

# Verbesserung von Bauteileigenschaften durch Randschichthärten

GÜNTER LIEBMANN

Für viele Werkstücke, für die eine harte oder verschleißarme Oberfläche notwendig ist, ist eine auf die Randschichten beschränkte Härtung ausreichend. Das martensitische Randschichthärten bewirkt eine erhebliche Steigerung der Oberflächenhärte von Stählen. Der Beitrag stellt die seit vielen Jahren bewährten und optimierten Verfahren Flamm- und Induktionshärten vor.

## 1 Einleitung

Das martensitische Randschichthärten ist eines der ältesten Wärmebehandlungsverfahren zur Steigerung der Oberflächenhärte, zur Verbesserung der Verschleiß- und Gleiteigenschaften, zur Erhöhung der Dauer- und Wälzfestigkeit sowie zur Verbesserung des Widerstands gegenüber Schlag- und Druckbeanspruchungen von Stählen. Grundlage ist ein auf die Randschicht begrenztes Austenitisieren und Abkühlen mit einem geeigneten Medium unter solchen Bedingungen, daß ein Aufhärten durch eine möglichst vollständige Umwandlung des Austenits in Martensit und gegebenenfalls in Bainit erfolgt. Unmittelbar nach dem Härten wird in der Regel bei niedrigen Temperaturen angelassen, um bei geringsten Härteverlusten die Sprödigkeit des Härtegefüges zu verringern. Nach den angewendeten Wärmequellen zum Aufheizen der Randschichten wird zwischen Flammhärten, Induktionshärten, Laserstrahl- und Elektronenstrahlhärten sowie – unter Nutzung generierter Wärme – zwischen Reib- und Schleifhärten unterschieden. Während das Flamm- und Induktionshärten seit vielen Jahren eingeführte Verfahren sind, sind die erst in den letzten 30 bis 35 Jahren entwickelten Laserstrahl- und Elektronenstrahlhärteverfahren als Nischentechnologien zu bezeichnen. Der gegenwärtige Erkenntnisstand auf dem Gebiet des Laserstrahlhärtens erlaubt die Schlussfolgerung, dass Prozesseigenheiten einer breiten Einführung in die industrielle Praxis und insbesondere im Dienstleistungsbereich entgegen stehen. Vorteile und damit künftige Anwendungsgebiete sind dort zu erkennen, wo durch eine einfache Strahlführung schwer zugängliche und in der Ausdehnung eng begrenzte Bereiche zu härten sind. Ein typisches Beispiel ist das partielle Härten von Zylinderlaufbuchsen für Großdieselmotoren. Zu beachten ist ein sich einstellender schroffer Übergang von der Härte

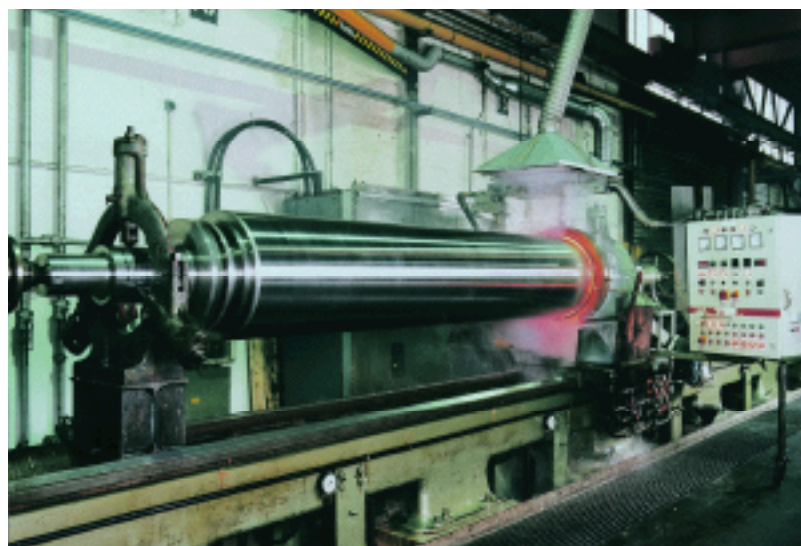
schicht auf die Kernhärte. Der Einfluss dieses Härtegradienten auf die technologischen Eigenschaften lasergehärteter Randschichten ist noch weitgehend unbekannt. Die Einsatzmöglichkeiten der Elektronenstrahlhärtung können analog der Laserstrahlhärtung eingeschätzt werden. Dabei ist aber zusätzlich noch der wesentlich höher apparative Aufwand zu beachten, der aus der erforderlichen Hochvakuumrüstung resultiert. Mit dem Schleifhärten [1] wurde in den letzten Jahren ein neues Randschichthärtungsverfahren als prozessintegrierbare Technik ins Gespräch gebracht. In Abhängigkeit von den gewählten Prozessparametern sind Einhärtungstiefen bis 2 mm (martensitische Randschicht) möglich. Die Reproduzierbarkeit der bisher erreichten Wärmebehandlungsergebnisse ist zufriedenstellend. Unangepasste Schleifwerkzeuge beschränken zur Zeit noch die Leistungsfähigkeit des Verfahrens. Als alternatives Verfahren zum Induktions- und Flammhärten wird es in den nächsten Jahren noch nicht in Betracht kommen. Den Kunden der vier Lohnhärtereien der Reese-Gruppe werden seit vielen Jahren mit großem Erfolg das Flamm- und Induktionshärten (Bild 1) angeboten. Eigene Entwicklungsarbeiten führten zu bauteilspezifischen Lösungen und Verfahrensoptimierungen.

## 2 Induktions- und Flammhärten

Im Folgenden werden die beiden Verfahren Induktionshärten und Flammhärten und deren Unterschiede beschrieben.

### 2.1 Allgemeines

Die grundsätzlichen Unterschiede zwischen Induktionshärten und Flammhärten liegen in der Art des Aufheizens der Randschicht auf die Härtetemperatur. Beim Induktionshärten erfolgt das Aufheizen durch einen Wirbelstromfluss in den äußeren Randzonen des Werkstücks (Skinneffekt), induziert von dem magnetischen Wechselfeld eines stromdurchflossenen Leiters (Induktor), der in seiner Formgebung dem erwünschten Erwärmungsbild angepasst sein muss. Der Heizleiter wird von einer Wechselstromquelle geeigneter Frequenz und Leistung gespeist. Erreichen die im Werkstück induzierten Wirbelströme eine ausreichende Intensität, erfolgt ein schnelles Aufheizen der Werkstückoberfläche. Die Wärmeerzeugung findet direkt in der Werkstückoberfläche statt. Die Oberflächenschicht, in der der gesamte induzierte Strom fließt, ist als Eindringtiefe definiert. Als Rechengröße ist sie von der Frequenz sowie von der elektrischen Leitfähigkeit und den magnetischen Eigenschaften der zu härtenden Werkstoffe abhängig. Aus der Frequenzabhängigkeit resultiert die bekannte Unterteilung in Mittel- und



1: Moderne Mikroprozessortechnik sorgt bei der neuen Induktionshärteanlage der Härtereie Reese in Bochum für reproduzierbare Härteergebnisse  
Quelle: Härtereie Bochum



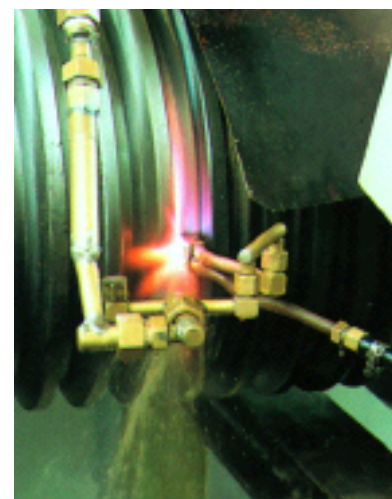
2:Randschichthärtung durch Flammerwärmung

Quelle:Härterei Bochum

Hochfrequenzhärteverfahren. Der Mittelfrequenzbereich reicht etwa von 100 Hz bis 10 kHz. Ab Frequenzen > 100 kHz spricht man von HF-Härtung. Bei vorgegebener Eindringtiefe des Stromflusses wird durch Variation von Heizleistung und Heizedauer eine reproduzierbare Einwärmtiefe erreicht, die in Abhängigkeit von den Abschreckbedingungen und dem Härteverhalten der eingesetzten Werkstoffe letztlich zur Ausbildung der gewünschten Induktionshärtungsschicht mit definierter Einhärtungstiefe (Rh) führt. Beim Flammhärten wird die Werkstückoberfläche mit einem geeigneten Brenner, der mit einem Gemisch aus Brenngas und technisch reinem Sauerstoff betrieben wird, erwärmt (Bild 2 und 3). Dabei erfolgt die Erwärmung überwiegend durch Strahlung. Die Wärmeleitung spielt wegen der hohen Übertragungsleistung von 1000 bis 6000 W/cm<sup>2</sup> nur eine untergeordnete Rolle. Die Einhärtungstiefe wird primär von der Brennerleistung bestimmt. Weitere Einflussparameter sind der Abstand zwischen Brenner und Werkstückoberfläche, die Vorschubgeschwindigkeit und die Austenitisierungsdauer. Bei beiden Verfahren ist die Einhärtungstiefe nach DIN 50 190 als senkrechter Abstand von der Oberfläche des gehärteten Werkstückes bis zu dem Punkt, an dem die Härte einem zweckentsprechend festgelegten Grenzwert entspricht, definiert. Als Grenzwert gilt in der Regel der Härtewert HV1, der 80 % der Mindestoberflächenhärte entspricht. Die metallkundlich ablaufenden Vorgänge, die zur Aufhärtung der Randschicht führen, sind bei beiden Verfahren gleich. Nach Erreichen eines möglichst homogenen Austenits in der Randschicht wird mit überkritischer Abkühlungsgeschwindigkeit abgeschreckt, um – wie bereits erläutert – einen möglichst hohen Anteil an Martensit zu erhalten. Abgeschreckt wird in der Regel mit Wasser. Zunehmend setzt sich der Einsatz eines Gemisches aus Wasser und synthetischen Polymeren durch. Je nach der Stahlsammensetzung, aber auch abhängig von der Geometrie der Werkstücke schwankt die Konzentration des Gemisches zwischen 6 und 12 %. Die erreichte Oberflächenhärte wird einhärtungstiefenabhängig in HV oder HRC geprüft. In Abhängigkeit von der Frequenz, Leistung und Heizeit

sowie vom Umwandlungsverhalten der Stähle können bei der Induktionshärtung Einhärtungstiefen von 0,3 bis 10 mm erreicht werden. Mit Netzfrequenz sind Einhärtungstiefen bis 50 mm realisierbar. In speziellen Fällen ist auch ein Durchvergüten möglich. Beim Flammhärten liegt bei unlegierten Stählen die Einhärtungstiefe bei 2 bis 4 mm. Bei legierten Stählen sind je nach Legierungsgehalt Einhärtungstiefen bis zu 30 mm möglich. Für das Randschichthärten ist eine Vielzahl von Stählen und Gusswerkstoffen einsetzbar. In der DIN 17 212 bzw. der EN 8670 sind die „Stähle für Flamm- und Induktionshärten“ zusammengestellt. Damit ist aber die Stahlauswahl für das Randschichthärten längst nicht erschöpft. Randschichthärtbar sind alle unlegierten Vergütungsstähle mit Kohlenstoffgehalten von 0,35 bis 0,70 Masse-%, niedriglegierte Vergütungsstähle, von denen die Stähle 34 CrMo 4, 42 CrMo 4 und 50 CrV 4 die klassischen Vertreter sind, aber auch bestimmte Kaltarbeitsstähle, wie z.B. die Stähle 85 Cr 7, 85 CrMo 7, 100 Cr 6 und X125 CrV Mo 12 1. Technische Sonderfälle sind das partielle Randschichthärten von härtbaren rost- und säurebeständigen Stählen, wie z. B. X 20 Cr 13, X 35 CrMo 17, X 46 Cr 13 und X 90 CrMoV 18. Gewisse Einschränkungen gibt es beim Einsatz der Automatenstähle 35 S 20 oder 60 S 20 durch deren Anfälligkeit zur Oberflächenrissbildung durch die oft zeilenförmig im Halbzeug angeordneten sulfidischen Einschlüsse. Gut eingeführt ist auch das Flamm- und Induktionshärten von Stahlguss und Gusseisen. Optimal sind die Gussqualitäten GGG-60 bis GGG-80 geeignet. Sie bieten die Garantie dafür, dass das Ausgangsgefüge überwiegend aus Perlit bzw. im Fall GGG-80 aus Vergütungsgefüge besteht und ein gebundener Kohlenstoffgehalt >0,5 Masse-% als Voraussetzung für eine ausreichende Randschichthärtbarkeit vorliegt. Auch die Härte des Gussausgangszustandes mit > 240 HB kann als Kriterium für eine ausreichende Randschichthärtbarkeit angesetzt werden. Grundsätzlich entspricht man werkstoffseitig mit dem Kohlenstoffgehalt der geforderten Oberflächenhärte und mit dem Legierungsgehalt der gewünschten Einhärtungstiefe. So können durch eine optimale Werkstoffauswahl die Werkstoffkosten bei gleichbleibender

Qualität minimiert werden. Erst wenn z. B. die für eine bestimmte Dauerfestigkeit erforderliche Einhärtungstiefe mit einem unlegierten Stahl nicht erreicht wird, wählt man die nächst höhere, sprich legierte Stahlsorte. Bei solchen Entscheidungen sollten möglichst frühzeitig Konsultationen mit dem Wärmebehandler aufgenommen werden. In allen Reese-Härtereien stehen hierzu jederzeit qualifizierte Ansprechpartner zur Verfügung. Als erste Übersicht sind in der Tabelle randschichthärtbare Stähle und Gusseisenwerkstoffe mit Angabe der erreichbaren Oberflächenhärten und Einhärtungstiefen zusammengestellt. Beachtet werden sollte auch der Wärmebehandlungszustand vor der Randschichthärtung. Da es sich sowohl beim Flammhärten als auch beim Induktionshärten um Kurzzeitwärmehandlungen handelt, ist ein Ausgangsgefügezustand anzustreben, der zu einer schnellen Bildung von homogenem Austenit bei der Erwärmung führt. Beste Ergebnisse – auch hinsichtlich der Belastbarkeit des Verbundes im Einzelfall – werden mit vergüteten Werkstoffen erreicht. In Sonderfällen, vor allem bei höher gekohlten Stählen, ist auch der Einsatz von normalgeglühten Stählen möglich. Stähle mit 100-prozentiger Eiformung des Perlits Behandlungszustand „weichgeglüht“, sollten möglichst nicht randschichtgehärtet werden. Allgemeine Beachtung muss auch dem Oberflächenzustand der Werkstücke vor der Randschichthärtung geschenkt werden. Die Oberflächen sollten metallisch blank und frei von Spänen, Fetten und sonstigen Verschmutzungen sein. Hinsichtlich Rautiefe bestehen keine besonderen Forderungen, sie richtet sich nach den Folgearbeitsgängen. Tiefe Rillen im Auslauf von Härtezononen können im Zusammenhang mit Rissen Bedeutung haben. Keinesfalls sind Auf- und Abkohlungen der Randschicht zulässig, es sei denn, man geht von einem aufgekohlten Bauteil aus, was manchmal sinnvoll sein kann. Gegenüber dem „eleganten“ Induktionshärten, das sauber und umweltfreundlich arbeitet und sich dank moderner Prozessrechnersteuerung leicht in die Fertigungskette von Massenteilen integrieren lässt, ist das Flammhärten ein „robustes“ Verfahren, das aber bei allen Fortschritten in der Entwicklung



3: Flammhärtung einer Seilrolle

Quelle: Härterei Bochum

aufgrund der Variationsmöglichkeiten noch lange nicht zu ersetzen sein wird.

## 2.2 Induktionshärten

In den Härtereien Reese erfolgt die induktive Randschichthärtung grundsätzlich durch Auswahl der geeignetsten Verfahrenstechnik [2]. Dabei wird im Rahmen der werkstofftechnischen, elektrischen und thermischen Möglichkeiten nach einer solchen Lösung für die spezielle Härteaufgabe gesucht, die bei Erfüllung aller technischen Forderungen und Einhaltung der Qualitätsparameter auch ein Minimum an Kosten für das gehärtete Werkstück bedeutet. Grundsätzlich stehen für das HF- und MF-Härten zwei Arbeitsvarianten zur Verfügung. Das sind die Ganzflächenhärtung (Standhärtung) und die Vorschubhärtung. Alle anderen Bezeichnungen, die aus der praktischen Realisierung einer dieser Varianten bei der Wärmebehandlung bestimmter Werkstücke entstanden sind, lassen sich diesen beiden Grundvarianten zu ordnen. In Bild 4 sind die beiden Grundvarianten schematisch dargestellt. Mit „A“ sind die Induktoren und mit H<sub>2</sub>O ist die Abschreckbrause bezeichnet [3]. Bei der Ganzflächenhärtung wird in zwei Schritten gearbeitet. Im ersten Schritt erfolgt die induktive Erwärmung der Randschicht auf die für die Kurzzeiterwärmung erforderliche Härtetemperatur und unmittelbar anschließend bzw. nach einer werkstoffbedingten Ausgleichszeit wird im zweiten Schritt die erwärmte Werkstückpartie ganzheitlich abgeschreckt. Ein besonderes Beispiel ist das partielle Härten von Kurbelwellen. Bei der Vorschubhärtung erfolgt das Aufheizen auf Härtetemperatur und das Abschrecken nahezu gleichzeitig. Dazu ist eine kontinuierliche Relativbewegung zwischen der starr mit dem Induktor verbundenen Abschreckbrause und dem Werkstück erforderlich.



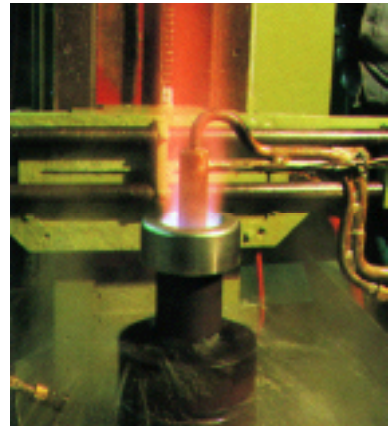
5: Induktivhärtung einer Welle  
Quelle: Härterei Bochum

Durch die Relativbewegung gelangt der vom Induktor aufgeheizte Werkstückbereich in die Abschreckzone, in der durch überkritische Abkühlung das Härtegefüge der Induktionshärtungsschicht entsteht. Dabei wird die Vorschubgeschwindigkeit der Einheit Induktor/Brause so gewählt, dass die Zeit bis zum Einfahren der erwärmten Werkstückpartie in die Abschreckzone werkstoffspezifisch zu einer optimalen Ausbildung der gewünschten Induktionshärtungsschicht führt. Rotiert das Werkstück bei der Vorschubhärtung, spricht man von einer Umfang-Vorschubhärtung. Diese Variante der Vorschubhärtung wird z. B. beim Randschichthärten von Wellen (Bild 5), Achsen, Bolzen, Kolbenstangen und Walzen angewandt. Die reine Vorschubhärtung wird hauptsächlich für das Härten von Führungsbahnen, Maschinenbetten und Führungs-



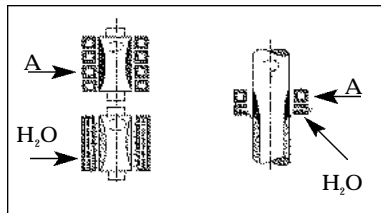
6: Induktives Härten von Zahnflanken und Zahngrund  
Quelle: Härterei Bochum

leisten eingesetzt. Eine spezielle Variante der Vorschubhärtung ist die Umschlupfhärtung. Sie wird beim Härten von Laufbahnen auf Ringen, Zahnkränzen und Buchsen angewendet. Das jeweilige Werkstück rotiert dabei langsam der Einheit Induktor/Abschreckbrause vorbei. Zwischen Anfang und Ende der Härtebahn verbleibt ein 10–20 mm breiter Schlupfbereich, der eine geringere Härte aufweist. Um für den Rollkörper jedoch kein „Härtetal“ zu hinterlassen, wird die Schlupfzone wenn möglich unter 30–45° gelegt, vielfach aber auch hinterschleift. Zunehmend an Bedeutung gewinnt das induktive Randschichthärten von Verzahnungen (Bild 6). Dabei werden zur Verschleißminderung die Zahnflanken gehärtet oder zur Erhöhung der Tragfähigkeit eine Zahngrundhärtung durchgeführt. Für spezielle Getriebepaarungen werden oftmals die Zahnräder zahnrundgehärtet und die Ritzel erfahren eine Zahngrundhärtung. Die Einhärtungstiefe wird modulabhängig festgelegt. In der Härterei Reese in Bochum können Zahnräder und Zahnkränze bis Modul 60 und einen Durchmesser bis 5500 mm mit Stückgewichten bis zu 13 t induktiv randschichtgehärtet werden. Zu beachten ist, dass die Anwendbarkeit der induktiven Randschichthärtung von Zahnrädern durch die Beanspruchung des jeweiligen Bau-



7: Flammhärtung einer Narbe  
Quelle: Härterei Bochum

teils bestimmt wird. Der derzeitige Kenntnisstand geht davon aus, dass die Tragfähigkeit induktionsgehärteter Vergütungswerkstoffe um 20 % unter der einsatzgehärteter Stähle liegt, wobei durch das Einsatzhärten zusätzlich Festigkeit und Zähigkeit von Rand und Kern weitgehend unabhängig voneinander über Werkstoffauswahl und Wärmebehandlungsführung eingestellt werden können. So stehen eventuelle Kostenvorteile des Induktionshärtens Nachteile in Bezug auf Bauteilfestigkeit entgegen. Gesamtkosten, in die auch Aspekte wie Leichtbau, Materialbeschaffung und Lagerhaltung eingehen, müssen daher von Fall zu Fall neu kalkuliert werden. Im Hinblick auf die durch das induktive Randschichthärten in die Werkstückrandschicht induzierte Eigenspannung ist nicht nur die Einhärtungstiefe, sondern auch der Härteverlauf vom Rand zum Kern von Bedeutung. Insbesondere sollte bei zyklischen Beanspruchungen ein sanfter Übergang vom Randgefüge zum Vergütungsgefüge des Grundwerkstoffs durch geeignete Prozesssteuerung vorgesehen werden. In der Regel bauen sich innerhalb der Induktionshärtungsschicht Druckspannungen auf, die im Härtezonenauslauf in Zugspannungen übergehen. Hieraus resultiert die Forderung, Härtezonenspannungen niemals im Bereich von Hohlkehlen, Kerben und Nuten auslaufen zu lassen, sondern diese Bereiche mit in die Härtezone einzubeziehen. Maß- und Formänderung treten bei der partiellen induktiven Oberflächenhärtung in wesentlich geringerem Umfang als nach einer Volumenhärtung auf. Grundsätzlich sind aber durch die Gefügewandlung in der Induktionshärtungsschicht die gleichen Volumenänderungen wie bei jeder anderen martensitischen Härtung relevant. Hieraus resultierende technologisch nicht vertretbare Maßänderungen werden in den Härtereien Reese durch rechnergestützte Lösungen kompensiert. So wird durch eine technisch sinnvolle Kombination von fertigungs-, werkstoff- und wärmetechnischen Parametern die wärmebehandlungsbedingten Längenänderungen von Wellen und Gewindespindeln im Längenbereich bis 6 m unter 0,2 mm gehalten. Die damit realisierte Möglichkeit Werkstoffeigenschaften und Längenänderungen im Voraus zu bestimmen und schon bei der Grünbearbeitung zu berücksichtigen, ermöglicht es den ab-



4: Schematische Darstellung der Induktionshärtungs-Arbeitsverfahren Ganzflächenhärtung (links) und Vorschubhärtung (rechts)

schließenden Hartbearbeitungsaufwand und die damit verbundenen Werkzeugkosten auf ein Minimum zu reduzieren. Verzüge können je nach Werkstückgeometrie durch geeignete Vorkehrungen auf den Härtemaschinen weitgehend eingegrenzt werden. Dazu gehört die exakte Einhaltung des Koppelungsabstands zwischen Induktor und Werkstück durch federndes Aufsetzen des Induktors sowie geeignete Zwangsführungen der Werkstücke. Das Wärmebehandlungsergebnis insgesamt wird weitgehend von der Gleichmäßigkeit der gehärteten Randschicht und deren Konturtreuen bestimmt. Nach sorgfältiger Bemusterung wird in den Härtereien Reese durch den Einsatz von moderner Steuerungstechnik eine gleichmäßige Schichtdicke reproduzierbar garantiert. Für eine konturgetreue Schichtausbildung sorgt ein exaktes Anpassen der Induktoren an die jeweilige Werkstückoberfläche. Hierzu ist es oftmals notwendig, erheblichen Aufwand in die Entwicklung und in den Bau des Induktors bzw. der gesamten Einheit Induktor/Abschreckbrause zu stecken. In den Härtereien Reese werden die Induktoren im Eigenbau erstellt und exakt für jeden speziellen Auftrag maßgeschneidert gefertigt. Für Wiederholteile wird dabei versucht, Induktoren und Abschreckbrasen einer Werkstückfamilie zuzuordnen. Diese Vorgehensweise setzt natürlich voraus, dass die laut Zeichnung festgelegten Maße der Bauteile verbindlich sein müssen. Das Gleiche gilt auch für abgestimmte Abmaße zur exakten Positionierung der Werkstücke beim Härten, auch wenn diese in der Folge nicht toleriert sind. Erfahrungsgemäß lassen sich durch Direktkontakt mit dem Kunden schon während der Entwicklungsphase durch Einflussnahme auf die konstruktive Gestaltung der Härtezone einfache und kostengünstige Lösungen realisieren.

### 2.3 Flammhärten

Wie bei der Induktionshärtung unterscheidet man auch bei der Flammhärtung je nach Art der Bewegung zwischen Brenner und Werkstück zwischen mehreren Arbeitsverfahren, deren Anwendung vor allem von der Form des Werkstückes abhängig ist (Bild 7). Spezielle Verfahrensvarianten sind das Stand- oder Aufsatzhärten, das Umlaufhärten, das Vorschub-Linienhärten, das Umlauf-Vorschubhärten und das Vorschub-Schlupfhärten. Beim Stand- oder Aufsatzhärten stehen bis zum Abschluss der Erwärmung Brenner und Werkstück still. Danach wird der Brenner durch eine Abschreckbrause ersetzt oder das Werkstück in ein Abschreckbad getaucht. Dieses Verfahren wird vorrangig zum

Härten kleinerer Flächen angewandt und eignet sich gut für Serienteile. Beim Umlaufhärten rotiert das rotationssymmetrische Werkstück während der gesamten Prozessfolge. Anwendungsfälle sind Rollen, Walzen und Kugellagerringe. Bei der Vorschub- oder Linienhärtung wird im Verhältnis zum gesamten Werkstück in der Regel nur ein schmaler Streifen erwärmt und nachfolgend abgeschreckt. Anwendungsbeispiele sind Führungsschienen, Matrizen und Laufbahnen an Maschinenbetten. Beim Umlauf-Vorschubhärten werden zylindrische Teile durch einen Ring- oder Segmentbrenner im Vorschub erwärmt und unmittelbar mit einer Brause gleicher Form abgeschreckt. Das Vorschub-Schlupfhärten erfolgt in gleicher Weise wie bei der Induktionserwärmung, nur dass die Kombination Induktor/Brause durch eine feststehende Einheit Brenner/Brause ersetzt wird. Am Übergang zwischen Anfang und Ende der Härtezone tritt wiederum ein Härtetal auf, das bei der konstruktiven Gestaltung der Bauteile berücksichtigt werden muss. Speziell bei Großlaufrädern hat ein in der Härtereie Bochum entwickeltes Verfahren in der Praxis an Bedeutung gewonnen. Durch Erzeugung eines speziellen

Randschichtverbundes können damit Laufräder mit optimalen werkstofftechnischen Eigenschaften erzeugt werden. Diese Großlaufräder besitzen eine äußere Schale aus martensitischen Gefüge, die durch eine isotherme Umwandlung eine Stützschaale aus einem zähartigen Gefüge der unteren Bainitstufe bekommt. Diese zähharte Kombination in der Laufschaale erhöht die Anrisslastwechselzahl und verringert die Rissausbreitung. Die Lebensdauer der Laufräder konnte dadurch um ein Vielfaches erhöht und das Ausfallrisiko minimiert werden.

### 3 Nachbearbeitungsverfahren

Da die beim Induktions- und Flammhärten erzielten martensitischen Randschichten relativ spröde sind, wird üblicherweise der Randschichthärtung ein Entspannen oder Anlassen nachgeschaltet. Diese Anlassbehandlung erfolgt in einem Temperaturbereich von 120 bis 150 °C und wird in der Regel konventionell in widerstandsbeheizten Öfen durchgeführt. Es ist aber auch ein Entspannen aus der Restwärme möglich. Mehr und mehr setzt sich bei Serienbauteilen auch ein induktives Kurzzeitanlassen durch. Die Entscheidung hierfür muss bauteilspez-

DIN-Bezeichnung	Werkstoff-Nr.	Härte an den oberflächengehärteten Zonen HRC	Einhärtungstiefe (Rht)			
			max. 2 mm	max. 4 mm	max. 6 mm	>6 mm
C 35	1.0501	48-52		x		
35 S 20	1.0726	48-52		x		
Ck 35	1.1181	48-52		x		
Cf 35	1.1183	48-52		x		
C 45	1.0503	55-60		x		
45 S 20	1.0727	55-60		x		
Ck 45	1.1191	55-60		x		
Cf 45	1.1193	55-60		x		
Cf 53	1.1213	58-62		x		
60 S 20	1.0728	58-62		x		
Ck 60	1.1221	60-64		x		
Cf 70	1.1249	60-64		x		
79 Ni 1	1.6971	60-64		x		
36 Mn S	1.5067	52-57		x		
40 Mn 4	1.5038	53-58		x		
37 MnSi 5	1.5122	55-58			x	
38 MnSi 4	1.5120	54-59			x	
46 MnSi 4	1.5121	57-61			x	
53 MnSi 4	1.5141	58-62			x	
45 Cr 2	1.7005	55-60			x	
34 Cr 4	1.7033	51-56			x	
37 Cr 40	1.7034	52-58			x	
38 Cr 4	1.7043	52-58			x	
41 Cr 4	1.7035	54-59			x	
42 Cr 4	1.7045	54-59			x	
34 CrMo 4	1.7220	52-56			x	
41 CrMo 4	1.7223	54-59			x	
42 CrMo 4	1.7225	54-59			x	
49 CrMo 4	1.7238	56-62			x	
50 CrMo 4	1.7228	56-62			x	
50 Cr V 4	1.8159	57-62				x
58 Cr V 4	1.8161	59-64				x
30 CrNiMo 8	1.6580	50-55				x
34 CrNiMo 6	1.6582	52-57				x
36 CrNiMo 4	1.6511	53-58				x
X 41 CrMo V 5.1	1.2344	55-59			x	
86 CrMo V 7	1.2327	60-64				x
X 20 Cr 13	1.2082	48-53			x	
X 40 Cr 13	1.2085	55-58			x	
X 90 CrMo V 18	1.4112	55-59				x
X 90 CrCoMo V 17	1.4535	55-59				x
X 105 CrMo 17	1.4125	55-60			x	
100 Cr 6	1.3505	60-65			x	
X 45 CrSi 9 3	1.4718	55-60	x			
X 80 CrNiSi 20	1.4747	52-55	x			
GG - 25	0.6025	48-52	x			
GTS - 45		50-58	x			
GTS - 65		55-60	x			
GGG - 60	0.7060	52-60	x			
GGG - 70	0.7070	55-62	x			

Tabelle: Erreichbare Oberflächenhärten und Eindhärtungstiefen für randschichthärtbare Stähle und Gusseisenwerkstoffe

fisch gefällt werden. Das Entspannen oder Anlassen führt zur Umwandlung des tetragonalen Martensits in kubischen Martensit und ab einer Anlasstemperatur > 240 °C auch zur Umwandlung des Restaustenits. Eine Restaustenitumwandlung kann auch durch ein Tiefkühlen nach der Randschichthärtung mit anschließendem Anlassen bei niedriger Temperatur ohne wesentliche Härteverluste erreicht werden. Ein typisches Beispiel dafür sind induktiv im Vorschubverfahren gehärtete Kaltwalzen. In begrenztem Maße lassen sich durch Nacharbeit auch Verzüge durch Richten der randschichtgehärteten Teile korrigieren. Das Richten kann vor oder nach dem Entspannen oder Anlassen erfolgen. Richtverfahren sind Dengeln, Richten und Pressen in einer Richtmaschine oder auf einer Richtbank. Langjährige Erfahrungen entscheiden hier oft über Erfolg oder Misserfolg. Zum exakten Richten von großen Bau-

teilen wurde die Härterei Reese in Bochum mit der größten Präzisionsrichtpresse Deutschlands ausgerüstet. Mit einer maximalen Presskraft von 8000 kN erlaubt die digital gesteuerte Richtpresse das Richten hochfester Bauteile mit über 300 mm Durchmesser und maximal 10 m Länge. Dabei wird eine Richtgenauigkeit von 0,02 mm erreicht.

#### 4 Schlussbetrachtung

Einen hohen Stellenwert hat in den Härtereien Reese, deren Qualitätsmanagement nach DIN EN ISO 9001 zertifiziert ist, die Qualitätssicherung. So werden auch alle randschichtgehärteten Teile einer strengen Ausgangskontrolle unterzogen. Dazu gehören neben der Kontrolle der erreichten Oberflächehärte, die Bestimmung der Einhärtungstiefe nach DIN 50 190 an Musterteilen, diverse Rissprüfungen und metallographische Untersuchungen. Leider wird von den Konstrukteuren der Rand-

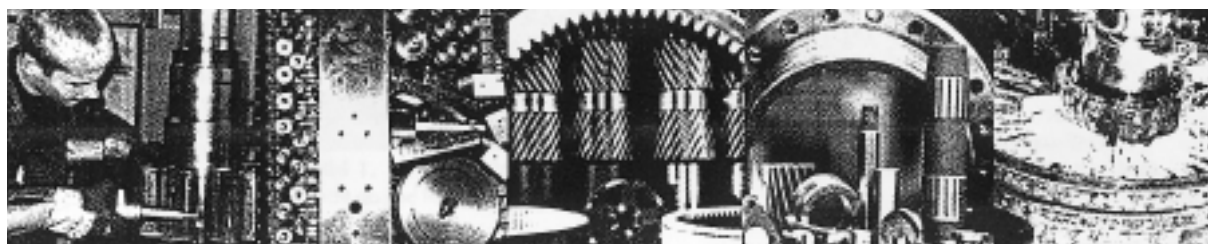
schichthärtung immer noch zu wenig Bedeutung beigemessen. In direkter Konsultation mit den Wärmebehandlungsfachleuten ist diese Hemmschwelle aber leicht zu überwinden. So können z. B. gegenüber der konventionellen Einsatzhärtung durch Einsatz moderner Randschichthärtetechnik und entsprechendem Know-how auf diesem Gebiet viele Wärmebehandlungsaufgaben besser und kostengünstiger gelöst werden.

#### Literaturhinweise:

- [1] Brochhoff, T.; Brinkmann, E.: Prozeßintegrierte Wärmebehandlung durch Schleifhärten. HTM 54 (1999) 2, S. 117-121
- [2] Liebmann, G.: Induktionshärtungsschichten. Verschleißkatalog 1997, Arbeitsblatt 1.3
- [3] Prospektunterlagen der Elotherm GmbH, Remscheid

### Autor dieses Beitrags

Dr.-Ing. G. Liebmann, geb. 1932, studierte extern Werkstofftechnik an der Bergakademie Freiberg und promovierte an der gleicher Ausbildungsstätte im Jahr 1979. Bis 1991 war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Werkstofflabor des VEB Carl Zeiss Jena (später Jenoptik GmbH) tätig und leitete dort das Fachgebiet Wärmebehandlung. Ende 1991 übernahm er die technische Leitung der Härterei Reese Weimar GmbH & Co. KG und ist dort seit 1992 als Prokurist tätig. 1996 wurde er in den Vorstand der AWT gewählt.



Härterei Reese Bochum  
GmbH  
Oberscheidstraße 25  
44807 Bochum

**Informations-Service:**  
Tel. (02 34) 90 36-50  
Fax (02 34) 90 36-96  
info@haerterei.com



Härterei Reese Brackenheim  
GmbH  
Gaswerkstraße 17  
74336 Brackenheim

**Informations-Service:**  
Tel. (0 71 35) 97 403-0  
Fax (0 71 35) 96 02 66  
haerterei.reese.brackenheim  
@t-online.de



Härterei Reese Chemnitz  
GmbH & Co. KG  
Otto-Schmerbach-Straße 19  
09117 Chemnitz

**Informations-Service:**  
Tel. (03 71) 8 15 83-0  
Fax (03 71) 8 15 83-49  
haerterei.reese.chemnitz  
@t-online.de



Härterei Reese Weimar  
GmbH & Co. KG  
Kromsdorfer Straße  
99403 Weimar

**Informations-Service:**  
Tel. (0 36 43) 48 09-0  
Fax (0 36 43) 48 09-87  
ReeseWei@aol.com