

Schadensfälle – Ursachen und deren Vermeidung im Anlagen- und Behälterbau.

P. Gerster, Ehingen/Do.

Schadensfälle stellen einen erheblichen Verlust für die Wirtschaft dar. Die Ursachenfindung beziehungsweise – erforschung und die Mängelbeseitigung sind daher von großer Bedeutung. Obwohl das technische Wissen über die von vielen Einflüssen geprägte Eigenschaft „Tragfähigkeit“ von geschweißten Metallkonstruktionen heute im Wesentlichen als gesichert gilt, nehmen Schäden an geschweißten Konstruktionen in fast allen Anwendungsbereichen leider nicht ab. Die Ursachen dafür sind vielfältig. Es nehmen Schäden zu, die vor allem durch ungenügende schweißtechnische Vorgaben der Konstruktion entstanden sind. Solche unzureichenden Vorgaben ziehen häufig eine mangelhafte Ausführung nach sich. Dieser Bericht befasst sich mit der systematischen Vorgehensweise im Schadensfall und zeigt Maßnahmen zur Vermeidung auf.

An Beispielen aus der Praxis wird gezeigt, dass viele Schäden an Schweißkonstruktionen oft auf banale Ursachen zurückzuführen sind.

1 Systematische Schadensanalyse

Um eine Schadensanalyse erfolgreich durchführen zu können ist es von größter Bedeutung das Vorgehen sorgfältig zu planen, indem Art und Umfang der einzelnen Untersuchungsschritte festgelegt werden. Großer Wert muss auch auf die Durchführungsqualität dieser Analyse gelegt werden. Die VDI-Richtlinie 3822 "Schadensanalyse" gibt Hilfestellungen zur Festlegung des Untersuchungsablaufes und definiert die zu verwendenden Begriffe. Dadurch soll eine gute Verständlichkeit und Vergleichbarkeit verschiedener Schadensanalysen durch Anwendung der gleichen systematischen Vorgehensweise sichergestellt werden.

1.1 Schadensbeschreibung

Der erste Arbeitsschritt der Schadensanalyse ist die Schadensbeschreibung. Ziel ist, das Schadensbild, also das Aussehen, Form und Lage des Schadens zu dokumentieren. Außerdem sollen wichtige konstruktive Merkmale und werkstoffkundliche Besonderheiten erfasst werden. Die Dokumentation kann sowohl durch Fotos als auch durch wörtliche Beschreibung erfolgen.

1.2 Bestandsaufnahme

Nach Abschluss der Schadensbeschreibung wird in der Bestandsaufnahme das Umfeld des Schadensfalls genauer untersucht. Neben allgemeinen Daten z.B. zu Hersteller und Alter des defekten Produkts sollen vor allem Umwelteinflüsse erfasst werden, die den Schaden ausgelöst haben könnten. Dies können auch besondere Ereignisse sein, die sich evtl. vor dem Versagen einer Komponente ereignet haben. Ebenfalls erfolgt eine Beschreibung der Funktion des Bauteils im Kontext der Beschreibung des Gesamtsystems. Wichtig sind weiterhin Daten zu eventuell gehäuft auftretenden Schäden.

1.3 Schadenshypothese

Mit Hilfe der bis hierhin gesammelten Informationen und der Erfahrung des Untersuchungsteams lässt sich nun eine erste Schadenshypothese formulieren. Hierzu wird aus dem makroskopisch sichtbaren Schadensbild und den vorhandenen Daten eine wahrscheinliche, hypothetische Schadensursache aufge-

stellt, die durch die anschließenden Untersuchungen bewiesen werden soll.

1.4 Instrumentelle Analyse

Anhand der aufgestellten Schadenshypothese wird ein Untersuchungsplan erstellt, mit dem die Hypothese bewiesen werden kann. Dazu werden auch Untersuchungen durchgeführt, mit denen die Hypothese sicher widerlegt werden kann. Als Untersuchungsmethoden kommen alle zerstörenden und zerstörungsfreien Methoden der Werkstoffprüfung zum Einsatz. Hierbei ist es wichtig, die Probenentnahme genau zu planen, um nicht Beweismaterial zu zerstören oder Untersuchungen nicht mehr durchführen zu können. Hilfreich ist häufig auch die Simulation oder Nachstellung des vermuteten Schadensablaufs in Versuchen.

1.5 Untersuchungsergebnisse

Die aus der Analyse resultierenden Ergebnisse werden nun genutzt, um sie mit der Schadenshypothese zu vergleichen. Zeigen die Untersuchungen eindeutige Hinweise, die für die Hypothese sprechen, so kann nun die Schadensursache mit guter Wahrscheinlichkeit ermittelt werden. Oft ist es aber auch erforderlich die Schadenshypothese aufgrund der gefundenen Erkenntnisse zu Überarbeiten und mit neuen Untersuchungen zu untermauern.

1.6 Schadensursache

Sieht man die Schadenshypothese als bestätigt an, so ist die Schadensursache als gefunden anzusehen. Sie wird, aufgeschlüsselt nach primären und sekundären Schadenseinflüssen, dokumentiert.

1.7 Schadensabhilfe

Aus der Schadensursache werden nun Maßnahmen zur Prävention weiterer Schäden oder auch sofort notwendige Vorkehrungen getroffen (z.B. Rückrufaktionen).

1.8 Bericht und Wissensmanagement

Die Schadensanalyse wird abschließend in einem Bericht dokumentiert, der alle wichtigen Informationen aus den vorangegangenen Teilschritten enthält. Durch geeignete Maßnahmen (Wissensmanagement) wird weiterhin die Zugänglichkeit und Aufbewahrung für zukünftige Verwendung sichergestellt

2 Mögliche Versagensursachen

Das Versagen von geschweißten Bauteilen kann auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden:

- falsche Belastungsannahmen
- falsche Werkstoffauswahl
- unzureichende Berücksichtigung des Kraftlinienverlaufes
- falsche Werkstoffauswahl bei Beanspruchung in Dickenrichtung
- unzureichende Güte der Schweißverbindung
- Nichtberücksichtigung der Einsatztemperatur
- Fehler bei der Aufbringung der Beschichtungsstoffe
- Fehleinschätzung der Bauteilstabilität
- Fehleinschätzung der Ermüdungsbelastung

Aus einer Anzahl von mir untersuchten Schadensfällen möchte ich jedoch nur einige typische und wiederkehrende Fehler aufgreifen. Eine Analyse zeigt die häufigsten Fehler:

- Bindefehler (Flanken-, Wurzel, Lagen-)
- Schlechte Schweißnahtvorbereitung
- Ungenügende Durchschweißung
- Ermüdungsrisse
- Konstruktive Fehler

Was waren die häufigsten Ursachen?

- Handfertigkeitsfehler der Schweißer
- ungenügende Zeichnungsangaben
- konstruktive Ausführungsfehler

3 Auswahl einiger Schadensfälle

3.1 Schlechte Durchschweißung und Bindefehler

Bild 1 zeigt deutlich neben einer ungenügenden Aufschmelzung der Flanken auch ein großer Lagenbindefehler zum Versagen des Bauteiles innerhalb kurzer Betriebszeit führte.

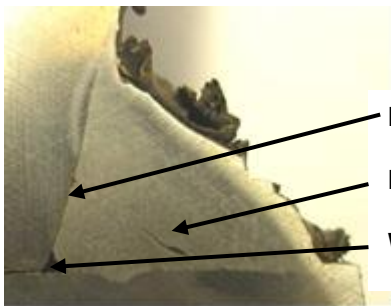


Bild 1: versch. Bindefehler an einer Naht

Vor allem bei einseitig zugänglichen geschweißten HV-Nähten stellt man immer wieder fest, dass an der Steiflanke aufgrund unsachgemäßer Brennerführung sehr gerne Flankenbindefehler auftreten. Außerdem kann man häufig feststellen, dass auch ungenügend durchgeschweißt wird.

Bild 2 zeigt eine solche Schweißnaht an einem Bauteil mit ungenügender Durchschweißung und einem Flankenbindefehler an der Steiflanke. An der Bruchfläche im Bild 3 sieht man deutlich, dass nur ca. ein Drittel der Fläche aufgeschmolzen wurde.



Bild 2: HV-Naht



Bild 3: Bruchfläche

An dem Bruchstück ist sogar die Schweißkantenvorbereitung mit Steg von ca. 1 mm ist deutlich sichtbar. Um eine sichere Durchschweißung zu ermöglichen, ist eine sorgfältige Vorbereitung notwendig und beim Zusammenbau auch ein Luftspalt erforderlich.

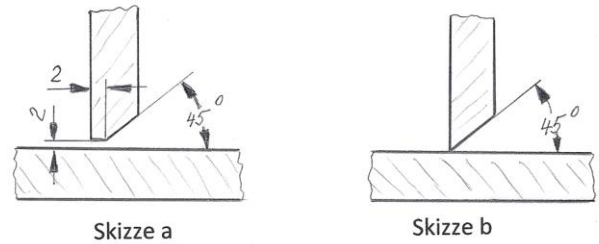


Bild 4: übliche Schweißkantenvorbereitung

Bild 4 zeigt die im Regelfall vorgegebene SKV, wobei der Schlosser meist Probleme hat mit einem definierten Luftspalt die Bleche zu heften. Hier hatte ein Praktiker die Idee, mit überschweißbaren Schweißspaltklammern die Bauteile zu heften (siehe Bild 5).



Bild 5: Schweißspaltklammer (Fa. Palige)

Diese Schweißspaltklammer, die es mit einem Durchmesser von 2mm, 2,4 und 3mm gibt ist zum deutschen und europäischen Patent angemeldet worden und wird auch im VdTÜV-Blatt 09369.03 beschrieben.

Ein Hersteller von „Fliegenden Bauten“ hat beim Zugschnitt mit dem Laserstrahl bereits feine Distanzhalter in der Schnittkante mit ausgeschnitten. Die Blechdicke betrug 4mm und somit wurden die ca. 1,5mm breiten Zapfen beim überschweißen komplett aufgeschmolzen. Eine sichere Durchschweißung war somit gewährleistet.

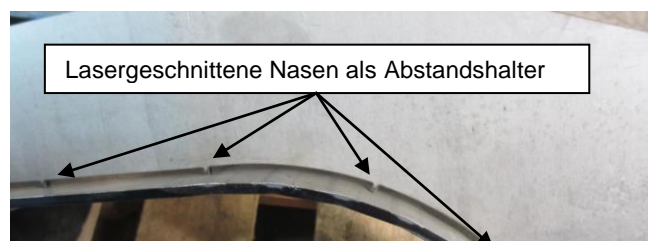


Bild 6: Mit Laser ausgeschnittene Distanzhalter

Eine Maschinenanlage ist aufgrund des Schweißnahtbruchs eines Hydraulikzylinders ausgefallen. Das Bild 7 zeigt die Bruchstelle des Zylinders mit dem abgerissenen Zylinderauge. Bild 8 zeigt noch die Drehriefen auf der rohseitig verbliebenen Schweißnahtflanke. Im Bild 9 ist außerdem noch ein gravierender Ansatzfehler zu erkennen, da die Flanke ja größtenteils nicht angebunden ist, ist von innen ausgehend (am Ende des Bindefehlers) ein beginnender Dauerbruch festzustellen, ab dem dann der Restbruch nach außen hin zu erkennen ist. Einen Makroschliff durch die Schweißverbindung zeigt Bild 10, hierin ist deutlich erkennbar, dass die Flanke zum Zylinderauge fast gar nicht aufgeschmolzen war.



Bild 7: abgerissener Hydraulikzylinder



Bild 8: Drehriefen auf Schweißnaht abgebildet



Bild 9: zusätzlicher Ansatzfehler

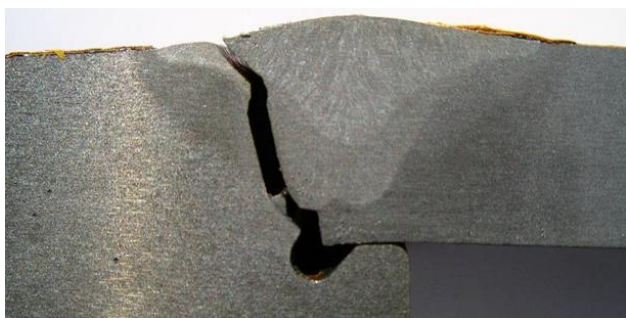


Bild 10: Schliffbild durch die Schweißnaht

3.2 Längsnahttriss eines Warmwasserboilers

Ein Warmwasserboiler in einem Neubau wurde nach kurzer Einsatzzeit undicht und verursachte einen großen Wasserschaden im Haus. Bei näherer Überprüfung nach Entfernen der Isolierung zeigte sich ein ca.

100 mm langer Riss in der Längsschweißnaht des Behälters (siehe Bild 11).

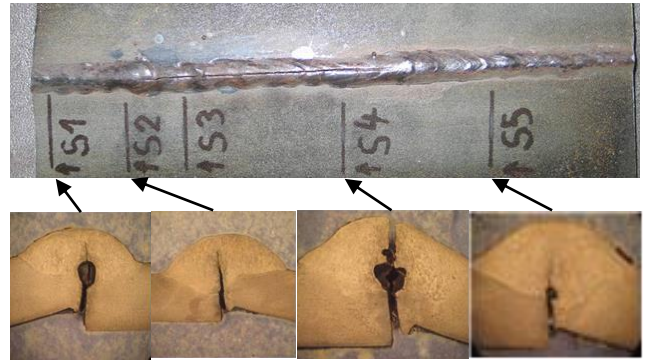


Bild 11: Ansicht und Schliffe durch die Längsnaht

Im Bild 11 sind die Schliffbilder, die aus der Schweißnaht entnommen wurden hinsichtlich der Lage zugeordnet. Wie Sie aus den Bildern zu erkennen ist, war es unschwer eine Pore zu finden. Die Schweißnaht war fast auf der ganzen Länge porös und außerdem stark überhöht, die Blechdicke von 4 mm war nicht angefasst und somit die Naht nur obendrauf gesetzt. Die Blechdicke wurde nur bis maximal zur Hälfte erfasst und war auch noch versetzt. Durch die Betriebsbeanspruchung wurde der Behälter nach kurzer Einsatzdauer undicht.

3.3 undichte Kühlergehäuse

Einen Gerichtstreit verursachten undichte Kühlergehäuse für Lokomotiven. Der Hersteller bezahlte die von einem Unterlieferanten gelieferten Kühlergehäuse wegen Qualitätsmängeln nicht. Bild 12 zeigt die betroffenen Kühlergehäuse und Bild 13 die Innenansicht der Vierkantrohre aus dem Werkstoff 1.4301.



Bild 12: Kühlergehäuse **Bild 13:** Innenansicht



Bild 14: Schliffbilder aus verschiedenen Positionen

Im Bild 14 sind die verschiedenen Nahtausführungen aus den verschiedenen Positionen des Kühlers. Hierbei ist ersichtlich, dass keine Nahtvorbereitung durchgeführt wurde.

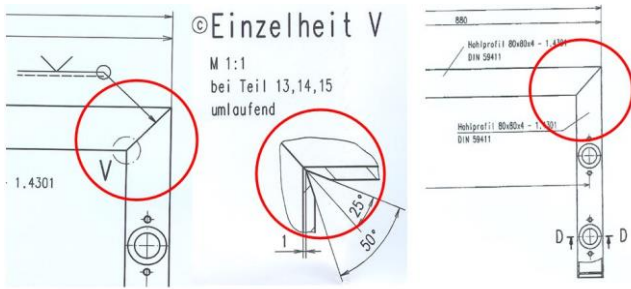


Bild 15: Zeichnung linke Seite mit exakten Vorgaben - rechte Seite ohne Angaben

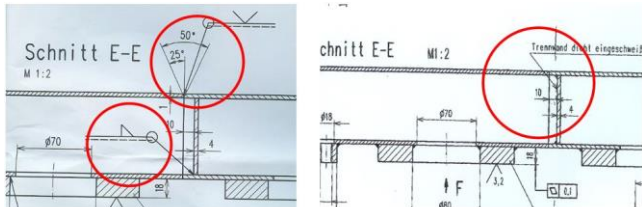


Bild 16: Zeichnung mit exakten Vorgaben - rechte Seite ohne schweißtechnische Angaben

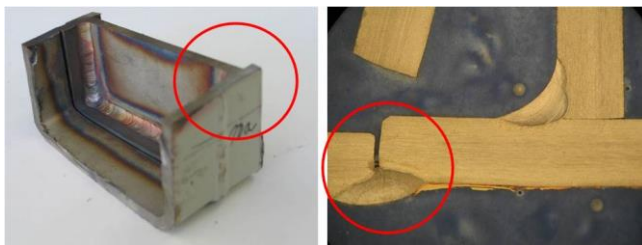


Bild 17: links ausgeführte Schweißung Vierkantrrohr - rechte Seite dazugehöriges Schlibfbild

Die Rohre aus dem CrNi-Stahl wurden nach den Ursprungszeichnungen (jeweils rechte Seite in den Bildern 15 und 16) WIG geschweißt. Bild 17 zeigt die tatsächliche Ausführung auch im Schlibfbild. Nach Bekanntwerden des Schadens hat der Hersteller die Zeichnungen bezüglich der erforderlichen Schweißnahtangaben ergänzt. Die beanstandeten Kühlergehäuse konnten nicht eingesetzt werden.

3.4 Schweißnahtreparaturen einer Dampftrommel



Bild 18: Außenansicht der Dampftrommel

Im Heizkraftwerk Süd der Stadtwerke München fand man bei jeder Revision, die alle 3 Jahre stattfindet, jedes Mal immer wieder Risse in derselben reparierten Rundschweißnaht. Diese wurden dann jeweils durch Schweißungen wieder repariert.

Nun überlegte man, ob durch Einbringung von Druckeigenspannung in der Oberfläche im Nahtbereich durch das höherfrequente Hämmerverfahren PIT Abhilfe geschafft werden könnte. Obwohl man nicht wusste, ob sich die eingebrachten Druckeigenspannungen durch die hohe Betriebstemperatur wieder abbauen, hat SWM sich entschlossen, diese PIT Behandlung durchzuführen.



Bild 19: flächige PIT Behandlung der betr. Naht

Da die reparierte Naht komplett verschliffen wurde, war es erforderlich auch die gesamte Schweißnahtoberfläche inklusive der WEZ mit dem PIT Verfahren flächig behandeln (siehe Bild 19).

Bei der nächsten Revision nach 3 Jahren zeigte es sich, dass keine Risse mehr gefunden wurden.

3.5 Verhinderung von Spannungsrissskorrosion

Im chemischen Apparatebau hat man sehr häufig mit dem Problem der Spannungsrissskorrosion zu tun.

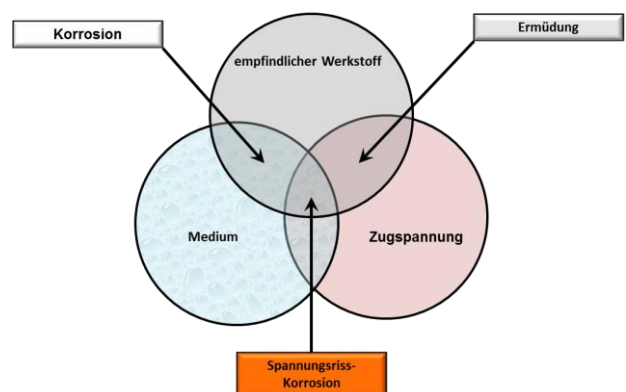


Bild 20: Voraussetzung für Spannungsrissskorrosion

Spannungsrissskorrosion setzt voraus:

- Empfindlicher Werkstoff
- Korrosives Medium
- Zugspannungen

Bei Schweißverbindungen aus dem Werkstoff 1.4571 wurden bei der Firma Stresstech Eigenspannungsmessungen mit der Bohrloch-Methode durchgeführt und zwar im unbehandelten Zustand und auch im PIT behandelten Zustand. Hier konnten eindeutige Zugeigenspannungen im geschweißten Zustand in der Wärmeeinflusszone und auf der Nahtoberfläche gemessen werden. Nach der PIT-Behandlung der kompletten Wärmeeinflusszone und der gesamten Nahtoberfläche wurden überall Druckeigenspannungen bis zu -1000 N/mm^2 gemessen. Dadurch, dass eine der drei Voraussetzungen (Bild 20), nämlich die Zugeigenspannungen in Druckspannungen umgewandelt werden, wird das Problem der Spannungsrissskorrosion vermieden. So haben wir erst kürzlich wieder bei einem Reaktorbehälter die innenseitige Plattierung aus dem Werkstoff 1.4571 komplett flächig alle Schweißnähte und die WEZ PIT behandelt.

3.6 Schwingungsrisse an einer Harnstoffanlage

In der Kompressorhalle der Harnstoffanlage in einer Chemiefabrik traten im Betrieb mehrere Risse in den Konsolen, Sattelblechen, Stützen, usw.. Hierbei handelt es sich eindeutig um Ermüdungsrisse die durch Vibrationen der Kompressoranlage entstanden sind.



Bild 21: durch Schwingungen gerissener Träger



Bild 22: gerissenes Sattelblech



Bild 23: PIT Behandlung der Nahtübergänge

Zur Verlängerung der Lebensdauer wurden die Nahtübergänge der Konsolen, Sattelbleche und Stützen sowohl bei den Neuteilen, als auch bei den noch nicht gerissenen Bauteilen präventiv PIT behandelt.

4 Allgemeine Bemerkungen zu Schadensfällen

Noch nie war das Wissen zur Berechnung, Gestaltung und Schweißbarkeit der Werkstoffe so umfassend verfügbar wie heute. Dennoch ist die Anzahl der an den Forschungs- und Bildungseinrichtungen und anderen Institutionen jährlich zu beurteilenden Schadensfälle erschreckend hoch. Der Wirtschaft entstehen erhebliche Kosten für die Schadensbeseitigung und Schadensregulierung. Damit drängen sich die Fragen auf:

- Sind Schadensfälle überhaupt vermeidbar?
- Wo werden die meisten Fehler begangen, die zu Schäden führen?
- Wer sind die Hauptverursacher?
- Was kann man dagegen tun?
- Wer könnte und sollte etwas dagegen tun

Wie die ausgewählten Schadensfälle zeigen, sind aus meiner Sicht neben den Handfertigkeitsfehler der Schweißer häufig die unzureichenden Vorgaben in den Konstruktionszeichnungen die Ursache. In vielen meiner untersuchten Schadensfälle findet man in den Stahlbauzeichnungen keinerlei Angabe über Schweißnahtvorbereitung, Schweißnahtausführung, Kehlnahtdicke, Toleranzangaben, usw.

Daher ist es umso wichtiger je mehr man Stahlbauarbeiten, vor allem ins Ausland an Unterlieferanten vergibt, exakte Vorgaben zu machen.

Um zukünftig solche Schadensfälle möglichst zu vermeiden, sollten aufgrund meiner gemachten Erfahrungen, folgende Mindestangaben auf jeder Stahlbauzeichnung festgeschrieben sein:

- Schweißnahtausführung, -länge, Kehlnahtdicke, Schweißnahtvorbereitung
- Schweißen gemäß innerbetrieblicher Schweißrichtlinie Betriebsnorm
- Schweißnahtqualität DIN EN ISO 5817 C, sofern nichts anderes angegeben
- Brennschnittgüte nach DIN EN ISO 9013 – 332
- Freimaßtoleranzen für Schweißkonstruktionen DIN EN ISO 13920 BF
- Zerstörungsfreie Prüfung nach Betriebsnorm ...

5 Zusammenfassung

Schadensfälle können zur technischen Weiterentwicklung beitragen. Viele Schäden an Schweißkonstruktionen sind jedoch meistens auf banale Ursachen zurückzuführen, wie an Beispielen gezeigt wurde und wären vermeidbar gewesen. Es nehmen Schäden zu, die vor allem durch ungenügende schweißtechnische Vorgaben der Konstruktionszeichnung entstanden sind. Solche unzureichende Vorgaben ziehen häufig eine mangelhafte Ausführung nach sich. Die Handfertigkeitsfehler (vorwiegend Bindefehler und ungenügende Durchschweißung) der Schweißer sind durch weitergehende Qualifizierungsmaßnahmen und Schulungen zu minimieren. Fast die Hälfte der untersuchten Schadensfälle waren Ermüdungsschäden, die durch konstruktive Maßnahmen und/oder Nachbehandlungen von Schweißnähten minimiert werden können.