



Newsletter

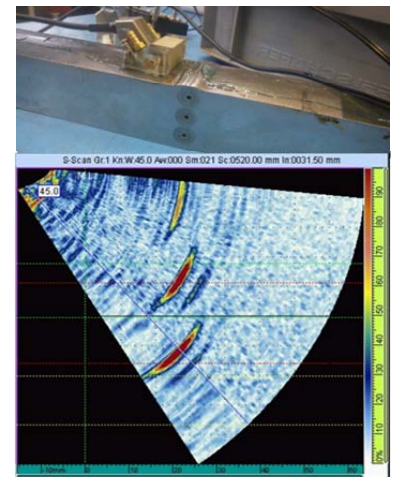
Inhalt

Vorwort.....	1
Abteilung „ZfP im Anlagen- und Maschinenbau“	2
Schallemissionsmessungen bei Ermüdungsversuchen an langfaserverstärktem Kunststoff	3
Modifikation der Kornstruktur austenitischer Schweißnähte durch Beeinflussung der Erstarrung beim Schweißen mit dem Ziel einer Verbesserung der Prüfbarkeit mit Ultraschall	4
Experimentelle Untersuchungen zur Fehlerauffindwahrscheinlichkeit bei der Ultraschallprüfung zur Einbeziehung in probabilistischen Versagensanalysen	5
Ultraschallprüfung an Schweißnähten aus Nickellegierung mit realistischen Testfehlern.....	6
Veranstaltungskalender	7
Impressum	7
Vorschau.....	7

Vorwort

Wie schon im Newsletter 02/2014 geht es auch in diesem Newsletter um die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung (ZfP). Diesmal stellen wir Ihnen unsere ZfP im Bereich Maschinenbau vor, die an der Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart auf eine lange Tradition zurückblicken kann. Die zerstörungsfreie Prüfung ist ein wichtiges Werkzeug zur Ermittlung von Bauteilzustand und Werkstoffeigenschaften. Die auf verschiedenen physikalischen Prinzipien beruhenden Prüfverfahren werden einzeln oder in Kombination

eingesetzt zur Charakterisierung von Schädigung oder Detektion von Fehlstellen in Komponenten aus unterschiedlichen Werkstoffen. Die zerstörungsfreie Prüfung ist ein unverzichtbares Hilfsmittel bei der Qualitätssicherung in der Fertigung bzw. bei den wiederkehrenden Prüfungen im Betrieb. Sie wird eingesetzt bei der Prozessoptimierung, zur Ermittlung von besonderen Werkstoffeigenschaften sowie zur Beobachtung der Schädigungsentwicklung in Abhängigkeit von der Beanspruchung: Letzteres stellt die Basis der Beurteilung von Funktionalität und Integrität kritischer Anlagen dar. Die Auswertung und Bewertung von Prüfergebnissen erfordert ein hohes Maß an Erfahrung und fundierte Kenntnisse über die angewandten Prüfverfahren sowie fachübergreifende Kompetenzen in der Werkstofftechnik und Bauteilberechnung. Unsere Abteilung „ZfP im Anlagen- und Maschinenbau“, steht Ihnen hier als kompetenter Ansprechpartner zur Verfügung.



Ihre MPA Universität Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht
 Prof. Dr.-Ing. habil. Karl Maile



Abteilung „ZfP im Anlagen- und Maschinenbau“

Die Abteilung „ZfP im Anlagen- und Maschinenbau“ der Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart ist Teil des „Fachbereichs Zerstörungsfreie Prüfung“. Das gleichnamige Referat „ZfP im Anlagen- und Maschinenbau“ ist akkreditiertes Prüflabor nach DIN EN ISO/ IEC 17025 für verschiedene zerstörungsfreie Prüfverfahren.

Zu den Tätigkeiten der Abteilung gehören Beratungs- und Prüfdienstleistungen für Kunden aus unterschiedlichen Industriezweigen, von kleinen und mittleren Unternehmen bis hin zu großen Konzernen. Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt im Bereich Energieerzeugung. Anwendungsschwerpunkte sind die Qualitätssicherung in der Fertigung und die wiederkehrende Prüfung im Rahmen von Revisionen an im Betrieb befindlichen Anlagen: Beratung bei der Festlegung von Kriterien für die Durchführung und Bewertung von Prüfungen, eigene Prüfungen und Bewertungen im ZfP-Labor der MPA oder vor Ort beim Kunden, sowie Durchführung von Inspektionen in der Funktion des unabhängigen Sachverständigen, z.B. bei vom Hersteller an neu gefertigten Komponenten durchgeführten Prüfungen.

Die enge Zusammenarbeit mit anderen Abteilungen der MPA wie z.B. in den Gebieten Werkstoffentwicklung und -optimierung, Integritäts- und Lebensdaueranalyse von kritischen Bauteilen, auch auf der Basis von Methoden der Finiten Elemente bzw. bruchmechanischen Verfahren, bietet dem Kunden fachübergreifende Kompetenz.

Den Schwerpunkt im Bereich der Forschung bilden Untersuchungen zur Verbesserung der Prüfaussage für die Ultraschallprüfung von schwer prüfbar Werkstoffen, insbesondere Schweißnähte aus austenitischen Cr-Ni-Stählen und Nickellegierungen, sowie Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Faktoren auf die Zuverlässigkeit zerstörungsfreier Prüfungen.

Darüber hinaus ist die Abteilung beteiligt an der Lehre und die Mitarbeiter sind in verschiedenen Expertengremien vertreten.

Im Folgenden stellen wir Ihnen kurz einige der aktuelleren Forschungsarbeiten unserer Abteilung vor. Bei Fragen zu unseren Arbeiten dürfen Sie uns jederzeit gerne kontaktieren.

Ihre Abteilung ZfP im Anlagen- und Maschinenbau

Dr.-Ing. Sandra Dugan



*Dr.-Ing. Sandra Dugan
(Stellv. Leiterin der Abteilung „Zerstörungsfreie Prüfung im Anlagen- und Maschinenbau“)*

sandra.dugan@mpa.uni-stuttgart.de

Schallemissionsmessungen bei Ermüdungsversuchen an langfaserverstärktem Kunststoff

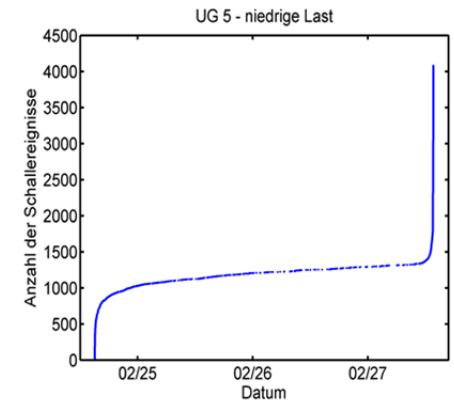


Versuchsaufbau: eingebaute Probe mit Schallemissionssensoren

In vielen Industriezweigen werden vermehrt faserverstärkte Kunststoffe eingesetzt. Neben den bekannten und relativ gut erforschten glasfaser- oder kohlefaserverstärkten Kunststoffen mit duroplastischer Matrix, werden auch Faserkunststoffe mit thermoplastischer Matrix eingesetzt, die sich im kostengünstigen Spritzgussverfahren herstellen lassen. Besonders der Einsatz von Langfasern (Faserlänge bis 25 mm) führt zu Werkstoffen mit guten Steifigkeits- und Festigkeitswerten, die in bestimmten Anwendungen Metalle ersetzen. Das Ermüdungsverhalten dieser Werkstoffe ist jedoch noch wenig untersucht. Um hier Erkenntnisse zu gewinnen, führt die MPA Stuttgart Ermüdungsversuche mit unterschiedlichen Lastamplituden an solchen Werkstoffen durch. Die Versuche werden mit Schallemissionsanalyse (SEA) überwacht, um genauere Erkenntnisse über die Schadensentwicklung im Material zu gewinnen. Mit Hilfe geeigneter Sensoren werden Geräusche, die im Bauteil entstehen, aufgezeichnet und ausgewertet. Die verschiedenen in Faserverbundkunststoffen unter Last auftretenden Schadensmechanismen wie Faser-, Zwischenfaser- oder Matrixbrüche erzeugen unterschiedliche Geräusche, die sich anhand ihrer Frequenzen und Amplituden gut voneinander trennen und klassifizieren lassen.

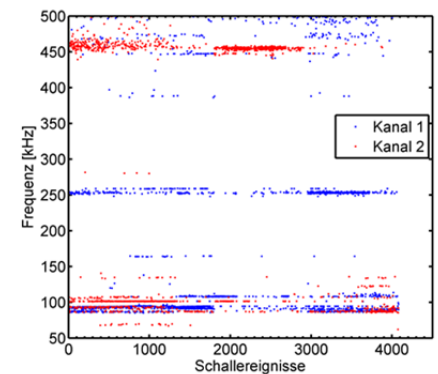
In ersten Untersuchungen wurden Proben aus einem langfaserverstärkten Kunststoff belastet und die dabei entstehenden Schallemissionen aufgezeichnet. Trägt man die Anzahl der aufgezeichneten Signale über der Zeit auf, so ergibt sich ein charakteristischer Verlauf der Schadensentwicklung (Hitrate). Zu Beginn der Belastung treten viele Schallemissionen in kurzer Zeit auf, bei dauernder Weiterbelastung

wird die Anzahl geringer, bis letztendlich die progressive Schädigung der Probe einsetzt und permanent Schallsignale registriert werden.



Hitrate der Schallemissionsmessung an einer Probe aus Ultramid® Structure

Betrachtet man den Verlauf der progressiven Schädigung genauer, so fällt auf, dass Schallemissionen oft in zeitlichen Clustern auftreten. Über eine genauere Untersuchung der Frequenzen der Schallsignale lassen sich unterschiedliche Versagensmechanismen voneinander trennen. Die Frequenzen der Schallsignale liegen in charakteristischen Frequenzbändern, die sich unterschiedlichen Versagensarten (Faser- oder Matrixbrüche) zuordnen lassen.

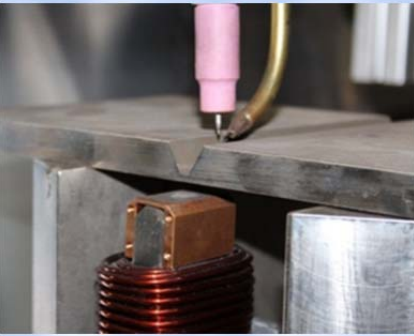


Klassifikation von Schadensmechanismen anhand der Frequenzen der Schallsignale.



Ansprechpartnerin:
 Dr.-Ing. Anne Jüngert
anne.juengert@mpa.uni-stuttgart.de

Modifikation der Kornstruktur austenitischer Schweißnähte durch Beeinflussung der Erstarrung beim Schweißen mit dem Ziel einer Verbesserung der Prüfbarkeit mit Ultraschall



Testkörper in der Schweißanlage mit Magnet zur Beeinflussung der Erstarrung

Weitere Information:

S. Wagner, S. Dugan, M. Barth, F. Schubert, B. Köhler: Beeinflussung des Kornwachstums beim Schweißen austenitischer Schweißverbindungen, mit dem Ziel der verbesserten Ultraschallprüfbarkeit.
 DGZfP-Jahrestagung 2013



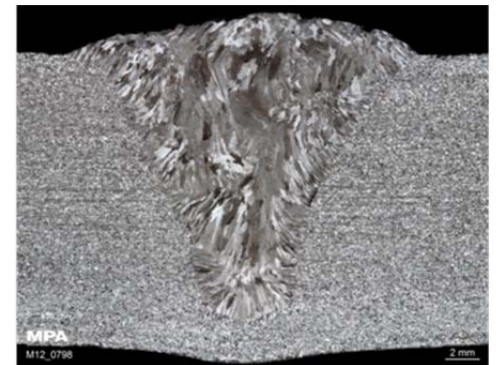
Ansprechpartnerin:

Dipl.-Ing. Sabine Wagner
sabine.wagner@mpa.uni-stuttgart.de

Schweißnähte aus austenitischen Cr-Ni-Stählen und aus Nickellegierungen stellen besondere Anforderungen an die Ultraschallprüfung. Bei diesen Schweißnähten bilden sich bei der Erstarrung große, stängelige Körner, die je nach Abkühlbedingungen beim Schweißen in Vorzugsrichtung orientiert sind (Stängelkristalle). Dadurch ist die Korngröße nicht mehr klein gegenüber der Wellenlänge, so dass sich die elastische Anisotropie des Werkstoffs makroskopisch bemerkbar macht. Dadurch kommt es neben erhöhter Streuung an Korngrenzen zu Wellenumwandlungen und einer Richtungsabhängigkeit der Ultraschallausbreitung. Diese Einflüsse führen zu wesentlich komplexeren Ultraschallsignalen im Vergleich zum isotropen Fall und die Interpretation der Signale und die Lokalisierung von Reflektoren werden erschwert.

In der Vergangenheit wurden durch Verbesserung von Prüftechniken und Signalanalysetechniken einige Verbesserungen erreicht. In einem kürzlich abgeschlossenen Forschungsvorhaben (BMW RS1501384) wurde ein neuer Ansatz verfolgt: Durch gezielte Beeinflussung der Erstarrung direkt beim Schweißen wurde versucht, eine veränderte Kornstruktur und damit eine geringere Beeinflussung der Ultraschallausbreitung zu erreichen. Dazu wurde im Labor der MPA eine Schweißanlage aufgebaut, die es erlaubt, verschiedene Parameter beim Schweißen zu variieren bzw. zusätzliche Maßnahmen zur Beeinflussung der Erstarrung anzuwenden. Insgesamt kamen sechs Methoden der Beeinflussung zum Einsatz, wobei für jede Methode verschiedene Detail-Parameter wie z.B. die Frequenz variiert wurden. Mittels geätzter Makro-

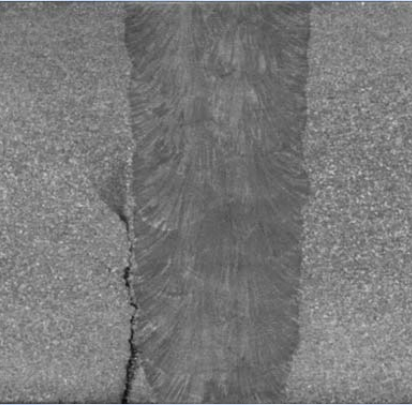
schliffe (Querschliff) wurden jeweils die resultierenden Kornstrukturen dokumentiert. Mit einigen der angewandten Methoden zur Beeinflussung konnte zwar keine ausgeprägte Kornfeinung, jedoch eine Unterbrechung des Stängelkristallwachstums über mehrere Schweißlagen erreicht werden.



Kornstruktur einer modifiziert geschweißten austenitischen Schweißnaht (Makroschliff)

Mechanisierte Ultraschallprüfungen mit verschiedenen Prüftechniken lieferten eine erste Einschätzung zum Einfluss der Schweißmodifikation auf die Ultraschallausbreitung. Für die Schweißung mit gepulstem WIG-Lichtbogen bei einer Pulsfrequenz von 50 Hz konnte die deutlichste Verbesserung im Ultraschallsignal erreicht werden, insbesondere in Bezug auf die korrekte Lokalisierung des Testfehlers. Zur Bestätigung ausreichender Werkstoffeigenschaften der modifizierten Schweißnaht wurden mechanisch-technologische Prüfungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Arbeiten haben gezeigt, dass eine Beeinflussung der Kornstruktur möglich ist. Die Erfahrungen aus dem Vorhaben sollen nun in weiteren Untersuchungen umgesetzt werden.

Experimentelle Untersuchungen zur Fehlerauffindwahrscheinlichkeit bei der Ultraschallprüfung zur Einbeziehung in probabilistischen Versagensanalysen

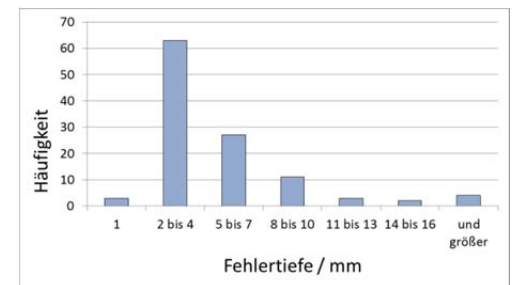


Testkörper mit realistischem Testfehler: Interkristalliner Spannungskorrosionsriss in der Wärmeeinflusszone einer austenitischen Schweißnaht; geätzter Makroschliff

Die Bewertung der Zuverlässigkeit von Komponenten basiert auf der Kenntnis der Werkstoffeigenschaften und der Größe von eventuell vorhandenen Fehlern. Sowohl Werkstoffkennwerte als auch der Nachweis und die Bestimmung der Größe von Fehlern mit Hilfe der zerstörungsfreien Prüfung unterliegen stochastischen Schwankungen. Daher gewinnen Methoden der Probabilistik immer mehr an Bedeutung bei der Beurteilung der Sicherheit von Komponenten. Eine Einbeziehung der Aussagefähigkeit zerstörungsfreier Prüfungen in probabilistischen Versagensanalysen erfolgt üblicherweise über die Ermittlung einer Fehlerauffindwahrscheinlichkeit (Probability of Detection POD). Dabei spielt nicht nur die Fehlergröße eine Rolle. Zu den Unsicherheiten bei der Bewertung der Ultraschallprüfung gehören auch die mit den Fehlereigenschaften (Oberflächenstruktur, Orientierung, etc.) verbundenen Schwankungen des Ultraschallsignals. So wurde in verschiedenen Untersuchungen festgestellt, dass bei der Prüfung an Testkörpern mit realistischen Testfehlern gegenüber der Prüfung an Testkörpern mit künstlichen Testreflektoren die Fehlertiefe z.T. stark unterschätzt werden kann.

In einem abgeschlossenen Forschungsvorhaben (BMW RS1501386) wurden experimentelle Untersuchungen zur Ermittlung der POD aus Daten für verschiedene Ultraschallprüftechniken und verschiedene Testkörper- und Fehlertypen durchgeführt, wobei der Schwerpunkt auf realistische Fehler (Risse) gelegt wurde. In Kooperation mit dem Fraunhofer IZFP Saarbrücken und der intelligenteNTD Systems & Services GmbH (iNDT) wurden verschiedene Ultraschallprüftechniken an Testkörpern mit künstlichen und mit realisti-

schen Testfehlern erprobt. Bei den realistischen Fehlern handelte es sich in der Mehrzahl um interkristalline Spannungskorrosionsrisse in austenitischen Testkörpern mit und ohne Schweißnaht und um Unterplattierungsrisse in dickwandigen plattierten Testkörpern. Es wurden ausschließlich mechanisierte Prüfungen betrachtet.



Verteilung der Fehlertiefen für alle verwendeten Testkörper

Die POD-Berechnung erfolgte vorwiegend als \hat{a} -vs- a Analyse, also über den Vergleich der ermittelten zur wahren Fehlergröße, in einigen Fällen konnte lediglich eine Unterscheidung gefunden/ nicht gefunden (Hit/ miss) vorgenommen werden. Bei den austenitischen Testkörpern lieferte die Sampling Phased Array Technik (IZFP) bessere Übereinstimmung bezüglich der Fehlergröße, jedoch auch eine deutlich erhöhte Fehlalarmrate im Vergleich zur Standard Phased Array Technik (iNDT, IZFP, MPA). Deutliche Unterschiede ergaben sich auch zwischen den realistischen Fehlern (Risse) und den künstlichen Fehlern (Nuten). Bei Berücksichtigung der Ergebnisse an künstlichen Fehlern reduziert sich der Wert für $a_{90/95}$ je nach Prüftechnik um 1,5 bis 2 mm im Vergleich zur ausschließlichen Auswertung von Rissen.

Weitere Information:

J.H. Kurz, A. Jüngert, S. Dugan, G. Dobmann: Probability of Detection (POD) determination using ultrasound phased array for considering NDT in probabilistic damage assessments. 18th World Conference on NDT, 2012

Ansprechpartnerin:

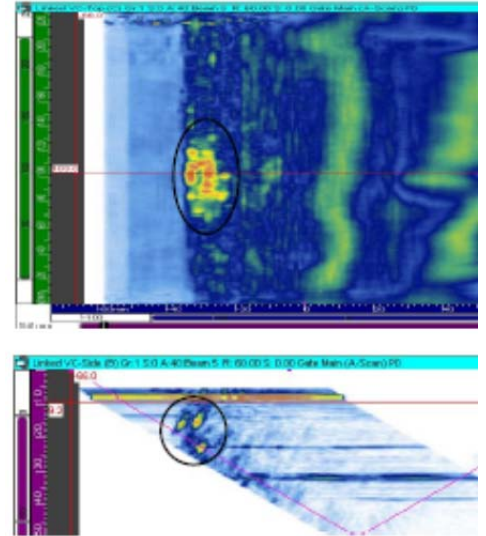
Dr.-Ing. Anne Jüngert
anne.juengert@mpa.uni-stuttgart.de

Ultraschallprüfung an Schweißnähten aus Nickellegierung mit realistischen Testfehlern

Im Rahmen der BMWi-Förderinitiative COORETEC (CO₂-Reduktionstechnologien) zur Entwicklung und Erprobung neuer Hochtemperaturwerkstoffe für hocheffiziente Kohlekraftwerke wurde im Teilvorhaben TD1 (BMW/PTJ Förderkennzeichen 0327705R) die Prüfbarkeit von artgleichen und artungleichen Schweißverbindungen der modernen austenitischen Nickellegierungen Alloy 617 und Alloy 625 mit zerstörungsfreien Prüfverfahren untersucht. Die Arbeiten wurden in Kooperation mit der BAM Berlin und dem Fraunhofer IZFP Saarbrücken durchgeführt, fachlich unterstützt durch den vom VGB PowerTech e.V. koordinierten Lenkungsreis mit zahlreichen Industriepartnern.

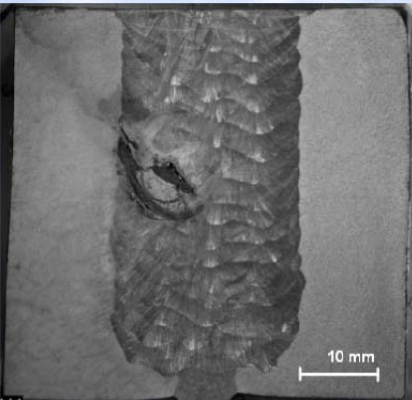
Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf der Ultraschallprüfung. Zur Untersuchung der Eignung von Prüftechniken wurden geschweißte Testkörper hergestellt mit künstlichen und natürlichen Testfehlern. Auf Basis der Erkenntnisse und Erfahrungen an Schweißnähten aus austenitischem Cr-Ni-Stahl, welche ähnliche Herausforderungen an die Ultraschallprüfung stellen, wurden für die Schweißnähte aus Nickellegierungen erfolversprechende Prüftechniken ausgewählt und erprobt, zunächst Standardtechniken und in einem zweiten Schritt weitergehende Prüf- und Analysetechniken. Die Verfahrensgrenzen wurden anhand des Nachweisvermögens für künstliche und realistische Fehler abgeschätzt. Für eine Bewertung der Verfahren im Hinblick auf die Anwendung an Bauteilen sowie für eine gezielte Optimierung wurde die für die Gewährleistung der Bauteilintegrität zulässige Fehlergröße für verschiedene Fehlertypen an einer Modellkomponente ermittelt. Zusätzlich wurde eine Rahmenprüfanweisung erstellt, in der die grundsätzliche Vor-

gehensweise für die Prüfung an einer Schweißnaht aus Nickellegierung unter Verwendung eines geeigneten Vergleichskörpers beschrieben wird.



Ergebnis der Ultraschallprüfung mit 60° Transversalwelle am Testkörper 03a im Bereich mit ausgeprägten Erstarrungsrissen; Darstellung im C-Bild (oben) und B-Bild (unten)

Die Ergebnisse des Vorhabens zeigen, dass man trotz fortschrittlicher Prüftechniken die von ferritischen Schweißnähten bekannten Nachweisgrenzen bei den dickwandigen Schweißnähten aus Nickellegierungen noch nicht erreicht. Der sichere Nachweis kleiner Fehler und die Unterscheidung von Fehleranzeigen zu Gefügeanzeigen oder Interface-Reflexionen bleiben nach wie vor schwierig. Eine weitere Herausforderung liegt in der Größenbestimmung von Fehlstellen. Dazu wird im Allgemeinen die Anwendung spezieller Prüf- und Analysetechniken zur Größenbestimmung zusätzlich zu den Fehlersuchtechniken erforderlich sein. Eine einfache Größenabschätzung anhand der reflektierten Ultraschallamplitude ist nicht möglich.



Testkörper 03a mit beim Schweißen eingebrachten Testfehlern (geätzter Makroschliff)

Weitere Informationen:

S. Dugan, U. Völz, F. Walte: Ultraschallprüfung an Schweißnähten aus Nickellegierung mit realistischen Testfehlern.
37. MPA-Seminar 2011

Veranstaltungskalender

Korrosion im Maschinenbau und Bauwesen: Ein Praxisseminar

Veranstaltungsdatum: 24. September 2014

Weitere Informationen: http://www.mpa.uni-stuttgart.de/events/event_0021.html

3. WTA International PhD Symposium

Veranstaltungsdatum: 25.-27. September 2014

Weitere Informationen: http://www.mpa.uni-stuttgart.de/events/event_0017.html

40. MPA-Seminar

Veranstaltungsdatum: 6.-7. Oktober 2014

Weitere Informationen: http://www.mpa.uni-stuttgart.de/events/event_0010.html

Metallographische Untersuchungsmethoden, Teil C.

Das Gefüge und seine Interpretation

Veranstaltungsdatum: 8.-10. Oktober 2014

Weitere Informationen: http://www.mpa.uni-stuttgart.de/events/event_0021.html

AREVA Nuclear Professional School Kurs "Bauteilfestigkeit"

Veranstaltungsdatum: 11.-14. November 2014

Weitere Informationen: http://www.mpa.uni-stuttgart.de/events/event_0018.html

Metallographische Untersuchungsmethoden, Teil D.

Schadensfalluntersuchung - Tendenzen in der Entwicklung und Untersuchung von Werkstoffen

Veranstaltungsdatum: 26.-28. November 2014

Weitere Informationen: http://www.mpa.uni-stuttgart.de/events/event_0022.html

Impressum

© MPA Universität Stuttgart, 2014

Verantwortlich für diesen Newsletter:

Abteilung „ZfP im Anlagen- und Maschinenbau“
Dr.-Ing. Sandra Dugan
Tel: +49 711 6856 62700
Fax: +49 711 6856 62761
E-Mail: sandra.dugan@mpa.uni-stuttgart.de

Die Verteilung dieses Newsletters erfolgt über eine Mailingliste bzw. über die Homepage der MPA Universität Stuttgart. Falls Sie unseren Newsletter künftig per E-Mail erhalten wollen, schicken Sie uns bitte eine kurze Nachricht per E-Mail.

Ansprechpartnerin: Sabine Martens (sabine.martens@mpa.uni-stuttgart.de)

Vorschau:

Der nächste Newsletter wird am 15.10.2014 erscheinen. Es stellt sich dann die Abteilung „Baukonstruktionen und Bauteilprüfung“ vor.