Signifikante Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit durch PIT Einsatz bei der Instandhaltung

Peter Gerster, Gerster Engineering Consulting

Eine Verbesserung der Ermüdungsfestigkeit von Schweißverbindungen gewinnt in vielen Bereichen der Industrie zunehmend an Bedeutung, auch bei Anwendungen von höher- und hochfesten Stählen. Dies wird u. a. durch höherfrequente Hämmerverfahren (HFH) erreicht. Dadurch können Schweißkonstruktionen auch wesentlich wirtschaftlicher hergestellt werden. Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass selbst 80-90% vorbelastete Proben d. h. kurz vor dem Erreichen der Lebensdauergrenze ein präventive Behandlung fast die gleich guten Ergebnisse hinsichtlich der Verbesserung der Lebensdauer bringt, wie bei der Behandlung vor dem Einsatz der Bauteile. Dadurch ist es sinnvoll, rissgefährdete Bauteile bereits vor dem Entstehen des Risses präventiv an den gefährdeten Stellen PIT zu behandeln.

Beim Schweißen entstehen im Nahtübergang sehr hohe Zugeigenspannungen, die üblicherweise Werte bis zur Streckgrenze erreichen können. Deshalb gibt es schon seit langem Bestrebungen, die Schwingfestigkeit von Schweißverbindungen durch geeignete Nachbehandlungsverfahren der Schweißnähte zu verbessern. **Bild 1** zeigt einen groben Überblick der verschiedenen Nachbehandlungsverfahren, wobei grundsätzlich die Einteilung in zwei Hauptgruppen möglich ist:

- Verbesserung der Nahtgeometrie
- Eigenspannungsabbau durch Veränderung des Spannungsprofiles

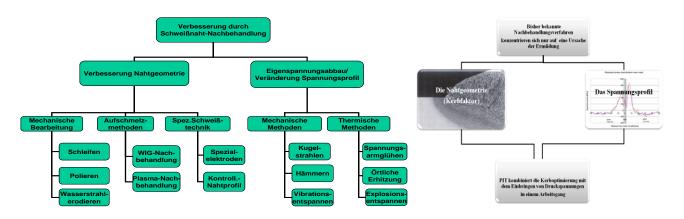


Bild 1: verschiedene Nachbehandlungsverfahren

Bild 2: Kombination der Einflüsse

Die neueste Generation der Schweißnahtnachbehandlung wurde nun von der Firma *PITEC* GmbH entwickelt, nämlich die Pneumatic Impact Treatment (PIT) Technologie. Hierbei werden neben einer Verfestigung der Oberfläche Druckeigenspannungen im oberflächennahen Bereich induziert, sowie die Kerbwirkung der Nahtübergänge wesentlich verbessert (siehe Bild 2). Das PIT-Verfahren zeichnet sich dabei insbesondere durch einfache Bedienbarkeit und hohe Reproduzierbarkeit aus.

Die Pneumatic Impact Treatment (PIT) Technologie

Die umfangreichen Erfahrungen, welche das PIT Team mit dem UIT Verfahren bei diversen Forschungsvorhaben, Industrieprojekten und Referenzen in den letzten Jahren sammeln konnte, trugen dazu bei, dass das PIT System gleich mehrere Vorteile aufweisen kann. Diverse vergleichende Untersuchungen verschiedener Institute zeigen immer wieder die mind. gleich guten Ergebnisse wie UIT, bei deutlich geringerem gerätetechnischem Aufwand. Neben der deutlich kompakteren und damit auch günstigeren Bauweise konnten auch noch weitere Vorteile realisiert werden. Die PIT-Technologie ist weltweit zum Patent angemeldet worden.

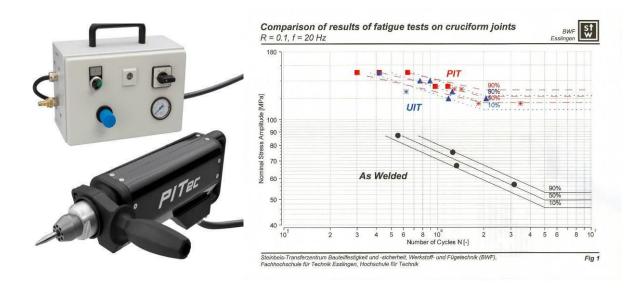


Bild 3. PIT Ausrüstung

Bild 4. Wöhlerlinienvergleich UIT - PIT

Wirkungsweise von PIT

PIT ist ein höherfrequentes Hämmerverfahren, das zur Ertüchtigung von Schweißnähten entwickelt wurde. Sowohl die Frequenz, als auch die Schlagkraft können unabhängig voneinander geregelt werden. Nur dadurch ist es möglich, den verschiedenen Anforderungen der unterschiedlichen Materialien gerecht zu werden.

Die mechanischen Impulse werden durch gehärtete Bolzen, welche in der Geometrie auf die jeweilige Anwendung angepasst sind, auf eine zu behandelnde Oberfläche übertragen. Dieser Prozess verbindet mehrere Ansätze bisher bekannter Nachbehandlungsverfahren in einem Arbeitsgang. PIT verbessert sowohl das Spannungsprofil als auch die Geometrie des Schweißnahtüberganges. Der Fluidic Muscle (Fa. Festo) arbeitet hierbei in einem optimalen Frequenzbereich und überzeugt durch hohe Dynamik und geringe Masse. Dieser Antrieb arbeitet sehr zuverlässig und verschleißarm.

Um die Vibrationen durch das höherfrequente Hämmern für den Bediener möglichst gering zu halten, arbeitet das System gegen ein weiteres Federsystem, so dass das Handgerät von der Schlagkraft vollkommen entkoppelt ist. Ergebnisse über die Prüfung der sicherheitstechnischen Anforderung "Schutz gegen schädliche Schwingungen" durch das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (BGIA) bestätigen einen sehr geringen Wert von ca. 5 m/sec². Ein weiterer Vorteil ist, dass man durch die Feder immer die gleiche Anpresskraft des Systems und somit eine gute Reproduzierbarkeit auch durch unterschiedliche Bediener gegeben ist. Die Vorschubgeschwindigkeit bei Stahl beträgt ca. 20-30 cm/min.

Ausrüstung

Bild 3 zeigt die erforderliche Ausrüstung bei einer PIT Behandlung – 1 Steuergerät und 1 Handgerät. Die Frequenz kann praktisch von 0- 200 Hz eingestellt werden und die Druckluft und somit die Schlagkraft kann stufenlos eingestellt werden. Im Gegensatz zu anderen Verfahren, funktioniert das Gerät bereits bei einem Luftdruck von 4-5 bar und hat somit auch einen sehr geringen Luftverbrauch (ca. 150-170 l/min.). Außerdem wird die Abluft nach vorne zum Bolzen abgeführt. Dies hat den Vorteil, dass:

- 1. Lackpartikel oder Metallspänchen und sonstige Verunreinigungen weggeblasen werden und nicht ungewollt ins Material eingedrückt werden
- 2. die ausströmende Luft den oder die Bolzen kühlt, und somit keine weitere Kühlung für den Bolzen erforderlich ist, dadurch wird die Standzeit deutlich erhöht

Im Bild 4 ist ersichtlich, dass die PIT Behandlung hier sogar noch ca. 5% bessere Ergebnisse zeigt als die UIT Behandlung. Beide Verfahren weisen eine signifikante Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit auf. Während bei der nur geschweißten Probe bei einer Lastspielzahl von 2 Mio. eine Ermüdungsfestigkeit von ca. 60 MPa, bei UIT behandelten Proben 108 MPa und die PIT behandelten

Proben bei 122 MPa. Diese Geräte werden von der Firma PITEC GmbH gebaut, weiterentwickelt und vertrieben.

Eine Weiterentwicklung des Steuergerätes mit einer SPS-Steuerung ermöglicht eine elegante Eingabe der Behandlungsparameter für die verschiedenen Werkstoffe und Schweißnahtarten über ein Touchscreen-Display. Dadurch ist es auch möglich, die Behandlungsdaten über einen längeren Zeitraum aufzuzeichnen. Dieses Steuergerät wird auch auf der Messe Schweißen und Schneiden im September vorgestellt und ist in erster Linie für den Einsatz in der Serie gedacht.

Die kompakte transportable Anlage ermöglicht auch eine problemlose PIT-Behandlung auf Baustellen. Ebenso kann die Anlage auch sehr leicht im Produktionsprozess integriert werden, zum Beispiel Einsatz durch einen Roboter bei großen Stückzahlen. Auch hierzu laufen einige Projekte.

Das PIT-Verfahren wird angewendet um folgendes zu erreichen:

- Erhöhung der Lebensdauer, sowie der Dauerfestigkeit
- Reduzierung und Kontrolle des Schweißverzuges
- Erhöhung der Oberflächenhärte
- Materialeinsparung bis ca. 40%
- Steigerung der Anlagen-bzw Bauwerksverfügbarkeit

durch:

- Plastische Verformung der Oberfläche
- Optimierung des Spannungsprofiles
 - Einbringen von Druckspannungen bis zu einer Tiefe von 2-3 mm abhängig von den Materialeigenschaften
- Reduzierung von Zugeigenspannungen
- Erhöhung der mechanisch technologischen Eigenschaften
- Verbesserung der Eigenschaften der Oberfläche und dicht unter der Oberfläche

Forschungsergebnisse

Unter Federführung des Instituts für Konstruktion und Entwurf der Universität Stuttgart zusammen mit verschiedenen Stahlherstellern und Stahlbaufirmen wurden in dem Forschungsvorhaben "P 620" die Stähle S355, S460 und S690 mit der UIT-Nachbehandlung untersucht. In Anlehnung an diese Untersuchungen wurden nun an der Universität Stuttgart weitergehende Untersuchungen mit der PIT Technologie an Kreuz- und Stumpfstößen an den Werkstoffen S355 und S690 durchgeführt. Die Schweißarbeiten wurden am Labor für Schweißtechnik an der Hochschule Ulm mit Schweißautomaten ausgeführt. Die Ergebnisse der Schwingfestigkeitsuntersuchungen zeigen die Bilder 5 und 6.

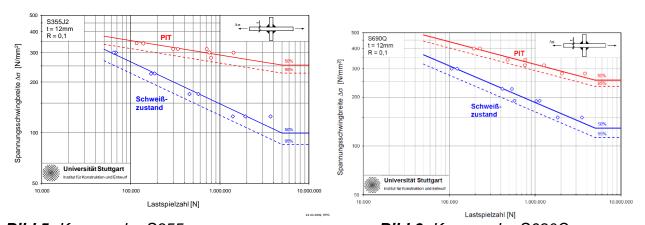


Bild 5: Kreuzprobe S355

Bild 6: Kreuzprobe S690Q

Auch hier zeigte es sich, wie bereits damals bei den UIT behandelten Proben, dass die Ermüdungsfestigkeit bei 2 Millionen Lastwechseln praktisch verdoppelt werden kann und die Neigung der Wöhlerlinie deutlicher flacher verläuft. Auch die Eigenspannungsmessungen zeigen, dass diese mit der UIT Behandlung vergleichbar sind. Bei dem Werkstoff S690 treten die Brüche vorwiegend im Grundwerkstoff auf. Bereits bei den Stumpfstößen S355 waren die nachbehandelten Schweißnähte

so gut, dass die Brüche überwiegend im Grundmaterial aufgetreten sind. Bei den Stumpfstößen S690Q trat kein Bruch mehr in der Schweißnaht auf.

Zurzeit laufen einige Projekte an verschiedenen Universitäten und Firmen, die erreichten Ergebnisse, nicht nur auf dem Gebiet der Verbesserung der Schwingfestigkeit, übertreffen alle Erwartungen. Verglichen mit den üblichen Schweißnahtnachbehandlungs-Verfahren ist PIT wesentlich besser bei deutlich geringerem gerätetechnischer Aufwand und einfacher Handhabung. Im Prinzip ist das Verfahren für alle metallischen Werkstoffe geeignet.

Auch die an der Universität in Graz im Rahmen des Forschungsprojektes Join A11 an einem S700MC gemessenen Eigenspannungen an gestrahlten Blechen sind vergleichbar (siehe Bild 7). Hierzu wurde an der Blechoberfläche ein Feld mit PIT und ein Feld mit UIT behandelt um dann mit der Bohrlochmethode die Eigenspannungen zu messen. Es zeigt sich deutlich, dass die ermittelten Druckeigenspannungen bei beiden Verfahren praktisch gleich sind.

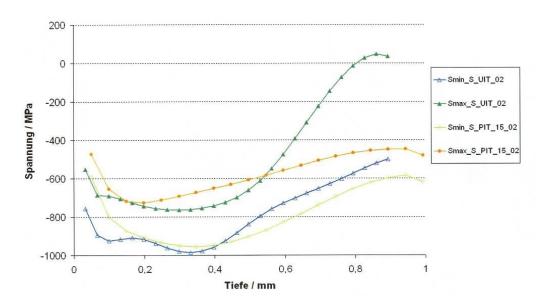


Bild 7: Vergleich der Druckeigenspannungen UIT – PIT Behandlung

Lebensdauerverlängerung durch nachträgliche Ertüchtigung mit UIT

Es liegt natürlich auch nahe, eine Nachbehandlung auch während der Nutzungsdauer einer Konstruktion durchzuführen, um so die Restlebensdauer zu steigern. Hierzu wurden Ermüdungsversuche an vorgeschädigten Prüfkörpern durchgeführt.

Diese Versuchkörper wurden im Schweißzustand belassen und dann mit einer Vorschädigung von 80 – 90 % der rechnerischen Ermüdungsfestigkeit beaufschlagt. Nach einer darauf folgenden UIT-Behandlung wurde der Ermüdungsversuch weitergeführt. Die im Rahmen einer Diplomarbeit an der Uni Stuttgart ermittelten Versuchergebisse in Bild 8 zeigen, dass die Anwendung des UIT-Verfahrens auch zur Ertüchtigung bestehender Konstruktionen sehr viel versprechend ist. Durch die nachträgliche UIT-Behandlung lassen sich Restlebensdauern, die mindestens das 15-fache der Restlebensdauer ohne Nachbehandlung betragen, erzielen. Bei weiteren Versuchen an der Universität in Braunschweig wurde sogar festgestellt, dass die mittleren Lastspielzahlen praktisch die gleiche Höhe der Proben erreichen, die von vorneherein im nachbehandelten Zustand geprüft worden waren.

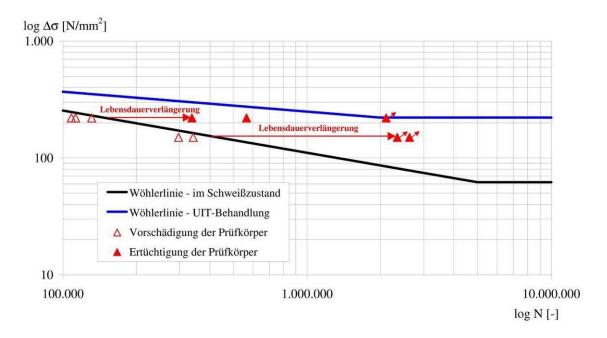


Bild 8: Lebensdauerverl. durch nachtr. Ertüchtigung mit UIT Beispiel Quersteife S460 R = 0,1

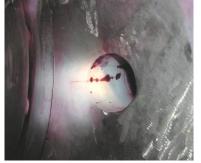
Praktische Anwendung bei der Reparatur einer 32MN Strangpresse

Bei der Firma Wieland sind an dem Laufholm einer 32 MN Strangpresse Bild 9 an den hochbeanspruchten Bohrungen Risse aufgetreten. Die Bilder 10 und 11 zeigen die gerissenen Bohrungen, während im Bild 12 die Risse ausgefugt und teilweise bereits geschweißt sind.



Bild 9: Laufholm der Strangpresse







Bilder 10-12: Risse in den Bohrungen und Reparatur durch Schweißen

Beim ersten Versuch sind nach kurzer Beanspruchung der Presse im Betrieb wieder Risse im reparierten Bereich aufgetreten. Die endgültige Lösung des Herstellers SMS war ein vierteiliger Laufholm aus geschmiedeten Teilen. Die Lieferzeit dieser Schmiedeteile betrug ca. 12 Monate, um aber die Anlage in dieser Zeit ohne weitere Ausfälle weiter zu betreiben suchte man nach einer Lösung und fand diese in der PIT Technologie.





Bild 13: Nachbehandlung des Reparaturbereiches

Bild 14: nachbehandelte Zone inkl. Radius

Bis zum Austausch des Laufholmes durch die Schmiedeteile nach 13 Monaten lief der reparierte und PIT behandelte Laufholm ohne weitere Rissbildung.

PIT Anwendung bei der Reparatur einer Umformpresse in einem französischen LKW Werk

An einer hochbelasteten Umformpresse mussten neue Lager im Getriebegehäuse eingeschweißt werden (Bild 15). Das Lager (150 mm dick) wurde in eine Doppelwand von jeweils 25 mm Dicke eingeschweißt. Um die Kerbwirkung zu verringern, wurde die Schweißnaht im Durchmesser von 950 mm komplett verschliffen. Zusätzlich wurde die komplette Oberfläche im Schweißnahtbereich auf eine Breite von 35 mm PIT behandelt (siehe Bilder 16 und 17), um zusätzlich noch Druckeigenspannungen im oberflächennahen Bereich einzubringen und somit die Lebensdauer zu erhöhen. Die Behandlungsdauer einer ca. 3 m langen Schweißnaht (Durchmesser 920-990 mm) auf der ganzen Oberfläche von ca. 35 mm Breite dauert ca. 1 Stunde.



Bild 15: PIT Behandlung des eingeschweißten Lagers





Bild 16: Behandlung der kompl. Schweißnahtoberfläche

Bild 17: behandelte Nahtoberfläche

Sanierung der Gschnitztalbrücke (Brennerautobahn) in Österreich

Aufgrund der stark gestiegenen Verkehrsbelastungen (vor allem der LKW-Verkehr) sowie der Verbreiterung der ca. 30 Jahre alten Brücke von 2x2 auf 2x3 Fahrspuren sind an den Nahtübergängen an den Quersteifen Anrisse entstanden. Beim Erstellen des Sanierungskonzeptes ist man über den Prüfstatiker an der TU Graz auf die Schweißnahtnachbehandlung UIT aufmerksam geworden. Durchgeführte Schwingversuche an der Universität in Innsbruck im Institut von Prof. Dr.-Ing. Lener zeigten erneut eine deutliche Verbesserung der Lebensdauer an diesem Konstruktionsdetail.



Bild 18: sechsspurige Autobahnbrücke mit starker Verkehrsbelastung





Bild 19: Stahlunterkonstruktion der Brücke

Bild 20: Prüfstand an der Universität Innsbruck

Bei den Prüfstandsversuchen (Bild 20) wurden an unbehandelten Proben nach einer Laufzeit von ca. 300.000 – 568.000 Lastwechsel bei einer Schwingbreite von 200 N/mm² R=0,1 Anrisse festgestellt. Ein Prüfkörper der bereits 568.000 LW ohne Nachbehandlung gelaufen ist, wurde repariert und die Reparaturnaht anschließend nachbehandelt. Ebenso wurde die noch nicht gerissene aber vorbelasteten Schweißnaht der gegenüberliegenden Probe ebenfalls nachbehandelt. Nach weiteren 1.800.000 Lastwechseln unter gleicher Belastung also bei 2.368.000 LW ist die gegenüberliegende nicht reparierte Schweißnaht gerissen.

Aufgrund der guten Ergebnisse hat man sich bei der Sanierungsaktion für den Einsatz der PIT Technologie entschieden.

Erneuerung einer Rührwerkswelle aus dem Werkstoff 1.4462 (Duplex Stahl)

Bei einem Großrührwerk ist die Welle infolge der Ermüdung durch die hohe Biegewechselbeanspruchung gerissen.



Bild 21: Rührwerkswelle ca. 8 m lang und ca. 300 mm Durchmesser







Bilder 22-24: flächige PIT Behandlung der kompletten Schweißnaht

Um die Ermüdungsfestigkeit der neuen Welle (Bild 21) deutlich zu erhöhen, wurden alle Schweißnähte auf der gesamten Nahtoberfläche mit den Übergängen PIT behandelt, siehe Bilder 22-24. Mit der PIT Behandlung erreicht man Druckeigenspannungen bis zu einer Tiefe von ca. 2 mm. Zusätzlich wurde die komplette Welle auch noch kugelgestrahlt um einer eventuellen Spannungsrisskorrosion vorzubeugen.

PIT Einsatz bei Neukonstruktionen im Maschinenbau

Die Firma Trumpf Werkzeugmaschinen GmbH & Co. KG hat sehr schnell den Vorteil dieser Technologie erkannt und hat an hochbeanspruchten Versuchsmaschinen die kritischen Stellen PIT behandeln lassen. Die Ergebnisse waren so gut, dass Trumpf ab sofort mit dieser Technologie beim Neubau der Serienmaschinen die ohnehin schon lange Lebensdauer noch deutlich erhöht. Nach den Tests verschiedener Nachbehandlungssysteme hat sich die Firma Trumpf für die PIT Technologie entschieden.

PIT Behandlung bei Gefahr einer Spannungsriss-Korrosion

Bei der Gefahr einer Spannungsrisskorrosion müssen drei Faktoren zusammenkommen:

- Korrosives Medium
- Empfindlicher Werkstoff
- Zugspannungen

Ersetzt man die Zugeigenspannungen, die bei jeder Schweißnaht entstehen durch Druckeigenspannungen, so ist ein Faktor eliminiert und somit die Gefahr einer Spannungsriss-Korrosion praktisch ausgeschlossen. Dies haben umfangreiche Versuche bestätigt. Hier gab es bereits mehrere erfolgreiche Einsätze in versch. großen deutschen Chemiebetrieben

Weitere Anwendungsgebiete

Neben der Erhöhung der Ermüdungslebensdauer bzw. –festigkeit von dynamisch belasteden Bauteile kann man aber auch bei gleicher Sicherheit den Materialeinsatz um bis zu 40% reduzieren. Die Technologie kann erfolgreich in verschiedene Industriebereichen eingesetzt werden, wie Brückenbau, Offshore & Petrochemie, Rohrleitungs- und Behälterbau, Windkraftanlagen, Kranbau, hochbelastete Maschinenteile, Turbinenschaufeln, Schienenweichen, Fahrzeuge, Bergbauausrüstung, Schienenfahrzeuge usw.

Nach dem auch der TÜV Süd Industrieservice in Mannheim die großen Potenziale von PIT erkannt hat wird nun an einem Konzept gearbeitet, mit dem Inhalt:

"Optimale Prüfkonzepte unter Einsatz von Nachbehandlungsverfahren zur Verlängerung der Lebensdauer von Komponenten und Schweißkonstruktionen"

Hierbei geht es darum, dass diese

- Prüfgerecht ausgeführt werden
- Eine Verbesserung der Ermüdungs- und Schwingfestigkeit erreicht wird
- Schadensauswirkungen reduziert werden

So gibt es z. B. beim Einsatz neuer Werkstoffe wie Nickelbasislegierungen in der Praxis Diskussionen, in welcher Form die Schweißnahtoberflächen, bzw. -übergänge zu behandeln sind.

Vor allem bei Reparaturschweißungen an Bauteilen und Sanierungsmaßnahmen hat sich diese Technologie bestens bewährt, so erreichten reparierte Bauteile deutlich höhere Lastwechsel als die ursprünglichen Neukonstruktionen.