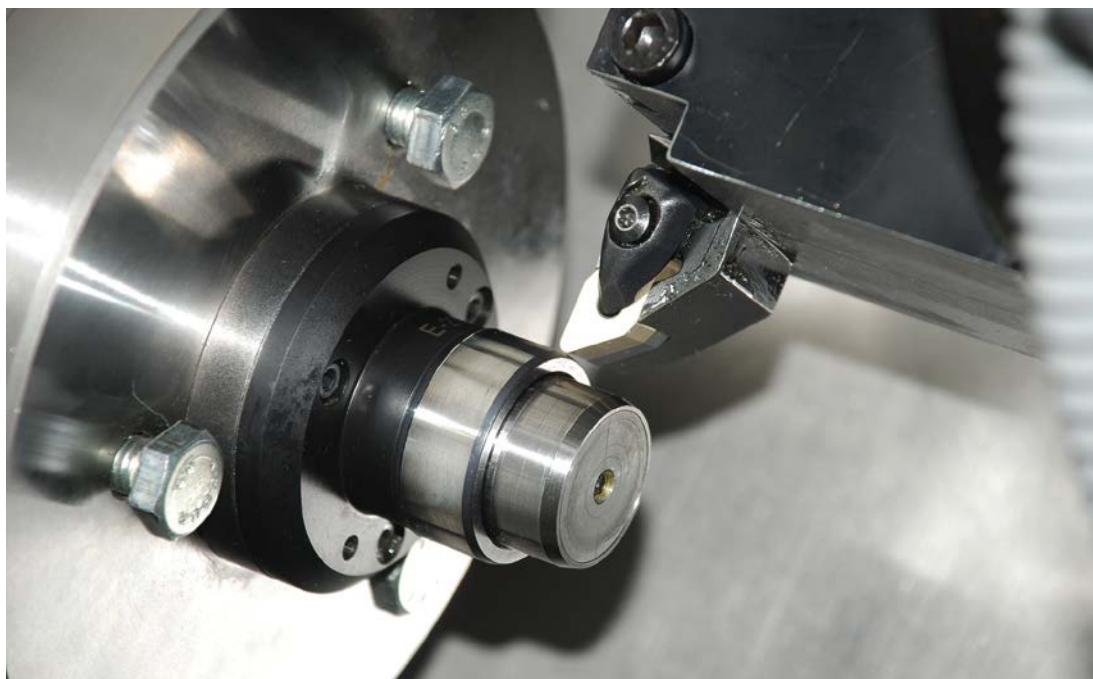


Spanen und umformen ■ Antriebskomponenten ■ Lebensdauerdesign

# Hartdrehen plus Festwalzen ergibt langlebige Wälzlager

Die Lebensdauer wälzbelasteter Konstruktionselemente lässt sich verlängern, indem man Druckeigenstress gezielt in sie einbringt. Eine Kombination der Fertigungsverfahren Hartdrehen und Festwalzen eignet sich ideal für diese Aufgabe.

von Berend Denkena, Thilo Grove und Oliver Maiß



**1** Hartdrehen eines Wälzlager-Innenrings aus 100Cr6 mit 62 HRC auf einer Hochpräzisions-Drehmaschine. Auf ihr geschieht auch das nachfolgende Festwalzen

[Bild: IFW]

Im Maschinen- und Anlagenbau werden Wälzlager aufgrund ihrer wichtigen Funktion häufig eingesetzt und sind deshalb ein wichtiges Bauteil für die Hartfeinbearbeitung. Ihre Reibung und ihre Lebensdauer lassen sich durch ein gezieltes Design der Oberflächen- und Randzoneeneigenschaften beeinflussen. Die Oberflächentopografie steht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Reibung im Wälzkontakt. Durch eine funktionsangepasste Oberflächenstruktur ist der Reibwert reduzierbar.

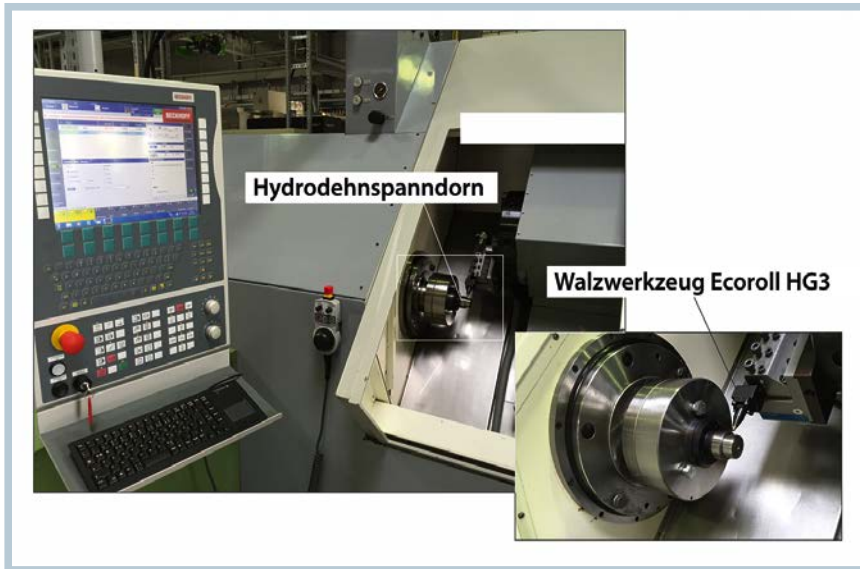
## Wälzlagerdesign ist Klimaschutz

Ein wesentlicher Faktor einer angepassten Randzone stellt die Eigenspannung dar. Im Zusammenspiel mit den Lastspannungen kann die erträgliche Beanspruchung im Wälzkontakt erhöht und somit die Lebensdauer gesteigert werden.

Die Fertigung von Wälzlagern leistet demnach auf zweierlei Weise einen Beitrag, die Klimaziele zu erreichen: Zum einen können Verlustleistungen im Lager durch die Minimierung von Reibung reduziert werden, zum anderen kann ein

energieeffizienterer Fertigungsprozess den Ressourceneinsatz reduzieren. Die Verknüpfung der anforderungsgerechten Auslegung, eines gezielten Randzonen-Designs und einer energieeffizienten Fertigung kann einen entscheidenden Beitrag leisten, die kommenden Herausforderungen zu meistern.

Einsatzuntersuchungen an Wälzlagern zeigten, dass allein aufgrund einer Steigerung der Druckeigenstressungen die Lebensdauer eines Lagers um 80 Prozent gesteigert werden kann [1]. La-



**2 Anordnung von Hydrodehnspanndorn und Walzwerkzeug auf der Hochpräzisions-Drehmaschine Hembrug Microturn 100 am IFW in Hannover** (Bild: IFW)

ger könnten demnach mit dieser Maßnahme länger verwendet werden oder vom Konstrukteur kleiner dimensioniert werden.

Die Verfahren Hartdrehen und Festwalzen lassen sich als Alternative zur üblichen Hartbearbeitung durch geometrisch unbestimmte Prozesse anwenden. In der aktuellen Fertigung werden Wälzlager noch durch eine Prozesskette aus Schleifen und Honen bearbeitet. Im Zuge einer Fertigung auf Hochpräzisions-Drehmaschinen (Bilder 1 und 2) und der Verwendung hochharter Schneidstoffe ist es möglich, die hohen geometrischen Anforderungen eines Wälzlagers durch Hartdrehen einzuhalten. Das Festwalzen ist als Oberflächen-Nachbehandlungsprozess in der Lage, die Bauteiltopografie positiv zu beeinflussen und besonders Druckeigenstressungen in ausreichenden Tiefen einzustellen [2].

Im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Schwerpunktprogramms ›Ressourceneffiziente Konstruktionselemente‹ (SPP1551) werden an der Leibniz Universität Hannover in Kooperation des Instituts für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) mit dem Institut für Maschinenkonstruktion und Tribologie (IMKT) die gezielte Auslegung und Fertigung der Randzone eines Wälzlagers untersucht. Hierbei kommen die Fertigungsverfahren Hartdrehen und Festwalzen zum Einsatz. Die Herstellung der Wälzlager mit der entsprechenden Analyse der Randzone wird am IFW durchgeführt. Die anschließenden Untersuchungen zum Einsatzverhalten der gefertigten Lagerlinge realisiert das IMKT.

### Schnittdaten beim Hartdrehen variiert für wechselnde Randzonenbelastung

Für entsprechende Untersuchungen werden Innenringe eines Zylinderrollenlagers vom Typ NU206 auf einer Hochpräzisions-Drehmaschine Microturn 100 von Hembrug (Bild 2) hartgedreht und anschließend in derselben Aufspannung festgewalzt. Die Innenringe aus 100Cr6 (62 HRC) werden bis auf die Laufbahn vollständig von einem Lagerhersteller vorbearbeitet. Am IFW erfolgt anschließend die Finishbearbeitung der Lauffläche. Das ermöglicht eine gleichbleibende Qualität des Gesamtlagers durch die Wärmebehandlung und gewährleistet den Vergleich mit Standardlagern in Lebensdauertests. In den Hartdrehuntersuchungen werden die Prozessstellgrößen Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  und Vorschub  $f$  sowie die Schneidkantengeometrie des Werkzeugs variiert, weil hierdurch die thermomechanischen Belastungen der Randzone im Zerspanprozess geändert werden können.

Grundsätzlich kommt eine Wendschneidplatte aus beschichtetem Hartmetall mit einem Eckenradius  $r_e$  von 1,6 mm zum Einsatz (DNMA 150616-TK1001 von Seco Tools, Bild 3). Für das Festwalzen wird ein hydrostatisches Festwalzwerkzeug der Ecoroll AG Werkzeugtechnik verwendet (HG3, Bild 3). Es werden die Art der Vorbearbeitung sowie der Walzprozess (Walzvorschub, -druck und Kugeldurchmesser) an sich verändert.

Die Analyse der Randzone erfolgt im Anschluss an die Bearbeitung. Hierbei wird der gesamte Randzonenzustand, bestehend aus Topografie, Eigenspannung, Härte, Kaltverfestigung und Gefü-

gestruktur, analysiert. Die Lebensdauer der hergestellten Wälzlager wird anschließend auf einem Vierlagerprüfstand des IMKT ermittelt. Dabei wird in einem ersten Schritt über unterschiedliche Laufzeiten der Lager die Veränderung der Randzone analysiert. Insbesondere die Veränderungen der Topografie und der Eigenspannung sind hier von Interesse. In einem zweiten Schritt untersucht das IMKT die Lager in vollständigen Lebensdauertests. Abschließend wird der Zusammenhang zwischen Bearbeitungsparametern, Randzone und zu erwartender Lebensdauer analysiert.

### Hartdrehen allein genügt nicht

Das wichtigste Qualitätsmerkmal eines Wälzlagers ist die Oberflächentopografie. Über sie wird der tribologische Kontakt zwischen Lagerring und Wälzkörper beeinflusst. Je größer die Oberflächenrauheit eines Lagers ist, desto mehr »

## INFORMATION & SERVICE



### INSTITUT

**IFW – Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen der Leibniz Universität Hannover**

30823 Garbsen

Tel. +49 511 762-2533

[www.ifw.uni-hannover.de](http://www.ifw.uni-hannover.de)

### LITERATUR

[1] T. Neubauer, G. Poll, B. Denkena und O. Maiß: Fatigue life extensions of roller element bearings by residual stresses induced through surface machining. World Tribology Congress, Turin, 2013

[2] K. Röttger: Walzen hartgedrehter Oberflächen. Dr.-Ing. Dissertation, RWTH Aachen, 2003

### DIE AUTOREN

**Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena**

ist Leiter des Instituts für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität Hannover

[denkena@ifw.uni-hannover.de](mailto:denkena@ifw.uni-hannover.de)

**Dr.-Ing. Thilo Grove** ist Bereichsleiter

Fertigungsverfahren am IFW

[grove@ifw.uni-hannover.de](mailto:grove@ifw.uni-hannover.de)

**Dipl.-Ing. Oliver Maiß** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFW

[maiss@ifw.uni-hannover.de](mailto:maiss@ifw.uni-hannover.de)

### PDF-DOWNLOAD

[www.werkstatt-betrieb.de/1238470](http://www.werkstatt-betrieb.de/1238470)



3 Für die Versuche verwendete man ein Drehwerkzeug mit Wendeschneidplatte DNMA 150616TK1001 (links) und ein Walzwerkzeug Ecoroll HG3 (Bild: IFW)

verschiebt sich die Belastung aus der Tiefe in den Bereich der Oberfläche. Im schlimmsten Fall kommt es zum ungewünschten Materialkontakt zwischen beiden Wälzpartnern. Diese Mischreibung führt innerhalb kurzer Zeit zum Ausfall des Lagers.

Beim Hartdrehen wird die Oberflächenrauheit direkt über den Vorschub und den Schneidkantenradius beeinflusst. Bei kleinen Vorschüben überwiegt der Einfluss der Spanbildung die geometrischen Effekte des Werkzeug-Eckenradius. Bei größeren Vorschüben kann dieser Effekt nahezu vernachlässigt werden. Dieser Zusammenhang zeigt sich in den Rauheitskennwerten ebenso wie in den tribologisch interessanten 3D-Oberflächenkennwerten  $S_k$ ,  $S_{pk}$  und  $S_{vk}$ . Die Verwendung eines großen Schneidkantenradius ist jedoch gleichzeitig signifikant für die Ausbildung der lebensdauerverlängernden Druckeigenspannungen. Je mehr Material unter der Schneide

plastisch verformt wird, desto mehr Druckeigenspannungen entstehen. Bei einem sehr großen Schneidkantenradius  $r_\beta$  von  $100 \mu\text{m}$  bilden sich hohe Druckeigenspannungen, sodass es zu einem lebensdauerverlängernden Effekt kommt. Leider können so hergestellte Lager nicht verwendet werden, da die Rauheitswerte der Lager zu groß für den Betrieb in Vollschmierung sind. In der ersten Stufe der Lagertests haben diese Lager nicht einmal die definierte Mindestzeit von 50 h erreicht.

#### Festwalzen hat einige Vorteile gegenüber dem Honen

Dieser Zielkonflikt aus niedriger Oberflächenrauheit und hohen Druckeigenspannungen ist mithilfe einer Oberflächen-

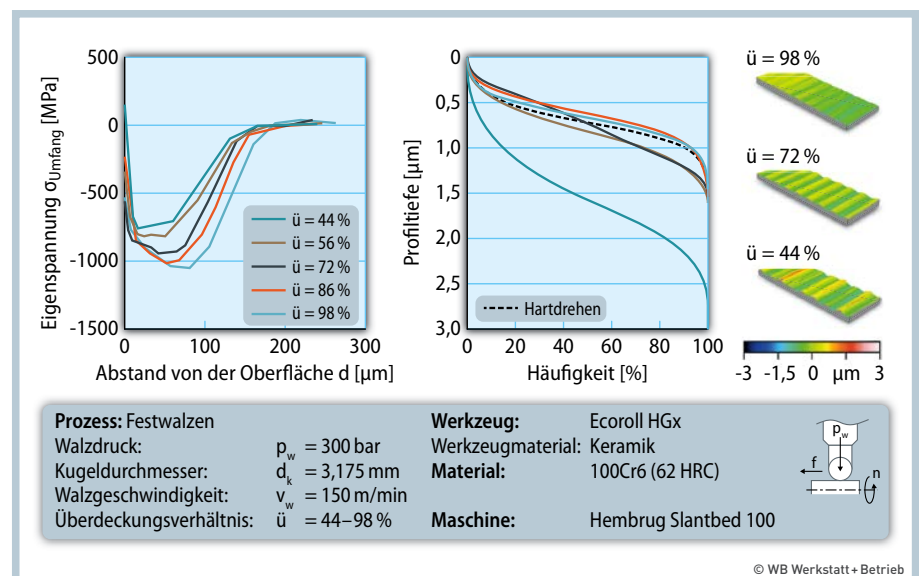
nachbehandlung lösbar, wie es beispielsweise das Festwalzen darstellt. Beim Festwalzen presst man eine Hartstoffkugel auf die Oberfläche eines rotierenden Bauteils und führt sie mit einer bestimmten Vorschubgeschwindigkeit über das Bauteil. Die Kugel wird über ein Hydraulikumedium mit einem Druck von  $p_w$  bis 600 bar auf die Oberfläche gepresst. Die dadurch entstehenden Flächenpressungen führen zu einer plastischen Verformung der Oberfläche und erzeugen hohe Druckeigenspannungen in Tiefen  $z$  bis  $200 \mu\text{m}$  [2].

Als Nachbehandlung zum Hartdrehen hat das Festwalzen einige Vorteile gegenüber dem Honen als Nachbearbeitung zum Schleifen. Die beim Hartdrehen möglichen guten Rauheitswerte  $R_z$  von  $1 \mu\text{m}$  können aufgrund der plastischen Verformungen beim Festwalzen weiter

reduziert werden, sodass sogar Rauheitswerte  $R_z$  von  $0,5 \mu\text{m}$  erreichbar sind. Gleichzeitig bringt das Festwalzen Druckeigenspannungen  $\delta_{\text{max}}$  bis  $1000 \text{ MPa}$  in einer maximalen Tiefe  $z_{\text{max}}$  von  $200 \mu\text{m}$  ein. Dabei kann über die Kenntnisse des Hertzischen Kontakts der Eigenspannungs-Tiefenverlauf eingestellt werden (Bild 4). Eine Steigerung des Walzdrucks führt demnach zu einer Erhöhung der Druckeigenspannungen.

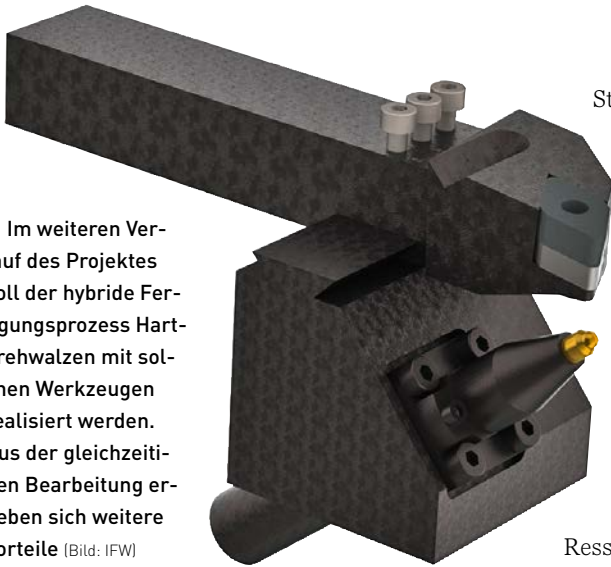
Durch den Kugeldurchmesser wird der Abstand der maximalen Druckeigenspannung von der Oberfläche beeinflusst. Im Hinblick auf die erreichbaren Oberflächengüten muss jedoch eine genaue Abstimmung zwischen den Prozessen erfolgen. Bei bereits sehr feinen Oberflächen führt die Wahl ungeeigneter Prozessstellgrößen beim Walzen zu einer Verschlechterung der Oberflächen. Die genauen Wechselwirkungen sind aktuell noch Gegenstand der Forschungen in Hannover. Als ein wesentlicher Faktor stellt sich das Überdeckungsverhältnis  $\ddot{u}$  dar. Über den Kugeldurchmesser, den Vorschub und die Eindringtiefe bestimmt sich, wie viel Prozent der Oberfläche in der nächsten Umdrehung erneut überwalzt werden.

Das Hartdrehen mit anschließendem Festwalzen eignet sich demnach ideal zur Herstellung von belastungsangepassten Wälzlagern. Die Fertigung ist durch den Verzicht von Kühlschmiermittel ökologischer. Die Prozesse sind flexibel einsetzbar; eine Änderung auf einen anderen Lagertyp ist wegen geringen Umrüstauf-



4 Das Festwalzen mit einem Keramikwerkzeug beeinflusst die Randzone von 100Cr6. Mit einer Steigerung des Walzdrucks lässt sich eine Erhöhung der lebensdauerverlängernden Druckeigenspannungen erzielen (Bild: Mai/79254, IFW)

**5** Im weiteren Verlauf des Projektes soll der hybride Fertigungsprozess Hartdrehwalzen mit solchen Werkzeugen realisiert werden. Aus der gleichzeitigen Bearbeitung ergeben sich weitere Vorteile (Bild: IFW)



Stellgrößen auf die angestrebte Lebensdauer angepasst werden können.

Die Arbeiten am IFW und IMKT zeigen, dass es Möglichkeiten gibt, durch angepasste Werkzeuge und Prozessstrategien die Randzone von Konstruktionselementen gezielt zu optimieren. Hierdurch können Ressourcen geschont und

Beiträge zum Erreichen von Klimazielen geleistet werden. Das Projekt zeigt allerdings auch, dass eine Kommunikation von Konstrukteur und Fertigungstechniker zwingend erforderlich ist. Beide Disziplinen beeinflussen durch ihr Tun maßgeblich die Funktionsweise von Bauteilen.

Die Autoren bedanken sich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung des Projekts im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1551 ›Ressourceneffiziente Konstruktionselemente‹. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. ■

wands schnell möglich. Und mithilfe der Verfahren lässt sich die Randzone gezielt einstellen. Weil sich beide Verfahren hinsichtlich ihrer Prozessführung sehr ähnlich sind, ist es im weiteren Verlauf des Projekts geplant, den hybriden Fertigungsprozess Hartdrehwalzen mit entsprechenden Werkzeugen (Bild 5) einzuführen. Durch den gleichzeitigen Ablauf von Dreh- und Walzprozess lassen sich Prozesszeiten reduzieren, die Oberflächentopografie gezielt einstellen und Eigenspannungsverteilungen tiefer und stabiler einbringen. Die entstehende Prozesswärme aus dem Hartdrehprozess kann genutzt werden, um die Eigenspannungen durch ein Warmfestwalzen besser einzubringen.

#### **Bestätigt: Randzone von Bauteilen lässt sich gezielt optimieren**

Am IMKT wurden schon hartgedrehte und festgewalzte Zylinderrollenlager getestet. Es zeigte sich, dass die Lebensdauer durch ein anschließendes Festwalzen gezielt gesteigert werden kann. Ein am IMKT entwickeltes Modell zur Berechnung der Wälzlagerlebensdauer unter Beachtung der eingebrachten Eigenspannungsprofile ermöglicht die Berücksichtigung von Last- und Eigenspannungen in der Konstruktion von Komponenten und Baugruppen. Abschließend werden im Projekt die Modelle zur Erzeugung von Eigenspannungen und Rauheiten sowie die Lebensdauerberechnung in einer inversen Methodik dahingehend umgesetzt, dass die zu verwendenden Fertigungsprozesse und