache das Versagen von einzelnen Bauteilen aus kupferhaltigen Werkstoffen herausstellte. Besonders häufig betroffen sind Hahnverlängerungen oder auch Eckventile aus Messing. Im Zuge der Beseitigung und Aufklärung derartiger Schäden entsteht oft eine juristische Auseinandersetzung um die Schadensursache. In der Regel treten zwar geringe Kosten für den Ersatz des schadhaften Installationsteiles auf, die Folgeschäden durch Wassereintrich sind aber immens und nicht selten wird ein Schadensumfang von vielen Tausend Euro erreicht. Besonders unbefriedigend ist die Situation dann, wenn sich bei der Aufklärung der Schadensursache herausstellt, dass die Regeln der Technik eingehalten worden sind, der Werkstoff alle Sollwerte erfüllt und der Betrieb der Anlage vorschriftsmäßig erfolgt. In diesem Zusammenhang wird Spannungskorrosion als mögliche Ursache attestiert, da der Werkstoff Messing ganz allgemein für diese Korrosions-

art eine spezifische Empfindlichkeit aufweist.

Die infrage kommenden kupferhaltigen Werkstoffe sind sowohl Kupfer-Zink- (Messing) als auch Kupfer-Zinn-Zink-Legierungen (Rotguss). Beide Werkstoffgruppen weisen Vor- und Nachteile auf, die für den jeweiligen Einsatzfall in der Planungsphase einer Installation beachtet werden müssen. So gehört zu den Vorzügen von Messing beispielsweise die kostengünstige Bauteilfertigung und eine höhere mechanische Festigkeit und zu den Nachteilen die bereits genannte werkstoffeigene Anfälligkeit gegenüber Spannungskorrosion. Die vorliegenden Untersuchungen beschäftigen sich mit den Prüfbestimmungen der Gütegemeinschaft Messing Sanitär und der Aussagefähigkeit der Prüfergebnisse unter Berücksichtigung der bereits vorhandenen Erfahrungen bezüglich der baupraxisbedingten Einflüsse, die im Rahmen von Schadensanalysen von Bedeutung sind. Den Kern der Untersuchungen stellen dabei Materialkennwerte wie verschiedene Härtebereiche dar, die die Anfälligkeit gegenüber Spannungskorrosion beeinflussen.

Zur Spannungskorrosion von Messing

Spannungskorrosion bei Kupferwerkstoffen - wie auch bei anderen metallischen Baustoffen - tritt auf, wenn gleichzeitig mehrere Faktoren als notwendige Voraussetzungen existieren. Diese Faktoren sind

- ein für das System kritisches Medium,
- eine besondere Empfindlichkeit des Werkstoffes gegenüber diesem Medium und
- ausreichende mechanische Beanspruchungen, speziell Zugspan-



Bild 1: Beispiel für ein gebrochenes Eckventil

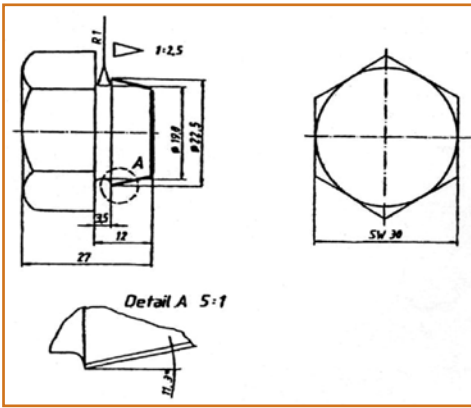


Bild 2: Prüfkörper aus den alten Gütebestimmungen

nungen, die im Bauteil auftreten.

Die Rissbildung als Folge von Spannungskorrosion wird dann als Spannungsrisskorrosion bezeichnet [4]. Beteiligt an dieser Korrosionsart sind der Vorgang der Korrosion und die Dehnung des Metalls als Folge von innerer oder aufgebrachter Zugspannung. Ein klassisches Schadensbild sieht dann wie folgt aus:

Das Versagen des betroffenen Bauteils tritt schlagartig zutage, am hier gezeigten Eckventil ist die Bruchfläche im Gewindebereich zu sehen. Ohne vorherige äußere Anzeichen wie z.B. Verformungen tritt der Bruch auf. Dabei können die Risse sowohl trans- als auch interkristallin sein, wie die entsprechenden metallografischen Untersuchungen bei der Schadensaufklärung dann regelmäßig nachweisen.

Von Messingsorten mit Kupfergehalten unter 80 – 85 % ist seit langem die Anfälligkeit gegenüber dieser Korrosionsart bekannt, wobei als spezifische Medien in Anwesenheit von Sauerstoff und Feuchtigkeit Stickstoffverbindungen, insbesondere Ammoniak und seine Verbindungen gelten. Bereits geringste Mengen eines rissauslösenden Mediums können am Schadensfall beteiligt sein, ohne dass der Nachweis derartiger Substanzen nachträglich immer möglich ist.

Die auch für Hahnverlängerungen eingesetzten Messingsorten mit einem Gehalt an Kupfer von ca. 58 % zählen wegen ihrer guten Verarbeitungseigenschaften zu den weltweit am

meisten eingesetzten Kupfer-Zink-Legierungen. Sie dienen der Herstellung von Armaturen, Ventilen und Installationsteilen unterschiedlicher Art und verschiedener Einsatzzwecke. Die Werkstoffe sind zwar zu den spannungskorrosionsanfälligen zu zählen, bisherige Erfahrungen aus der Praxis unter Berücksichtigung des weiten Einsatzbereiches rechtfertigen aber keine grundsätzlichen Bedenken bezüglich ihrer Verwendungssicherheit.

Die zur Auslösung von Spannungskorrosion notwendigen Zugspannungen können an einem Bauteil in Form von Eigenspannungen von vornherein als Folge des Herstellungs- und Verarbeitungsprozesses vorhanden sein. Sie können aber auch durch bestimmungsgemäße Montage oder Belastung im Betrieb hervorgerufen werden. Diese stellen für die Frage des Versagens im Betrieb die entscheidende Größe dar. Dabei ist es entscheidend, dass das Bauteil nicht zu viel elastische Spannung aufnehmen muss. Die Hahnverlängerung ist in dieser Hinsicht sicher als besonders kritische Anwendung



Bild 3: Hahnverlängerung mit Prüfkörper

zu sehen, da hier durch die beim Verschrauben auftretende Aufweitung Zugspannungen eingebracht werden. Entscheidend dafür sind das Maß der Verformung während der Montage sowie die Härte des Bauteils, die ein indirektes Maß für die plastische Verformbarkeit darstellt. Als Grenzmaß für die Prüfung wird eine Aufweitung von 0,4 % des Umfangs angenommen. Um diese Aufweitung sicher zu erreichen, wurde in den alten Gütebestimmungen die Verwendung eines speziellen Prüfkörpers mit erhöhter Steigung angegeben.

Dieser Prüfkörper führt zwar sicher zu der benötigten Aufweitung, führt aber zu einer punktuellen Belastung des Bauteils am äußeren Rand. Die in der Praxis vorliegende Belastung durch das konische Außengewinde nach [13] ist weit stärker über den gesamten Gewindebereich verteilt.

Versuche

Untersuchungsmaterial

Die Untersuchungen beziehen sich vorwiegend auf Erzeugnisse von Mitgliedern der Gütegemeinschaft Messing-Hahnverlängerungen. Einzelne Proben, die aus dem Fachhandel bezogen worden sind und kein Gütezeichen besitzen, wurden zum Vergleich parallel untersucht.

Härtemessung

Der in [6] genannte Grenzwert für die Härte als mechanischer Kennwert zur Vermeidung von Spannungskorrosion wird nach DIN EN ISO 6506-1 [7] als Brinellhärte gemessen. Der Grenzwert der Brinellhärte beträgt für die Hahnverlängerungen 115 HBW 2,5/62,5. Zu Beginn der Untersuchungen wurde festgestellt, dass nicht gütegesicherte Bauteile diesen Wert teilweise unterschreiten, zum Teil aber auch darüber liegen und damit der erforderliche Eigenspannungszustand nicht immer eingehalten wird. Die Prüfstücke, die durch ein Gütezeichen gekennzeichnet sind, genügen aber den Erfordernissen der Gütegemeinschaft hinsichtlich der Brinellhärte.

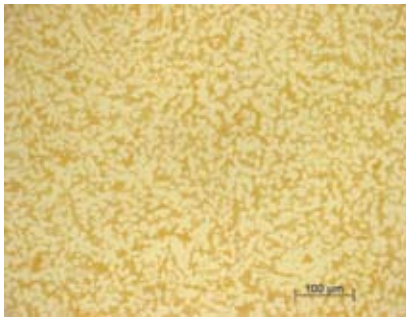


Bild 4: Gefügedarstellung im Querschliff

In weiteren Untersuchungen kamen Hahnverlängerungen aus zwei unterschiedlichen Legierungen zum Einsatz, die in fünf verschiedenen Härtebereichen vorlagen.

Werkstoffanalyse

Die Untersuchungen zur Werkstoffanalyse mittels Funkenemissionspektrometer „Spectrolab M“ haben ergeben, dass alle untersuchten Materialproben aus der Gütegemeinschaft in ihrer Zusammensetzung den Werkstoffen mit den Bezeichnungen CuZn39Pb3 oder CuZn40Pb2 für das Kurzzeichen bzw. CW614N oder CW617N für die Nummer nach DIN EN 12164 [8] entsprechen. Die früher verwendete bekannte Bezeichnung für diese Werkstoffe ist „MS 58“ oder die Werkstoffnummern 2.0401 bzw. 2.0402 (DIN 17672-1:1983-12).

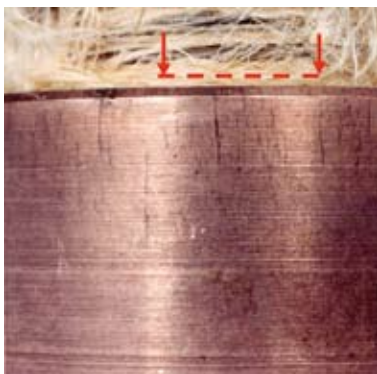


Bild 6: Risse in vergrößerter Darstellung auf der Außenfläche verschraubter, der Prüfatmosphäre ausgesetzter Hahnverlängerungen (Die Markierungen kennzeichnen die Schliffebene für die metallografischen Untersuchungen.)

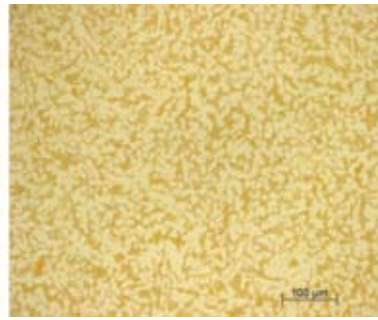


Bild 5: Gefügedarstellung im Längsschliff

Gefügeuntersuchungen

Um den Ausgangszustand des Probenmaterials zu dokumentieren, wurden Proben metallografisch untersucht. Dazu wurden Längs- und Querschliffe präpariert und geätzt. Bei den Farbätzungen handelt es sich nach [10] um eine als „Klemm II“ bezeichnete Ätzung. Alle Proben weisen mehr oder weniger deutlich ein typisches Mischkristallgefüge auf, wobei Kornorientierungen in Abhängigkeit von der Längs- oder Querrichtung der eingebetteten Schliffprobe erkennbar sind.

Schraubversuche

Die Versuchsbedingungen orientierten sich an den Prüfbestimmungen für die Gütesicherung des Bauteiles Messing-Hahnverlängerung [11] aber auch an den in der Praxis üblichen Gewindeverbindungen zwischen zylindrischem Innengewinde der Hahnverlängerung und konischem Außengewinde („Withworth-Außengewinde“). Aufgrund der fertigungsbedingt im Werkstück verbliebenen Spannungen sollte die mögliche Größenordnung der zusätzlich entstehenden Montagespannungen definierbar sein. Die sich ergebende Aufweitung des äußeren Durchmessers an der Hahnverlängerung um etwa 0,11 mm wurde bei den Einschraubversuchen kontrolliert und möglichst genau eingehalten.

Prüfung auf Spannungsrissskorrosion

Die Prüfung auf Spannungsrissskorrosionsbeständigkeit erfolgt nach DIN

50916-2 [15] über 96 Stunden – in einigen Fällen auch bis zu sieben Tagen – im Dampfraum über einer Lösung aus Ammoniumchlorid und Natriumhydroxid mit definiertem pH-Wert und einer Temperatur im Prüfgefäß von 30 °C.

Nach dieser Prüfung und anschließender Reinigung dürfen keine Risse erkennbar sein. Dabei erfolgten die visuellen Untersuchungen mit einer etwa 6- bis 10-fachen Vergrößerung und entsprechender Fotodokumentation. Das nebenstehende Bild ist beispielgebend für das Erscheinungsbild bei diesen Untersuchungen.

Metallografie

Die visuellen Untersuchungen sind – mit Ausnahme von deutlich sichtbaren Rissen – nur eingeschränkt aussagefähig über den Grad der Schädigung am jeweiligen Bauteil. Deshalb wurde in Ergänzung zu den normierten Prüfbestimmungen eine Reihe metallografischer Untersuchungen durchgeführt. Bei der Darstellung der Untersuchungsergebnisse in dieser Form ist eine genauere und weitestgehend objektive Bewertung der metallografischen Schliffbilder möglich. Unterschiedliche Rissbreiten und –längen aber auch der Rissverlauf können bei vergleichenden Bildern auch quantitativ bewertet werden. Der Einfluss der Versuchsdauer zwischen 24 Stunden und maximal sieben Tagen und die Wahl der Schliffebene direkt an der Stirnseite oder in 2 mm Schnitttiefe werden bei dieser Darstellung deutlicher erkennbar.

Bei der Gegenüberstellung dieser beiden Bilder wird erkennbar, dass die meisten Risse von der Stirnfläche der Hahnverlängerungen ausgehen und bereits nach dem Abschleifen etwa 2 mm in der Längsrichtung des Bauteils deutlich weniger Risse festzustellen sind.

Untersuchungen mit Proben unterschiedlicher Härte

Die Untersuchungen von Proben in verschiedenen Härtebereichen brachten die deutlichsten Ergebnisse. Mit einer Härte oberhalb von 150 HBW

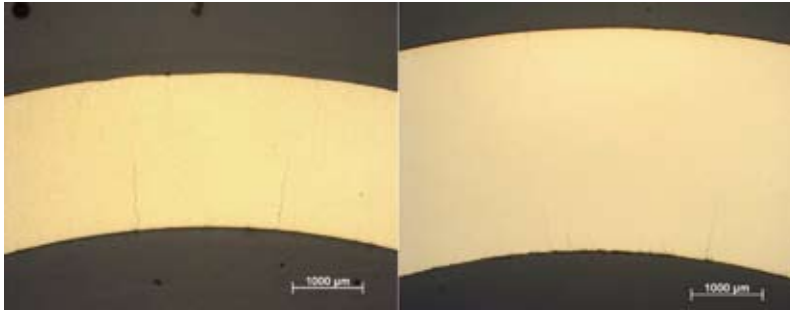


Bild 7: Metallografischer Querschliff durch die Bauteilwand einer Hahnverlängerung (Betrachtung von der Stirnseite entsprechend der Kennzeichnung im Bild 6)

Bild 8: Probe wie in Bild 5, Schliiffebene 2 mm tiefer

25/62,5 versagen die Prüfkörper beim Test auf Spannungsrisskorrosion bereits nach 24 Stunden sicher. Die Proben mit der Härte größer als 140 HBW 25/62,5 fallen nach 96 Stunden Prüfdauer aus. Mit abnehmender Brinellhärte wird die Beständigkeit der Prüflinge im Test deutlich verbessert, Proben mit einer maximalen Härte von 110 bis 115 HBW 25/62,5 sind insgesamt als günstig zu bezeichnen.

Bei den Untersuchungen mit verschiedenen Halbzeugzuständen an zwei unterschiedlichen Legierungen konnten Ergebnisse erzielt werden, die eindeutige Aussagen zulassen. Im Härtebereich 115 HBW 2,5/62,5 hat sich die Legierung CW 617 N (CuZn40Pb2) als der gegen Spannungskorrosion beständigere Werkstoff erwiesen. Darüber hinaus sind bei diesem Werkstoff die Hahnverlängerungen mit den höheren Härtewerten im Verlauf der Prüfung auf Spannungskorrosion zuerst gerissen.

Untersuchungen mit Proben unterschiedlicher Hersteller

Zur Einstellung der gewünschten Härte kann man zum einen von einem Halbzeug niedriger Härte ausgehen und so mit den fertigungsbedingten Aufhärtungen zu der gewünschten Endhärte gelangen. Zum anderen kann man die Teile nach der Fertigung einem Glühprozess unterziehen, um die Aufhärtungen durch die Verarbeitung wieder abzubauen.

Inwieweit durch die unterschiedlichen Verfahren Differenzen bezüglich der Beständigkeit erzeugt werden, sollte durch die Untersuchung spezieller wärmebehandelter Proben ermittelt werden. Im Ergebnis zeigte sich ein deutlich verbessertes Verhalten der Hahnverlängerungen, die abschließend nach der Fertigung dem Glühprozess unterzogen worden sind. Das Glühen von Hahnverlängerungen am Ende der Fertigung auf einen Wert der Brinellhärte von weniger als 110 HBW 2,5/62,5 erhöht die Beständigkeit der Bauteile gegen Spannungskorrosion und verhindert das Auftreten von Rissen, die zum Bruch führen.

Diskussion

Im Ergebnis aller Untersuchungen wurde im wesentlichen eine Aussage dahingehend erwartet, dass bei Einhaltung aller Grenzwerte und Vorgaben für die Messing-Hahnverlängerungen der Gütegemeinschaft die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Spannungskorrosion an den Verlängerungen nur noch sehr gering ist.

Die Untersuchungen zur Werkstoffzusammensetzung belegen eine dem technischen Regelwerk entsprechende Qualität, die geringfügigen Unterschiede sind auf normale Schwankungen in den Legierungs-Chargen zurückzuführen. In der Fachliteratur [16], [17] wird dazu ausgeführt, dass die Empfindlichkeit gegenüber

Spannungskorrosion mit steigendem Zinkgehalt stets zunimmt und als besonders anfällig Messinge mit mehr als 15 Masse-% Zink und Sondermessinge mit etwa 42 Masse-% Zink gelten. Entgegen diesen Aussagen haben die hier vorliegenden Untersuchungen im Vergleich zweier Legierungen mit annähernd gleicher Härte dem Werkstoff CW 617 N (CuZn40Pb2) eine bessere Beständigkeit gegenüber Spannungskorrosion attestiert als der Legierung mit dem Kurznamen CW 614 N (CuZn39Pb3). Die Ursachen dafür sind mit hoher Wahrscheinlichkeit in den betriebsbedingten unterschiedlichen Verfahren verschiedener Hersteller zu suchen. Darüber hinaus ist der zuletzt genannte Werkstoff CW 614 N aufgrund der Anforderungen aus DIN 50 930 – 6 nicht mehr in den aktuellen Güte- und Prüfbestimmungen enthalten.

Bezogen auf die untersuchten Prüflinge hat der Spannungszustand des jeweiligen Werkstücks einen stärkeren Einfluss auf die Spannungskorrosion als die relativ geringen Unterschiede in der Werkstoffzusammensetzung. Die Spannungen, die letztendlich im Bauteil vorhanden sind, setzen sich aus den Eigenspannungen des Werkstoffs und den Montagespannungen zusammen. Besonders kritisch sind dabei Zugbeanspruchungen an der Oberfläche, die z.B. an scheinbar unbeanspruchten Teilen zum Aufreißen führen. Aus diesen Gründen werden die Hahnverlängerungen teilweise am Ende der Fertigung spannungsarm geglüht. Die Ergebnisse der Gefügeuntersuchungen zeigen zwar geringfügige Unterschiede bei verschiedenen Herstellern, lassen aber keine Zusammenhänge zu den gemessenen Härtewerten und letztendlich der Anfälligkeit gegen Spannungskorrosion erkennen. Die Bilder dokumentieren, dass bei den untersuchten Proben trotz spannungsarmen Glühens die Gefüge der Hahnverlängerungen die fertigungsbedingten Orientierungen beibehalten haben. Nach [16] ist es vielfach üblich, geforderte mechanische Werte durch Glühoperationen zu erzielen. Höhe und Dauer der Glühtemperatur

haben einen ganz entscheidenden Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften und das Gefüge der Kupfer-Zink-Legierungen. Diese Werte bestimmen maßgeblich den Spannungszustand des Werkstoffes, was im Hinblick auf die Empfindlichkeit gegenüber Spannungskorrosion von Bedeutung ist.

Die Auswertung der Versuche mit Hahnverlängerungen deutlich unterschiedlicher Härte zeigt, dass das Kriterium der Gütesicherung, nach 24 Stunden Prüfdauer ein Versagen zu beurteilen, die besonders anfälligen Qualitäten sicher erkennt. Dieses Kriterium erscheint zur Erkennung von groben Fehlern ausreichend.

In Auswertung umfangreicher Schraubversuche wird festgestellt, dass die Verwendung eines speziell angefertigten Prüfkörpers nicht notwendig ist. Die Schraubverbindung in der Art und Weise, wie sie auch in einer üblichen Installation zum Einsatz kommt – also Verbindungen zwischen zylindrischem Innengewinde der Hahnverlängerung und konischem Außengewinde („Withworth-Außengewinde“) des Rohres oder einem anderen Bauteil der Installation – ist auch für Prüfzwecke an den Hahnverlängerungen geeignet. Diese Verbindungsart kommt dem praktischen Einsatzfall am nächsten, folglich ist auch eine gute Übertragbarkeit der Prüfergebnisse auf den Anwendungsfall gewährleistet. Die Verwendung eines Standardgewindenippels nach [13] führt zu einer besseren Einleitung der Kräfte durch die Aufweitung als der ursprünglich verwendete Prüfkörper, der die Kräfte nur in den äußersten Rand des Gewindes einbringen konnte. Die vereinzelt immer auftretenden oberflächlichen Risse führen zu einer Entspannung der elastischen Zugspannungen und damit zu einem Ende der Spannungskorrosion. Derartige Zustände wären mit dem ursprünglichen Prüfkörper gar nicht nachstellbar, weil die Verformung nur in diesem engen Bereich eingebracht wurde.

Die Beurteilung der Proben nach der Prüfung auf Spannungsrissskorrosionsbeständigkeit allein basierend

auf den visuellen Untersuchungen ohne optische Hilfsmittel scheint nicht ausreichend sicher zu sein. Ergänzende metallografische Untersuchungen unterstützen auf jeden Fall die Bewertung des Werkstoffzustandes. Inwieweit kleine und nicht durch den gesamten Querschnitt des Bauteiles verlaufende Risse, die in den metallografischen Querschliffen unterschiedlich deutlich erkennbar sind, einen Gradmesser für Anfälligkeit gegenüber Spannungskorrosion bilden, kann nicht genau definiert werden. Möglicherweise stellen eben diese Mikrorisse auch einen Abbau von Eigenspannungen im Bauteil dar. Das bedeutet, dass viele kleine Risse einen Spannungsabbau ohne Bauteilversagen bewirken können und nur einzelne große Risse zum Bruch durch die Bauteilwand führen. Dieses Rissverhalten genauer zu untersuchen, liefert auf jeden Fall wertvolle Informationen bezüglich der Bewertung des Werkstoffes und seiner Spannungskorrosionsempfindlichkeit.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen haben ergeben, dass Hahnverlängerungen, die Brinell-Härten kleiner als 110 (für HBW 2,5/62,5) aufweisen, ausschließlich kleine oberflächliche Risse bilden, die nicht zum Versagen des Bauteils führen.

Die Verwendung eines Außengewindes nach [13] führt zu einer besseren Kräfteinleitung in das zu prüfende Bauteil. Die Unterscheidung zwischen kleinen und großen Rissen ist damit sicherer möglich.

Die Prüfung auf Beständigkeit gegen Spannungsrissskorrosion nach DIN 50916-2 führt schon nach einer Prüfdauer von 24 Stunden zu einem sicheren Erkennen von Proben, die deutlich außerhalb der Bedingungen zur Einhaltung der Güterichtlinien liegen.

Das Glühen zum Abbau von Eigenspannungen im Formteil am Ende des Fertigungsprozesses führt zu einem eigenspannungsarmen Zustand der Bauteile Hahnverlängerung.

Literatur

- [1] DIN 1988: Technische Regeln für Trinkwasserinstallationen (TRWI); 1988
- [2] DVGW Arbeitsblatt W 534: Rohrverbinder und Rohrverbindungen; September 1995
- [3] Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001
- [4] DIN EN ISO 8044: Korrosion von Metallen und Legierungen; Grundbegriffe und Definitionen; November 1999
- [5] Lange, G.: Systematische Beurteilung technischer Schadensfälle; Wiley-VCH Verlag; Weinheim 2001
- [6] DIN 3523: Armaturen für Trinkwasser-Installationen; Verlängerungen; April 2001
- [7] DIN EN ISO 6506-1: Metallische Werkstoffe; Härteprüfung nach Brinell; Teil 1: Prüfverfahren (ISO 6506-1 : 1999)
- [8] DIN EN 12164: Kupfer und Kupferlegierungen; Stangen für die spanende Bearbeitung; September 2000
- [9] DIN 50 930-6: Korrosion metallischer Werkstoffe im Innern von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wasser; Beeinflussung der Trinkwasserbeschaffenheit; August 2001
- [10] Weck, E.; Leistner, E.: Metallografische Anleitung zum Farbätzen nach dem Tauchverfahren; Fachbuchreihe Schweißtechnik; DVS-Verlag Düsseldorf 1995
- [11] Messing-Hahnverlängerungen für die Trinkwasserinstallation; Gütesicherung RAL-GZ 643; Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.; November 1999
- [12] Messingbauteile für die Gas- und Trinkwasserinstallation; Gütesicherung RAL-GZ 643; Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.; Juli 2002
- [13] DIN 2999-1: Whitworth-Rohrgewinde für Gewinderohre und Fittings; Zylindrisches Innengewinde und kegeliges Außengewinde; Gewindemaße; Juli 1983
- [14] DIN 50916-1: Prüfung von Kupferlegierungen; Spannungsrissskorrosionsprüfung mit Ammoniak; Prüfung von Rohren, Stangen und Profilen; August 1976
- [15] DIN 50916-2: Prüfung von Kupferlegierungen; Spannungsrissskorrosionsprüfung mit Ammoniak; Prüfung von Bauteilen; September 1985
- [16] Dies, K.: Kupfer und Kupferlegierungen in der Technik; Springer-Verlag Berlin/Heidelberg/New York 1967
- [17] Nürnberger, U.: Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen, Band 2; Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin; 1995

(1) *Dr.-rer.nat. J.W. Erning, Dipl.-Ing. A. Zunkel, Dipl.-Ing. U. Klein, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin*