

# Fixturhärten von Großbauteilen

von **Sven Wagner, Harald Juretzko, Thomas Streng**

In der Zeit der Energiewende kommt der Produktion von großen Zahnrädern und Lagerringen, wie sie z. B. bei Windkraftanlagen eingesetzt werden, eine wachsende Bedeutung zu. Während bis vor wenigen Jahren solche Großbauteile meist einzeln nach Bestellung gefertigt wurden, werden diese heute oft in Kleinserien hergestellt. Dabei stellen sich Anforderungen wie Kostenreduzierung, Qualitätsverbesserung und Prozessautomatisierung.

## Fixture hardening of large components

Given the ever increasing trend towards renewable energy, the production of large gears and bearing rings such as those used in wind turbines is gaining in importance. Until only a few years ago, such large components were usually custom manufactured to order. Today, they are often produced in small series. Requirements such as cost reduction, quality improvement and process automation are the consequence.

Bei einsatzgehärteten Getriebe- und Wälzlagerteilen sind derzeit Einsatzhärteiefen von mehreren mm erforderlich, um den beim konventionellen Abschrecken entstehenden Verzug (Rundheitsabweichung von mehreren mm) durch nachträgliche, aufwendige und kostenintensive Schleifprozesse kompensieren zu können, wobei gerade die zuvor durch lange und teure Ofenverweilzeit erzeugte Aufkohltiefe zum großen Teil wieder abgetragen wird. Die Firma Heess hat sich deshalb im Rahmen eines Forschungsvorhabens zusammen mit dem IWT Bremen zum Ziel gesetzt, die Vorgänge beim Fixturhärten von großen Zahnrädern und Lagerringen genauer zu untersuchen. Die Erkenntnisse aus diesem Vorhaben ermöglichen es, der Entstehung von Formänderungen während des Abschreckvorgangs – wie etwa Rundheitsabweichungen und Konizität – gezielt entgegenzuwirken und dadurch den Verzug deutlich zu reduzieren.

### FUNKTIONSWEISE DER FIXTURHÄRTEMASCHINE UND VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

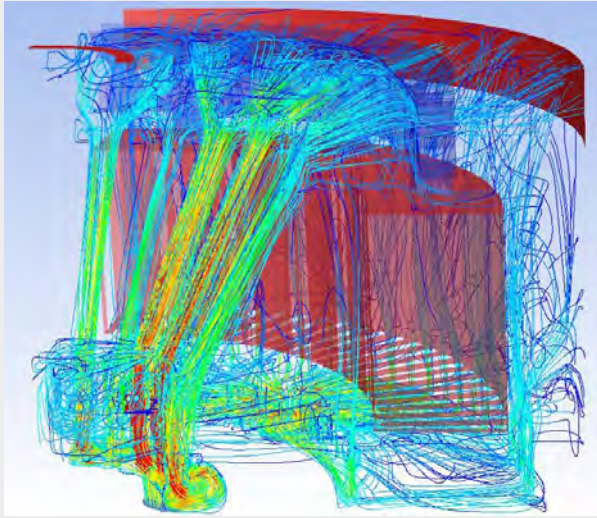
Zur Umsetzung dieser Anforderungen wurde eine Fixturhärtemaschine konzipiert (**Bild 1**), auf der Werkstücke bis zu einem Außendurchmesser von 1.500 mm gehärtet werden können. Im Vorfeld wurden durch das IWT Bremen Simulationen zur Umströmung des Werkstücks durchgeführt (**Bild 2**). Die daraus resultierenden Erkenntnisse wurden bei der Gestaltung von Maschine und Werkzeug berücksichtigt. Hierdurch wird eine gleichmäßige Umströmung des Bauteils erreicht.

In dem als Becken ausgeführten Maschinenunterteil ist der verfahrbare Maschinentisch montiert, der die Fixtur trägt. Diese ist mit mehreren Zulaufbohrungen für das Härteöl versehen, durch welche dieses gezielt das Härtegut umströmt.

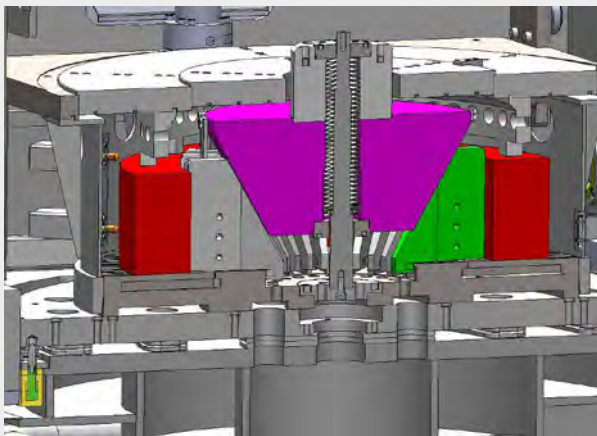
Die Härtefixtur (**Bild 3**) besteht aus einer Grundplatte, auf der Lamellen mithilfe eines Konus radial von innen an das zu härtende Werkstück gepresst werden. Zur axialen Fixierung können zusätzlich zwei unabhängige Nieder-



**Bild 1:** Fixturhärtemaschine



**Bild 2:** Simulationen zur Umströmung des Werkstücks



**Bild 3:** Härtefixtur

halter zum Einsatz kommen. Durch Variation des Konus und/oder der Lamellen kann das Werkzeug für ein breites Durchmesser-Spektrum an Bauteilen verwendet werden. Nach Einlegen des heißen, austenitisierten Werkstücks fährt der Maschinentisch ein. Daraufhin senken sich im Oberteil die Trägerplatten mit Hydraulikzylindern ab und beaufschlagen Konus und Niederhalter mit den voreingestellten hydraulischen Drücken zur Erreichung der gewünschten Spreiz- und Niederhaltekräfte, wobei diese Parameter auch weg- bzw. zeitgesteuert geregelt werden können. Beim nun folgenden kontrollierten und reproduzierbaren Abschreckvorgang begrenzt eine an der Trägerplatte montierte Stauglocke den Strömungsraum außen um das Werkstück und erlaubt so eine kurze Füllzeit. Das Härteöl umströmt das Werkstück sowohl innen, außen und an der Unterseite durch Nuten in der Werkzeuggrundplatte. Das Bauteil wird hierbei mit einer hohen Strömungsgeschwindigkeit umströmt, sodass eine hohe aber auch sehr

gleichmäßige Abkühlung über die gesamte Bauteilhöhe erreicht wird. Das Verteilungsverhältnis des Härteöls innen zu außen kann für jedes Bauteil optimal eingestellt werden.

Im Rahmen einer Versuchsreihe wurden sechs Ringe aus 18CrNiMo7-6 mit einem Außendurchmesser von 1.100 mm, Innendurchmesser 800 mm und einer Höhe von 250 mm angefertigt. Fünf Ringe wurden aufgekühlt, der sechste wurde mit Thermoelementen bestückt, die in unterschiedliche Bohrungen, wie in Bild gezeigt, platziert wurden.

Der mit Thermoelementen bestückte Ring diente zur Messung von positionsabhängigen Temperaturverläufen während der Abkühlung. Anhand dieser Abkühlkurven konnte ermittelt werden, dass für die vorliegende Ringgeometrie mit einer Einstellung der Öldurchflussmenge von 60 % über die Innenseite und 40 % über die Außenseite des Ringes eine Homogenisierung der Abkühlung der Außenseite und der Innenseite erreicht wird (**Bild 4**). Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass auf der Ringaußenseite eine größere Fläche zur Wärmeübertragung zur Verfügung steht als innen. In der Annahme, dass eine gleichmäßige Abkühlung auch geringere Verzüge mit sich bringt, wurde diese Einstellung für die weiteren Versuche gewählt.

Jeder der Ringe wurde vor und nach der Wärmebehandlung mit einem 3D-Messgerät innen und außen über die Bauteilhöhe in drei Ebenen vermessen. Hieraus wurden dann der Innen- und Außendurchmesser sowie die Rundheitsabweichung ermittelt. Anschließend wurde als Maß für die Konizität die Differenz zwischen oberem und unterem Durchmesser gebildet.

Um die zeitlichen Abläufe besser analysieren zu können, wurden zudem In-situ-Radiusmessungen an sieben Positionen durchgeführt. Hierzu wurden pneumatische Zylinder mit integriertem Wegmesssystem benutzt. So konnte die zeitliche Änderung von Durchmesser, Rundheit und Konizität während der Abkühlung aufgezeichnet und später analysiert werden.

## ERGEBNISSE DER VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Die maximale Rundheitsabweichung der Bauteile vor der Wärmebehandlung lag bei 0,34 mm. Die Auswertung der Konizität ergab einen maximalen Wert von 0,8 mm. Die Rundheitswerte nach der Wärmebehandlung lagen bei maximal 0,64 mm. Die Konizitätsänderung lag in Abhängigkeit von Pressdruck und Strömung im schlechtesten Fall bei ca. 0,7 mm und im besten Fall bei 0,2 mm. Im Vergleich dazu entstehen bei Werkstücken dieser Art beim freien Abschrecken erfahrungsgemäß Verzüge mit einer Rundheitsabweichung von 3-5 mm. Dies zeigt, dass Ringe mit eingangs guter Rundheit bei Verwendung einer Fixturhärtemaschine auch während der Härtung gut rund gehalten werden können. Und gerade bei Großbauteilen erlaubt die Fixturhärtung die Reduzierung der Aufkühltiefe bei gleichzeitigem Erhalt der Einhärtetiefe nach der Hartbearbeitung, wodurch neben der Reduzierung des Aufwandes für den Materialabtrag die teu-

ren Aufkohlzeiten im Ofen drastisch reduziert werden können. Hier ist eine Reduzierung der EHT von 4,2 mm (1,2 mm EHT im Produkt + 3 mm Aufmaß) auf maximal 1,9 mm möglich (1,2 mm EHT im Produkt + 0,7 mm Aufmaß).

Ergänzend stellte sich die Frage, ob auch Ringe mit schlechten Rundheitswerten im Bereich mehrerer mm mithilfe der Fixturhärtung wieder „rundgerichtet“ werden können. Zu diesem Zweck wurde ein Ring mit der Härtemaschine zunächst bewusst deformiert, was zu einer Unrundheit von 3,3 mm führte. Im Anschluss wurde der Ring dann in der Fixtur abgehärtet. Die Rundheit des zuvor deformierten Ringes konnte bei diesem Versuch von 3,3 mm Rundheit auf 1,9 mm verbessert werden. Dies zeigt, dass auch das wieder rund richten deformierter Ringe in gewissen Grenzen möglich ist.

Der wirksame Mechanismus besteht darin, dass beim deformierten Ring zunächst nur wenige Lamellen am Werkstück anliegen und sich die Gesamtkraft dann auf diese wenigen Lamellen konzentriert, bis schließlich alle Lamellen zur Anlage kommen, die dann während des Abschreckens gezielt gehalten. Mit erheblich gesteigertem technischem Aufwand ist auch ein lokales Überdrücken einzelner Rundbereiche denkbar, wodurch es zu einem wirklichen warmen Richten kommen würde.

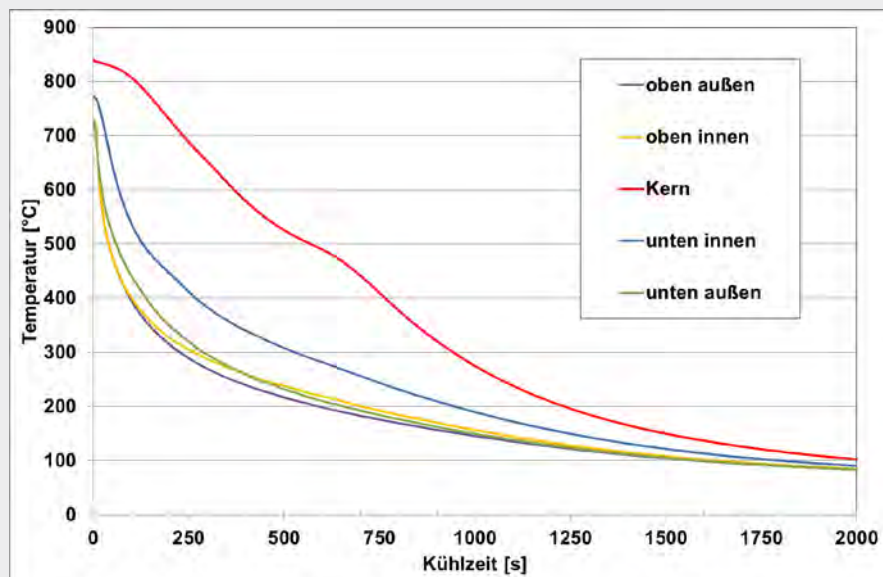
Es ist noch nicht endgültig geklärt, welcher Anteil der Rundheitsverbesserung im warmen Zustand vor Beginn der Abschreckung durch eine Streckgrenzen Überschreitung bzw. durch Kriechprozesse erreicht werden kann, und welcher Anteil später im Abkühlprozess begünstigt durch die Umwandlungsplastizität erzielt wird.

Ein weiterer Einflussfaktor auf den Verzug ist die Strömungsführung des Härteöls um das Bauteil. Durch die bauartbedingte konische Form des Spreizkegels ergibt sich im Raum zwischen den Lamellen und der Innenseite des Werkstücks ein Strömungsprofil, das an der unteren Innenseite durch eine zunächst langsame Strömung, an der oberen Innenseite jedoch durch eine schnelle Strömung gekennzeichnet ist (von unten nach oben abnehmender Strömungsquerschnitt). Durch Einsatz verschieden geformter Leitbleche zwischen den Lamellen kann die Strömung bewusst kontrolliert und so die Konizität gezielt beeinflusst werden.

## FAZIT

Die Ergebnisse dieser Versuche decken sich mit den Erfahrungen mit Produktionsmaschinen der Firma Heess bei Anwendern in der Industrie. Als Fazit konnten folgende Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt gewonnen werden:

- In Fixtur gehärtete Ringe weisen reproduzierbar deutlich bessere Rundheitswerte auf als es vom freien Abhärten bekannt ist



**Bild 4:** Abkühlkurven der Ringgeometrie

- Bereits deformierte Ringe können mittels Fixturhärtung in gewissen Grenzen wieder rund gerichtet werden
- Die Rundheit wird durch das Wechselspiel zwischen optimierter Strömung und gezielter Kraftbeaufschlagung positiv beeinflusst
- Neben der Rundheit kann beim Härten in Fixtur Einfluss auf die Konizitätsänderung genommen werden. Hier wirkt sich sowohl die Spreizkraft als auch die Strömungsführung während der Abschreckung maßgeblich auf das Ergebnis aus.

## AUTOREN



**Sven Wagner**  
Heess GmbH & Co. KG  
Lampertheim  
Tel.: 06241 / 8309-71  
s.wagner@heess.com



**Harald Juretzko**  
Heess GmbH & Co. KG  
Lampertheim  
Tel.:  
h.juretzko@heess.com



**Thomas Streng**  
Heess GmbH & Co. KG  
Lampertheim  
Tel.:  
t.streng@heess.com