

# Herstellung und Anwendung von Ersatzfehlern zur zerstörungsfreien Schleifbrandprüfung von Wälzlagerteilen

Martin SEIDEL\*, Robin MEISCHNER\*\*, Frank SCHLEGEL\*\*,  
Christopher SEIDEL\*, Antje ZÖSCH\*

\* imq-Ingenieurbetrieb für Materialprüfung, Qualitätssicherung  
und Schweißtechnik GmbH

\*\* Spindel- und Lagerungstechnik Fraureuth GmbH

**Kurzfassung.** Die Anwendung von zerstörungsfreien Prüfverfahren zur Detektion von Schleifbrand in Wälzlagerteilen wird durch eine Reihe von besonderen Problemen erschwert. Ein Problem resultiert daraus, dass es praktisch nicht möglich ist, die für die zerstörungsfreie Prüfung erforderlichen Referenzteile durch Schleifen selbst herzustellen. Deshalb müssen mit alternativen Verfahren Ersatzfehler in den Wälzlagerteilen erzeugt werden. Ein weiteres Problem besteht in der großen Anzahl unterschiedlicher Teileformen und Teilegrößen. Hier müssen Möglichkeiten gefunden werden, die Anzahl der erforderlichen Referenzteile zu verringern. Schließlich geht ein Trend in der Wälzlagerfertigung in Richtung immer kleinerer Losgrößen. Ein praxistaugliches zerstörungsfreies Prüfverfahren muss deshalb in der Lage sein, rationell auch häufig wechselnde Kleinserien von Teilen sehr unterschiedlicher Geometrie zu prüfen. Um die Anzahl von Referenzteilen zu reduzieren, wurden Teilegruppen gebildet und die verschiedenen Ringtypen entsprechend ihres Durchmessers zusammengefasst. Diese Einteilung nach Durchmesserklassen ermöglichte es, die Anzahl der Normale von über 50 auf 10 zu reduzieren. Für diese Ringgruppen wurden Referenzteile hergestellt, in dem durch eine Laserbehandlung an ausgewählten Stellen (Borde, Laufbahn, Bohrung) Anlasszonen (definierte Gefügeveränderungen) erzeugt wurden. Die Eigenschaften dieser Ersatzfehler werden diskutiert. Zur rationellen Durchführung der Wirbelstromprüfung wurde der Prüfautomat QuaSor E entwickelt. Die Durchführung der Schleifbrandprüfung von Wälzlagerteilen in der Fertigung unter Verwendung der Ersatzfehler wird demonstriert.

## 1. Einführung

Zum Thema Schleifbrand, insbesondere seiner Entstehung im Schleifprozess und seinen Auswirkungen auf die Bauteileigenschaften werden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, ohne dass dieses Phänomen abschließend und umfassend gedeutet werden kann. Dies ist auch nicht zu erwarten, sind doch die Einflussfaktoren während des Schleifprozesses, die verarbeiteten Werkstoffe, die vielfältigen Werkstückformen so mannigfaltig, dass sich der Schleifbrand in sehr unterschiedlichen Erscheinungsbildern zeigen kann.

Nach ISO 14104 handelt es sich bei Schleifbrand um lokal überhitzte oberflächennahe Bereiche. Jede mechanische Bearbeitung bewirkt eine Veränderung der



oberflächennahen Bereiche. Von Schleifbrand spricht man dann, wenn die Wärmeeinwirkung groß genug war, um lokale Anlassvorgänge oder bei noch größerem Wärmeeintrag örtlich sogenannte Neuhärtezone hervorzurufen.

Zum Nachweis von Schleifbrand werden verschiedene Prüfverfahren eingesetzt: Als quasi-zerstörungsfreies Verfahren wird die Nital-Ätzung nach ISO 14104 [1] angewendet. Allerdings ist dieses Verfahren nur bedingt automatisierbar und die Auswertung der geätzten Teile erfolgt visuell durch Prüfer. Aus diesem Grund besteht großes Interesse an einem zerstörungsfreien Verfahren, das es erlaubt, ohne subjektive Prüferinflüsse reproduzierbar und automatisierbar Schleifbrand zu detektieren. In Frage kommen dazu neben dem 3MA-Verfahren und dem Barkhausen-Rausch-Verfahren [2] auch die Wirbelstromprüfung [3, 6, 7].

In diesem Beitrag werden Erfahrungen und Erkenntnisse bei der zerstörungsfreien Schleifbrandprüfung von Wälzlageranteilen mittels des Wirbelstromverfahrens vorgestellt.

## **2. Prüfautomat QuaSor E zur Schleifbrandprüfung**

Die Arbeiten hatten das Ziel, die zurzeit bei der Schleifbrandprüfung angewandte Nital-Ätzung durch ein unmittelbar in der Fertigung einsetzbares zerstörungsfreies Verfahren zu ersetzen. Voraussetzung dafür ist hohe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit. Damit im Zusammenhang steht die Forderung, dass der Prüfvorgang auch durch angelegerte Arbeitskräfte durchgeführt werden kann. Dies wiederum setzt ein möglichst einfaches und robustes Verfahren zur Kalibrierung und Einstellung der Prüfparameter voraus. Die besondere Herausforderung bestand darin, dass ein sehr großes Teilesortiment unterschiedlicher Wälzlageranteile (Außen- und Innenringe unterschiedlichster Abmessungen und Geometrien, Wälzkörper) im Abmessungsbereich zwischen 40 mm bis 380 mm gefertigt wird. Das Sortiment umfasst mehr als 50 unterschiedliche Teiletypen, die alle zerstörungsfrei mit dem gleichen Prüfautomaten geprüft werden sollen. Eine weitere Forderung an das Prüfsystem resultierte daraus, dass einmal relativ kleine Losgrößen (von 30 bis zu 10000 Stück pro Los) zu prüfen sind und demzufolge ein häufiges Umrüsten des Prüfgerätes von einer Teiletpe auf eine andere erforderlich ist.

Zur Realisierung der Prüfaufgabe wurde der universell einsetzbare Prüfautomat QuaSor E (Abb. 1) entwickelt. Dieser besteht aus einem CNC – gesteuerten Prüfautomaten, mit dem ein automatischer Ablauf des Prüfvorgangs realisiert wird. Der QuaSor E wurde mit Wirbelstromprüftechnik komplettiert. Zur Detektion der Gefügeveränderungen wurden mehrere Differenzsonden mit dem Prüfgerät eddyvisor<sup>(R)</sup> von ibg Prüfcomputer Ebermannstadt verwendet.



Abb. 1: Prüfautomat QuaSor E in der Fertigung bei Spindel- und Lagerungstechnik Fraureuth GmbH

Abb. 2.a zeigt die Anordnung der Wirbelstromsonden für die Prüfung von Wälzlagerteilen (Außen- und Innenring sowie Rollen). Durch die Kombination von drei Sonden, darunter einer abgewinkelten Sonde, können alle relevanten Flächen einschließlich der Mantelflächen und Borde erreicht werden. Abb. 2.b zeigt die Einspannung einer Wälzgerolle. Hier werden in einem Zuge Laufbahn und Stirnflächen geprüft.

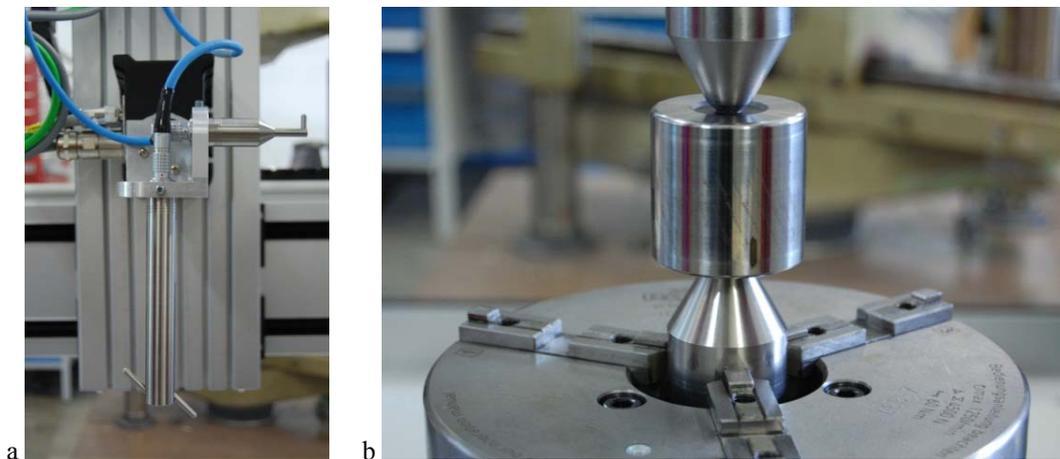


Abb. 2: (a) Universelle Anordnung der Prüfsonden für die Prüfung von Wälzlagerteilen  
(b) Einspannvorrichtung zum Prüfen von Wälzgerollen mittels QuaSor E

Je nach zu prüfender Teileart (Innenring, Außenring, Rolle) wählt der Bediener das entsprechende Prüfprogramm aus. Das zu prüfende Teil wird manuell eingelegt. Auf eine Automatisierung der Teilezuführung wurde auf Grund der sehr unterschiedlichen Teilearten und Teileabmessungen sowie der teilweise nur kleinen Losgrößen bewusst verzichtet. Nach dem Einlegen des Teiles läuft der Vorgang automatisch ab. Dabei werden die teilespezifischen Prüfparameter abgerufen und eingestellt. Danach fährt die Prüfsonde die zu prüfenden Bereiche ab. Geprüft werden können die Laufbahnen, Borde, Stirnseiten von Innen – und Außenringen sowie von Rollen. Die Prüfsignale werden automatisch erfasst

und auf Basis der ebenfalls hinterlegten Bewertungskriterien bewertet. Der Prüfer erhält sofort die Bewertung des Teiles als „Gut“ oder „Schlecht“.

### 3. Masterproben für die Schleifbrandprüfung

Um die Eignung von zerstörungsfreien Prüfverfahren zum Detektieren von Fehlern in Bauteilen beurteilen zu können, benötigt man Teile mit definiert eingebrachten Fehlstellen unterschiedlicher Ausprägung. Gerade bei Schleifbrand steht man hier vor großen Problemen, denn es ist praktisch unmöglich, gezielt und reproduzierbar Schleifbrand, dazu noch definiert zum Beispiel hinsichtlich Größe und Tiefe des beeinflussten Bereiches zu erzeugen. Eine Alternative stellen sogenannte Masterproben mit definiert eingebrachten Ersatzfehlern dar. In [7] wurde bereits über die Herstellung derartiger Masterteile mittels einer Laser-Behandlung berichtet sowie Eigenschaften der erzeugten Ersatzfehler vorgestellt.

Derartige Ersatzfehler können als lichtoptisch nicht sichtbare Eigenspannungsänderungen, als Anlass- und Neuhärtezonen in Wälzlagerteilen, Zahnrädern und Nockenwellen definiert an bestimmten Stellen eingebracht werden. Die Eigenschaften des Masterteiles werden in einem Zertifikat bestätigt (Abb. 3).



Abb. 3: Masterprobe eines Wälzlager- Außenringes und Zertifikat

Die Masterteile können für die Ermittlung der erforderlichen Prüfeempfindlichkeit, die Überwachung des Prüfprozesses bei der Nitalätzung nach ISO 14104 und bei zerstörungsfreien Verfahren, zum Vergleich und zur Bewertung der Eignung von unterschiedlichen zerstörungsfreien Prüfverfahren sowie für Ringversuche zum Vergleich verschiedener Laboratorien verwendet werden.

Im Folgenden werden die Schritte bei der Ermittlung der Prüfeempfindlichkeit erläutert. Schritt 1 beinhaltet die Definition einer Gut-Menge für die Wirbelstromprüfung. Dabei werden mittels QuaSor E fehlerfreie Ringe geprüft. Man erhält für jeden Bandpass einen zulässigen Anzeigebereich (Toleranzfeld, Abb. 4). Mittels Nitalätzung nach ISO 14104 und gegebenenfalls einer Salzsäure-Ätzung wird gesichert, dass alle verwendeten Teile tatsächlich Gut-Teile sind.



Abb. 4: Zulässiger Anzeigebereich (Toleranzfeld) für die Wirbelstromprüfung der Gut-Menge – QuaSor E/ eddyvisor für einen Bandpass.

Im 2. Schritt erfolgt die Auswahl des Masterteiles für die Wirbelstromprüfung. Dazu werden mittels Laserbehandlung mit steigenden Energiedichten Ersatzfehler auf Gut-Teilen erzeugt, wobei jeweils zwei Teile mit gleichen Laserparametern hergestellt werden. Damit stehen zwei Teile mit (nahezu) identischen Ersatzfehlern zur Verfügung. Ein Teil wird als Referenzteil für zerstörende Untersuchungen verwendet. Das zweite Teil dient als Masterprobe für zerstörungsfreie Prüfungen. In Abb. 5 sind die Ergebnisse der metallografischen Untersuchungen denen der Wirbelstromprüfung gegenübergestellt. Wo erforderlich wurde neben der Nital-Ätzung auch noch eine HCL-Ätzung durchgeführt.

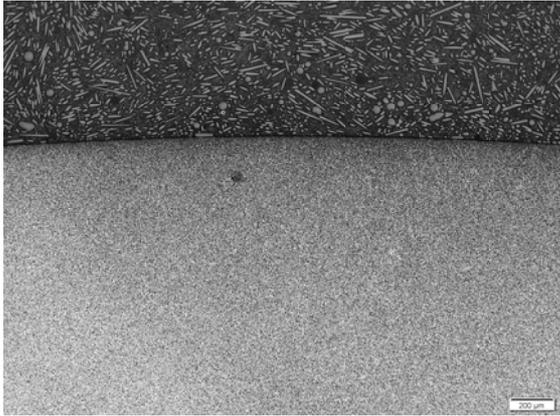
Beim Ersatzfehler L1, erzeugt mit einer niedrigen Energiedichte, war zwar lichtoptisch keine Veränderung des Gefüges feststellbar, jedoch zeigte sich nach der HCL-Ätzung ein Rissnetzwerk im Bereich des Ersatzfehlers, welches auf dort herrschende Zugeigenspannungen hindeutet. Die in [7] präsentierten Eigenspannungsmessungen bestätigen diesen Befund. Bei der Wirbelstromprüfung überschritt das Signal des Ersatzfehlers den definierten Gut-Bereich mit einer Trennzahl von 3,2 (Abb. 5a).

Beim Ersatzfehler L2, erzeugt mit einer höheren Energiedichte, wurde eine Anlasszone festgestellt. Das Rissnetzwerk nach einer HCL-Ätzung ist ausgeprägter. Das Signal des Ersatzfehlers liegt auch deutlich außerhalb des Gut-Bereiches (Trennzahl von 3,3 (Abb. 5b).

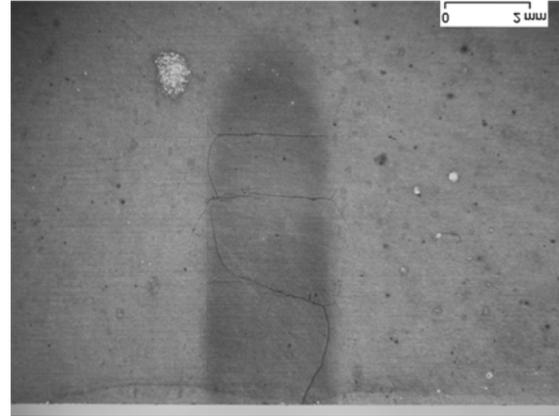
Verwendet man noch höhere Energiedichten, so entstehen innerhalb der Anlasszonen noch Neuhärtezononen. Für den Ersatzfehler L4 mit der höchsten verwendeten Energiedichte betrug die Trennzahl 8,5 (Abb. 5c).

Abb. 6 zeigt die röntgenografisch an den Ersatzfehlern L1 und L4 gemessenen Tiefenverläufe der Eigenspannungen. Sie weisen die analogen Abhängigkeiten auf, wie sie auch bei realem Schleifbrand beobachtet werden.

In einem 3. Schritt erfolgt die Festlegung der Trennzahl für die Wirbelstromprüfung. Abb. 7 zeigt die ermittelten Trennzahlen, aufgetragen über der Energiedichte. Bei den Energiedichten unter Trennzahl 2 wurden lichtoptisch keine Gefügeveränderungen und nach Salzsäure-Ätzung auch keine Risse festgestellt. Die Nital-Ätzung zeigte hier auch keine Befunde. Die Bewertungsschwelle wurde deshalb bei einer Trennzahl von 2,0 festgelegt.



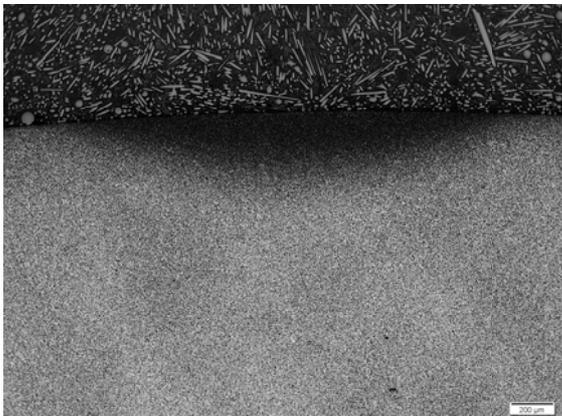
5.a) Ersatzfehler 1: metallografischer Schliff



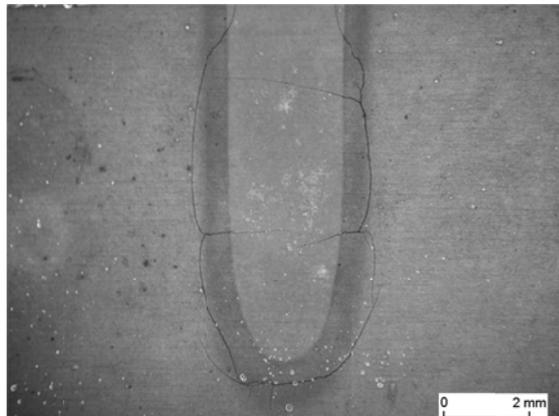
5.a) Ersatzfehler 1: HCL-Ätzung



5.a) Ersatzfehler 1: Wirbelstromprüfung



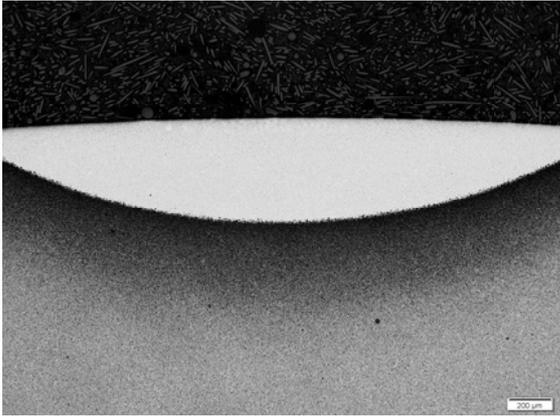
5.b) Ersatzfehler 2: metallografischer Schliff



5.b) Ersatzfehler 2: HCL-Ätzung



5.b) Ersatzfehler 2: Wirbelstromprüfung



5.c) Ersatzfehler 3: metallografischer Schliff



5.c) Ersatzfehler 3: Wirbelstromprüfung

Abb.5: Ergebnisse der metallografischen Untersuchungen und der Wirbelstromprüfung an Ersatzfehlern, die mit steigender Energiedichte (a zu c) erzeugt wurden

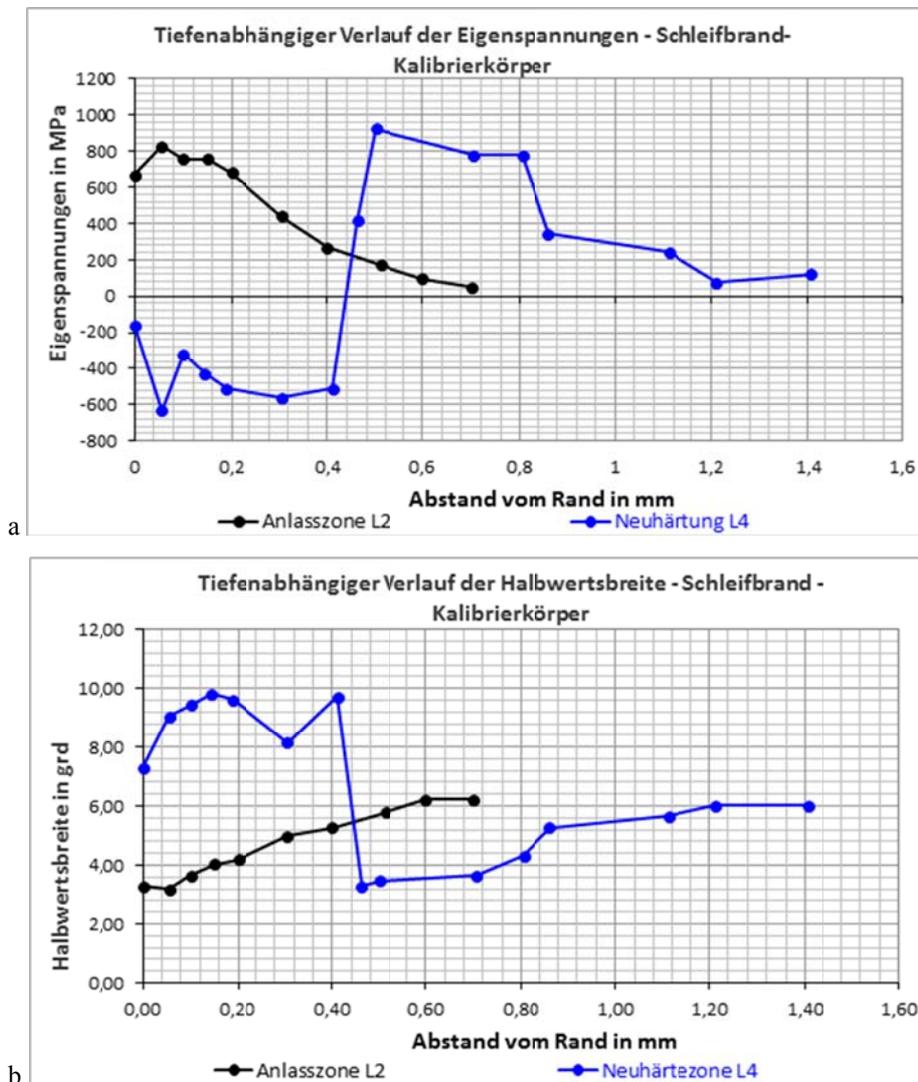


Abb. 6: Tiefenverlauf der makroskopischen (a) und mikroskopischen (b) Eigenspannungen nach [8]

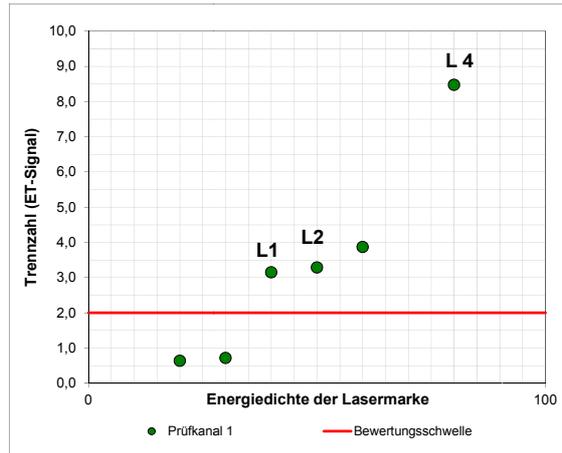
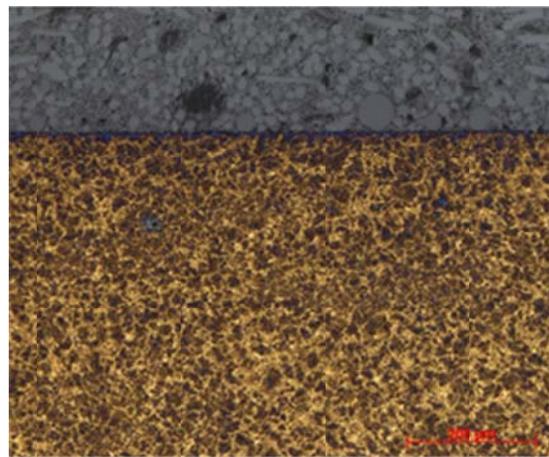


Abb. 7: Trennzahlen der Wirbelstromprüfung in Abhängigkeit von den Energiedichten der Lasermarken zur Festlegung der Bewertungsschwelle.



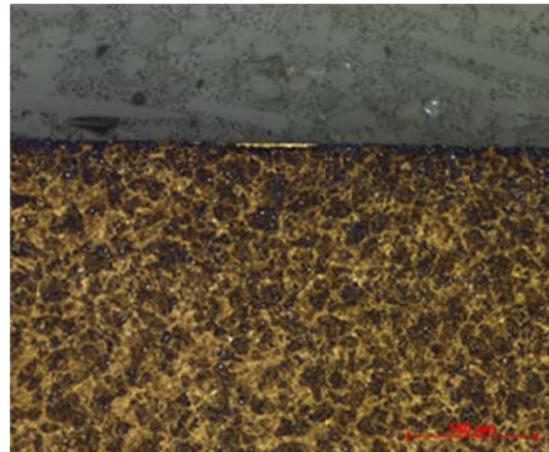
Abb.8a) Ring 1: Trennzahl 0,61



Keine Anlass- und Neuhärtezonen - iO



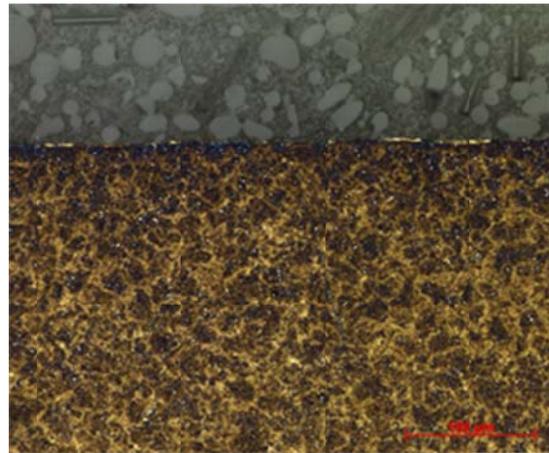
Abb.8 b) Ring 2: Trennzahl 1,14



Vereinzelt Anlass- und Neuhärtezonen - niO



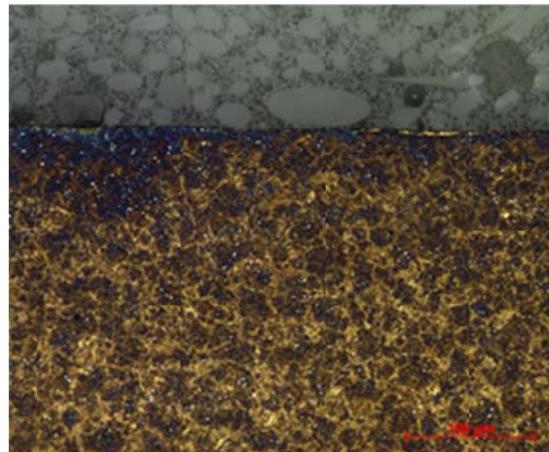
Abb. 8c) Ring 3: Trennzahl 2,64



Verbreitet Anlass- und Neuhärtezone - niO



Abb. 8d) Ring 4: Trennzahl 10,0



Ausgeprägte Anlass- und Neuhärtezone - niO

Abb. 8: Ergebnisse der metallografischen Untersuchungen und der Wirbelstromprüfung an Wälzlagerteilen zur Überprüfung der Bewertungsschwelle (a bis d: Ringe mit steigender Trennzahl; Grenztrennzahl 1)

Die in Schritt 3 festgelegte Bewertungsschwelle muss in einem 4. Schritt an Hand der Prüfung realer Teile überprüft werden. In der Regel erfolgt dies mittels Nital-Ätzung sowohl an Gut- als auch an Schlecht- Teilen. Ergänzend werden an Stellen mit Befunden metallografische Untersuchungen durchgeführt. In Abb. 8 sind beispielhaft die Ergebnisse dargestellt.

An dem aus dem „Gut“-Bereich entnommenen Ring sind sowohl nach der Nital-Ätzung als auch am metallografischen Schliff keine Schädigungen erkennbar. Dagegen zeigen die als „Schlecht“ bewerteten Ringe mit zunehmender Trennzahl zunehmend Schleifbrand in unterschiedlicher Ausprägung. Die mittels der Masterproben ermittelte Bewertungsschwelle kann somit bestätigt werden.

Grundsätzlich benötigt man für jede unterschiedliche Abmessung der zu prüfenden Wälzlagerteile ein separates Masterteil. Bei der großen Anzahl gefertigter Teileformen und -abmessungen würde dies aber eine sehr große, praktisch nur sehr schwer zu handhabende Anzahl von Masterteilen bedeuten. Durch geeignetes Zusammenfassen von Teilen mit ähnlichen Eigenschaften (Kriterien: Material, Geometrie, Oberflächenzustand, Prüfaufgabe) kann diese Anzahl reduziert werden. Die Festlegung der Bewertungskriterien erfolgte so, dass kleinste nachzuweisende Fehlstellen im ungünstigsten Fall noch gefunden werden können. Durch die Bildung einheitlicher Referenz- und Bewertungsklassen war es möglich, die 50 zu prüfenden Wälzlager-Typen sich auf 10 Typenklassen abzubilden. Damit wurde der Aufwand für die Herstellung und Handhabung der Masterteile drastisch reduziert.

#### 4. Zusammenfassung

Mittels der Wirbelstromprüfung mit einer Differenz-Sonde ist eine Detektion von lokal auftretendem Schleifbrand zuverlässig möglich. Die mittels Laserbehandlung erzeugten Masterteile eignen sich zur Kalibrierung der Wirbelstromprüfung. Die Anzahl der Masterteile kann durch eine Einteilung in geometrische Gruppen deutlich reduziert werden. Der Prüfautomat QuaSor E gestattet die rationelle Prüfung kleinerer Losgrößen. Damit war es möglich, das bisher eingesetzte Nital-Ätzverfahrens bei der Prüfung von Wälzlagerteilen abzulösen.

#### Referenzen

- [1] ISO 14104 : 1995 (E) Gears –Surface temper etch inspection after grinding
- [2] S. Schwienbacher: Einfluss von Schleifbrand auf die Flankentragfähigkeit einsatzgehärteter Zahnräder; Dissertation TU München 2008
- [3] P. Kreier, Innotest AG; R. Becker IzfP; Ch. Rodner IzfP; H. Flückiger, Sulzer Textil AG: WS Prüfsystem zum Nachweis von Schleiffehlern an Nockenscheiben; Vortrag DGZfP DACH Jahrestagung, Innsbruck, 2000
- [4] Ch. Goergels: Entstehung und Vermeidung von Schleifbrand beim diskontinuierlichen Zahnflankenprofilschleifen, Dissertation RWTH Aachen 2011
- [5] B. Denkena, M. Jung, C. Müller, L. Walden: Charakterisierung weißer Schichten nach mechanischer und thermischer Einwirkung durch Fertigungsverfahren, HTM 58(2003) 4 S.211ff
- [6] H. Pöhlmann: Schleifbrandprüfung, ibg Prüfcomputer GmbH, Workshop März 2011
- [7] M. Seidel, A. Zösch, C. Seidel, W. Korpus, H. Pöhlmann: Ersatzfehler für die ZfP Schleifbrandprüfung, Vortrag auf der DGZfP DACH-Tagung, Graz, September 2012
- [8] B. Eigenmann, A. Zösch, M. Seidel: Changes of Macro- and Micro-Residual Stresses in Steel Surfaces due to Thermal Influences Induced by Grinding and Laser Treatments, HTM, in preparation.