ERHÖHUNG DER LEBENSDAUER UND SCHWINFESTIGKEIT DURCH DIE PNEUMATIC IMPACT TECHNOLOGY (PIT)

Peter Gerster, IWE – Pitec GmbH – p.gerster@pitec-gmbh.com

Abstract

Nach dem heutigen Stand der Normung ist die Schwing- bzw. Ermüdungsfestigkeit von Stählen bei geschweißten Konstruktionen unabhängig von der Streckgrenze. Dies ist als einer der Hauptgründe für den noch immer verzögerten Einsatz von höherfesten Stählen in Konstruktionen unter periodisch schwingender Beanspruchung anzusehen. Durch den Einsatz von Schweißnahtnachbehandlungsverfahren besteht die Möglichkeit die Ermüdungsfestigkeit insbesondere von höherfesten Stählen zu erhöhen. Im Stahlbau bestehen jedoch bis heute keine normativen Regelungen, um die positiven Effekte einer Schweißnahtnachbehandlung zu berücksichtigen.
In diesem Bericht wird über eine neue Generation von Schweißnahtnachbehandlungsverfahren, nämlich die „Pneumatic Impact Technology (PIT)“, sowie deren Anwendungsmöglichkeiten in der Industrie vorgestellt. Außerdem werden Ergebnisse von verschiedenen Forschungsprojekten erläutert, in dem die Effektivität der Nachbehandlungsverfahren zur Verbesserung der Ermüdungsfestigkeit von Schweißkonstruktionen dargestellt werden. Auch die von der TU Graz durchgeführten Simulationen der Schweißeigenspannungen sowie die Ergebnisse der Montanuniversität Leoben der Schwingfestigkeitsuntersuchungen an höchstfesten Stählen werden dargestellt.

1 Einleitung

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.

Mit zunehmender Festigkeit steigt auch die Schwingfestigkeit eines metallischen Werkstoffes – diese Aussage gilt in dieser Form nur für ideale (das heißt polierte) Proben aus dem Grundwerkstoff. Jegliche Imperfektionen, wie zum Beispiel Geometrieänderungen durch Kerben oder Bohrungen, Oberflächendefekte oder aber die im Stahlbau nicht zu vermeidenden Schweißungen reduzieren das Betriebsfestigkeitsverhalten von hochfesten Stählen auf ein Maß, das im Extremfall auf der Höhe der Dauerschwingfestigkeit von normalfesten Stählen liegen kann.

So sieht Eurocode 3 -1.9 Ermüdung bis heute noch vor, dass der Betriebsfestigkeitsnachweis unabhängig von der eingesetzten Stahlgüte ist, und dies unabhängig von der Anzahl der Zyklen, der Art des Belastungskollektives und dem Spannungsverhältnis.

Bereits im Rahmen eines AiF-Forschungsprojekts P 620 [1] mit dem Titel **„Effizienter Stahlbau aus höherfesten Stählen unter Ermüdungsbeanspruchung“** wurde am Institut für Konstruktion und Entwurf der Universität Stuttgart und an der Materialforschungs- und Prüfanstalt (MFPA) der Bauhaus-Universität Weimar die Anwendung und die Effektivität des Nachbehandlungsverfahrens Esonix UIT (Ultrasonic Impact Treatment) mit dem bereits bekannten Verfahren des WIG-Aufschmelzens an einem typischen Konstruktionsdetail des Stahlbaus, der Quersteife eines Biegeträgers, gegenübergestellt.
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

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.

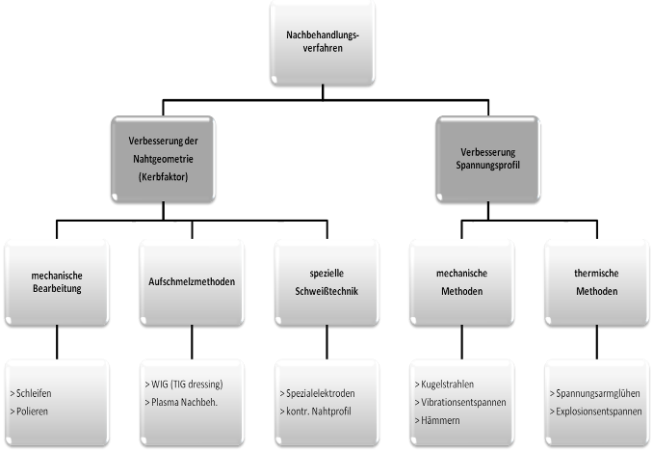


Bild 1 - versch. Nachbehandlungsverfahren

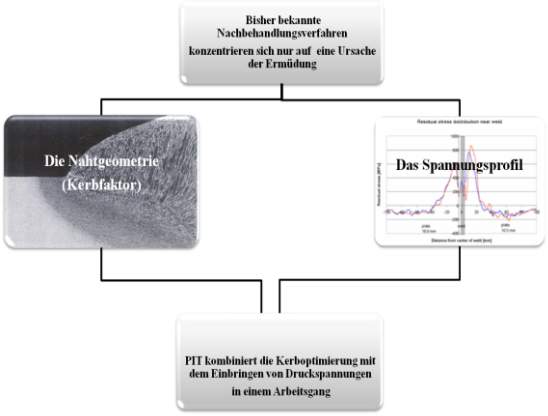


Bild 2 - Kombination der Einflüsse

2 Die Pneumatic Impact Technology (PIT)

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

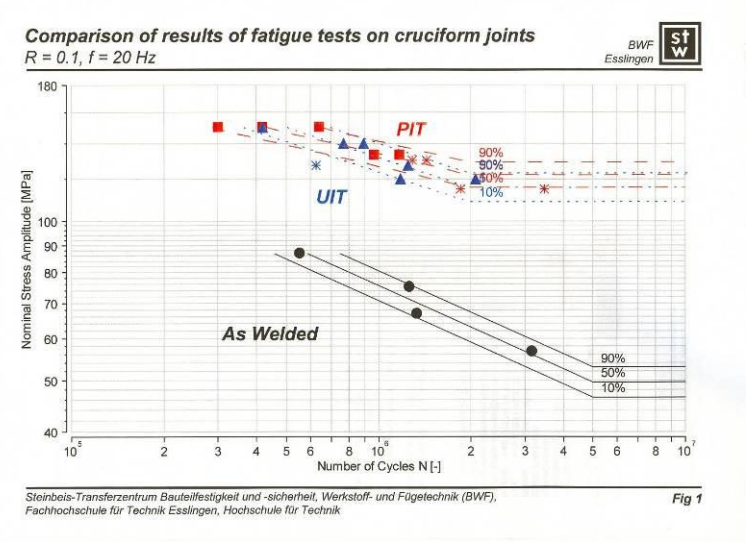


Bild 4 - Wöhlerlinienvergleich UIT - PIT

2.1 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 [2].

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. Aufgrund dieser Entkoppelung ist auch der Einsatz des Gerätes mit dem Roboter problemlos möglich.
Die Vorschubgeschwindigkeit bei Stahl beträgt ca. 20-30 cm/min.

2.1 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:

a. Lackpartikel oder Metallspänchen und sonstige Verunreinigungen weggeblasen werden und nicht ungewollt ins Material eingedrückt werden
b. 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 (Siemens) 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 Fachmesse hier in Wien Stand vorgestellt.

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 (sieheBild 5). Auch hierzu laufen einige Projekte.

Das PIT-Verfahren wird angewendet um folgendes zu erreichen:

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

durch:

- Plastische Verformung der Oberfläche
- Veränderung 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

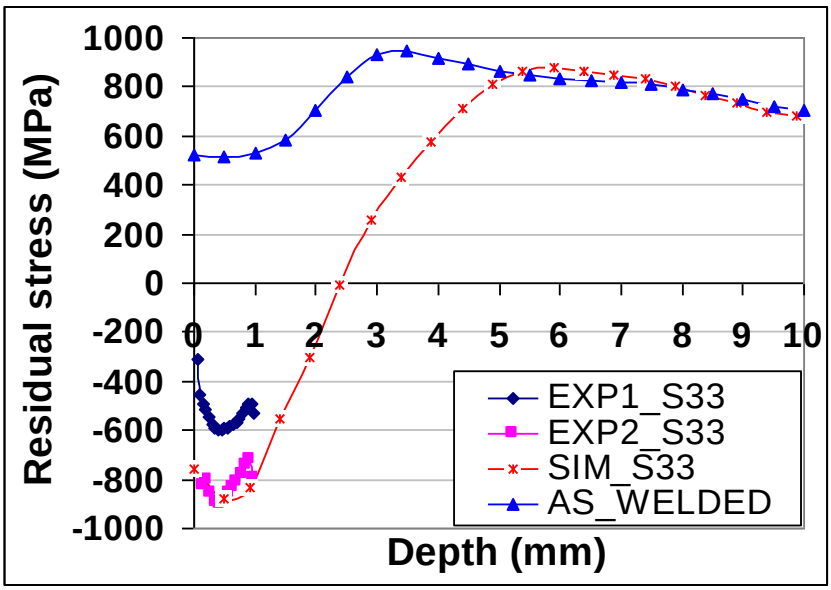
Bild 5 - PIT am Roboter

Für die jeweiligen Einsatzgebiete und den entsprechenden Behandlungszweck können verschiedene Bolzenformen oder auch mehrere Bolzen eingesetzt werden. Auch Außenradien können mit einem speziell angepassten konkaven Bolzen behandelt werden. Anstelle Rollieren werden Übergänge an hochbeanspruchte Achsen und Wellen mit sehr gutem Erfolg PIT behandelt.

3 Forschungsergebnisse

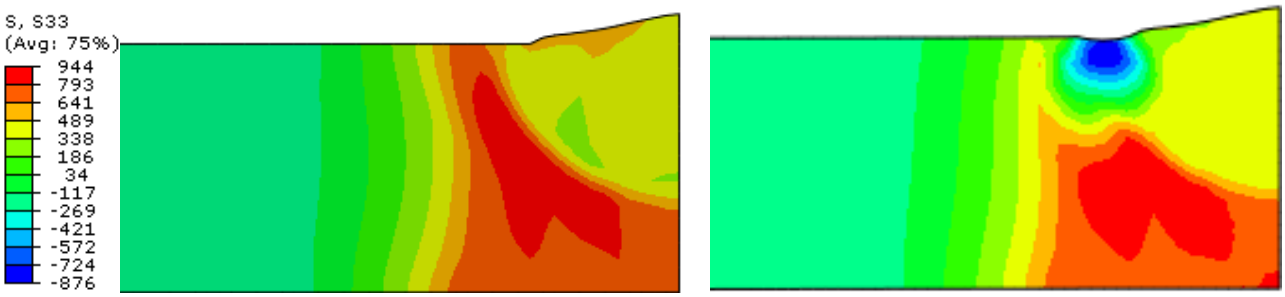
3.1 Simulation der Eigenspannungen

Bei dem österreichischen Forschungsvorhaben JOIN A 11 [3] wurden neben den Schwingfestigkeitsuntersuchungen an der SZA unter anderem umfangreiche Eigenspannungsmessungen vom IWS an der TU Graz durchgeführt, sowie durch Simulation auch berechnet.



- Die Schweißeigenspannungen sind komplett neu verteilt und es zeigt sich ein neues Spannungsfeld in dem Bereich, wo plastische Verformungen durch die PIT-Behandlung erreicht wurden
- Als max. Druckspannungen wurden 650 - 880 MPa in einer Tiefe von 0.4 – 0.5 mm gemessen
- Das Ergebnis der Simulation hat eine bessere Übereinstimmung mit EXP 2

Bild 6 – Eigenspannungen in Längsrichtung der Schweißnaht Werkstoff S700MC



a) ohne PIT-Behandlung **b) mit PIT-Behandlung**

Bild 7 – Verteilung der Eigenspannungen im Nahtübergang Werkstoff S700MC

Im Bild 6 sind die vorhandenen hohen Zugeigenspannungen (blaue Kurve) nach dem Schweißen dargestellt. Die Werte liegen im Bereich der Zugfestigkeit des Grundwerkstoffes. Die Simulation des Eigenspannungsverlaufes nach der PIT-Behandlung (rote Kurve) zeigt, dass durch diese Behandlung Druckeigenspannungen ebenfalls in der Höhe der Festigkeit des Grundwerkstoffes im oberflächennahen Bereich eingebracht werden. Deutlich ist auch die Tiefenwirkung der Druckeigenspannungen (bis ca. 2,3 mm) zu erkennen. Im Bild 7 sieht man sehr schön die Verteilung der Eigenspannungen vor und nach der PIT-Behandlung.

Auch die Messergebnisse der Druckeigenspannungen mit der klassischen Bohrlochmethode (bis ca. 1 mm Tiefe) stimmen speziell bei dem Experiment 2 sehr gut mit der Simulation überein.

3.2 Ergebnisse Montanuniversität Leoben

Um die sehr guten Ergebnisse zu bestätigen, wurden auch an der Montanuniversität Leoben [4] Eigenspannungsuntersuchungen sowie Schwingversuche durchgeführt und zwar diesmal an dem höchstfesten Feinkornbaustahl S960 (Blechdicke 5 mm). Im technischen Anwendungsbereich von hochfesten Stählen finden meist dünnwandige Strukturen mit hoher Steifigkeit Verwendung. Da die Schweißverbindungen z.B. Kastenprofilen als Kehlnähte ausgeführt sind, wurde ein T-Stoß mit einem nicht tragenden Steg als Probengeometrie ausgewählt.

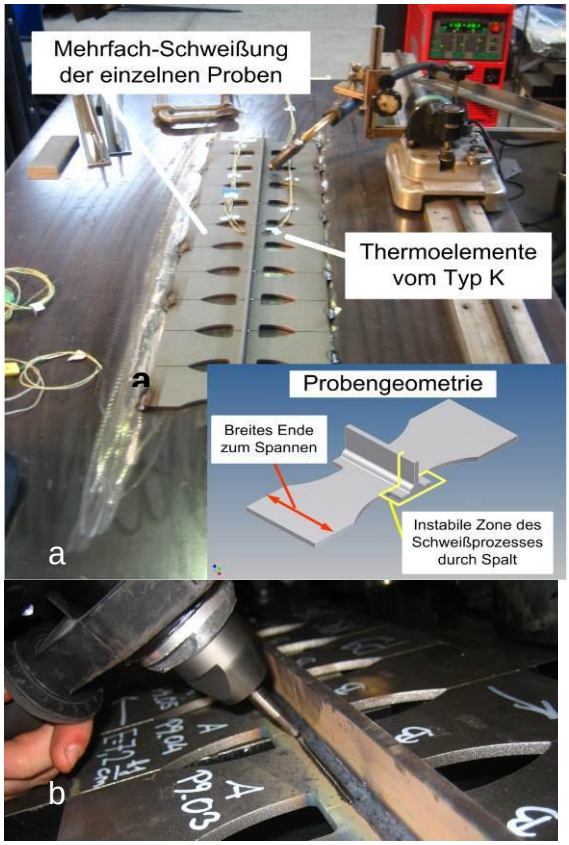


Bild 8 – Probenherstellung

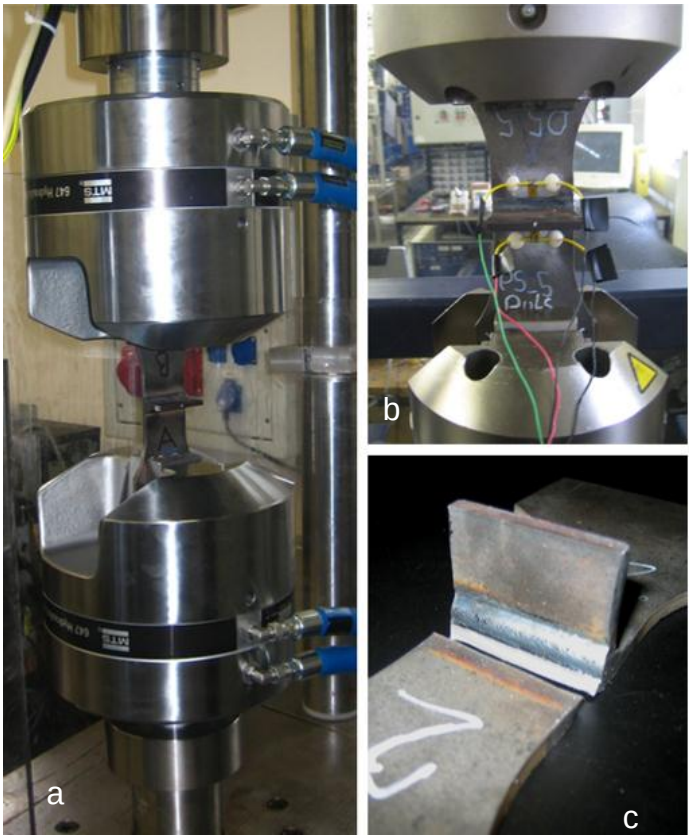


Bild 9 – Ermittlung der Schwingfestigkeit

Um eine konstante Qualität der Schweißnähte sicherzustellen wurden die Probenserien in Mehrfach-Schweißungen hergestellt. Die Randzonen mit einem instabilen Schweißprozess durch den Spalt zwischen den einzelnen Proben wurden anschließend abgetrennt [5]. Die Typ-K Temperaturmessungen dienen der Ermittlung der *t8/5* Zeit, welche für den hochfesten Stahl mit *12s* anzugeben ist (Bild 8a). Nach der Probenschweißung wurde eine Serie mit der Pneumatic Impact Technology (PIT) am Nahtübergang nachbehandelt. Die impulsartige Bewegung (*f=90Hz*) der gehärteten Stahlbolzen (Spitzenradius *R=2mm*) rundet die Kerbe am Nahtübergang aus und erzeugt gleichzeitig Druckeigenspannungen bei einer Vorschubgeschwindigkeit von etwa *v=20* bis *30cm/min* (Bild 8b).

Die Versuche zur Ermittlung der Schwingfestigkeit wurden an einer hydraulischen Prüfmaschine bei einem Spannungsverhältnis von *R=0,1* durchgeführt (Bild 9a).
Begleitend wurden die Dehnungen an der Oberfläche am Nahtübergang mittels Dehnmessstreifen (DMS) gemessen (Bild 9 b). Dies dient zur Erfassung des technischen Anrisses, der bei einem Abfall von 5% der lokalen Dehnungsamplitude bewertet wird [6]. Der Ort der Rissinitiierung erfolgt bei den unbehandelten Proben mittig am Nahtübergang (Bild 9c). Bei den mit PIT nachbehandelten Proben verlagerte sich der Bruchausgang von der Naht in die WEZ des Grundmaterials.

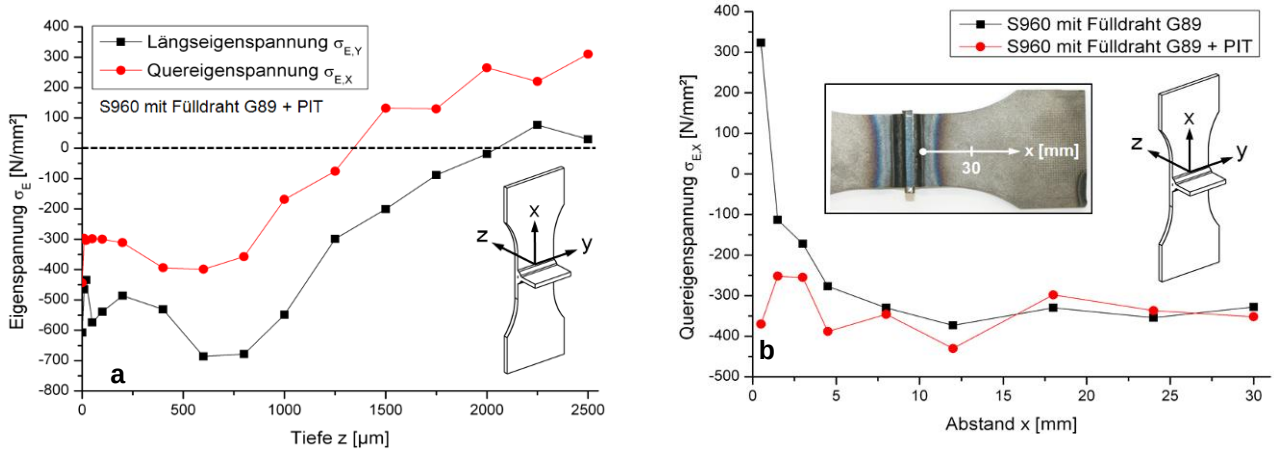


Bild 10 – Verlauf der Eigenspannungen über a die Tiefe z und b an der Oberfläche in Lastrichtung

Zusätzlich zu den experimentellen Versuchen und Analysen wurden Eigenspannungsmessungen an den Proben im ungeprüften Zustand durchgeführt. Der Verlauf der Eigenspannungen σ_E über die Tiefe *z* zeigt eine Tiefenwirkung der Druckeigenspannungen in Querrichtung *x* bis zu *1,3mm* und in Längsrichtung *y* bis *2,1mm* (Bild 10a). Die Messungen an der Oberfläche in Lastrichtung (*x*-Achse) zeigen eine deutliche Reduktion der Schweißeigenspannungen durch die Überlagerung der mittels der PIT eingebrachten Druckspannungen (Bild 10b). Dies bewirkt im hochbeanspruchten Nahtübergangsbereich eine nachhaltige Erhöhung der Schwingfestigkeit der Schweißverbindung.

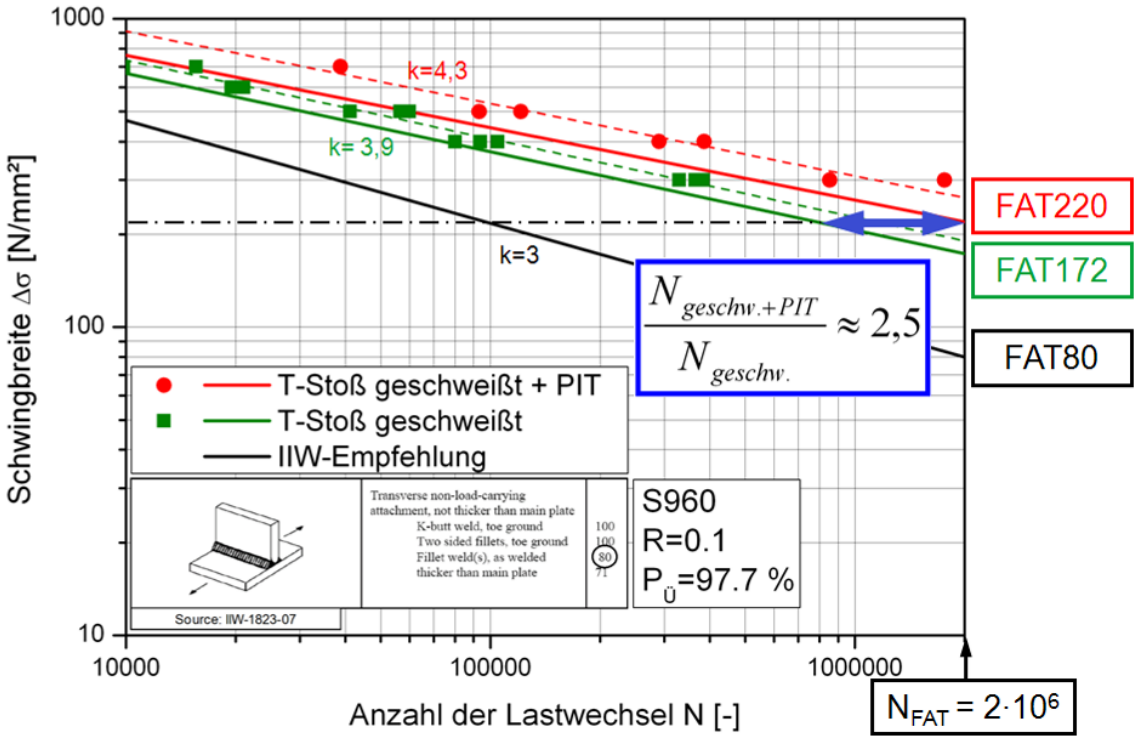


Bild 11 – Ergebnisse der Schwingfestigkeitsuntersuchungen

Basierend auf den Ergebnissen der Schwingfestigkeitsuntersuchungen wurden als Wöhlerlinien die geprüfte Nennspannungs-Schwingbreite Δσ über der Anzahl der Lastwechsel *N* aufgetragen (Bild 11). Die zugehörige FAT-Klasse ergibt sich bei einer Schwingspielzahl von $N=2 \cdot 10^6$ und einer Überlebenswahrscheinlichkeit von *Pü=97,7%.* Die IIW-Richtlinie [7] definiert für diese Probengeometrie und Beanspruchungsart den Kerbfall mit einer FAT-Klasse von *80N/mm²* ohne Nachbehandlung. Die unbehandelte Probenserie weist bereits eine FAT-Klasse von *172N/mm²* auf, bedingt durch die Verwendung hochfester Werkstoffe (entgegen der Aussage im Eurocode 3-1.9). Durch die Nachbehandlung der Schweißnaht mittels PIT ergibt sich nochmals eine Steigerung auf eine FAT-Klasse von *220N/mm²*. In Bezug auf die Lebensdauer des untersuchten hochfesten T-Stoßes, ergibt sich somit eine herausragende Steigerung um den Faktor 2,5 gegenüber dem unbehandelten Zustand.

Die PIT-Nachbehandlung kompensiert außerdem schrumpfungsbedingte Mittelspannungseinflüsse im behandelten Bereich. Die PIT-Anwendung zeichnet sich durch eine einfache Handhabung sowie hohe Reproduzierbarkeit aus und ist somit besonders für die Schweißung hochfester Nähte im industriellen Einsatz zu empfehlen.

3.3 Ergebnisse Universität Stuttgart

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 12 und 13.

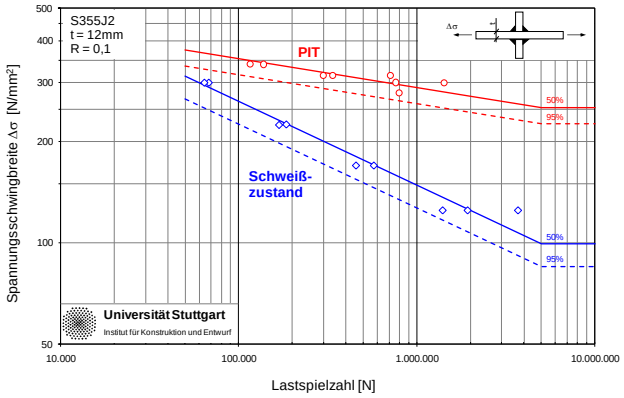


Bild 12 – Kreuzprobe S355

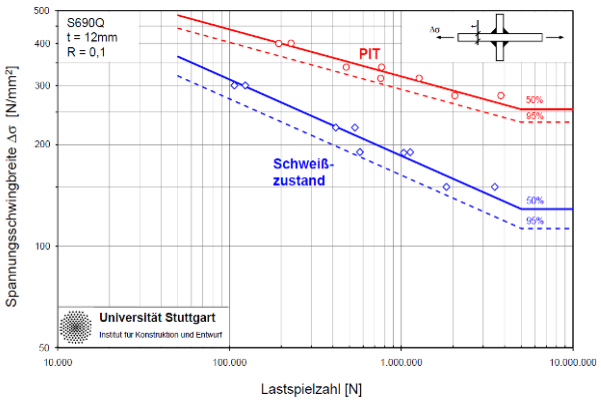


Bild 13 – Kreuzprobe S690

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.

4 Anwendungen in der Praxis

4.1 Praktische Anwendung beim Bau eines Drachens

Die Stadt Furth im Wald hat für Ihre Festspiele einen neuen Drachen bei der Firma Zollner AG bestellt. Diese Konstruktion gilt als größte Laufmaschine der Welt. Die Höhe beträgt ca. 4,5 m und die Länge ca. 20 m. Eigengewicht ca. 10 t.

Aus Gewichtsgründen hat man sich entschlossen, einen höherfesten Stahl S700MC für die Stahlkonstruktion zu verwenden. Für diese Konstruktion wurde jedoch ein Betriebsfestigkeitsnachweis verlangt, laut Berechnung nach Eurocode ist die Ermüdungsfestigkeit aber unabhängig von der Festigkeit. Dies bedeutet, dass nach der Norm gerechnet der höherfeste Stahl keinen Gewichtsvorteil bringt. Die guten Ergebnisse der PIT behandelten Schweißnähte ermöglichten jedoch einen höheren Wert für die Ermüdungsfestigkeit bei der Berechnung einzusetzen und damit Gewicht zu sparen. Bild 14 zeigt die Stahlkonstruktion des Drachens und Bild 15 die Behandlung des Tragrahmens.

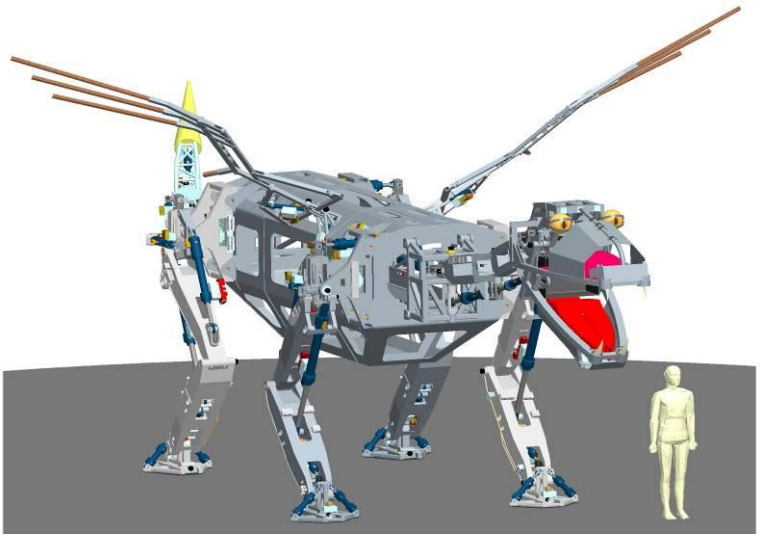


Bild 14 - 3D-Darstellung des Drachens

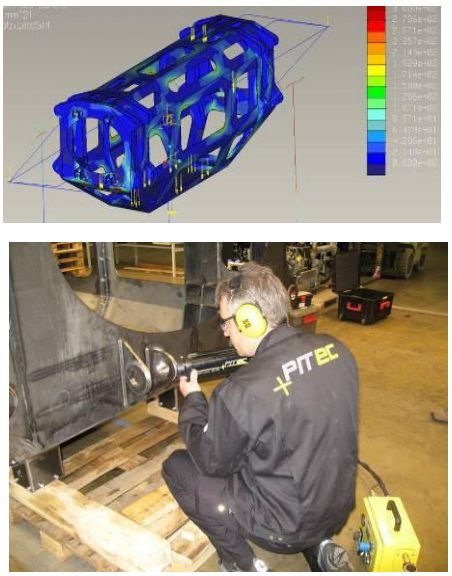


Bild 15 - PIT Behandlung

4.2 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 16 - sechsspurige Autobahnbrücke mit starker Verkehrsbelastung

Bild 17 - Stahlunterkonstruktion der Brücke Bild 18 - Prüfstand an der Universität Innsbruck

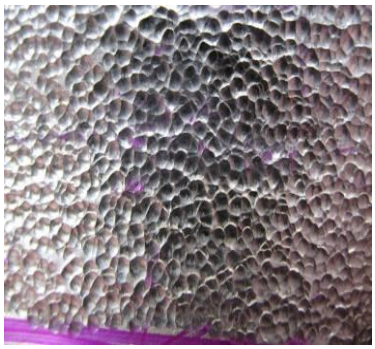
Bei den Prüfstandsversuchen (Bild 18) wurden an unbehandelten Proben nach einer Laufzeit von ca. 300.000 – 568.000 Lastwechsel bei einer Schwingbreite von 200 N/mm² R=0,1 Anrisse festgestellt. Ein Prüfkörper der bereits 568.000 LW ohne Nachbehandlung gelaufen ist, wurde repariert und die Reparaturnaht anschließend nachbehandelt. Ebenso wurde die noch nicht gerissene aber vorbelastete Schweißnaht der gegenüberliegenden Probe ebenfalls nachbehandelt. Nach weiteren 1.661.000 Lastwechseln unter gleicher Belastung also bei 2.229.000 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.

4.3 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 19 - Rührwerkswelle ca. 8 m lang und ca. 300 mm Durchmesser



Bilder 20-22 - flächige PIT Behandlung der kompletten Schweißnaht

Um die Ermüdungsfestigkeit der Welle (Bild 16) deutlich zu erhöhen, wurden alle Schweißnähte auf der gesamten Nahtoberfläche mit den Übergängen PIT behandelt, siehe Bilder 17-19. 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.

4.4 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. Aufgrund der sehr guten Handlichkeit des Gerätes und vermehrten Einsatz hat trumpf bereits ein zweites Gerät verkauft.

4.5 Weitere Anwendungsgebiete

PIT kann bei Schweißkonstruktionen unterschiedlichster Art eingesetzt werden. Die Nachbehandlung von Schweißnähten bewirkt eine wesentliche Erhöhung der Ermüdungslebensdauer und der Ermüdungsfestigkeit von dynamisch belasteten Bauteilen, auch bei bereits bestehenden und damit schon vorbelasteten Konstruktionen. Natürlich 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.
Aufgrund umfangreicher Schwingfestigkeitsuntersuchungen an bereits ermüdeten und gerissenen Fahrwerksrahmen von Eisenbahnwaggons unter der Aufsicht eines Gutachters des Eisenbahnamtes läuft zurzeit eine Sanierungsaktion der Rahmen. Prüfstandsversuche bis 12 Mio. Lastwechsel zeigten eindeutig keine Risse an den PIT behandelten Reparaturnähten. Zur Reduzierung der Eigenspannungen wurde bei der Schweißreparatur jede einzelne Lage PIT behandelt. Auch die Firma Bombardier ist von dieser Technologie überzeugt und hat bereits ein PIT Gerät gekauft. Bei weiteren Schienenfahrzeugherstellern laufen zurzeit Versuche über Einsatzmöglichkeiten dieser hervorragenden Technologie.

Nach den bisher bereits durchgeführten PIT Behandlungen im chem. Apparatebau an verschiedenen Behältern bei Reparaturschweißungen mit positiven Ergebnissen wird zurzeit mit dem TÜV Süd Industrieservice in Mannheim 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 mit der PIT-Behandlung deutlich höhere Lastwechsel als die ursprünglichen Neukonstruktionen.

5 Zusammenfassung und Zukunftsaussichten

Die Ausführungen haben gezeigt, dass mit dieser Technologie es möglich ist, die Lebensdauer von zyklisch schwingend beanspruchten Schweißkonstruktionen wesentlich zu erhöhen. Ergebnisse aus verschiedenen Forschungsberichten zeigen, dass bei einer Lastwechselzahl von $2x10^6$ Millionen die Ermüdungsfestigkeit fast verdoppelt werden kann. Da nach der heute noch gültigen Normung die Betriebsfestigkeit unabhängig von der Festigkeit des Materials ist, war man bisher mit dem Einsatz der höherfesten Feinkornstähle im gesetzlich geregelten Bereich noch sehr zurückhaltend. Schon bei dem Forschungsvorhaben P620 hat die Universität Stuttgart festgestellt, dass je höher die Streckgrenze des Werkstoffs, desto höher auch der Effekt der Schweißnahtnachbehandlung ist, da auch höhere Druckeigenspannungen initiiert werden können. Dies bestätigen nun auch wieder die Versuche der Montanuniversität Leoben an dem Stahl S960. So ist es zukünftig auch möglich, effizientere Stahlbauten mit Hilfe dieser Technologie herzustellen. Deshalb wird auch von den versch. Forschungsstellen angestrebt, diese guten Ergebnisse in die zukünftige Normung einfließen zu lassen.

Die PIT-Anwendung zeichnet sich durch eine einfache sowie hohe Reproduzierbarkeit aus und ist somit für die verschiedensten Konstruktionen im industriellen Einsatz zu empfehlen. Dies gilt insbesondere speziell für die Schweißung hochfester Nähte bei periodisch schwingend belasteten Bauteilen. Aus diesem Grund zeigt sich nun auch eine verstärkte Nachfrage aus den verschiedensten Industriebereichen.

Speziell bei der Instandhaltung bestehender Konstruktionen ist diese Technologie nicht mehr wegzudenken.

6 Referenzen

[1] Forschungsvorhaben P620 AiF-Vorhaben-Nr. 13866 BG „Effizienter Stahlbau aus höherfesten Stählen unter Ermüdungsbeanspruchung“ Schlussbericht Uni Stuttgart März 2006

[2] P. Gerster „ Erhöhung der Lebensdauer bzw. der Ermüdungsfestigkeit durch Schweißnahtnachbehandlung“ der praktiker 61 (2009) Heft 9, S. 302-310

[3] Forschungsvorhaben Join A11 „Optimierter Lagenaufbau“ Join Kompetenznetzwerk Fügetechnik

[4] Untersuchungen der Montanuniversität Leoben am Werkstoff S960 „Steigerung der Schwingfestigkeit geschweißter Strukturen durch die Pneumatic Impact Technology (PIT)“ Autoren: Martin Leitner, Thomas Fössl, Michael Stoschka

[5] M. Stoschka, T. Fössl, M. Leitner, „Contribution to the capability of filler metals to the influence pulsating life “, IIW-Dokument II-1742-10 Juli 2010

[6] I. Takahashi et al. „Fatigue behavior of a box-welded joint under biaxial cyclic loads“, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Stuctures 22, S. 869-877, 1999

[7] A. Hobbacher, “Reommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components” IIW-Dokument XIII-1823-07, Dezember 2008