

Herstellung und Anwendung von Vergleichskörpern für die Schleifbrandprüfung und die Rissprüfung

Martin Wolfgang SEIDEL¹, Antje ZÖSCH¹, Christopher SEIDEL¹,
Konstantin HÄRTEL¹, Frederic GRAFE²

¹ imq-Ingenieurbetrieb für Materialprüfung, Qualitätssicherung und Schweißtechnik GmbH, Crimmitschau
+49 3762 95370, info@imq-gmbh.com, www.imq-gmbh.com

² Westsächsische Hochschule Zwickau Fakultät Automobil- und Maschinenbau, Zwickau

Kurzfassung Bei der zerstörungsfreien Prüfung kommen verschiedene Vergleichskörper für die Prüfmittel- bzw. Verfahrenskontrolle zum Einsatz. Einmal kann damit die Anzeigefähigkeit eines Prüfmittels, wie z.B. einer Magnetpulver-Suspension, überwacht werden. Darüber hinaus werden sie zur Funktionskontrolle der Prüfapparatur und für Verfahrensvergleiche eingesetzt. Derartige Vergleichskörper müssen Inhomogenitäten aufweisen, deren Eigenschaften (z.B. Art, Form, Abmessungen) definiert sind und die reproduzierbar hergestellt werden können. Auf natürlichem Wege sind solche Fehlstellen oftmals nicht definiert herstellbar. Deshalb werden in die Prüfkörper an Stelle von natürlichen sogenannte künstliche Inhomogenitäten (im weiterem auch als Ersatzfehler bezeichnet) eingebracht.

Für die zerstörungsfreie Schleifbrandprüfung mit elektromagnetischen Verfahren wurde von den Autoren ein Verfahren zur Erzeugung von Schleifbrand-Ersatzfehlern entwickelt. Vorgestellt werden neue Entwicklungen bei der reproduzierbaren Erzeugung solcher Ersatzfehler wie zum Beispiel großflächige und umlaufende Ersatzfehler an rotationssymmetrischen Teilen sowie Ersatzfehlern auf gekrümmten Oberflächen. Weiterhin wird über die Möglichkeiten der Prüfmittelüberwachung von Vergleichskörper für die Schleifbrandprüfung und über den aktuellen Stand der Normung berichtet.

Für die Oberflächenrissprüfung mittels Ultraschall- bzw. Wirbelstromverfahren werden bisher in die Vergleichskörper Ersatzfehler in Form von Sägeschnitten oder erodierten Nuten eingebracht. An Beispielen wird gezeigt, dass sich Prüfsignale derartiger Ersatzfehler beträchtlich von denen realer Risse unterscheiden. Demonstriert wird ein neu entwickelter Vergleichskörper mit definiert eingebrachten Rissen und dessen Anwendung für die zerstörungsfreie Prüfung. Mit dem entwickelten Verfahren wurden bisher Risse mit Tiefen zwischen 0,1 und 0,7 mm reproduzierbar erzeugt. Sie konnten mittels Wirbelstromprüfung, Ultraschallprüfung, Magnetpulverprüfung und den Penetrationsverfahren sicher nachgewiesen werden. Damit steht ein einheitlicher Vergleichskörper für verschiedene ZfP Verfahren zur Verfügung.



1. Vergleichskörper in der ZfP

In DIN EN 1330-4:2010 „Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 4: Begriffe der Ultraschallprüfung“ werden Vergleichskörper (in Englisch reference blocks, reference standards) folgendermaßen definiert: „Block aus einem Werkstoff mit eindeutig festgelegten Reflektoren zur Einstellung der Verstärkung der Ultraschallprüfgeräte, um ermittelte Anzeigen mit den Anzeigen zu vergleichen, die durch die bekannten Reflektoren hervorgerufen werden“.

Verallgemeinert auf andere ZfP-Verfahren handelt es sich bei Vergleichskörpern um Körper mit definierten Eigenschaften wie zum Beispiel Abmessungen, chemischer Zusammensetzung und insbesondere mit definierten Inhomogenitäten. Auf natürlichem Wege lassen sich Inhomogenitäten wie Schleifbrand und Risse allerdings nicht in die Körper einbringen. An Stelle natürlicher Inhomogenitäten verwendet man deshalb sogenannte künstliche Inhomogenitäten (im Englischen artificial defects oder discontinuities). Nach DIN EN 1330-2:2010 „Zerstörungsfreie Prüfung - Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden“ handelt es sich dabei um Inhomogenitäten „wie Bohrungen, Kratzer oder Nuten, die durch Bearbeitung in ein Werkstück eingebracht wurden“. Im allgemeinen Sprachgebrauch werden auch häufig die Begriffe Ersatzfehler oder Referenzfehler verwendet.

Die Vergleichskörper sind erforderlich, um geeignete Prüfmittel auszuwählen und dieses auch während der Anwendung zu kontrollieren. Dazu gehören auch die Durchführung von Verfahrensvergleichen und die Organisation von Vergleichsuntersuchungen zwischen Prüflaboratorien und von Ringversuchen. Darüber hinaus dienen sie zur Festlegung vorläufiger Schwellwerte. Dabei liegt die Betonung ausdrücklich auf vorläufig, denn die endgültigen Schwellwerte sind in der Regel erst im Rahmen einer Validierung zu definieren. Vergleichskörper sollen regelmäßig in den Prüfprozess eingeschleust werden, damit sichergestellt wird, dass die Prüfbedingungen sicher eingehalten werden.

2. Vergleichskörper für die Schleifbrandprüfung

Schleifbrand entsteht beim Schleifen von Werkstückoberflächen, durch ungewollte Zufuhr von Wärme. Dies kann lokal zu Struktur- und Gefügeänderungen führen (Bild 1) führen. Entstehen können Anlasszonen und bei höherer Energiezufuhr auch sogenannte Neuhärtezonen. Nicht alle diese Gefügeänderungen sind lichtmikroskopisch nachweisbar. Sie sind aber stets mit dem Auftreten von Eigenspannungen verbunden.



Bild 1 Entstehung und Erscheinungsformen von Schleifbrand

Aufgrund der Vielzahl von Einflussgrößen beim Schleifen ist das Auftreten von Schleifbrand in hohem Massen vom mehr oder weniger zufallsbedingten Zusammentreffen mehrerer Faktoren abhängig. Schleifbrand kann also nicht mit völliger Sicherheit vollständig vermieden werden. Vielmehr muss immer damit gerechnet werden, dass in einer ansonsten guten Charge einzelne Teile mit lokalem Schleifbrand auftreten. Im Umkehrschluss bedeutet dies aber auch, dass es nicht möglich ist, durch Schleifen in Vergleichskörpern definierte Schleifbrand- Inhomogenitäten einzubringen. Deshalb müssen in Vergleichskörper künstliche Inhomogenitäten eingebracht werden.

Dazu eignet sich besonders die Verwendung der Laserstrahlung/^{1, 2,3}. Im imq Ingenieurbetrieb wurde dieses Verfahren so weiter entwickelt, dass Ersatzfehler in Bauteiloberflächen definiert nach Lage und Ausdehnung auf dem Bauteil und dem Grad der Schädigung (Eigenspannungsänderung, Anlasszone, Neuhärtung) sowie mit ähnlicher physikalischer Wirkung wie Realfehler erzeugt werden können (Bild 2).

Vergleichskörper mit künstlichen Inhomogenitäten

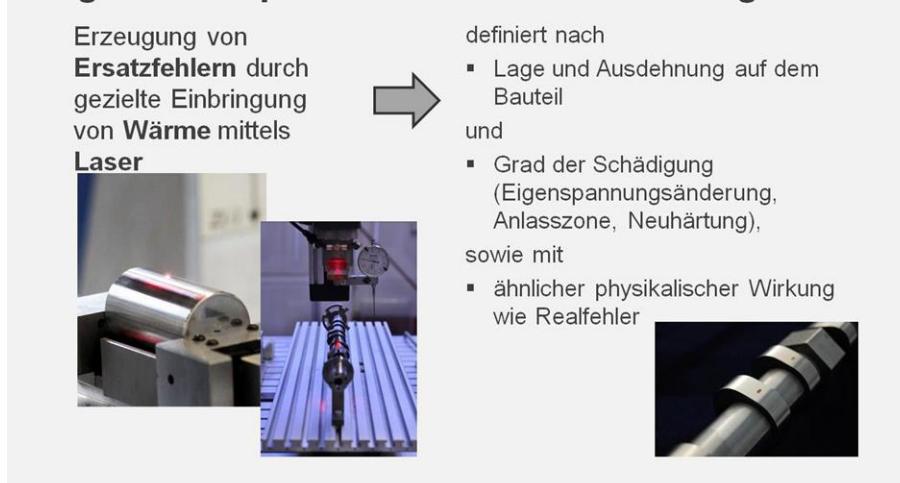


Bild 2 Erzeugung künstlicher Inhomogenitäten/Ersatzfehlern mittels LASER-Strahlung und kreisförmige Ersatzfehler d=1,2 mm auf einer Nockenwelle

Hauptaugenmerk wurde dabei auf die Reproduzierbarkeit der Merkmale wie laterale und Tiefenausdehnung der künstlichen Inhomogenitäten gelegt. So können zum Beispiel Anlasszonen mit einer Wiederholgenauigkeit der lateralen Ausdehnung von +/- 0,10 mm und der Tiefe von +/- 0,02 mm hergestellt werden.

Das Verfahren wurde in jüngster Zeit dahingehend weiter entwickelt, dass nunmehr auf Kundenanforderung auch umlaufende Ersatzfehler, Ersatzfehler auf gekrümmten Oberflächen und solche mit größerer lateraler Ausdehnung gefertigt werden können. Bild 3 zeigt beispielhaft derartige bei imq erzeugte künstliche Inhomogenitäten.

Vergleichskörper mit künstlichen Inhomogenitäten



Bild 3 umlaufender Ersatzfehler auf einer Zahnstange, großflächiger Ersatzfehler auf einem Wälzlagerring D=250 mm und Ersatzfehler auf der gekrümmten Oberfläche einer Gewindemutter (untere Bilder: Querschliffe durch die Ersatzfehler)

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Fertigung von Vergleichskörpern betrifft die Referenzierung der erzeugten Inhomogenitäten und die Überwachung des Prüfmittels „Vergleichskörper“. Bei der Herstellung der Vergleichskörper werden zunächst auf mindestens 2 Teilen unter identischen Bedingungen Ersatzfehler erzeugt. Danach erfolgt eine Wirbelstromprüfung des Masterteils und des Referenzteils. Bild 4 zeigt die Prüfsignale, die mittels einer Absolutsonde an einer Anlasszone bzw. einer Anlass- und Neuhärtezone registriert wurden.

Prüfung mittels Absolutsonde

(Tastsonde, Durchmesser Spulenelement 2 mm)

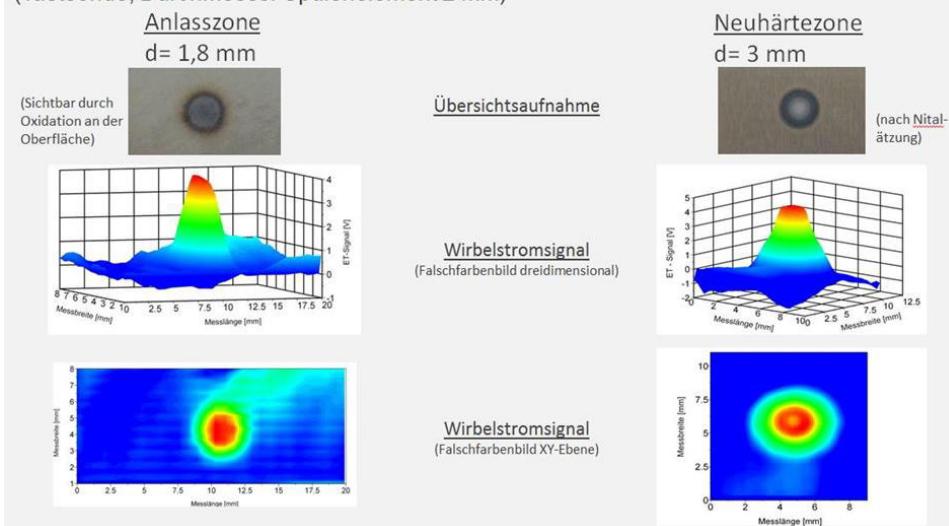


Bild 4 Wirbelstromscan einer Anlasszone (links) und einer Anlass- und Neuhärtezone (rechts)

Stimmen beide Signale im Rahmen der Messgenauigkeit überein, so wird der Ersatzfehler im Referenzteil metallografisch oder auch mittels einer Eigenspannungsmessung untersucht. Der Kunde erhält dann ein Zertifikat mit den Eigenschaften des Vergleichskörpers. Bei der Prüfmittelüberwachung sind einmal die Vergleichskörper auf Beschädigungen der Oberfläche wie Kratzer, Kerben zu überprüfen,

da diese sich ebenfalls auf das Prüfergebnis auswirken können. Mit dem Wirbelstromverfahren kann überprüft werden, ob sich der Ersatzfehler selbst verändert hat.

Mittlerweile liegt mit E DIN SPEC 4882:2015-05 der Entwurf eines vom zuständigen DIN-Normenausschusses erarbeiteten Standards vor, der Anwendungsbereiche und Anforderungen an Vergleichskörper zur zerstörungsfreien Schleifbrandprüfung Standards definiert (Bild 5). Dieser liegt nunmehr zur Beurteilung öffentlich aus.

Vorwort.....	3
Einleitung	3
1 Anwendungsbereich.....	3
2 Normative Verweisungen.....	3
3 Begriffe	3
4 Kurzbeschreibung der Vergleichskörper.....	4
5 Einsatzgebiete.....	4
6 Herstellung der künstlichen Inhomogenitäten in den Vergleichskörpern.....	4
7 Referenzverfahren zur Charakterisierung der künstlichen Inhomogenitäten des zerstörend untersuchten Vergleichskörpers einer Charge.....	5
8 Anforderungen an Vergleichskörper.....	5
8.1 Form und Art der künstlichen Inhomogenitäten.....	5
8.2 Lage der künstlichen Inhomogenitäten auf dem Bauteil.....	5
8.3 Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Herstellung.....	5
8.4 Anforderungen an Lagerung und Beständigkeit der Vergleichskörper.....	5
8.5 Überprüfung vor dem Einsatz.....	6
8.6 Kennzeichnung.....	6
9 Prüfbericht.....	6
Literaturhinweise	7

Bild 5 Inhaltsverzeichnis E DIN SPEC 4882-2015-05 (Entwurf)

Für die Überwachung des Nital-Ätzens nach ISO 14 104 wurde ebenfalls ein Vergleichskörper entwickelt (Bild 6).



Bild 6 NE-Test Set–Vergleichskörper für die Überwachung des Nital-Ätzens
www.imq-gmbh.com

3. Vergleichskörper mit definierten Rissen

Zur zerstörungsfreien Rissprüfung werden aktuell vor allem Vergleichskörper verwendet, in die Sägeschnitte oder erodierte Nuten eingebracht werden (Bild 7). Die Breite dieser Ersatzfehler liegt in der Regel zwischen 1 mm und 0,05 mm. Die Spaltbreite von Rissen beträgt dagegen nur wenige µm.



Bild 7 Vergleichskörper für die Wirbelstromprüfung mit eingebrachten Nuten
Product ID: 3-Notch Eddy Current Standard, 4340 Steel Nuten Tiefe: 0,2; 0,5; 1,0,mm Breite 0,1 bis 0,12 mm PH Tool Pipersville, PA 18947 USA

Bild 8 zeigt die Ergebnisse der Wirbelstromprüfung eines ferromagnetischen Stahlteiles mit eingebrachten Nuten der Breite 0,2 mm im Vergleich zu den gleichen Teilen mit realen Rissen annähernd gleicher Tiefe. Die Signale unterscheiden sich in ihrer Amplitude beträchtlich, wobei die realen Risse deutlich höhere Signalamplituden bewirken.

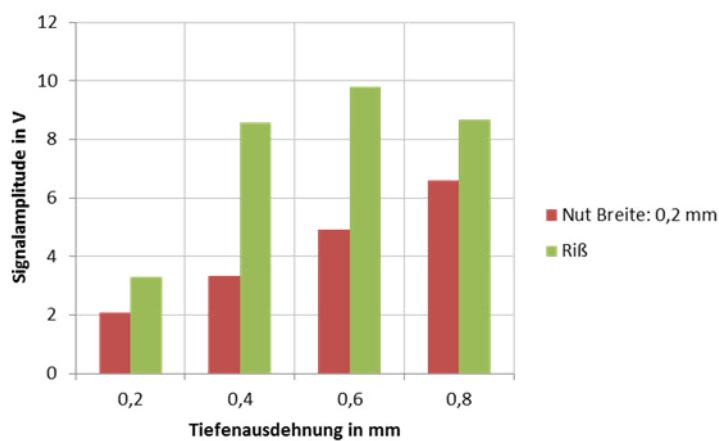


Bild 8 Vergleich der Signalamplituden von natürlichen Rissen und erodierten Nuten am Beispiel von Rastierhülsen aus MW 700L (mikrolegierter Feinkornbaustahl) nach /5/

Die bekannten Vergleichskörper mit künstlich eingebrachten Rissen (Bild 9) sind für die Magnetpulverprüfung und die Penetrationsverfahren vorgesehen. Die Risse entstehen hier mehr oder weniger zufällig bzw. in einer aufgebrachten Ni-Cr-Schicht. Als Vergleichskörper für die Wirbelstromprüfung und die Ultraschalprüfung sind sie somit nicht geeignet.

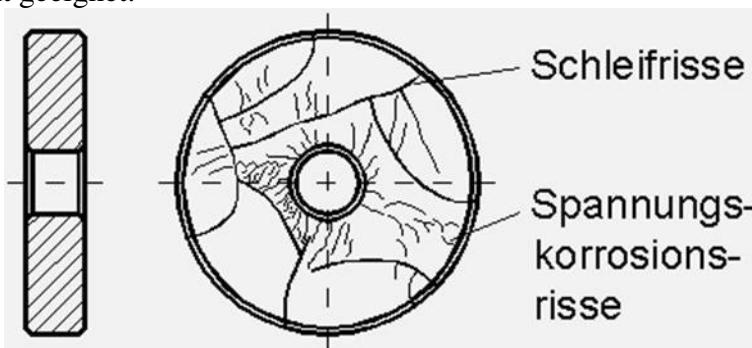


Bild 9 Vergleichskörper mit Rissen für die Magnetpulver- und Eindringprüfung

Im imq Ingenieurbetrieb wird zurzeit an einem Verfahren gearbeitet, welches es gestattet, Risse definierter Ausdehnung in Länge und Tiefe in Vergleichskörpern aus Stahl zu erzeugen. Hier sollen erstmals Ergebnisse dieser Arbeiten vorgestellt werden.

Die Untersuchungen wurden zunächst an Flachproben aus einem Vergütungsstahl durchgeführt. Bild 10 zeigt den simulierten Spannungsverlauf in einer Flachprobe, die zunächst in der Mitte lokal thermisch behandelt und anschließend statisch auf Biegung belastet wird bis der Riss entsteht.

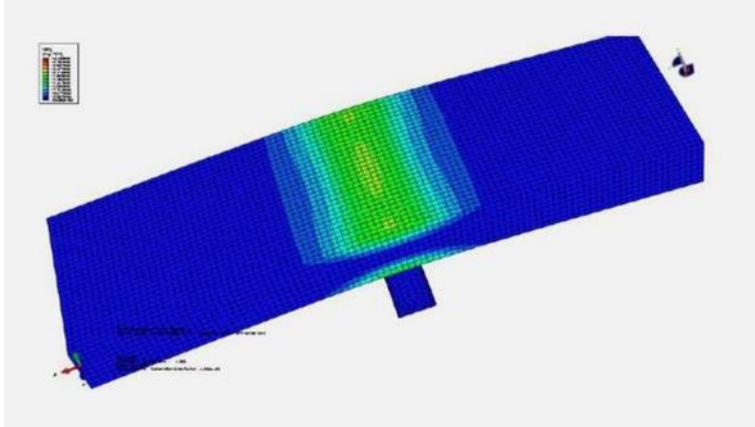


Bild 10 Simulation der Spannungsverteilung im Probekörper $L \times B \times D = 100 \times 30 \times 8 \text{ mm}$

Die Bilder 11 und 12 zeigen Aufnahmen der entstandenen Risse. Der abgebildete Riss klafft auf der Oberfläche nur wenige μm und hat eine Tiefe von 0,5 mm. Die Makroaufnahme verdeutlicht, dass der Riss über die gesamte eine sehr gleichmäßige Tiefe hat.

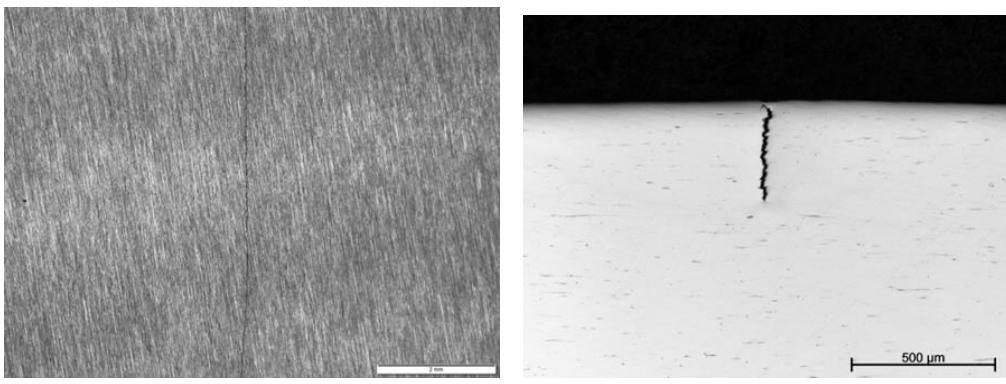
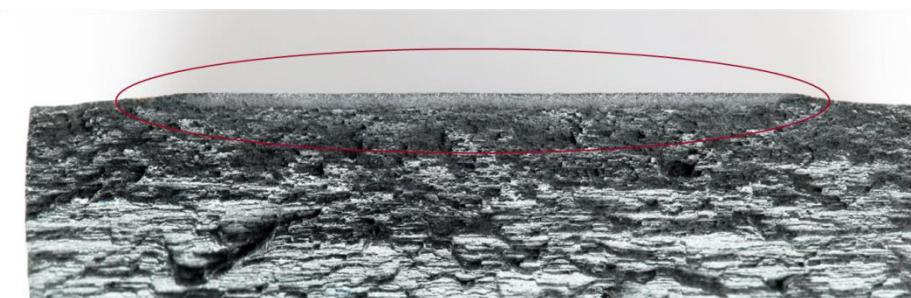


Bild 11 Ansichten von erzeugten Rissen in Probekörpern a) Draufsicht b) Querschliff



Makroaufnahme der Bruchfläche

Bild 12 Makroaufnahme einer Bruchfläche

Die folgenden Bilder 13 bis 16 zeigen die Ergebnisse der Prüfung derartiger Vergleichskörper mittels Wirbelstromverfahren, Ultraschallprüfung, Magnetpulverprüfung und Penetrationsverfahren.

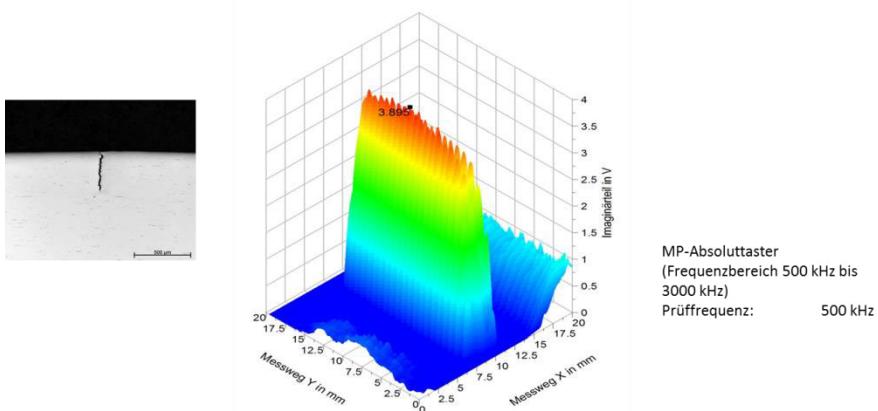


Bild 13 Wirbelstromscan über einen künstlich erzeugten Riss (Tiefe 0,5 mm) in einer Flachprobe

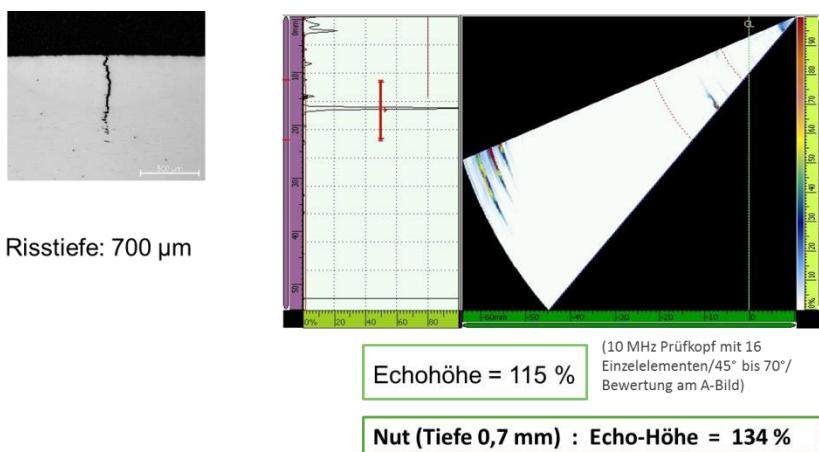
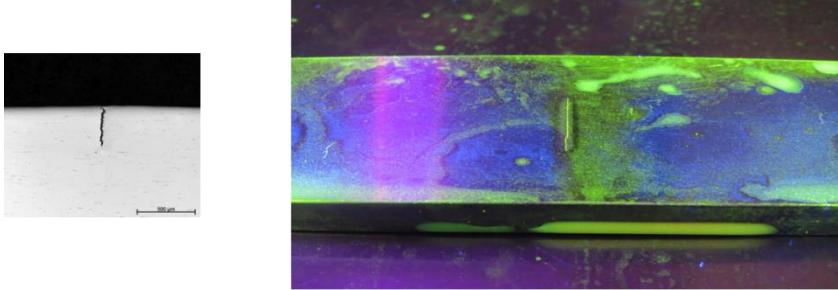


Bild 14 rechtes Bild: Querschliff linkes Bild: A-Bild eines künstlich erzeugten Risses (Tiefe 0,7 mm) aufgenommen mittels Ultraschall – Gruppenstrahlerverfahren / Phased Array



Tiede Universalfluxbank 900 WE2
Längsmagnetisierung: 5,0 KAW
Kreismagnetisierung: 0,6 KA
Bestrahlungsstärke UV-A Lampe: größer
10 W/m² (siehe Norm DIN EN 571-1)

Bild 15 Magnetpulverprüfung eines künstlich erzeugten Risses (Tiefe 0,5 mm)

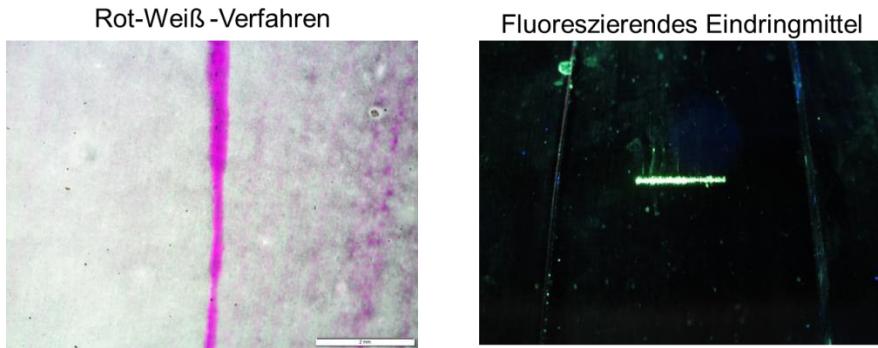


Bild 16 Prüfung eines künstlich erzeugten Risses (Tiefe 0,5 mm) mittels Penetrationsverfahren

Die erzeugten Risse werden bei allen Verfahren deutlich angezeigt. Bei der Ultraschallprüfung lieferte der Riss im Vergleich zu einer Nut gleicher Tiefe eine etwas kleinere Echohöhe.

4. Zusammenfassung

Der Laserprozess ist vorzüglich zur Herstellung von Vergleichskörpern mit künstlichen Inhomogenitäten für die Schleifbrandprüfung geeignet. Die Technologie wurde im imq Ingenieurbetrieb weiterentwickelt und gestattet nunmehr auch die reproduzierbare Erzeugung von Ersatzfehlern auf gekrümmten Oberflächen, von umlaufenden Ersatzfehlern und großflächigeren Ersatzfehlern. Zur Prüfmittelüberwachung kann das Wirbelstromverfahren mittels Absolutsonde eingesetzt werden. Im vorliegenden Norm-Entwurf E DIN SPEC 4882:2015-05 werden die Anwendungsbereiche und Anforderungen an Vergleichskörper zur zerstörungsfreien Schleifbrandprüfung definiert

Von imq wurde ebenfalls ein NE Test Set mit Vergleichskörpern zur Überwachung des Nital-Ätzens entwickelt. Mittels Kombination aus lokaler thermischer Behandlung und mechanischer Belastung werden Risse definierter Abmessungen in Stahlteilen erzeugt. Erprobt wurde dies bisher in plattenförmigen Körpern aus Vergütungsstahl. Die Tiefe der Risse reicht von 0,1 bis 0,7 mm. Die so gefertigten Vergleichskörper sind zur Anwendung für mehrere ZfP Verfahren geeignet.

Literatur

- /1/ Martin SEIDEL, Antje ZÖSCH, Christopher SEIDEL, Wolfgang KORPUS, Heinz PÖHLMANN, Bernd EIGENMANN
Erzeugung und Charakterisierung von Ersatzfehlern zur zerstörungsfreien Schleifbrandprüfung
DGZfP DACH Jahrestagung 17. – 19. September 2012 in Graz: Vortrag Di.2.C.1
- /2/ Martin SEIDEL, Antje ZÖSCH, Christopher SEIDEL, Robin MEISCHNER, Frank SCHLEGEL,
Herstellung und Anwendung von Ersatzfehlern zur zerstörungsfreien Schleifbrandprüfung von Wälzlagerteilen
DGZfP-Jahrestagung Dresden 2013 – Di.3.C.2
- /3/ Martin Seidel Laserverfahren sichert Prüfung von Metalloberflächen ab
Maschinenmarkt 2014/10
- /4/ Vergleichskörper zur Schleifbrandprüfung von Körpern Gebrauchsmuster Nr. 20 2015
001 664.2
- /5/ Christopher Seidel Grundlagenuntersuchungen zur Applikation und Weiterentwicklung von Analyseverfahren für die Auswertung von Wirbelstromsignalen aktueller Prüfprobleme
Diplomarbeit Westsächsische Hochschule Zwickau 2007