

Induktions- statt Einsatzhärten

Neue Wege zur Wärmebehandlung großer Bauteile



Gerhard Reese

Große Getriebeteile werden in der Regel einsatzgehärtet. Als Alternative bietet sich das Induktionshärten an, das deutlich geringere Kosten verursacht und eine sehr zielgerichtete, lokale Wärmebehandlung erlaubt. Allerdings gibt es – zum Teil berechtigte – Vorbehalte gegen den Einsatz dieses Verfahrens bei Großzahnradern (Bild 1). Ein aktuelles, auf mehrere Jahre angelegtes Forschungsprojekt befasst sich intensiv mit dem Vergleich einsatz- und induktionsgehärteter Großzahnradern.

Autor: Dipl.-Ing. Gerhard Reese ist Geschäftsführer der Härtereireise Bochum GmbH

Einsatzhärten stößt an seine Grenzen

Die moderne Härtetechnik bietet eine Vielzahl von Verfahren an, mit denen die Eigenschaften der Werkstücke beeinflusst werden. Bei größeren Getriebeteilen verwendet man in der Regel das Einsatzhärten, bei dem das gesamte Bauteil in einem aufwändigen Prozess stunden- und oft tagelang bei zirka 930 °C in einem Kohlenstoff-aktiven Schutzgas aufgekühlt und anschließend in einem Ölbad abgekühlt wird.

Die technischen Grenzen sind hier meist bei einem Durchmesser von 2 500 mm gesetzt. Es gibt vereinzelt Härtereien in Euro-

1: Das Härten von Großzahnradern stellt hohe Anforderungen an das Verfahren

pa, die Teile bis 4 000 mm Durchmesser einsatzhärten können. Die Kosten dafür sind jedoch sehr hoch: Sie liegen für Großzahnradern bei 25 000 bis 50 000 Euro pro Stück!

Hinzu kommt, dass beim Einsatzhärten unvermeidliche Probleme des Härteverzugs auftreten, den man beherrschen bzw. im Nachhinein kontrollieren und gegebenenfalls beseitigen muss. Zudem kann es bei diesem Härteverfahren zu einem schlecht kontrollierbaren Schichtdickenwachstum kommen, das bei den Getriebe- bzw. Zahnradherstellern erhöhte Schleif- und Nachbearbeitungskosten verursacht. Erfahrene Härtereien, wie z. B. die Härterei Reese, Bochum, können zwar durch spezielle Verfahrensabläufe die Nachbearbeitungskosten

Beim Einsatzhärten wird das gesamte Bauteil in einem aufwändigen Prozess oft tagelang aufgekühlt

in wirtschaftlichen Grenzen halten. Der Kostendruck ist jedoch ein wesentlicher Antrieb auf der Suche nach innovativen Lösungen.

Gerade bei großen Zahnradern muss der Konstrukteur außerdem berücksichtigen, dass beim Einsatzhärten ein Abfall sowohl der Härte als auch der Härtetiefe zum Zahngrund hin erfolgt. Dies führt zur Verminderung der Tragfähigkeit einsatzgehärteter Zahnradern gegenüber den theoretisch berechneten Werten. Das Einsatzhärten stößt somit an seine Grenzen.

Induktionshärten bietet Vorteile bei Großbauteilen

Dennoch ist das Einsatzhärten nach wie vor „Stand der Technik“ bei der Wärmebehandlung großer Zahnradern und Getriebeelemente. Prinzipiell würde hier das Induktionshärten erhebliche Vorteile bieten, da das Bauteil

INFO Weitere Kooperationspartner erwünscht

Führt dieses innovative Projekt, das mit öffentlichen Mitteln gefördert wird, zum Erfolg, werden die beteiligten Unternehmen – und mit ihnen ihre Kunden – vom technologischen Vorsprung profitieren. In einer weiteren Stufe ist vorgesehen, die stahlerzeugende Industrie mit einzubeziehen, da durch die Verwendung neuer, innovativer Werkstoffe die Ergebnisse optimiert werden könnten. Auch weitere Unternehmen z. B. aus dem Anlagenbau sind als Projektpartner willkommen



2: Versuchshärteanlage von SMS Elotherm

dabei sehr zielgerichtet nur partiell erwärmt, das heißt gehärtet wird - das bedeutet gerade bei großen Komponenten einen erheblich geringeren Aufwand. Zudem kann man bei diesem Verfahren die gängigen Vergütungsstähle verwenden, die vergleichsweise preisgünstig zu beziehen sind.

Die Anwender - und auch die Härtereien - haben in der Vergangenheit jedoch von diesem Verfahren Abstand genommen, weil bekannt ist, dass die Tragfähigkeit von induktionsgehärteten Zahnradern um rund 20 bis 30 % geringer ist als die von einsatzgehärteten Zahnradern. Allerdings wird dabei zumeist nicht bedacht, dass die entsprechenden Versuche, die zu diesem Ergebnis führten, unter Laborbedingungen an kleineren Zahnradern mit kleineren Modulen durchgeführt wurden. Außerdem wurde dabei das bereits kurz angerissene Phänomen, dass bei großen einsatzgehärteten Zahnradern ein Härte- und Härtetiefenabfall zum Zahngrund hin auftritt, nicht berücksichtigt. Dieser Härteabfall führt nach Erkenntnissen der Härtereien Reese dazu, dass bei einsatzgehärteten Zahnradern die Zahnfußtragfähigkeit niedriger sein kann als bei induktionsgehärteten Zahnradern.

Hinzu kommt ein weiterer Faktor: Bei den vergleichenden Untersuchungen, die

zu einer Favorisierung des Einsatzhärtens führten, wurden kugelgestrahlte einsatzgehärtete Zahnradern verwendet. Die induktiv gehärteten Versuchsbauteile waren jedoch nicht kugelgestrahlt. Dies verzerrt das Ergebnis ganz erheblich, wie neuere Versuche der Universität Newcastle ergaben. Denn allein mit Kugelstrahlen lässt sich die Tragfähigkeit induktionsgehärteter Zahnradern um über 50% steigern. Insofern wurden bei den früheren Versuchen, die bessere Ergebnisse für das Einsatzhärten ergaben, plakativ gesprochen Äpfel mit Birnen verglichen: Hätte man sowohl die induktions- als auch die einsatzgehärteten Zahnradern kugelgestrahlt oder aber ganz auf das Kugelstrahlen verzichtet, hätten die Versuchsreihen sicherlich andere Ergebnisse erbracht.

Entwicklung eines neuen Induktionshärteverfahrens

All diese Gründe haben die Wärmebehandlungsspezialisten der Härtereien Reese zu der Auffassung gebracht, dass das Induktionshärteverfahren - wenn es optimiert wird - unabhängig von der Größe des Bauteils mindestens die gleiche Sicherheit wie das Einsatzhärten bietet und bei größeren Getriebebauteilen dem Einsatzhärten zumin-

dest gleichwertig ist. Dies ist zunächst eine These, für die es nun den Beweis anzutreten gilt. Um dies zu erreichen und zugleich das Induktionshärten entsprechend den neuen Anforderungen zu optimieren, hat die Härtereie Reese Bochum ein Forschungsprojekt initiiert und dabei die Kooperation mit qualifizierten Partnern gesucht.

Zu den Kooperationspartnern des Projektes gehört der Anlagenbauer SMS Elotherm, der für die Versuchsreihen eine induktive Versuchs-Härteanlage gebaut hat (**Bilder 2 und 3**). Die Maschine wurde bei der Härtereie Reese in Bochum installiert, da dort ein großes Know-how bezüglich der Wärmebehandlung sehr großer Getriebebauteile besteht. Auch die Vergleichsanlagen zum Einsatzhärten großer Werkstücke befinden sich in Bochum. Die neue Induktions-Härteanlage wurde in enger Zusammenarbeit mit der Härtereie optimiert. Die wissenschaftliche Begleitung und Auswertung der Versuche übernimmt das Technology Centre „Design Unit - Gear“ der University of Newcastle/Großbritannien.

Bestimmung der Zahnfuß-Dauerfestigkeit

In der ersten Projektstufe wird die Zahnfuß-Dauerfestigkeit von induktionsgehärteten Standard-Prüfzahnradern der University of Newcastle ermittelt. Man verwendet hierfür den neuen direktlufthärtenden Stahl OVA-KO 677. Er eignet sich sehr gut für das Induktionshärten, und es kann angenommen werden, dass dieser Stahl - im Vergleich zu herkömmlichen Stählen wie 42CrMo4 und 50CrV4 - um 20 bis 30 % höhere Biegedauerfestigkeiten erreicht.

Gemessen wird die Zahnfuß-Dauer- und -Zeitfestigkeit bei einer Härtetiefe von 1 und 2 mm. Diese Ergebnisse werden dann mit der Zahnfußfestigkeit von herkömmlichen induktionsgehärteten Verzahnungen aus 42CrMo4, En19 und SAE 8620 verglichen, sowie mit der Zahnfußfestigkeit einsatzgehärteter Räder aus 16MnCr5, 20MnCr5 und 17CrNiMo6. Zusätzlich wird die Arbeit Erkenntnisse zum Härteverlauf, zum Restspannungsverlauf, zum Restaustenitverlauf und zum Härteverzug von induktionsgehärteten Zahnradern aus OVA-KO 677 liefern.

Zahnfuß-Dauerfestigkeit großmoduliger Verzahnungen

Die Zahnfußfestigkeitsangaben für einsatz- und induktionsgehärtete Zahnradern in der Norm DIN 3990, Teil 5 beruhen hauptsächlich auf Versuchen mit Verzahnungen von Modul 4. Die Design Unit der University of Newcastle hat auch Daten für Verzahnungen von 6 und 8 mm Modul ermittelt (**Tabelle**), aber nicht für größere Module von 10 bis 30 mm. Im zweiten Projektschritt sol-

len deshalb zuverlässige Zahnfußfestigkeiten für größere Module in induktions- und einsatzgehärteten Stählen bestimmt werden. Die Ergebnisse werden einen realistischen Vergleich der Zahnfußfestigkeit von induktions- und einsatzgehärteten Großverzahnungen erlauben.

Diese Arbeiten werden zuverlässige Zahnfußfestigkeitswerte für Zahnräder von Modul 20 erlauben, die einen Vergleich zwischen den Zahnradern aus den drei Stählen, Vergleiche zwischen induktions- und einsatzgehärteten Zahnradern sowie Vergleiche mit den Angaben in DIN 3990, Teil 5 ermöglichen. Außerdem werden die Arbeiten Daten über den Einfluss der Härtetiefe beim Induktionshärten sowie vergleichende Werte für den Härteverzug liefern.

Optimierung einer Induktionshärteanlage

Wenn die Arbeiten der Projektstufen 1 und 2 abgeschlossen sind, werden die Ergebnisse genutzt, um die Anlagentechnik entsprechend zu optimieren. Dazu gehört unter anderem die Anpassung des Induktors (Geometrie, Abstand usw.) an die spezifischen Einsatzbedingungen der Wärmebehandlung von Großzahnradern. Auch die Frequenz der Aufheizrate und des Abschreckens muss neu bestimmt werden, um beim

Nachteile beim Induktionshärten von Großbauteilen beruhen auf falschen Voraussetzungen

Einzelzahnflächen-Induktionshärten im Modulspektrum von 6 bis 40 mm eine höchstmögliche Zahnfußdauerfestigkeit zu erreichen.

Entwicklung einer geeigneten Qualitätssicherung

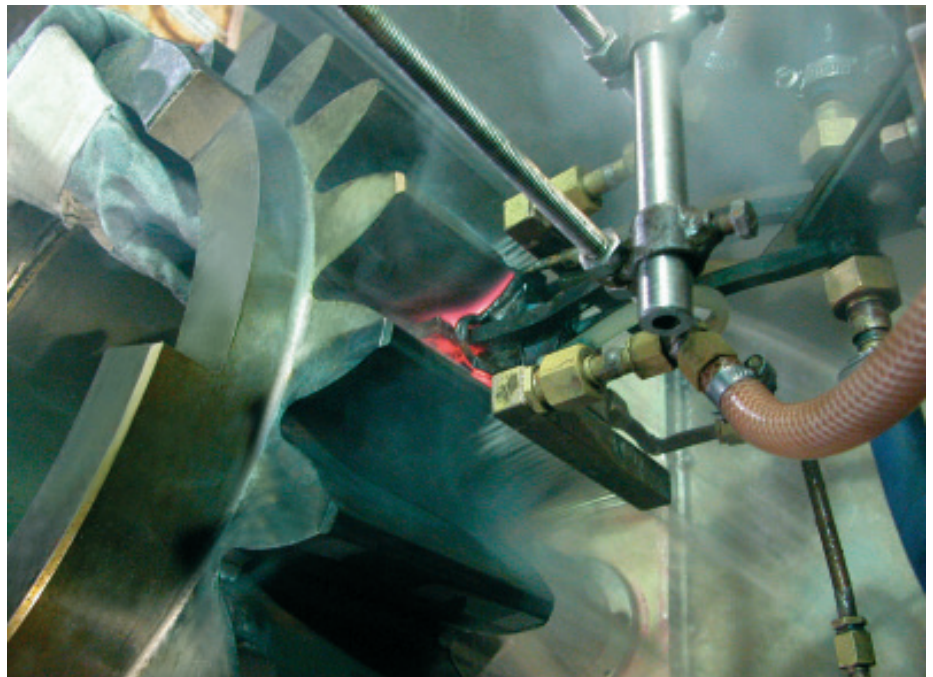
Wenn die Anlagenparameter definiert sind, müssen in einem weiteren Schritt auch die Qualitätssicherungsmaßnahmen für das Induktionshärten von Großzahnradern ermittelt und festgeschrieben werden. Dies betrifft unter anderem die Prozessüberwachung der Aufheizung und des Abschreckens sowie die zerstörungsfreie Messung von Härte, Randschichtdicke und Restspannung.

Systematische Bewertung

Nachdem die derart optimierte Anlage in Betrieb genommen wurde, muss eine systematische Bewertung der erzielten Flanken- und Zahnfuß-Dauerfestigkeit erfolgen. Dann wird man abschließend beurteilen

Zahnradwerkstoff	Zahnfuß-Dauerfestigkeit 8 mm Modul Pulsatorversuche an der Universität Newcastle		Zahnfuß-Dauerfestigkeit Laut ISO 6336 – Qualität ME	
	Ohne Kugelstrahlen	Mit Kugelstrahlen	1% Schadenswahrscheinlichkeit σ_{Fe} in N/mm ²	Mittlere Dauerfestigkeit σ_F in N/mm ²
	σ_F in N/mm ²	σ_F in N/mm ²		
Einsatzgehärtet 16MnCr5 17CrNiMo6	700	1200	1050	1196
	740	1200		
Induktionsgehärtet SAE 4140	650	1000	800	911

Tabelle: Zahnfuß-Dauerfestigkeit von einsatzgehärteten und induktionsgehärteten Zahnradern. Vergleich von Pulsator-Versuchen an Zahnradern ohne und mit Kugelstrahlen



3: Beim Induktionshärten ist nur eine Erwärmung der Verzahnung im Bereich einiger weniger Millimeter notwendig

können, welche technischen und wirtschaftlichen Vorteile das optimierte Induktionshärten für die Wärmebehandlung von Großzahnradern erbringt.

Hoher wirtschaftlicher Nutzen für Hersteller

Zurzeit befinden sich die Beteiligten in der Projektstufe 1; das genaue Arbeitsprogramm für die weiteren Projektschritte wird nach Abschluss der Arbeiten dieser Stufe beschlossen. Insofern ist es verfrüht, Aussagen über Projekterfolge zu machen. Die Härtereien Reese sind jedoch sehr zuversichtlich, dass sich das - entsprechend optimierte - Induktionshärten als im wahrsten Sinne des Wortes „tragfähige“ Alternative zum Einsatzhärten von Großzahnradern erweisen wird.

Sollte dies gelingen und wissenschaftlich abgesichert sein, würde das einen erheblichen technischen Fortschritt und, in der Folge, einen klaren Wettbewerbsvorteil für die Anwender des Verfahrens darstellen.

Denn dann ließen sich hoch belastbare Großzahnradern mit deutlich geringerem Kostenaufwand und hoher Qualität herstellen. Zudem eröffnet das Verfahren die Möglichkeit, auch sehr große Zahnradern einer hochwertigen Wärmebehandlung zu unterziehen. Denn bei Zahnradern von z. B. 6 m Durchmesser ist eine Einsatzhärtung praktisch nicht möglich, weil eine entsprechende Anlage einen Investitionsaufwand von mehreren Millionen Euro betragen würde, ohne dass der gewünschte Erfolg gewährleistet ist.

Auch aus energetischen und ökologischen Gründen bietet das Induktionshärten Vorteile gegenüber dem Einsatzhärten. Denn es ist nur eine Erwärmung der Verzahnung im Bereich einiger weniger Millimeter notwendig, wobei die einzelne Erwärmungsphase pro Zahn nur wenige Minuten dauert. Die Abkühlung erfolgt mit einer biologisch abbaubaren Emulsion, die in einem Kreislauf recycelt wird.