

SCHWEISS- UND PRÜFTECHNIK

Die Fachzeitschrift der Österreichischen Gesellschaft für Schweißtechnik



METAL ✓ **CHECK**
WWW.METAL-CHECK.AT

- ✓ ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNG (VT-PT-MT-UT-RT-LT-CR-HT-RFA)
- ✓ INSPEKTION & ABNAHME
- ✓ ZFP SOFTWARELÖSUNGEN
- ✓ PAUT & TOFD PRÜFUNG
- ✓ DIGITALE RADIOGRAPHIE
- ✓ VT/PT AUSBILDUNGSSTELLE NACH EN ISO 9712

Wärmetauscher – Rohreinschweißungsprüfung mittels Durchstrahlungs- und Dichtheitsprüfung

Möglichkeiten der Prüfung für hohe Anforderungen an die Dichtheit und an lange Standzeiten

■ A. Wienerroither, Metal Check GmbH

Wärmetauscher werden in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt, in denen Wärme von einem Medium auf ein anderes übertragen werden muss. Grundsätzlich finden sie Anwendung in vielen Industriezweigen, in denen Wärmeübertragung erforderlich ist, sei es zur Heizung, Kühlung oder Temperaturregelung von Flüssigkeiten oder Gasen.

In der Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik (HLK)

Wärmetauscher sind ein wesentlicher Bestandteil von HLK-Systemen, bei denen Wärme zwischen Luftströmen oder zwischen Luft und Wasser übertragen wird. Sie werden beispielsweise in Heizkesseln, Klimaanlage, Wärmepumpen und Lüftungsanlagen eingesetzt.

→ Die Dichtheit aller Komponenten gewährleistet lange Standzeiten, wenig Wartung oder Störfälle.

In der Chemische Industrie

Dort werden Wärmetauscher häufig eingesetzt, um Wärmeenergie zwischen verschiedenen Prozessströmen zu übertragen. Sie werden verwendet, um Flüssigkeiten oder Gase in Reaktoren, Destillationskolonnen, Verdampfern, Kondensatoren und anderen Anlagen zu kühlen oder zu erwärmen.

→ Je nach Anwendung kann die Dichtheit essenzielle Wichtigkeit für die Funktion und Sicherheit darstellen.

In der Energieerzeugung

In Kraftwerken, sei es in Kohlekraftwerken, Gaskraftwerken oder Kernkraftwerken, werden Wärmetauscher eingesetzt, um Wärme von den Verbrennungs- oder Reaktionsprozessen auf Wasser oder Dampf zu übertragen. Dieser Dampf wird dann zur Erzeugung von Elektrizität in Turbinen verwendet.

→ Wie bereits bei den Anwendungen zuvor, geht es bei der Dichtheit um lange Standzeiten und Sicherheit.

In der Lebensmittelindustrie

Wärmetauscher finden auch in der Lebensmittelindustrie Anwendung. Sie werden beispielsweise in der Pasteurisierung oder Sterilisierung von Lebensmitteln eingesetzt, um mikrobielle Belastung zu reduzieren und die Haltbarkeit zu verlängern.

→ Hohe Dichtheit ist insbesondere notwendig, um keine Verunreinigungen von einem Medium ins andere zu transportieren.

In der Petrochemische Industrie

Dort dienen Wärmetauscher zur Kühlung von Öl- und Gasströmen sowie zur Kondensation von Dämpfen. Sie spielen eine wichtige Rolle bei der Raffination von Rohöl und bei anderen petrochemischen Prozessen.

→ Hohe Dichtheit spielt insbesondere für die Sicherheit der Anlagen eine große Rolle. Selbstverständlich kommen Standzeiten, wenig Wartung und geringe Störfälligkeit hinzu.

Die Schweißnaht insbesondere die Rohreinschweißung bei Wärmetauschern oder die Rohreinwalzung kann als potenzielle Schwachstelle angesehen werden.

Gründe, warum die Schweißnaht als Schwachstelle angesehen wird:

Materialunterschiede: Wärmetauscher können aus verschiedenen Materialien, die für ihre spezifischen Zwecke optimiert sind, wie zum Beispiel Kupfer, Edelstahl oder Aluminium bestehen. Beim Schweißen dieser unterschiedlichen Materialien entstehen an den Schweißnähten Unregelmäßigkeiten, die möglicherweise nicht so widerstandsfähig gegenüber Korrosion oder thermischer Belastung sind wie das Hauptmaterial. Dies kann zu potenziellen Schwachstellen führen.

Spannungen: Beim Schweißen werden hohe Temperaturen und mechanische Kräfte auf das Material ausgeübt. Wenn die Schweißnaht nicht ordnungsgemäß ausgeführt wird oder das Material während des Schweißens nicht richtig abkühlt, können Spannungen in der Nähe der Naht entstehen. Diese Spannungen können zu Rissen oder Verformungen führen und die Integrität der Naht beeinträchtigen.

Qualitätskontrolle: Die Qualität der Schweißnaht hängt von der Fertigungstechnik, den verwendeten Schweißverfahren und den Fähigkeiten des Schweißers ab. Wenn die Schweißnaht nicht ordnungsgemäß ausgeführt wird, beispielsweise aufgrund von unzureichendem Einbrand oder mangelhafter Schweißzusätze, kann dies zu unvollständigen oder schwachen Verbindungen führen.

Korrosion: Schweißnähte sind anfälliger für Korrosion als das Hauptmaterial. Dies liegt zum Teil daran, dass die Schweißnaht eine größere Oberfläche im Vergleich zum Hauptmaterial aufweist und somit anfälliger für den Angriff von korrosiven Medien ist.

Aufgrund dieser potenziellen Schwachstellen ist es wichtig, dass Schweißnähte bei der Konstruktion und Fertigung von

Wärmetauschern sorgfältig geplant, ausgeführt und überwacht werden. Qualitätskontrollverfahren wie zerstörungsfreie Prüfungen können eingesetzt werden, um die Integrität der Schweißnähte zu überprüfen und mögliche Mängel frühzeitig zu erkennen. Dabei stellt die Durchstrahlungsprüfung eine Möglichkeit zur Volumenprüfung der Schweißnaht dar. Die Testgas-Helium-Prüfung dient als höchstempfindliche Prüfung zur Gewährleistung der technischen Dichtigkeit.

Beim Rohreinwalzen in Wärmetauschern können verschiedene Fehler auftreten. Hier sind einige mögliche Fehlerquellen:

Unzureichende Einwalztiefe: Wenn die Rohre nicht ausreichend in die Rohrböden oder -platten eingewalzt werden, entsteht eine unzureichende Verbindung zwischen den Rohren und den Rohrböden. Dies kann zu Undichtigkeiten führen und die Effizienz des Wärmeübertragungsprozesses beeinträchtigen.

Übermäßige Einwalztiefe: Wenn die Rohre zu tief eingewalzt werden, kann dies zu Verformungen oder Beschädigungen der Rohre führen. Dies wiederum kann zu einer verringerten Strömungseffizienz, einem erhöhten Druckverlust oder sogar zu Leckagen führen.

Schiefes Einwalzen: Wenn das Einwalzen nicht korrekt und gleichmäßig erfolgt, kann es zu schiefen oder ungleichmäßigen Verbindungen zwischen den Rohren und den Rohrböden kommen. Dies kann zu Schwachstellen in der Struktur führen und die Stabilität des Wärmetauschers beeinträchtigen.

Überdehnung der Rohre: Eine übermäßige Dehnung der Rohre während des Einwalzens kann zu Materialermüdung, Rissen oder sogar zum Bruch der Rohre führen. Dies kann zu Undichtigkeiten und dem Ausfall des Wärmetauschers führen.

Unzureichende Reinigung: Vor dem Einwalzen müssen die Rohre gründlich gereinigt werden, um Schmutz, Rost oder Ablagerungen zu entfernen. Wenn dies nicht ordnungsgemäß erfolgt, können diese Verunreinigungen zwischen den Rohren und den Rohrböden eingeschlossen werden, was die Haftung und die Abdichtung beeinträchtigt.

Um diese Fehler zu minimieren, ist eine sorgfältige Planung, Qualitätskontrolle und Einhaltung von Herstellungsstandards entscheidend. Die Einwalzarbeiten sollten von erfahrenem Fachpersonal durchgeführt werden, und es sollten Qualitätskontrollverfahren wie visuelle Inspektionen, Drucktests und zerstörungsfreie Prüfungen eingesetzt werden, um sicherzustellen, dass die Einwalzungen ordnungsgemäß ausgeführt wurden und dass der Wärmetauscher eine zuverlässige Leistung erbringt. Die empfindlichste Prüfung stellt auch hier wieder die Testgas-Variante mit Helium dar. Nur mit ihr kann höchste Dichtigkeit geprüft bzw. garantiert werden.

Übliche & typische Prüfungen

VT → Die direkte Sichtprüfung ist eine häufig verwendete Methode zur Überprüfung aus folgenden Gründen:

Einfachheit und Kostenersparnis: Sie erfordert keine spezielle Ausrüstung und ist kostengünstig. (Bild 1)

Schnelle Identifizierung offensichtlicher Mängel: Sie erkennt schnell Risse (Bild 2), Lunker und ungleichmäßige Schweißnähte.

Die direkte Sichtprüfung hat jedoch Grenzen und kann nicht alle möglichen Defekte erkennen. Kostenintensivere Methoden mit Videokopern (indirekte Sichtprüfung) können für nicht zugängliche Bereiche genutzt werden. Zusätzliche Prüfmethoden sind für eine umfassendere Prüfung erforderlich, um Unregelmäßigkeiten sichtbar zu machen, die mit freiem Auge nicht erkennbar wären.

PT → Die Eindringprüfung wird bei Schweißnähten aus folgenden Gründen genutzt:

Detektion von Oberflächenfehlern wie Rissen, Poren und unvollständiger Durchdringung.

Hohe Empfindlichkeit, um selbst kleine Defekte sichtbar zu machen.

Einfache Durchführung und kostengünstig.

Die Eindringprüfung erkennt nur Oberflächenfehler und wird oft mit anderen Prüfverfahren kombiniert, um eine umfassendere Bewertung der Schweißnahtintegrität zu erhalten. (Bild 3)



Bild 1: Beispiel Wärmetauscher – gezogenes Bündel – wiederkehrende Prüfung

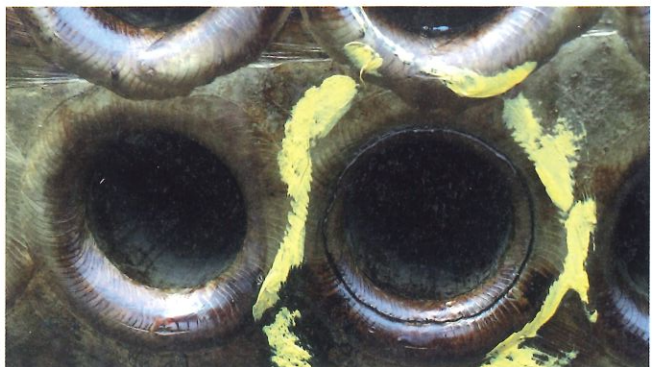


Bild 2: Beispiel Wärmetauscher – Detail einer durchgerissenen Einschweißung aus Bild 1

Hinweis zur ISO 5817 / EN ISO 23277:

Selbst die anspruchsvollste Zulässigkeitsgrenze würde eine „Nichtlinienartige Anzeige“ von 4,0mm erlauben → Änderung auf Anzeigenfreiheit sinnvoll!



Bild 3: Beispiel Wärmetauscher – Anzeigenfreie PT Prüfung



Bild 4: Beispiel Wärmetauscher – Undichtheit / Blasenbildung

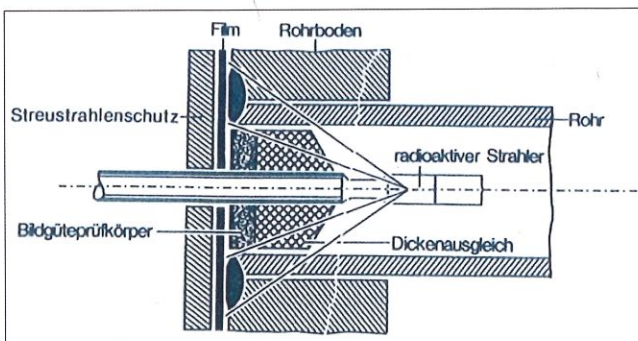


Bild 5: Schematische Darstellung der Durchstrahlungsprüfung von Rohreinschweißungen

Vereinfachte Dichtheitsprüfung → Schaumbildende Mittel.

Die Dichtheitsprüfung mit schaumbildenden Mitteln umfasst folgende Schritte:

Vorbereitung des Bauteils: Reinigung und Entfernen von Schmutz.

Anwendung eines Differenzdrucks: Ein Druck wird angelegt, um Leckagen zu induzieren und Blasenbildung im Schaum zu ermöglichen.

Auftragen des schaumbildenden Mittels auf die Oberfläche. Beobachtung des entstehenden Schaums.

Bewertung der Blasen im Schaum als Hinweis auf Leckagen. Beurteilung der Dichtheit basierend auf Anzahl, Größe und Verteilung der Blasen.

Durch das Anlegen eines Differenzdrucks werden Leckagen erkennbar, da Luft oder Gas aus dem Bauteil austritt und Blasen im Schaum bildet (Bild 4). Die Methode wird in der Herstellung und Inspektion von Komponenten eingesetzt, um Leckagen zu identifizieren.

Nachweisgrenze ca. 10^{-2} bis 10^{-3} mbar x l / s

(Einheit = Druck-Volumen Durchfluss eines bestimmten Fluids, das unter festgelegten Bedingungen durch ein Leck fließt (SI Einheit Pascalkubikmeter je Sekunde – üblich jedoch meist Millibar Liter je Sekunde))

Diese Methode ist einfach, aber nicht besonders empfindlich. Verfahren mit Testgas Helium sind um den Faktor 10 bis 100 empfindlicher.

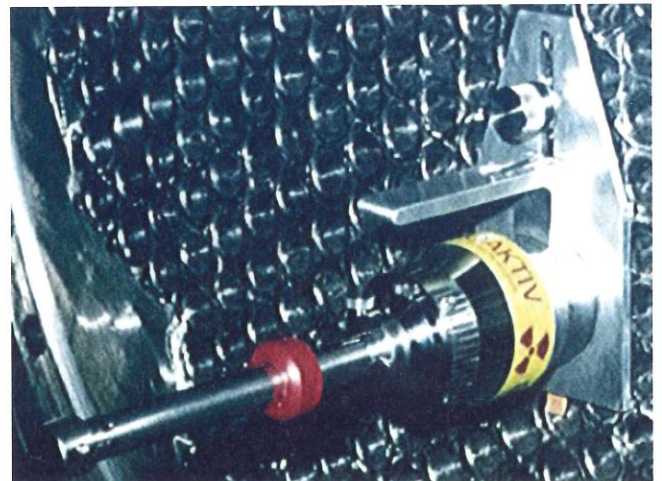


Bild 6: Die tatsächliche Anwendung eines Spezialisotops mit dem Namen RB1

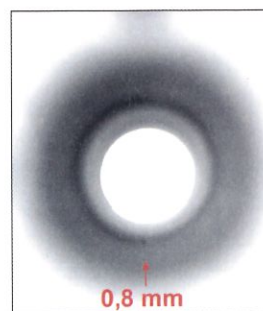


Bild 7: RT Aufnahme einer 0,8 mm großen Pore

Hinweis zur Sicherheit: Die Dichtheitsprüfung mit schaum-bildenden Mittel ist eine Gasdruckprüfung und sollte entweder nach der Festigkeitsprüfung oder nach umfassender Analyse der Gefährdung durch die Gasdruckprüfung durchgeführt werden.

Sonderprüfungen, für besonders hohe Anforderungen: Durchstrahlungsprüfung der Rohreinschweißungen

Für Prüfung von Rohreinschweißungen funktioniert das Verfahren nach dem Prinzip, das wir von der Röntgenprüfung von Standardschweißnähten kennen. Es läuft folgendermaßen ab:

Vorbereitung: Bauteil positionieren.

Röntgen- oder Gammastrahlung: Durchdringt das Bauteil.

Wechselwirkung mit dem Material: Abhängig von Dicke und Zusammensetzung des Materials sowie Schweißnaht und Unregelmäßigkeiten.

Erfassung der Röntgenbilder: Ein Röntgenfilm (oder Speicherfolie bei der digitalen Radiographie) erfasst die Strahlung bzw. die Strahlendosis.

Auswertung der Bilder: Unregelmäßigkeiten wie Risse, Poren, unvollständige Durchschweißung werden identifiziert.

Die Röntgenprüfung ermöglicht die detaillierte Darstellung interner Strukturen von Schweißnähten. Bei Rohreinschweißungen wird lediglich ein spezieller Isotopenbehälter ge-

nutzt, der die Strahlenquelle innerhalb eines Rohrs des Wärmetauschers positioniert und die Strahlung über einen Lochfilm (Bild 7) aufnimmt. Bild 5 zeigt dies Schematisch, Bild 6 zeigt das Spezialisotop bei der Anwendung.

Bei der Durchstrahlungsprüfung handelt es sich um eine der kostenintensivsten Prüfungen. Dabei zeigt die Dichtheitsprüfung mit Testgasen eine deutlich höhere Empfindlichkeit auf und ist dabei kostengünstiger.

Dichtheitsprüfung mit dem Testgas (HELIUM)

Bei Wärmetauscher wird meist eine Methode eingesetzt, die als Schnüffel-Hüllen-Methode bezeichnet wird. Dabei wird der Mantelraum des Wärmetauschers gereinigt und/oder evakuiert. Alle Verunreinigungen oder Wasserreste müssen entfernt werden. Sie könnten Kleinstleckagen verschließen. Der zu prüfende Bereich wird mit einer Kunststoffhülle abgedeckt und der Mantelraum mit Helium oder mit einem Helium-Stickstoffgemisch befüllt. Zur Detektion wird ein Heliumleckdetektor vorbereitet. Eine Undichtheit führt nach einer gewissen Haltezeit zu einer Ansammlung von Helium unter der Kunststoffhülle. Diese kann mit dem Detektor gemessen und die Undichtheit errechnet werden (Bild 8). Mit der Sonde des Detektors kann auch lokal abgeschnuffelt werden. Es können Wärmetauscher unterschiedlichster Größe geprüft werden (Bilder 9 und 10).



Cobot Cell CWC-S

Die CWC-S Cobot-Schweißzelle bietet einen kostengünstigen und einfachen Einstieg ins automatisierte MIG/MAG-Schweißen.

- ✓ Geringe Investitionskosten
- ✓ Profitabel schon bei geringen Losgrößen
- ✓ Einfache intuitive Bedienung ohne Programmierkenntnisse



Online-Shop
www.fronius-schweisshop.at



Fronius Stores
www.fronius.at/pw/stores



Fronius Teams
www.fronius.at/pw/teams

Grundsätzlich muss darauf geachtet werden, dass
 Prüfdruck \neq Betriebsdruck
 Prüfmedium \neq Betriebsmedien

sind. Bei größeren Unternehmen gibt es hierzu Erfahrungswerte, welche Dichtheitsanforderungen notwendig sind. Im Einzelfall kann eine Nachberechnung der genannten Unterschiede sinnvoll sein.

Nachweisgrenze ca. 10^{-4} bis 10^{-5} mbar x l / s

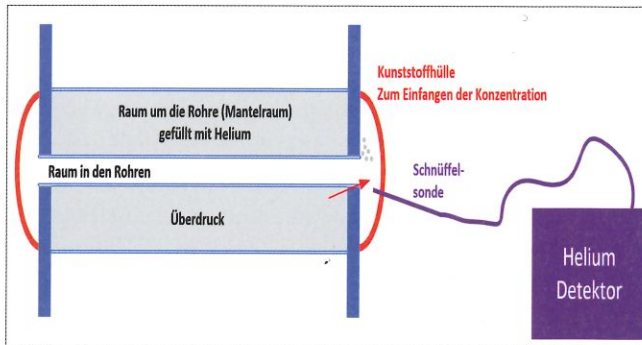


Bild 8: Schematische Darstellung der Prüfmethode

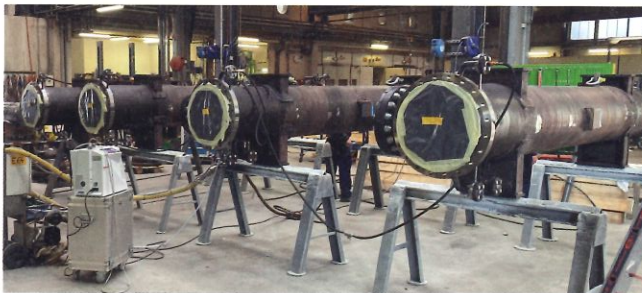


Bild 9: Parallele Prüfung mehrerer Wärmetauscher



Bild 10: Prüfung eines großen Wärmetauschers

Achtung! Beachten Sie auch den Hinweis zur Dichtheitsprüfung mit schaubildenden Mitteln. Auch eine Prüfung mit Testgas HELIUM ist eine Gasdruckprüfung.

Deutlich seltener kommen andere Methoden der Prüfung mit Testgasen zum Einsatz. Beispielsweise gibt es eine Reihe von Vakuumprüfungen. Der Detektor und das zu prüfende Teil werden direkt miteinander verbunden und entweder von außen mit Helium beaufschlagt, ein anderer nicht verbundener Raum wird beaufschlagt oder das gesamte Bauteil wird innerhalb einer Druckkammer mit Helium beaufschlagt.

Während die Vakuum-Methoden ohne Kammer eine **Nachweisgrenze ca. 10^{-6} bis 10^{-8} mbar x l / s** aufweisen, kann mit einer Druckkammer eine **Nachweisgrenze ca. 10^{-8} bis 10^{-12} mbar x l / s** erreicht werden (= der höchste technische Dichtheitsnachweis).

Da der Zusammenhang zwischen Betriebsdruck, Zeitraum und Leckage komplex ist, können die Nachweisgrenzen wie folgt vereinfacht erklärt werden:

Ein Behälter wird mit 10bar betrieben. Es wurde eine Undichtheit von 10^{-2} mbar x l / s festgestellt. Das würde zu einem jährlichen Verlust von 32 Liter führen. Wird hingegen bei einer Dichtheitsprüfung der Nachweis einer Dichtheit besser als 10^{-5} mbar x l / s erbracht, so liegt der Verlust bei weniger als 0,03 Liter im Jahr.

Zusammengefasst: Bereits in der Einleitung und Auflistung der Einsatzgebiete wurden die Vorteile einer umfassenden Prüfung erläutert. Insbesondere im Interesse der Betreiber sind die beschriebenen Sonderprüfungen ein hervorragender Nachweis für die Qualität eines Wärmetauschers oder dienen als Nachweis für spezifische Anforderungen eines behördlichen Bescheids für Anlagen (beispielsweise TA Luft in Deutschland oder IG-L in Österreich). ■

Der Autor



Ing. Alexander WIENERROITHER
 Schweißingenieur & Werkstofftechnologe
 ZfP Zertifizierung in den Verfahren
 VT3, PT3, MT3, UT3, RT3, LT3,
 TOFD2, PAUT2, RT CR, TT1
 Metal Check GmbH, 5280 Braunau
 am Inn

Quellen: EN ISO 5817, EN ISO 23277, EN 1779, RB1 Handbuch

Bilder 1 bis 4 und 7 bis 10: Metal Check GmbH
 Bilder 5 und 6: RB1 Handbuch – Nuclear GmbH