

HÖHERFREQUENTES HÄMMERN (HFMI)

Internationaler Stand der Technologie

Peter Gerster, Ehingen (Donau), Frank Schäfers, Heudorf

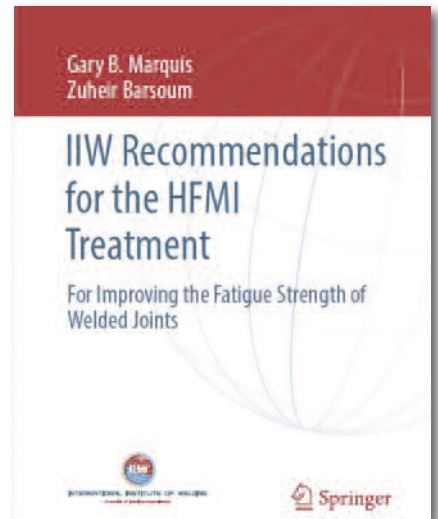
Mit dem Einsatz der „UIT-Technologie“ (UIT = Ultrasonic Impact Treatment) durch die Firma Applied Ultrasonics fand das höherfrequente Hämmern in Europa im Jahr 2004 seinen Anfang. Durch die anfängliche Skepsis der Wissenschaftler und der Industrie wurde diese Technologie nur zögernd in der Praxis eingesetzt. Nachdem mittlerweile die hervorragenden Ergebnisse hinsichtlich der Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit und somit der Verbesserung der Lebensdauer, vor allem von Schweißkonstruktionen, international erkannt wurden, setzt sie sich in der Praxis aber immer mehr durch. Der Bericht befasst sich mit dem heutigen Stand dieser Technologie.

Dass sich durch Hämmern Druckeigen- spannungen erzeugen lassen, die sich positiv auf die Schwingfestigkeit auswirken, ist schon sehr lange bekannt. Jedoch war die Wirkung der hierzu verwendeten herkömmlichen Druckluftmeißel oder auch Nadelhämmer so ungleichmäßig und oft auch oberflächlich, dass dieses Hämmern wegen der mangelnden Reproduzierbarkeit nie anerkannt wur-

de. Erst durch die Entwicklung des höherfre- quenten Hämmerns (in Deutschland bekannt unter HFH, international unter HFMI: High Frequency Mechanical Impact) hat die Wis- senschaft diese Technologie anerkannt.

Steigerung der Ermüdungsfestigkeit

Im Rahmen des International Institute of Welding (IIW) wurde der Effekt von Schweiß- nahtnachbehandlungen auf die Er- müdungsfestigkeit bereits umfassend untersucht, woraus auch internatio- nale Empfehlungen und Anwendungsrichtlinien entstanden sind. Zahlrei- che Untersuchungserge- bnisse für geschweißte Stahlverbindungen mit einer Streckgrenze von



▲ Bild 1. Dieses IIW-Dokument beinhaltet Emp- fehlungen zur Bemessung für eine von der Grundwerkstofffestigkeit abhängige Steigerung der Ermüdungsfestigkeit

235 bis 1300 MPa zeigen beispielhaft, dass durch eine HFH-Nachbehandlung eine we- sentliche Steigerung der Ermüdungsfestigkeit von bis zu 225% im Bereich der Langzeitfes- tigkeit (ab rund einer Millionen Lastzyklen) erreicht werden kann. Vergleichende Versu- che an Grundwerkstoffproben verdeutlichen außerdem, dass sich bei einer Anwendung des Verfahrens die Ermüdungsfestigkeit des Grundwerkstoffs nahezu zur Gänze ausnut- zen lässt, womit ein hohes Leichtbaupoten- zial für geschweißte Strukturen gegeben ist. Dies gilt insbesondere für den Einsatz von hö- herfesten Stählen, bei denen ja bisher laut Eurocode die Ermüdungsfestigkeit unabhän- gig vom verwendeten Werkstoff ist.

Das höherfrequente Hämmern wurde hierbei unter dem englischen Begriff HFMI eingeführt. Basierend auf langjährigen Beob- achtungen internationaler Forschungserge- bnisse wurden nun Empfehlungen zur Bemessung für eine von der Grundwerkstofffes- tigkeit abhängige Steigerung der Ermüdungsfestigkeit ausgearbeitet, die jetzt in dem Doku- ment „IIW Recommendations for the HFMI Treatment – For Improving the Fatigue Strength of Welded Joints“ im Springer-Verlag veröffentlicht wurden. **Bild 1** zeigt den Titel dieser Veröffentlichung.

Am Beispiel des derzeit international am häufigsten eingesetzten Verfahrens der Pitec GmbH soll der Stand dieser Technologie nä-



◀ Bild 2. Transport- koffer mit Ausrüstung für das höherfrequente Hämmernverfahren „PIT“

her erläutert werden. Der englischsprachige Begriff Pneumatic Impact Treatment („PIT“) bezeichnet ein Nachbehandlungsverfahren, bei dem sich durch höherfrequentes Hämmern der Oberfläche eine Steigerung der Ermüdungsfestigkeit erzielen lässt. Im Speziellen wird die Methode bei Schweißverbindungen angewendet, wobei eine wesentliche Erhöhung der Lebensdauer erreicht wird. Aber auch nicht geschweißte Konstruktionen lassen sich durch das gezielte Einbringen von Druckeigenspannungen an den „Hotspots“ in ihrer Schwingfestigkeit verbessern. Die Wirkungsweise beruht dabei auf einer Verringerung der geometrischen Kerbwirkung am Nahtübergang, einem Aufbau von Druckeigenspannungen und einer Verfestigung des Werkstoffs im nachbehandelten Bereich. Durch die einfache Bedienbarkeit und eine hohe Reproduzierbarkeit zeichnet sich das Verfahren insbesondere für industrielle Anwendungen im Anlagen-, Behälter-, Maschinen- oder Stahlbau, Schienenfahrzeugbau usw. aus.

Zug- mit Druckeigenspannungen überlagern

Schon in früheren Ausgaben von „Der Praktiker“ gab es ausführliche Berichte über den Vorteil von höherfrequenten Hämmerverfahren zur Verlängerung der Lebensdauer bzw. zur Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit von Schweißkonstruktionen durch Schweißnahtnachbehandlung mit der „PIT“-Technologie. Deshalb werden hier nur in Kurzform der Aufbau und die Wirkungsweise des entsprechenden Geräts erklärt.

Bei der von der Pitec GmbH entwickelten Technologie werden neben einer Verfestigung der Oberfläche Druckeigenspannungen im oberflächennahen Bereich induziert, und bei Schweißnähten wird die Kerbwirkung der Nahtübergänge wesentlich verbessert. Die beim Schweißen entstehenden sehr hohen Zugeigenspannungen im Nahtübergang, die üblicherweise Werte bis zur Streckgrenze erreichen können, werden mit gleich hohen Druckeigenspannungen überlagert. Aus diesem Grund setzt sich diese Technologie in der Industrie immer mehr durch, sowohl in der Neufertigung als auch bei der qualifizierten Sanierung von Schweißkonstruktionen sowie zur Erhaltung von Anlagenverfügbarkeiten.

Bei dem höherfrequenten Hämmerverfahren „PIT“ lassen sich sowohl die Frequenz als auch die Schlagkraft unabhängig voneinander regeln. Nur dadurch ist es möglich, den verschiedenen Anforderungen der unterschiedlichen Werkstoffe gerecht zu werden. Die mechanischen Impulse werden durch gehärtete Bolzen, die in der Geometrie auf die jeweilige Anwendung angepasst sind, auf eine zu behandelnde Oberfläche übertragen. Der „Fluidic Muscle“ von Festo arbeitet hierbei in einem optimalen Frequenzbereich und überzeugt durch hohe Dynamik bei geringer Masse. Dieser Antrieb arbeitet sehr zuverlässig und verschleißarm.

Um die Vibrationen durch das höherfrequente Hämmern für den Bediener möglichst gering zu halten und um die Reproduzierbarkeit unabhängig vom Bediener sicherzustellen, arbeitet das System gegen ein integriertes Federsystem, sodass das Handgerät von der Schlagkraft vollkommen entkoppelt ist. Ergebnisse der Prüfung der sicherheitstechnischen Anforderung „Schutz gegen schädliche Schwingungen“ durch das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (BGIA) bestätigen einen sehr geringen Wert von gerade einmal rund 5 m/s². **Bild 2** zeigt die erforderliche Ausrüstung

DIE NEWCOMER IM PROFILAGER.

Welbee P320E



Der kompromisslose Einstieg in die Profiwelt des Pulsschweißens – zu einem unschlagbaren Preis

- Stufenloser Schweißinverter zum MIG/MAG-Impulslichtbogen-Schweißen
- Leistungsbereich: 30–320 A
- Hervorragende Schweißeigenschaften für Stahl, Edelstahl, Alu
- Robuster 4-Rollen-Präzisionsvorschub (encoderregelt)

M380S INVERTER



Die Alternative zum stufen-geschalteten MAG-Gerät

- Stufenlos einstellbarer MAG-Inverter
- Hervorragende Schweißeigenschaften
- Leistungsbereich: 30–380 A
- Robuster 4-Rollen-Präzisionsvorschub (encoderregelt)



ZUKUNFTSWEISENDE PROZESSE FÜR BESTE SCHWEISSERGEREBNISSE:



CBT-EX
(Low-Spatter-Prozess)
Maximale Spritzerreduzierung durch die neue Schweißstromregelung CBT-EX (Controlled Bridge Transfer)



Standard Pulse
Stabiler und konzentrierter Lichtbogen sowohl für Hochgeschwindigkeitsanwendungen als auch Wurzelschweißungen



AC/MIG
Optimale Einbrandkontrolle & Spaltüberbrückung bei Dünnschlechanwendungen



AC&DC Hybrid (WIG)
Kontrollierte Wärmeeinbringung mit variabel einstellbarer AC/DC-Hybrid-Frequenz (0,1–50 Hz)



Wave Pulse
Erweiterter Frequenzbereich (0,5–32 Hz) durch die AC&DC Wave Pulse Funktion



MultiVario Arc
Einfacher Wechsel zwischen hartem & weichem Lichtbogen im AC WIG-Bereich



Penetration Control
Ideale Nahtgeometrie bei sicherer Wurzeleinfassung



Bild 3. Handgerät für das höherfrequente Hämmern; im Hintergrund das Steuergerät

im Transportkoffer, während **Bild 3** das Handgerät mit der Steuereinheit im Hintergrund darstellt.

Aufgrund der umfangreichen Erfahrungen des „PIT“-Teams im Einsatz der „UIT-Technologie“ in Europa haben sich folgende Vorteile herauskristallisiert:

- das derzeit führende HFMI-Verfahren,
- trotz gleichem Effekt leichter und günstiger als Ultraschallgeräte,
- bietet die höchste Anwendungsvielfalt,
- sehr geringe Hand-Arm-Vibration von nur ungefähr 5 m/s^2 nachgewiesen,
- umfangreichstes Angebot an Zubehör,
- effektiver als herkömmliche Nachbehandlungsmethoden,
- Geschwindigkeiten von linear 20 cm/min oder flächig $10 \text{ cm}^2/\text{min}$,
- volle Leistung bei nur 250 l/min und 6 bar Druckluft,
- robuste Bauweise für industriellen Einsatz,
- besonders nachhaltiges Qualitätskonzept.

Große Anwendungsvielfalt

Die „PIT“-Technologie bietet die meisten Anwendungsmöglichkeiten von allen Nachbehandlungsverfahren. Der Normalfall der HFMI-Behandlung betrifft den Nahtübergang zum Grundwerkstoff zur Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit (**Bild 4a**). In der Praxis gibt es jedoch häufig Stellen, die durch Schleifen oder einen flachen Auslauf der Naht keine ausreichende Erhöhung bieten. Um auch hier eine nachhaltige Behandlung sicherzustellen, behandeln gut ausgebildete Anwender diese Stellen flächig von etwa der Mitte der Wärmeeinflusszone bis etwa zur Mitte der Naht selbst. Durch die mögliche flächige Behandlung mit dem „PIT“-Gerät können auch einzelne Zwischenlagen von Schweißnähten behandelt werden (**Bild 4b**). Dadurch werden die sich lagenweise aufbauenden Schrumpfspannungen nachweislich reduziert, was auch einem möglichen Verzug entsprechend entgegenwirkt.

Das „PIT“-Verfahren bietet bisher als einziges Verfahren mit einem konkaven Bolzen die Möglichkeit der Behandlung von Kanten an Stirnflächen oder Bohrungsrändern an (**Bild 4c**). Die dadurch eingebrachten Druckeigenspannungen in der Randzone verhindern ebenfalls sehr effektiv eine frühe Rissbildung.

Eine Spannungsrissskorrosion tritt auf, wenn folgende Bedingungen vorherrschen:

- korrosionsempfindlicher Werkstoff (zum Beispiel Chrom-Nickel-Stähle, spezielle Aluminiumlegierungen),
- korrosives Medium,
- Zugeigenspannungen.

Wenn nun bei solchen Schweißkonstruktionen die Zugeigenspannungen an den Schweißnahtoberflächen und Wärmeeinflusszonen durch Druckeigenspannungen in diesen Bereichen überlagert werden können, dann ist auch die Gefahr der Spannungsrissskorrosion gebannt.

Die effiziente und robuste Bauweise des Systems erlaubt neben den manuellen Anwendungen auch die Anwendung am Roboter. Außerdem gibt es ein spezielles Handgerät für den Einsatz unter Wasser (siehe auch „Der Praktiker“, Heft 9/2011, Seite 378 ff.).

Wirtschaftliches Potenzial

Durch die neu veröffentlichten IIW-Empfehlungen (Oktober 2016) hat der Konstrukteur in seinem Berechnungsverfahren nun die Möglichkeit, je nach Nachbehandlungsverfahren und Streckgrenze des eingesetzten Werkstoffs relativ einfach die entsprechende FAT-Klasse zu bestimmen. Um dies zu verdeutlichen, sind in **Tabelle 1** die Bemessungsempfehlungen des IIW anhand der drei gängigsten Schweißdetails in einer übersichtlichen

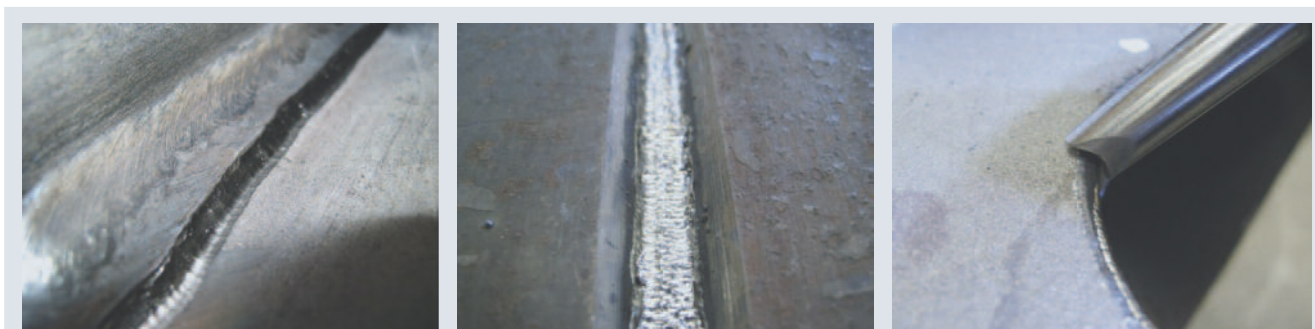




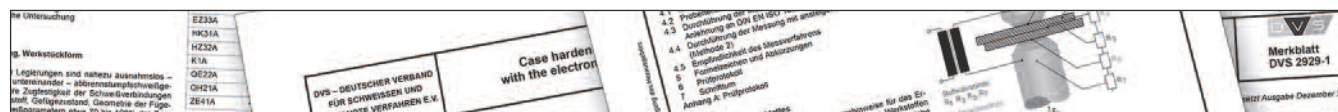


Bild 4. Behandlungsspur (a), Zwischenlagenbehandlung (b) und Kantenbehandlung (c) beim höherfrequenten Hämmern

Tabelle 1. Im direkten Vergleich zeigt sich das technische und wirtschaftliche Potenzial von Pneumatic Impact Treatment („PIT“) am deutlichsten

FAT-Klassen der Details im geschweißten Zustand	Streckgrenze fy	Schleifen		WIG/TIG Dressing		Hammer-/Needle Peening		PIT	
		Faktoren	FAT-Klassen	Faktoren	FAT-Klassen	Faktoren	FAT-Klassen	Faktoren	FAT-Klassen
									
		Neigung m = 3		Neigung m = 3		Neigung m = 3		Neigung m = 5	
Längssteife									
FAT 71	≥ 235 fy ≤ 355 > 355 fy ≤ 550 > 550 fy ≤ 750 > 750 fy ≤ 950	1,30	FAT 90	1,30	FAT 90	1,30	FAT 90	1,57	FAT 112
						1,50	FAT 100	1,76	FAT 125
								1,97	FAT 140
								2,25	FAT 160
Quersteife									
FAT 80	≥ 235 fy ≤ 355 > 355 fy ≤ 550 > 550 fy ≤ 750 > 750 fy ≤ 950	1,30	FAT 100	1,30	FAT 100	1,30	FAT 100	1,56	FAT 125
						1,50	FAT 112	1,75	FAT 140
								2,00	FAT 160
								2,25	FAT 180
Stumpfstoß									
FAT 90	≥ 235 fy ≤ 355 > 355 fy ≤ 550 > 550 fy ≤ 750 > 750 fy ≤ 950	1,30	FAT 112	1,30	FAT 112	1,30	FAT 112	1,55	FAT 140
						1,50	FAT 125	1,77	FAT 160
								2,00	FAT 180
								2,00	FAT 180
		> hohes Fehlerpotential > Unterschleiß oder Schleißbrand > zusätzliche Kerben oder Riefen > Staub/Lärm/zeitintensiv		> nur in Wannenlage > Spannungsprofil		> wenig reproduzierbar > hohe Hand-Arm-Vibration		> höchste Verbesserung > hohe Reproduzierbarkeit > nachhaltige Qualitätssicherung > ~ 20 cm/min.	

Referenzen:
 > Hobbacher, A.: IIW recommendations for fatigue design of welded joints and components. WRC bulletin 520. New York: The Welding Research Council, 2009
 > Marquis, G. B. et al.: Fatigue strength improvement of steel structures by high-frequency mechanical impact; proposed fatigue assessment guidelines. Weld World 57, pp. 803-822, 2013
 > IIW Recommendations on High Frequency Mechanical Impact (HFMI) Treatment for Improving the Fatigue Strength of Welded Joints (in press)



DVS-MERKBLÄTTER UND -RICHTLINIEN | JANUAR 2017

Dokument	Status	Ausgabe	Seiten	Ersatzvermerk // Ersetzt Ausgabe...	Preis (inkl. MwSt.)
DVS 1205	-	Januar 2017	13	-	45,00 €
Zum Merkblatt:	Gefahrstoffe bei Laserbearbeitung von Kunststoffen – Bewertung des Gefährdungspotenzials der Emissionen – Handlungsempfehlungen zur Minimierung der Exposition Für die Gefährdungsbeurteilung von Laserstrahlungsarbeiten zur Bearbeitung von Kunststoffen und zur Vermeidung beruflich bedingter Erkrankungen werden prozessbedingte Emissionen von partikel- und gasförmigen Stoffen und die Exposition unter dem Aspekt der Gefahrstoffentstehung erläutert.				
DVS 1801	W	Januar 2017	8	Ersatz für Ausgabe Juni 2010	30,95 €
Zur Richtlinie:	Anforderungen an Betriebe und Personal für das nasse Unterswasserschweißen – Herstellerqualifikation Die Richtlinie bietet eine Übersicht über schweißtechnische Anforderungen an Betriebe, die nasse Unterswasserschweißarbeiten ausführen. Sie wendet sich an alle, die mit der Ausschreibung, Planung, Durchführung und Prüfung von Unterswasserschweißarbeiten zu tun haben. Sie dient der Qualitätssicherung aller Schweißarbeiten und enthält schweißtechnische Anforderungen an die betrieblichen Voraussetzungen hinsichtlich Personal, Einrichtungen und Geräte.				
DVS 1820	W	Januar 2017	11	-	41,20 €
Zur Richtlinie:	Zerstörungsfreie Prüfung von Offshore-Windenergieanlagen Anhand der Richtlinie sollen Methoden, Geräte, Verfahren usw. für die planmäßige Inspektion im Unterwasserbereich unter Berücksichtigung des Standes der Technik und von Gesundheitsschutz, Arbeitssicherheit und Umweltmanagement-Vorschriften (HSE) erfolgen.				
DVS 3205	W	Januar 2017	7	Geprüfte Neuauflage der Ausgabe von Mai 2010	30,95 €
Zur Richtlinie:	Schutz vor Röntgenstrahlen an Elektronenstrahlmaschinen zur Materialbearbeitung Die Richtlinie informiert über Maßnahmen zum Schutz vor Röntgenstrahlen an Elektronenstrahlmaschinen zur Materialbearbeitung und weist auch auf Verantwortung, Ausbildung und Schutz des Bedien-, Wartungs- und Instandsetzungspersonals hin. Sie ist eine Zusammenfassung der für EB-Bearbeitungsmaschinen relevanten Bestimmungen (Röntgenverordnung und Fachkunde-Richtlinie Technik von 2003) und enthält keine über diese Unterlagen hinausgehenden Festlegungen.				

M = Merkblatt, R = Richtlinie, PZ = PersZert-Richtlinie // Nur für Richtlinien: W = Weißdruck, E = Entwurf



DVS Media GmbH • Aachener Straße 172 • 40223 Düsseldorf • T +49. (0)211. 1591-162 • F +49. (0)211. 1591-250 • vertrieb@dvs-hg.de • www.dvs-media.eu



Berücksichtigt die aktuellen Normen
DIN EN ISO 9606 und **DIN EN 1090**

SFI Aktuell 2017 – alles, was Schweißfachingenieure wissen müssen!

Durch den technischen Fortschritt und die europäische und internationale Harmonisierung der Normen unterliegt das schweißtechnische Wissen einem ständigen Wandel.

SFI Aktuell ist das ideale Hilfsmittel, um auf dem neuesten Stand zu bleiben und bietet praktisch das gesamte aktuelle Wissen, das in den SFI-Lehrgängen nach den DVS-IIW Richtlinie gelehrt wird.

Die schweißtechnische Software SFI Aktuell beinhaltet die Lehrgangsunterlagen zur Aus- und Weiterbildung der Schweißfachingenieure.

Die Version 2017 bietet auf über 2.000 Seiten schweißtechnisches Wissen und Informationen aus den Bereichen:

- Schweißprozesse und -ausrüstung
- Werkstoffe und ihr Verhalten beim Schweißen
- Konstruktion und Gestaltung
- Fertigung und Anwendungstechnik

SFI Aktuell umfasst somit alle relevanten Themengebiete der Schweißtechnik – erarbeitet und zusammengestellt von den Experten der GSI.

BITTE BEACHTEN SIE: Die Artikel sind ausschließlich für in Deutschland ausgebildete Schweißfachingenieure verfügbar!



Wieder als **Up-date**
auf **CD ROM**
zum Preis von
224,91€ erhältlich!

Schweißtechnische Software
SFI-Aktuell 2017
Update auf CD-ROM

Best.-Nr. 101093

Tabelle 2. Praktische Umsetzung der Bemessungsempfehlungen in Tabelle 1

Am Beispiel einer Quersteife aus folgendem Werkstoff:	S355	S700	S960
Einstufung im geschweißten, unbehandelten Zustand:	FAT 80	FAT 80	FAT 80
Durch Schleifen, Verbesserungsfaktor 1,3, erreicht man:	FAT 100	FAT 100	FAT 100
Durch TIG Dressing, Verbesserungsfaktor 1,3, erreicht man:	FAT 100	FAT 100	FAT 100
Durch klassisches Hammer-Peening, Verbesserungsfaktor 1,3 (1,5), erreicht man:	FAT 100	FAT 112	FAT 112
Durch PIT (HFMI), Verbesserungsfaktor laut Tabelle 1, erreicht man:	FAT 125	FAT 160	FAT 180

Form dargestellt. Was dies in der Praxis bedeutet, zeigt **Tabelle 2**. Das heißt, bei der Verwendung eines hochfesten Stahls S960 ließe sich anstelle der FAT-Klasse 80 unbehandelt nach einer PIT-Behandlung mit einer FAT-Klasse 180 rechnen (wobei FAT 160 schon dem unbeeinflussten Grundwerkstoff entspricht). In diesem Fall könnte man auch bei zyklisch schwingenden Belastungen mit hochfesten Stählen leichter bauen.

Das vorgestellte IIW-Dokument erleichtert es dem Konstrukteur, diese Technologie vor allem im „gesetzlich nicht geregelten Bereich“ anzuwenden. Aber auch im „gesetzlich geregelten Bereich“ gibt es immer häufiger Zustim-

mungen im Einzelfall. Im Schienenfahrzeugbau ist diese Technologie durch verschiedene umfangreiche Versuche bereits etabliert.

Da es schwierig ist, eine europäische Norm aufgrund solcher deutlichen Ergebnisse kurzfristig zu ändern, laufen bereits seit zwei Jahren an der Universität in Stuttgart (am Institut für Konstruktion und Entwicklung) und am KIT der Universität in Karlsruhe im Rahmen eines Forschungsauftrags umfangreiche Untersuchungen mit dem Ziel, eine DAST-Richtlinie für das höherfrequente Hämmern zu erstellen.

Eine Zusammenfassung der verschiedenen Möglichkeiten von Schweißnahtnachbe-

handlungen ist auch zu finden in dem im Dezember 2016 erschienenen Buch „Schweißnahtnachbehandlung“ (ISBN: 978-3-8111-6888-6) oder in dem elektronischen Regelwerk „Schweißaufsicht kompakt“ (ISBN: 978-3-8111-6331-7).

Peter Gerster,
Gerster Engineering Consulting GEC,
Ehingen (Donau),
p.gerster@kabelbw.de,

Frank Schäfers,
Sales Manager & Technical Consultant,
Pitec GmbH, Heudorf,
f.schaefers@pitec-gmbh.com

Anzeige

AUTOMATISIERUNG

- MIG/MAG, TIG und Plasma
- Rundnaht / Längsnaht
- Automaten-Bauteile
- System-Automaten
- Roboter-Systeme
- Schweißdrehtische
- Rollenböcke u. v. m.

▶ Rundnaht-Schweißautomat mit Laserabtastung zur automatischen Schweißnaht-Erkennung

Rundnaht-Schweißvorrichtung mit pneumatischer Gegendruckpinole und Brennerzustellung ▶

Merkle Schweißanlagen-Technik GmbH | Industriestr. 3 | D-89359 Kötz | Tel.: 08221 915-0 | Fax: 08221 915-40 | info@merkle.de | www.merkle.de