

Höherfrequentes Hämmerverfahren

SCHWEISSNAHTNACHBEHANDLUNG Für Reparaturschweißarbeiten und Sanierung von Ermüdungsrissen insbesondere an Offshore-Konstruktionen hat das Ehninger Unternehmen Pitec GmbH die Pneumatic Impact Treatment (PIT)-Technologie entwickelt. Diese basiert auf moderner Drucklufttechnik und ermöglicht eine vom Bediener unabhängige, gleichmäßige und reproduzierbare Schlagintensität.

Peter Gerster

Eine Verbesserung der Ermüdungsfestigkeit von Bauteilen sowie Schweißkonstruktionen gewinnt in vielen Bereichen der Industrie zunehmend an Bedeutung. Eine deutliche Steigerung der Lebensdauer wird durch den Einsatz höherfrequenter Hämmerverfahren erreicht. Mit der Pneumatic Impact Technology (PIT) wurde nun die neueste Generation der Schweißnahtnachbehandlung von der Pitec GmbH entwickelt. Hierbei werden neben einer Verfestigung der Oberfläche Druckeigenspannungen im oberflächennahen Bereich eingebracht sowie die Kerbwirkung der Nahtübergänge wesentlich verbessert. Das PIT-Verfahren zeichnet sich dabei insbesondere durch einfache Bedienbarkeit und hohe Reproduzierbarkeit aus. Vor allem bei Reparaturschweißungen an Bauteilen und Sanierungsmaßnahmen hat sich diese Technologie bewährt, so erreichten reparierte Bauteile deutlich höhere Lastwechsel als die ursprünglichen Neukonstruktionen. Die steigende Akzeptanz dieser Technologie in den verschiedenen Industriebereichen, wie Brückenbau, Offshore und Petrochemie, Rohrleitungs- und Behälterbau, Windkraftanlagen, Kranbau, hoch belastete Maschinenteile, Fahrzeugbau, Bergbauausrüstung, Schienenfahrzeuge usw. ermutigte die Pitec diese Technologie für den Unterwassereinsatz weiter zu entwickeln. Mit diesem Gerät ist es nun möglich, Offshore-



Behandlung eines Probestückes mit einem PIT-Unterwassergerät

Konstruktionen unter Wasser mit PIT zu behandeln.

Wirkungsweise von PIT

Dass man mittels Hämmern Druckeigenspannungen erzeugt, die sich positiv auf die Schwingfestigkeit auswirken, ist

lange bekannt. Jedoch war die Wirkung der dazu verwendeten Luftmeißel oder auch Nadelhämmer so ungleichmäßig und auch oberflächlich, dass dieses Hämmern wegen der mangelnden Reproduzierbarkeit nie anerkannt wurde. Die Entwick-

lung der Pneumatic Impact Treatment (PIT)-Technologie, die mit moderner Drucklufttechnik arbeitet, brachte eine, vom Bediener unabhängige, gleichmäßige und somit reproduzierbare Schlagintensität.

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, was für die Reproduzierbarkeit von großer Bedeutung 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. Aufgrund dieser Entkoppelung ist der Einsatz des Gerätes auch mit dem Roboter problemlos möglich. Die Vorschubgeschwindigkeit bei Stahl beträgt ca. 20-30 cm/min.

Wird die Wirkungsweise der verschiedenen Möglichkeiten der Schweißnahtnachbehandlungen betrachtet, so lässt sich feststellen, dass einige nur auf dem Mechanismus der Verringerung der Kerbwirkung, andere auf das Einbringen von Druckeigenspannungen zurückzuführen sind (Abb. 1), während die höherfrequenten Hämmerverfahren auf gleich drei Mechanismen zurückzuführen sind. Laut den Ergebnissen des Forschungsberichtes „Refresh – Lebensdauererhöhung an bestehenden und neu-

Methode	Verringerung der Kerbwirkung	Einbringen von Druckeigen-spannungen	Verfestigung der Randschicht
Ausschleifen	■		
WIG-Aufschmelzen	■		
Plasma-Aufschmelzen	■		
Autofrettieren		■	
Laserpeeling		■	
Kugelstrahlen		■	■
Nadeln, Hämmern		■	■
Hochfrequentes Hämmern	■	■	■

Abb. 1: Wirkungsweise der Nachbehandlungen

en Schweißkonstruktionen“ Dokumentation D 761 der FOSTA ist der Einfluss der Druckeigen-spannungen größer als der der Kerbwirkung. Die hervorragenden Ergebnisse der PIT-Behandlung sind im Wesentlichen auf alle drei Faktoren zurückzuführen:

- ▶ Verbesserung der Kerbgeometrie (Abb. 1),
- ▶ Einbringung von Druckeigen-spannungen (Abb. 2b),
- ▶ Kaltverfestigung der Oberfläche.

Die Abb. 2 zeigt die Verbesserung der Kerbgeometrie durch die PIT-Behandlung. Anhand der Schlibbilder ist deutlich die Entschärfung des Nahtüberganges durch den Bolzenradius mit 2 mm nach der Behandlung zu erkennen.

Forschungsergebnisse

Nachdem die Wirkung bereits in vielen Forschungsprojekten immer wieder bewiesen wurde, laufen ständig neue Vorhaben, um die Effekte noch besser zu quantifizieren. Die erreichten Ergebnisse, nicht nur auf dem Gebiet der Verbesserung der Schwingfestigkeit, übertreffen alle Erwartungen. Die TU Graz hat im Rahmen des Forschungsvorhaben Join A11

in einer Simulation der Eigen-spannungen festgestellt, dass sich die höchsten Zugeigen-spannungen direkt neben der Schweißnaht einstellen (Abb. 3).

Die Abb. 4 zeigt die vorhandenen hohen Zugeigen-spannungen (blaue Kurve) nach dem Schweißen. Die Werte liegen im Bereich der Zugfestigkeit des Grundwerkstoffes. Die Simulation des Eigen-spannungsverlaufes nach der PIT-Behandlung (rote Kurve) zeigt, dass durch diese Behandlung Druckeigen-spannungen ebenfalls in der Höhe der Festigkeit des Grundwerkstoffes im oberflächennahen Bereich eingebracht werden. Deutlich ist auch die Tiefenwirkung der Druckeigen-spannungen (bis ca. 2,3 mm) zu erkennen.

Auch die Ergebnisse der gemessenen Druckeigen-spannungen mit der klassischen Bohrlochmethode (bis ca. 1 mm Tiefe möglich) stimmen speziell bei dem Experiment 2 sehr gut mit der Simulation überein.

In der Abb. 5 sind die an der Montanuniversität Leoben ermittelten Werte der Eigen-spannungen mit der Röntgen-diffraktometrie dargestellt. Erstaunlich ist die gute Über-

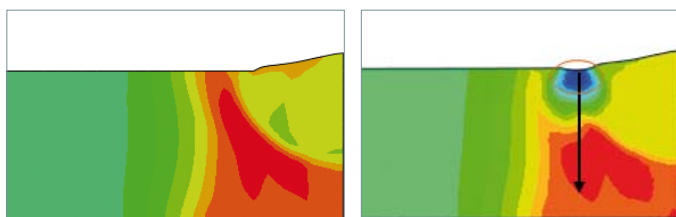


Abb. 3: Simulation der Eigenspannungen im Schweißnahtübergang Werkstoff S700MC (TU Graz)

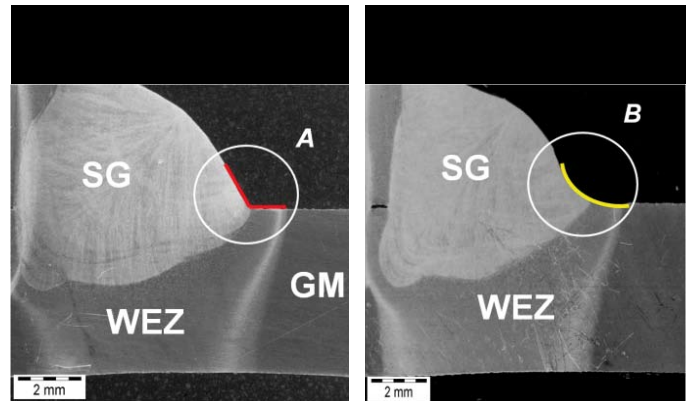


Abb. 2: Vergleich Kerbgeometrie des Nahtüberganges: unbehandelt (a), PIT behandelt (b)

einstimmung der gemessenen Druckeigen-spannungen mit den errechneten der TU Graz bis über 2 mm Tiefe.

In Anlehnung an die Untersuchungen des Fosta-Projektes P 620 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 an der Kreuzprobe bei dem Werkstoff S355 zeigt die Abb. 6. Hierin ist erkennbar, dass selbst bei einer Spannungsschwingbreite von 300 N/mm² durch die PIT-Behandlung von einer rund zehnfachen Lebensdauer gesprochen werden ▶

Servicepartner und Systemlieferant für Schifffahrt, Werften, On- und Offshore, Industrie, Handwerk und Baugewerbe

On-/Offshore-Ausrüstung

Beratung und Service vor Ort

PSA - Persönliche Schutzausrüstung

Anschlagmittel Lastaufnahme

Arbeitsschutz

Schlauchtechnik

Netze

Hydraulikservice

Ladungssicherung

Proviant

Wir machen da weiter, wo andere aufhören...

Tel. 0421-61802-80

Besuchen Sie uns!

WINDFORCE

26. bis 29. Juni 2012 · Bremen

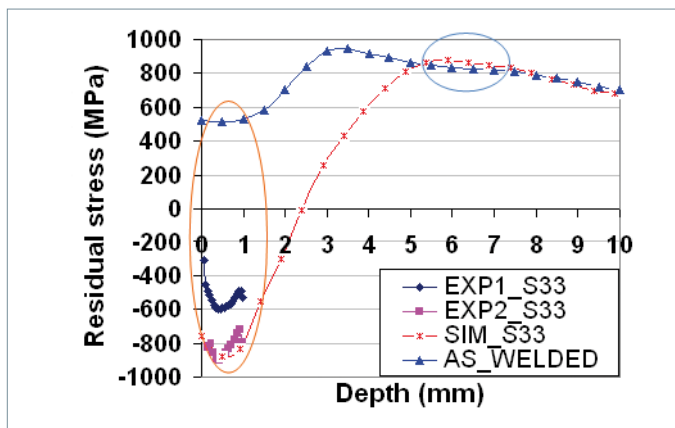


Abb. 4: Simulation der Eigenspannungen

kann. Geht man von einer Schwingbreite von ca. 150–200 N/mm² aus, so kann man schon von einer dauerfesten Konstruktion reden. Wird die Ermüdungsfestigkeit bei zwei Millionen Lastwechsel betrachtet, so kann von einer Verdoppelung der Ermüdungsfestigkeit ausgegangen werden.

Entwicklung des Unterwassergerätes

Aufgrund der immer größer werdenden Akzeptanz dieser Technologie und der vermehrte Einsatz von Schweißkonstruktionen im Stahlwasserbau, Offshore-Bereich, Windenergieanlagen offshore, usw. hat die Pitec GmbH sich dazu entschlossen, ein Handgerät für den Unterwassereinsatz zu entwickeln. Hierbei mussten die gleichen Maßstäbe angelegt werden, wie bei dem konventionellen Handgerät, d.h. gleiche Schlagkraft und Entkopplung des Hämmerns durch ein

Schwingungssystem, um die Handarmvibrationen auf ein Minimum zu begrenzen.

Beim konventionellen System hat der Luftaustritt nach vorne den Vorteil, dass der Bolzen gekühlt wird und die Behandlungsstelle sauber geblasen wird. Weitere Bedingung war die Verwendung der bewährten Technik, den verschleißarmen Musclevon der Esslinger Festo AG & Co. KG als Antriebseinheit, sowie das gleiche Steuergerät mit dem Frequenzgenerator von Festo.

Das neu entwickelte Gerät hat in etwa die gleichen Abmessungen und Gewicht hat wie das Standardgerät. Auch der Einschaltvorgang wird wie beim Standard durch Andrücken des Gerätes (über einen Weggeber) gestartet.

Bei dem Unterwassergerät werden nur Meerwasserbeständige CrNi-Stähle verwendet sowie spezielle Dichtungen eingesetzt. Das komplette Gehäuse

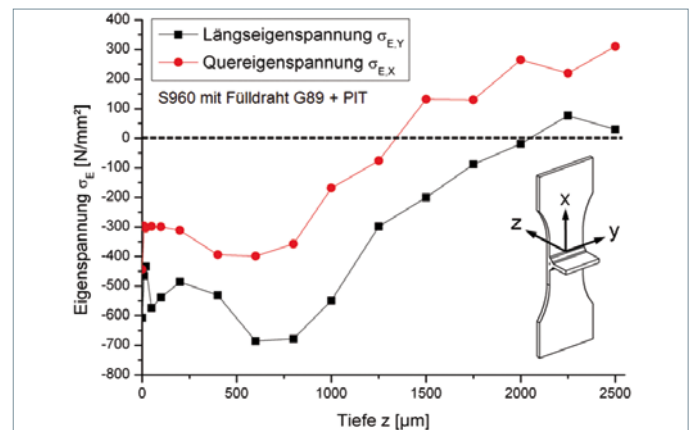


Abb. 5: Eigenspannungsmessung an einem S960

wird im Rapid Prototyping-Verfahren mit allen Kanälen und Bohrungen aus Kunststoff hergestellt. Beim Schlagbolzen wird mit einer Gummimanschette das Wasser gehindert in das Gehäuse einzudringen.

An der Frontseite sind drei LED zur Beleuchtung eingebaut. Die Druckluft wird von oberhalb der Wasserlinie mit einem Schlauch dem Gerät zugeführt (Druckluftflasche oder Kompressor). Aufgrund der starken Blaswirkung (Sichtbeeinträchtigung) darf die Abluft nicht wie in der Standardversion aus dem Gerät entweichen, sondern wird ebenfalls im Schlauch nach oben über Wasser abgeführt. Auch das Stromkabel wird innerhalb dieses Schlauchs dem Gerät zugeführt.

Um das Gerät unter realen Bedingungen zu testen, wurden die praktischen Versuche am Unterwasstechnikum des Instituts für Werkstoffkunde der Leibniz Universität Hannover durchgeführt. Hier war es möglich, mit einem Taucher auch Schweißproben unter Wasser mit PIT zu behandeln, um so auch den Effekt der Nachbehandlung zu testen.

Ergebnisse einer Nachbehandlung am Tripod

Mit dem Hintergrund, durch bessere Ermüdungsfestigkeiten die Wirtschaftlichkeit von Stahlkonstruktionen zu fördern, wurden im Rahmen eines Projektes „Experimentelle und numerische Untersuchungen von Knotenverbindungen für Offshore-Strukturen“ am Insti-

tut für Stahlbau der Universität Hannover [4] die Effizienz des Nachbehandlungsverfahrens UIT an einem Rohrknoten für eine Gründungsstruktur aus dem Stahl S355 untersucht. Als Schweißdetail wurde der Übergang eines Y-Rohrknoten für ein Tripod-Fundament gewählt. Das Ausschnittsmodell besteht jeweils aus einem Gurt (G) und einer Strebe (S), die im Winkel von 60° an den Gurt mittels einer HV-Naht angeschweißt wird.

Die Abb. 7 zeigt die Geometrie der Prüfkörper. Die Versuche wurden auf der Prüfmaschine HUIS 600 durchgeführt. Für die Lagerung der Prüfkörper im Versuchsstand war eine spezielle Auflagerkonstruktion erforderlich. Die Prüfkraft wurde vom unteren Zylinder der Prüfmaschine über eine Klemmlänge von 60 mm in die Strebe eingeleitet. Abb. 8 zeigt die erreichten Ergebnisse der Proben mit und ohne UIT-Behandlung.

Diese Zeitfestigkeitskurven zeigen, dass durch die UIT-Behandlung eine signifikante Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit am Schweißnahtübergang nachgewiesen werden konnte. Eine statistische Auswertung ergab, dass Versuchskörper ohne UIT-Behandlung in die Kerbfallklasse 90 eingestuft werden können. Dieses Ergebnis ist damit übereinstimmend mit der Klassifizierung für Rohrknoten nach der GL-Richtlinie [5] auf der Basis des Strukturspannungskonzeptes.

Im Vergleich zur ersten Testserie ist der Wert der zweiten nach

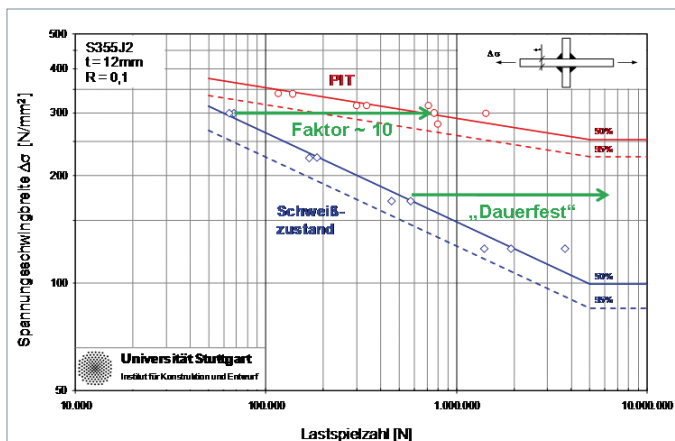


Abb. 6: Einfluss der PIT Behandlung einer Kreuz-Probe Werkstoff S355 (Uni Stuttgart)

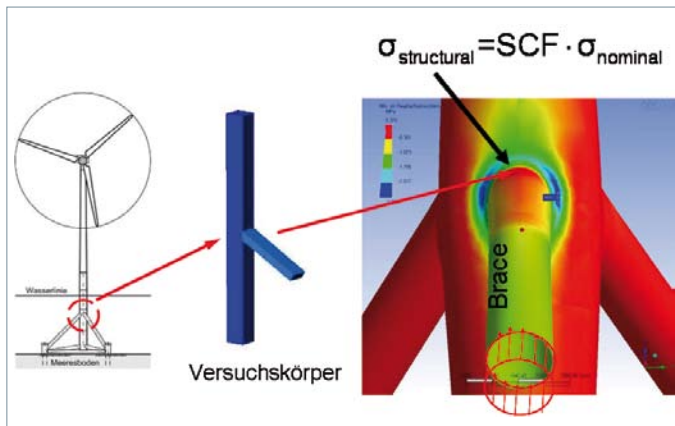


Abb. 7: Probengeometrie für den Versuch

der UIT-Behandlung mit $\Delta\sigma_c = 204,5 \text{ N/mm}^2$ mehr als doppelt so groß. Die Anwendung dieser UIT-Technologie ermöglicht in diesem Fall eine Gewichtsreduzierung von 55 000 kg/Windenergieanlage. Um dies zu realisieren zu können, bedarf es jedoch noch weiterer Untersuchungen um diese Technologie in das Normenwerk aufzunehmen. Die Neuentwicklung der PIT-Technologie findet nun immer mehr Akzeptanz in allen Industriebereichen.

Diese guten Ergebnisse führten zu einem weiteren FOSTA-Forschungsvorhaben P897 mit dem Thema: „Nutzung des Leichtbaupotenzials von hochfesten Stahlwerkstoffen für Stahlrohrtürmen von Windenergieanlagen durch den Einsatz von Hochleistungsfügetechnik.“ Das Projekt wird am Institut für Werkstoffkunde an der Leibniz Universität Hannover durchgeführt, wobei auch der Einfluss der PIT-Behandlung untersucht wird. Sollten später im Einsatz solcher Anlagen Ermüdungsrisse an geschweißten Knoten auftreten, so ist es in Zukunft möglich, die Reparaturarbeiten durch Schweißen, inklusive des neu entwickelten PIT-Unterwassergeräts, Nachbehandlungen unter Wasser auszuführen.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Ausführungen haben gezeigt, dass es mit dieser Technologie möglich ist, die Lebensdauer von zyklisch schwingend beanspruchten Schweißkonstruktionen wesentlich zu erhö-

hen. Ergebnisse aus verschiedenen Forschungsberichten zeigen, dass bei einer Lastwechselzahl von 2×10^6 Millionen die Ermüdungsfestigkeit fast verdoppelt werden kann. Verschiedene Forschungsergebnisse an schon bis zu 90 Prozent der Lebensdauer vorbelasteten Proben haben gezeigt, dass dies auch bei bereits bestehenden Konstruktionen möglich ist. Durch die Entwicklung eines Unterwassergeräts ist es nun auch möglich geworden, Schweißkonstruktionen unter Wasser mit dieser Technologie zu behandeln. Einen großen Vorteil sehen wir vor allem bei der Reparaturschweißung und Sanierung von Ermüdungsrisse von Offshore-Konstruktionen und im Stahlwasserbau (Schleusenanlagen, usw.). Auch Reparaturen von Schiffspropellern, zum Beispiel Ausbesserungen von Kavitationsschäden, können nun unter Wasser geschweißt und PIT behandelt werden, ohne dass das Schiff ins Trockendock gebracht werden muss.

Literatur

- [1] Kuhlmann, U. et al.: „Effizienter Stahlbau aus höherfesten Stählen unter Ermüdungsbeanspruchung“ Schlussbericht Uni Stuttgart März 2006
- [2] Ummenhofer, T et al.: „Lebensdauererweiterung neuer und bestehender geschweißter Stahlkonstruktionen.“ REFRESH-Projekt Abschlussbericht 2009
- [3] Gerster, P.: „Erhöhung der Lebensdauer bzw. der Ermüdungsfestigkeit durch Schweiß-

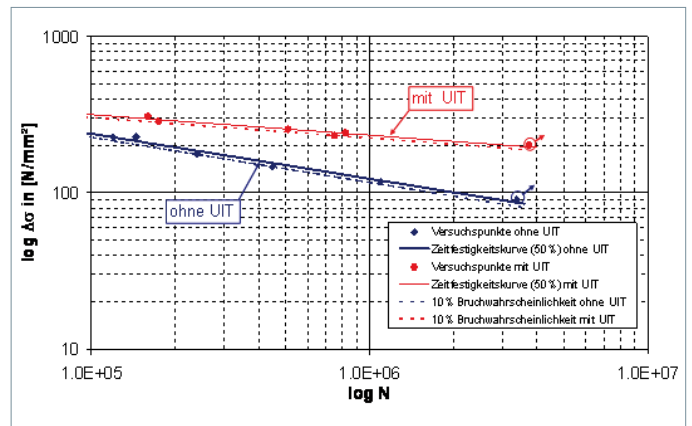


Abb. 8: Ergebnisse der erreichten Lastspiele

nahtnachbehandlung“ der Praktiker 61 (2009) Heft 9, S. 302-310

[4] Schaumann, P., Keindorf, Ch.: „Experimentelle und Numerische Untersuchungen von Rohrknoten für Tripods von Offshore WEA“ Institut für Stahlbau an Uni Hannover

[5] Germanischer Lloyd: Rules and Regulations IV Non-marine Technology Part 2 – Offshore Wind Energy, Germanischer

Lloyd Windenergie, Hamburg 2004

[6] Hobbacher, A. „Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components“ IIW-Dokument XIII-1823-07, Dezember 2008

Der Autor:

Peter Gerster, Senior Consultant, Pitec GmbH, Ehingen



ANY VESSEL ANYTIME

Which type of vessel may we source for your offshore renewable energy project?

Get in touch with us for your offshore enquiry:

+49 40 411 60 68 0
enquiry@german-shipbrokers.de
www.german-shipbrokers.de



WIND | WAVE | TIDAL ENERGY