



Das Eldec-SDF- Randschichthärteten Ein revolutionäres Induktionshärteverfahren

Die Induktionshärtetechnik befindet sich in einer kreativen Phase, die durch eine Erweiterung des Anwendungsspektrums gekennzeichnet ist. Während sich die derzeitige Praxis, insbesondere im Automobilbau, auf das induktive Randschichthärteten bestimmter Baugruppen mit vorwiegend ebenen oder leicht gekrümmten Oberflächen beschränkt, beschreibt dieser Beitrag eine von der Eldec Schwenk Induction GmbH entwickelte neue Methode, mit der auch unebene Oberflächen konturengetreu induktiv randschichtgehärtet werden können.

1 Einleitung

Seit Jahrzehnten werden verschiedene Kfz-relevante Bauteile wie Gelenkwellen, Kurbelwellen usw., aber auch Kugelnzapfen, Kugellager „normal“ induktiv randschichtgehärtet, die Liste kann beliebig verlängert werden. Stark konvex/konkav geformte Oberflächenstrukturen, wie sie zum Beispiel bei Zahn- oder Kettenrädern typisch sind, konnten dagegen bisher nicht oder nur unzureichend konturengetreu randschichtgehärtet werden. Sie werden deshalb zum größten Teil im Einsatzverfahren randschichtgehärtet. Ziel des Randschichthärtens ist ja, sowohl einen hohen Verschleißwiderstand als auch eine hohe Zahnfußfestigkeit zu erreichen, aber auch dem Kern genügend Elastizität dadurch zu verleihen, dass er nicht mitgehärtet wird. Andernfalls wäre die Bruchgefahr zu groß. Das ist der derzeitige Stand der Technik. Seit 1997 ist es nun erstmalig möglich, bestimmte Profiloberflächen mit dem induktiven Eldec-SDF-Härteverfahren (Simultaneous Dual Frequency Hardening Process) konturengetreu randschichtzuhärten.

Allerdings bedarf es dazu bestimmter, von Eldec entwickelter Energiequellen, den so genannten SDF-Generatoren. Mit deren Hilfe werden die zu induzierenden Energieanteile, hier Hochfrequenz (HF-) mit 150 bis 350 kHz und Mittelfrequenz (MF-Energie) mit 10 bis 15 kHz, zeitgleich, also simultan, auf die zu härtenden Werkstückzonen übertragen. Mit diesem Eldec-SDF-Verfahren wurden eine Reihe von verschiedenen Zahn-, Ketten- und Schneckenrädern sowie anderen Bauteile mit großem Erfolg konturengetreu randschichtgehärtet [1] bis [8].

Das seit mehr als 60 Jahren bekannte „normale“ Randschichthärtens mit induktiver Erwärmung wird mit großem Erfolg meist bei Bauteilen eingesetzt, die ebene beziehungsweise kreisrunde Oberflächen aufweisen [9]. Bei Werkstücken mit zunehmend konkav/konvexer Kontur ist es schwierig, wenn nicht sogar unmöglich, eine gewünschte gleichmäßige Randhärteschichttiefe entlang der wechselnden Kontur zu erreichen. Besonders deutlich wird dies durch das alte, im Prinzip bis vor kurzem noch weitgehend ungelöste Problem des Härtens von gezahnten Rädern, insbe-

1 Einleitung

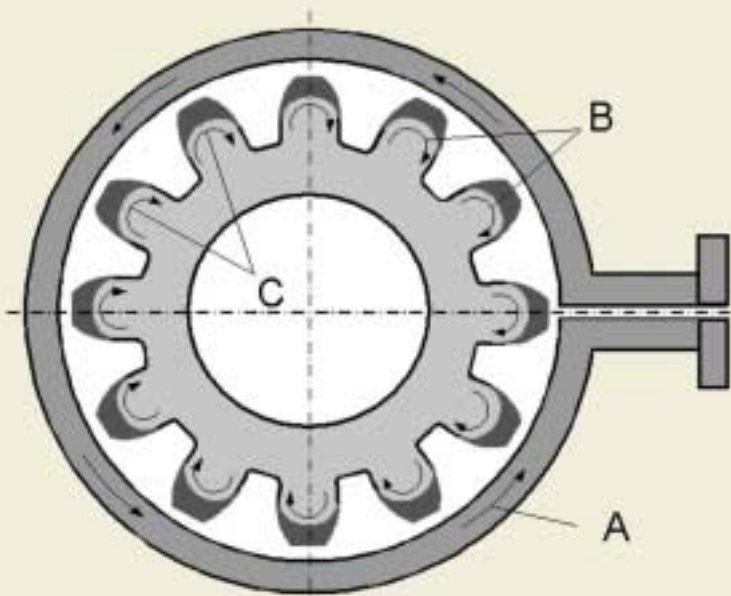


Bild 1: Erwärmung eines Zahnrads im Allzahnverfahren mit einer höheren Frequenz (HF). Hierbei werden lediglich die Zahnspitzen erfasst. A) HF-Induktorstrom, B) Zahnspitzen erwärmen sich bei HF zuerst. Sie können wie einzelne Werkstücke betrachtet werden, C) induzierte HF-Ströme

Figure 1: Heating of a gearwheel with high frequency (HF) using the all-teeth-method. Here only the tips of the tooth are affected. A) HF inductor current, B) using HF the tips of the tooth are first being heated. They can be considered as individual workpieces, C) induced HF-currents

Die Autoren



Dipl.-Ing. Andreas Häußler ist verantwortlich für die Entwicklung von Generatoren für die induktive Erwärmung bei der Eldec Schwenk Induction GmbH.



Ing. Andreas Heiliger entwickelt für die Eldec Schwenk Induction GmbH Komponenten für die Leistungselektronik.



Dipl.-Ing. Hubertus Jehnert ist im technischen Vertrieb der Eldec Schwenk Induction GmbH für die Ausarbeitung, Realisierung und Betreuung kundenspezifischer Applikationen für die induktive Erwärmung zuständig.



Dipl.-Ing. Hans-Joachim Peter leitet die Außenstelle Berlin der Eldec Schwenk Induction GmbH.



Dipl.-Ing. Wolfgang Schwenk ist Geschäftsführer der Eldec Schwenk Induction GmbH.



Bernhard Wilding ist zuständig für die Anwendungstechnik und den Vertrieb von Systemapplikationen bei der Eldec Schwenk Induction GmbH.

sondere Zahnräder im Allzahnverfahren. Denn: Werden beim Härten von Zahnrädern im Allzahnverfahren mit hohen Frequenzen (HF) die Zahnspitzen gut erfasst, dann wird der Zahngrund, wie in **Bild 1** dargestellt, nicht genügend miterwärmt. Der umgekehrte Fall beim Einsatz von MF: Der Zahngrund wird gut erfasst, die Zahnflanken und der Zahnkopf dagegen nicht oder nur wenig (die Wirbelströme heben sich in ihrer Wirkung der gegenüberliegenden Flanken auf, sie wirken ausschließlich im Zahngrund, **Bild 2**).

1 Einleitung

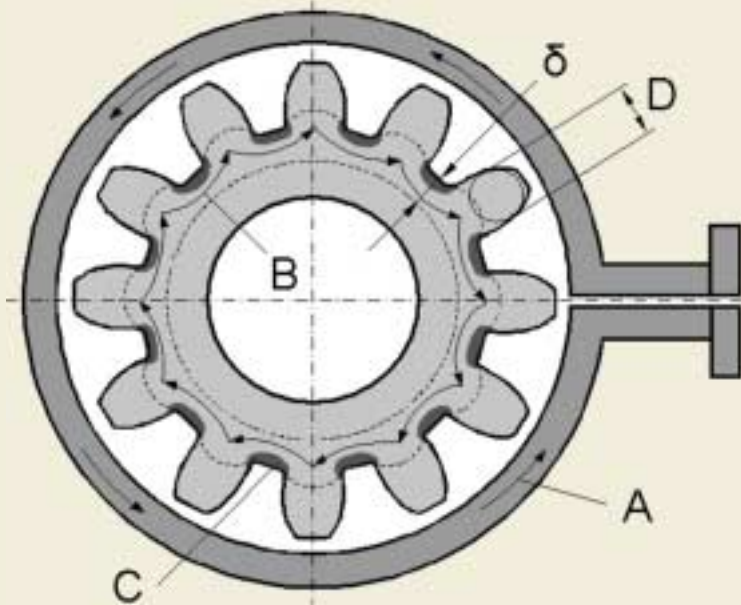


Bild 2: Erwärmung eines Zahnrads im Allzahnverfahren mit einer niedrigeren Frequenz (MF). Hierbei wird nur der Zahngrund erfasst. In den Zähnen kann keine Energie umgesetzt werden, da die Zahndicken im Verhältnis zum Eindringmaß σ zu klein sind. A) MF-Induktorstrom, B) induzierter MF-Strom, C) Erwärmung nur im Zahngrund möglich, D) Zahndicke im Vergleich zu einem Rundteil zu klein, bezogen auf das Eindringmaß σ bei MF
Figure 2: Heat-treatment of a gearwheel using lower frequency (MF). Here the root of the tooth is affected. Into the tips no energy can be transferred, as the thickness of the teeth is too small in proportion to the penetration measure σ . A) MF inductor current, B) induced MF-current, C) heating only possible in the root of the tooth, D) thickness of tooth too small in proportion to a circular part, related to the penetration measure σ using MF

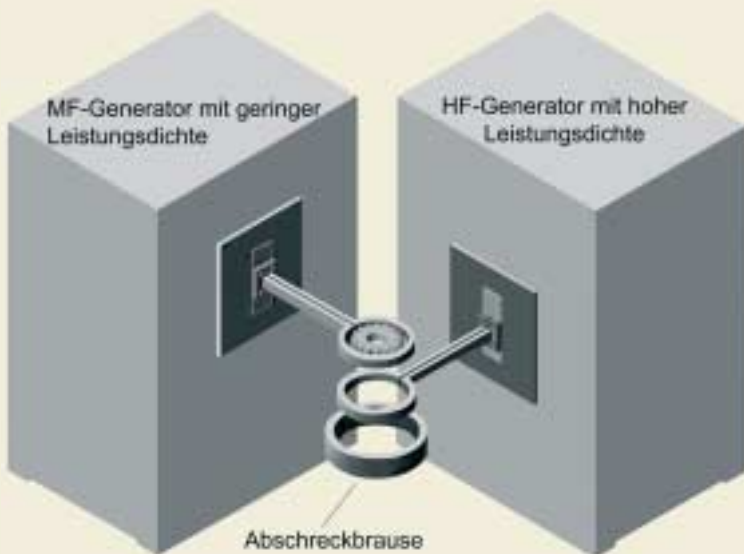


Bild 3: Im oberen Induktor wird ein Zahnrad vorgewärmt und im unteren enderwärmt

Figure 3: In the inductor shown in the top a gearwheel is pre-heated and in the bottom inductor it is finally heated

Zu diesen Fakten kommt dann noch in entscheidendem Maße die Bedeutung der Wärmeleitung im zu härtenden Bauteil hinzu. Wenn bei einem Zahnkopf von beiden Seiten eingewärmt wird, läuft die Wärme sehr schnell in den Zahnkern und wärmt den Zahn durch. Wird hingegen im Zahnfußbereich Energie eingekoppelt, fließt die entstehende Wärme durch die konkave Form radial in den hinteren Zahnfußbereich, sie vermindert sich sehr schnell und reicht dann für eine Austenitisierung nicht mehr aus. Dem kann nur entgegengewirkt werden, indem zum einen bei hoher Leistungsdichte die Einwärmzeit extrem kurz gehalten wird (hohe Energiekonzentration), und zum anderen wegen der unterschiedlichen Wirkungsgrade des Zahnkopf- und Zahnfußbereichs im Zahnfußbereich mehr Energie erzeugt wird als im Zahnkopfbereich. In der Vergangenheit hat man aber immer wieder das Problem des konturengetreuen Härtens von Zahnrädern im Allzahnverfahren zu lösen versucht. So erwähnt Benkowsky [9] das so genannte Duplex- oder Doppelfrequenzverfahren, bei dem das zu härtende Zahnprofil eines Zahnrades zunächst mit MF auf etwa 700 °C aufgeheizt wird und nach einer Durchwärmepause über einen HF-Generator durch kurzen HF-Impuls enderwärmt wird. Das Temperaturgefälle zum Kern des Rades ist nach dem Durchwärmen nicht mehr so groß, so dass bessere Härteergebnisse erreicht werden können. Ein ähnliches Verfahren wird in [10] beschrieben. Hier wird das zu härtende Zahnrad ebenfalls mit zwei in Frequenz und Leistungsdichte unterschiedlichen Generatoren bearbeitet. Das zu härtende Zahnrad wird dabei mit Mittelfrequenz und geringer Leistungsdichte ebenfalls vorgewärmt, links im **Bild 3**. Danach wird es schnell in den darunter positionierten HF-Induktor bewegt und austenitisiert, rechts im Bild 3.

Ein etwas leichter zu beherrschendes Verfahren ist das in [9] beschriebene so genannte Zweileistungsverfahren. Hier wird das zu härtende Zahnprofil mit einer relativ geringen Leistungsstufe auf etwa 600 °C mit HF durchgewärmt und nach einer Wärmeausgleichszeit kurzzeitig auf eine höhere (maximale) Leistungsstufe umgeschaltet und abgeschreckt. Mit diesen Allzahnhärtverfahren sind durchaus gewisse Anfangserfolge erzielt worden; für untergeordnete Einsatzfälle sind die Härteergebnisse auch akzeptabel, aber für hoch beanspruchte Zahnräder, die eine konturengetreue Randschichthärtetiefe erfordern, wie sie zum Beispiel das Einsatzhärten bietet, können diese Methoden nicht konkurrieren.

2 Das Eldec-SDF-Verfahren

Die neue, von Eldec angestrebte Generatorentwicklung zur Realisierung einer simultanen Energieübertragung zweier unterschiedlicher Frequenzen mit zuzuordnenen individuellen Leistungsdichten auf einen Induktor führte zielgerichtet zu einer Lösung, die aus zwei Schwingkreisen (HF und MF) und einer Stromversorgung besteht und über einen Leistungsausgang besitzt. Das bedeutet, dass beide Frequenz/Leistungs-Anteile über einen Induktor simultan auf das Werkstück wirken können. Der Aufbau des Doppelumrichters entspricht dem von normalen Transistorumrichtern. Da die Leistung für beide Frequenzbereiche getrennt steuerbar ist, kann der Anteil der MF- und der HF-Leistung je nach Aufgabenstellung individuell variiert werden, das heißt, der jeweilige Leistungsanteil kann je nach Forderung des Bauteils optimal eingestellt und damit eine gleichmäßige Randhärteschichttiefe im Zahnfuß und in der Zahnflanke erreicht werden.

Die dafür von Eldec entwickelte SDF-Generatorenreihe umfasst derzeit die Leistungsgrößen bis 1000 kW. Durch die IGBT-Transistortechnik mit Pulsweitenmodulation (PWM) beim MF-Umrichterteil mit einem Frequenzbereich von 10 bis 25 kHz beziehungsweise Pulspaketsteuerung (PPS) beim HF-Umrichterteil mit einem Frequenzbereich von 150 bis 350 kHz ist bei automatischer Anpassung über den gesamten Frequenzbereich ein hoher Wirkungsgrad gegeben. Das Amplitudenverhältnis der MF- und HF-Leistung ist dabei stufenlos zwischen 2 und 100 % einstellbar [11].

Um eine konturengetreue Härtung des Zahns ohne eine Beeinflussung des Kerns zu erreichen, ist eine sehr kurze Heizzeit erforderlich, die im Allgemeinen zwischen 0,1 und 1 s liegt. Das Leistungsverhältnis Zahnfuß- zu Zahnkopfbereich kann dabei etwa zwei zu eins betragen. **Bild 4** zeigt ein Getriebezahnrad aus 36CrNiMo4 mit den Abmessungen Kopfkreisdurchmesser 47,5 mm, Modul 1,75 mm, Breite der Verzahnung 18 mm, Zähnezahl = 27. Es kam hier eine SDF-Gesamtleistung von 490 kW zum Einsatz. Die Gesamtheizzeit betrug 0,16 s. Bei diesem Verfahren wird lediglich das Volumen aufgeheizt, das zur Martensitbildung erforderlich ist. Im Gegensatz dazu muss beim Einsatzhärten das gesamte Volumen des Zahnrades über mehrere Stunden bei zirka 900 °C aufgekühlt werden. Das bedeutet, dass die gesamte Oberfläche in der aufgekühlten Schicht gehärtet wird, also auch die Bohrungs- und die seitlichen Bereiche. Dies kann nur mit zusätzlichen Maßnahmen verhindert werden, indem diese

2 Das Eldec-SDF-Verfahren

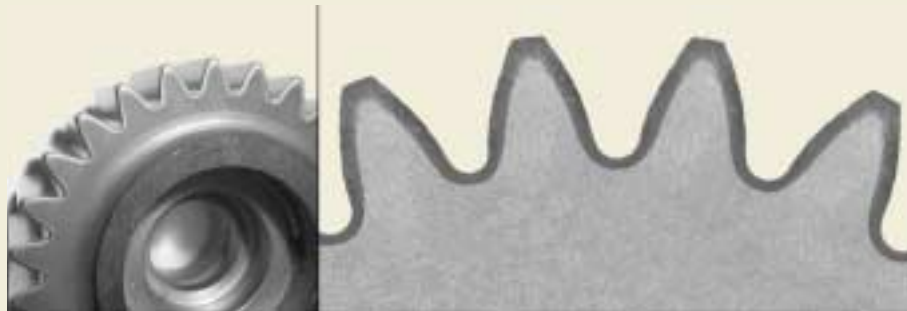


Bild 4: Kleines Getriebestirnrad mit einem Kopfkreisdurchmesser von 47,5 mm, gehärtet mit dem Eldec-SDF-Verfahren, Heizzeit 0,16 s, Leistungseinsatz 490 kW
 Figure 4: Small spur wheel with a tip diameter of 47.5 mm, hardened with the Eldec SDF-method, heating time 0.16 s, power input 490 kW

3 Einsatz im Automobilbau



Bild 5: Schrägschliff einer im Eldec-SDF-Verfahren gehärteten Schneckenwelle mit einem Durchmesser von 32,6 mm. Eingesetzte Leistung 400 kW MF + 166 kW HF bei einer Heizzeit von 0,35 s
 Figure 5: Diagonal microstion of a worm shaft hardened with the Eldec SDF-method with a diameter of 32.6 mm. Power input 400 kW MF + 166 kW HF at a heating time of 0.35 s

Schichten vor dem Aufkohlen abgedeckt oder nach dem Aufkohlen mechanisch entfernt werden.

Es ist offensichtlich, dass nicht nur der Energieaufwand beim Einsatzhärten gegenüber dem induktiven SDF-Verfahren unvergleichlich höher ist, sondern auch zusätzliche Arbeitsgänge notwendig sind. Durch den vergleichsweise sehr geringen

Energieeinsatz verringern sich auch Nacharbeiten zum Beispiel zur Beseitigung von Formänderungen durch den Härtevorgang. So kann unter Umständen auf das Schleifen verzichtet werden. Da eine induktive SDF-Härteanlage von zum Beispiel 1000 kW nur einen Platzbedarf von etwa 20 m² benötigt und unmittelbar in den Produktionsprozess integriert werden kann, entfallen logisti-

sche Aufwendungen, wie sie beim Einsatzhärten standardmäßig vorhanden sind.

Unter der Voraussetzung einer gleichen Qualität der Härteschichten zwischen dem Einsatzhärten und dem neuen Eldec-SDF-Härten, und davon kann man ausgehen, bietet dieses neue induktive Härteverfahren bedeutende Vorteile sowohl in technisch-wirtschaftlicher als auch in ökologischer Hinsicht. Natürlich können beim SDF-Härten nicht die gleichen Stähle verwendet werden wie beim Einsatzhärten. Während beim Einsatzhärten der für die Austenitisierung erforderliche Kohlenstoff erst durch den langwierigen Aufkohlungsprozess eingebracht werden muss, ist er bei den induktionshärtbaren Stählen bereits von vornherein darin enthalten.

3 Einsatz im Automobilbau

Beim Randschichthärten von Getrieberädern für den Automobilbau ist neben der Steigerung der Verschleiß- und Dauerfestigkeit auch die Formänderung aufgrund des Härtens von großer Bedeutung. Diese Formänderung, die sich als Geräusentwicklung auswirkt, entsteht durch freigesetzte Bearbeitungs- und Umwandlungsspannungen. Sie ist umso größer, je mehr Werkstoffvolumen erwärmt und umgewandelt worden ist. Dieser Zusammenhang zwischen Härteverzug und erwärmtem Volumen gilt gleichermaßen auch für die Erwärmungszeit. Das bedeutet, je kürzer bei einer gegebenen Randhärteschichttiefe die Erwärmungszeit ist, umso geringer ist der Wärmeabfluss und damit der Anteil an gelösten Spannungen. Diese Forderungen kann das neue Eldec-SDF-Härteverfahren in vollem Maße erfüllen. Eine interessante Anwendung des Eldec-SDF-Verfahrens stellt neben dem konturengetreuen Randschichthärten von Stirn- und Kegelrädern (gerad- und schrägverzahnt) das konturengetreue Randschichthärten von Schneckenwellenprofilen dar. Das Beispiel nach **Bild 5** zeigt im Schrägschliff die Einhärtung einer Schneckenwelle mit dem Durchmesser von 32,6 mm. Bei einer SDF-Gesamtleistung von 566 kW bei einer Heizzeit von 0,35 s wurde eine konturengetreue Einhärtung erreicht.

Dem induktiven Härten von Kettenrädern für die Motorsteuerung wird ebenfalls große Beachtung geschenkt. So gibt man sich derzeit mit Härteergebnissen zufrieden, die mit dem Eldec-SDF-Verfahren stark verbessert werden könnten. Das Beispiel im **Bild 6** zeigt den deutlichen Unterschied. So stellt das Bild oben den bisherigen Stand bei der Einhärtung dar, während das Ergebnis unten keine Wünsche mehr offen lässt. Hinzu kommt, dass der Energieeinsatz we-

3 Einsatz im Automobilbau

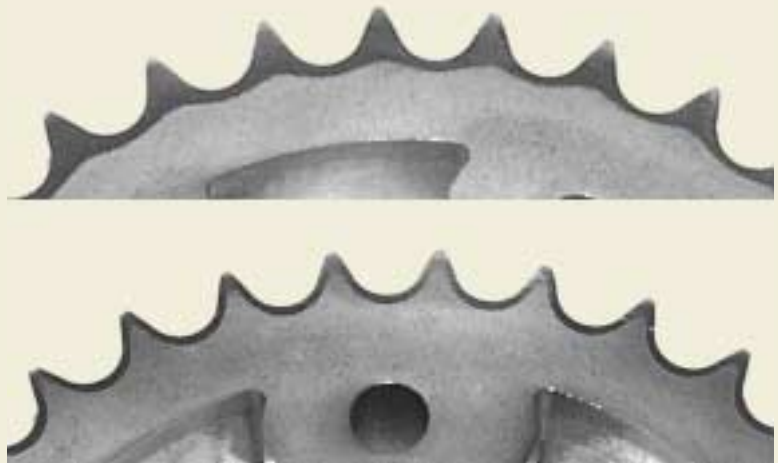


Bild 6: Vergleich der Einhärtung mit dem Einfrequenzverfahren (oben) und dem Eldec-SDF-Verfahren (unten) – bei dem Einfrequenzverfahren wurde mit 16 kW MF in 4,2 s aufgeheizt (etwa 75,3 kW), während bei dem Eldec-Verfahren 160 kW MF + 80 kW HF in 0,2 s aufgeheizt worden ist (etwa 53,8 kW)

Figure 6: Comparison of the hardening depth with the one-frequency method (top) and the Eldec SDF-method (bottom) – in the first case heated with 16 kW in 4.2 s (approx. 75.3 kW), in the Eldec method heated with 160 kW MF in 0.2 s (approx. 53.8 kW)



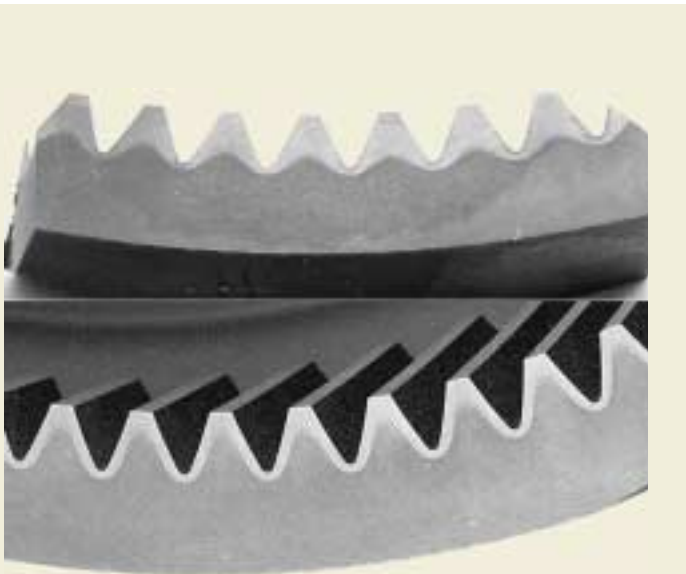
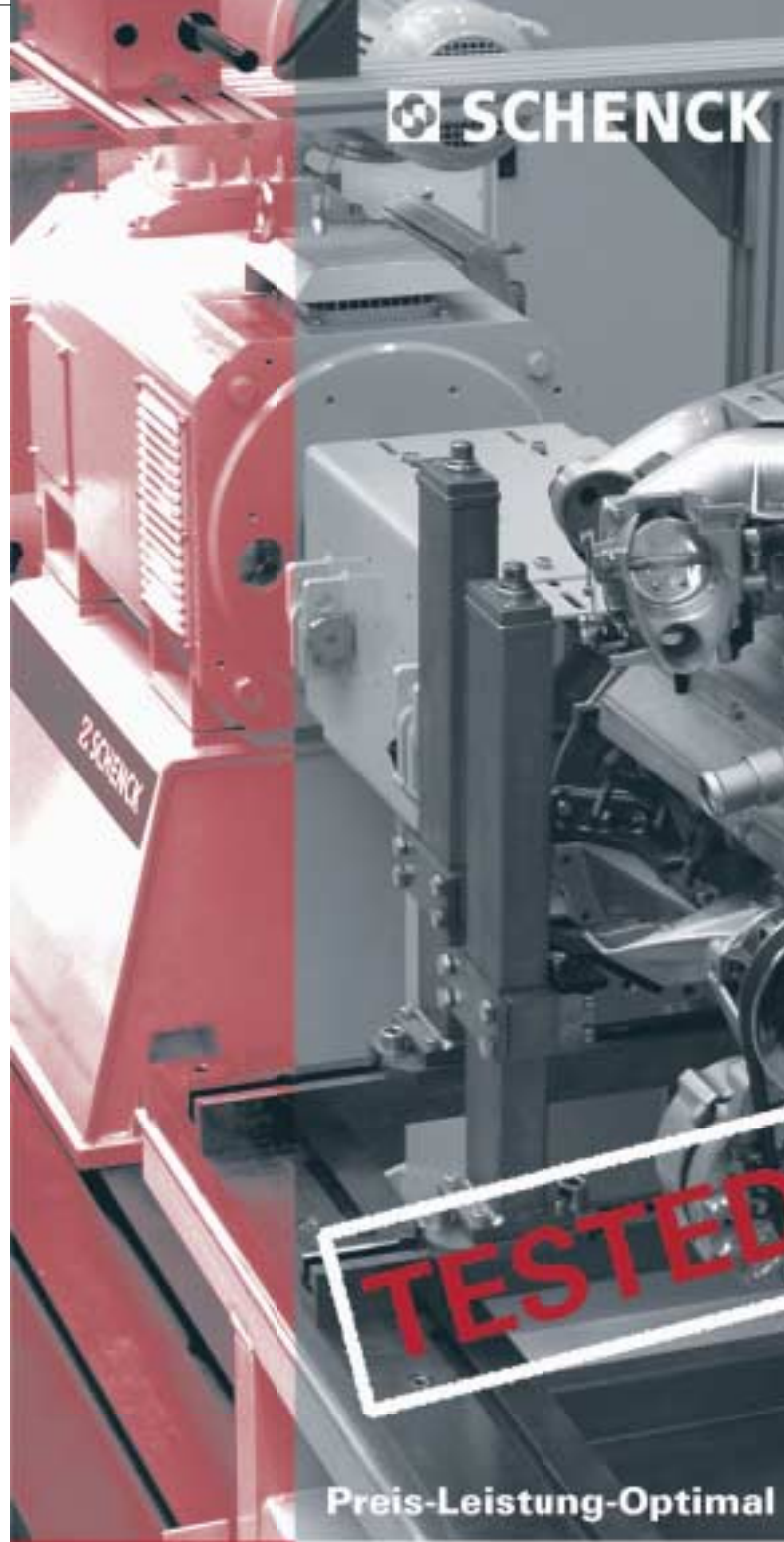


Bild 8: Härtebilder von induktiv gehärteten Hohlradern für Planetengetriebe gleicher Abmessung; oben nach dem Internal Gear-Micropuls-Verfahren mit 450 kW in 12 s, unten nach dem Eldec-SDF-Härten mit insgesamt 820 kW HF + MF simultan in 0,32 s (siehe Titelbild)
Figure 8: Hardening pictures of inductively hardened internal gearwheels for planet gears of same size; top with the Internal Gear Micropuls method with 450 kW in 12 s, bottom utilizing the Eldec SDF hardening method with altogether 820 kW HF + MF simultaneously in 0.32 s (see Title Figure)

Bild 7: Vollautomatisch arbeitende Härteanlage zum SDF-Randschichthärten von Kettenrädern mit einem 300-kW-Eldec-SDF-Generator Typ SDF 300 DA. Oben ist hinten links der SDF 300 DA zu sehen, im Vordergrund ein Kettenförderer in zwei Linien für die zu härtenden Werkstücke. Der Kettenförderer ganz rechts transportiert die gehärteten Kettenräder zur weiteren Bearbeitung. Unten sind die beiden Induktoren mit eingekoppelten Kettenrädern und Abschreckbrausen zu erkennen
Figure 7: Fully-automatic hardening machine for SDF surface hardening of sprockets with a 300 kW Eldec SDF generator, type SDF300 DA. Top the SDF300 in the back left side, in the foreground a chain conveyor is shown with two tracks for the workpieces to be hardened. The chain conveyor far right conveys the hardened sprockets to the next working station. Bottom the two inductors with the inserted sprockets and quenching showers



SCHENCK
 Development Test Systems

Phone contact:
 Germany: +49 / 81 51 / 32 33 88

USA: +1 / 248 / 8 88 80 00

UK: +44 / 19 25 / 61 23 41

China: +86 10 / 95 12 35 95

E-mail: pogoss@schenck.net

Website: www.schenck-its.com

Besuchen Sie uns auf der Testtag
 Expo: Halle 4, Stand Nr. 4302

Preis-Leistung-Optimal

Die TITAN Serie wurde speziell für höchste Anforderungen in der Motorenprüfung entwickelt. Ob Dauerlauf- oder Kennfelderfassung, Fahrer- und Fahrzeugnachbildung oder hochdynamische Prüfzyklen, mit der TITAN Serie entscheiden Sie sich für das beste Preis-Leistungsverhältnis. Die sichere Handhabung des Gesamtsystems wird durch das Automatisierungssystem STARS garantiert. So verbindet sich neueste Automatisierungstechnik mit bewährtem Prüfstandbau zu einer neuen Systemgeneration - TITAN.

TITAN

The evolution of Testing Technology.

The **QUART** Group

sentlich verringert werden konnte (die unterschiedlichen Ätzbilder lassen diese Tendenz erkennen). Ein Beispiel für eine Härteanlage zum SDF-Härten von Kettenrädern zeigt **Bild 7** oben. Ein Eldec-SDF-Generator Typ SDF 300 DA (300 kW mit zwei Leistungsausgängen), Mitte links im Bild, speist eine vollautomatisch arbeitende Härteanlage, jeweils zwei Werkstücke kurz hintereinander. Links werden auf zwei Bahnen die Werkstücke zugeführt; rechts die gehärteten Kettenräder automatisch auf ein Band gelegt und weitertransportiert. Bild 7 unten zeigt die Härtestation mit den Induktoren und Abschreckbrausen.

Auch bei Innenverzahnungen von Hohlrädern für Planetengetriebe wurden hervorragende Härteergebnisse erreicht. Im Vergleich zum aktuell eingesetzten Internal-Gear-Micropuls-Induktionshärteverfahren als derzeitigem Stand der Technik und dem Eldec-SDF-Härten sind im **Bild 8** die Unterschiede bei einem Hohlrad mit dem Kopfkreisdurchmesser 112,5 mm und Modul 2 mm klar zu erkennen. Während oben die Einhärtung bis weit über den Teilkreis hinausgeht, erreicht die Einhärtung unten nicht mal den Teilkreis. Oben wurde mit 450 kW HF 12 s geheizt und nach dem Eldec-SDF-Verfahren 820 kW (HF + MF simultan) in nur 0,32 s Aufheizzeit das Härteergebnis wie unten erreicht.

Aus den gezeigten Beispielen ist bereits zu erkennen, dass der Leistungsbedarf für das Eldec-SDF-Verfahren aufgrund der kurzen Erwärmzeiten relativ hoch ist. Diese kurzen Heizzeiten sind jedoch notwendig, um an der Oberfläche der Verzahnung einen Wärmestau zu erreichen, ohne den der Zahn eines Zahnrades sofort durchhärten würde. Andererseits ist durch die kurzen Heizzeiten der Energiebedarf sehr gering. Die Abmessungsgrenzen liegen derzeit bei Modul 1,5 bis zirka 5, Zahnraddurchmesser von zirka 15 mm bis zirka 150 mm bei konturengetreuer Einhärtung, je nach Modul und Breite. Bei konturenähnlicher Einhärtung kann man bis etwa 300 mm (bei einer Leistungsgröße von 1000 kW) ausgehen. Allerdings hängt das in entscheidendem Maße von der Größe der zu härtenden Oberfläche ab. Als Beispiel für das konturengetreue Randschichthärten soll das kleine Zahnrad aus dem Bild 4 dienen. Das Zahnrad mit dem Durchmesser von 47,5 mm und einer Breite von 18 mm hat eine Oberfläche von etwa 48,6 cm². Das Rad wurde in zwei unmittelbar hintereinander ablaufenden Stufen aufgeheizt. In der ersten Stufe wurden 130 kW MF in 0,08 s und in der zweiten Stufe 360 kW HF + 130 kW MF (SDF) in ebenfalls 0,08 s aufgewendet. Die nominelle Generatorleistung betrug dabei maximal 490 kW, das heißt, für das

Härten war eine nominelle spezifische Generatorleistung von max. 10 kW/cm² ausreichend.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Das induktive Randschichthärteverfahren wird seit mehr als 60 Jahren mit großem Erfolg besonders im Automobilbau eingesetzt. So werden geringere Einhärtungstiefen mit HF (Hochfrequenz) und größere Einhärtungstiefen mit MF (Mittelfrequenz) erreicht. Bei komplexen konkav/konvex Oberflächenstrukturen wie Zahnrädern oder ähnlich geformten Bauteilen konnte sich die bisherige induktive Härtemethode nicht umfassend durchsetzen, da hier eine konturengetreue Einhärtung nicht oder nur unzureichend möglich ist. Durch die Entwicklung neuer Generatoren mit der Möglichkeit zweier unterschiedlichen Frequenzen (HF + MF), mit unterschiedlichen Leistungsanteilen gleichzeitig über einen Induktor auf das zu härtende Bauteil wirken zu lassen, konnte diese Lücke geschlossen werden. Mit dem Eldec-SDF-Härteverfahren können so seit kurzer Zeit Zahnräder und ähnlich geformte Oberflächenstrukturen mit hoher Qualität randschichtgehärtet werden. Insgesamt lassen sich beim Eldec-SDF-Härteverfahren gegenüber dem Einfrequenz-Härteverfahren mit HF- oder MF-Energie die nachfolgenden technisch-ökonomischen Vorteile ableiten:

- präzise Einwärmung – hohe Qualität der Härteschicht
- wesentlich kürzere Heizzeiten
- geringerer Energieverbrauch
- kürzere Abschreckzeiten
- weniger Abschreckmittel
- geringerer Verzug
- hohe Stückzahlen.

Beim Vergleich der Energieeinsätze des Eldec-SDF-Härteverfahrens mit dem Einsatzhärten fällt die Energiebilanz noch weitaus deutlicher aus. Während beim Einsatzhärten das gesamte Volumen des zu härtenden Werkstücks zum Aufkohlen über mehrere Stunden erwärmt werden muss (unter Umständen muss nach dem mechanischen Abarbeiten der aufgekohlten unerwünschten Schichten nochmals zum Härten das gesamte Volumen vollständig auf Austenitisierungstemperatur erwärmt werden), wird beim Eldec-SDF-Härteverfahren lediglich die gewünschte Härteschicht in kürzester Zeit aufgeheizt und abgeschreckt. Der Energieaufwand beträgt dadurch nur noch einen Bruchteil gegenüber dem Einsatzhärten, so dass hier gegenüber den oben genannten aufgezählten technisch-ökonomischen Vorteilen noch weitere hinzukommen:

- wesentlich geringerer Energieverbrauch
- wesentlich geringerer logistischer Aufwand
- wesentlich geringere Anlagenaufstellfläche
- geringere Investitionskosten.

Gegenwärtig wird beim Randschichthärten von Zahnrädern für hochbeanspruchten Einsatz fast ausschließlich das Einsatzhärten praktiziert. Das normale induktive Härteverfahren mit nur einer Frequenz, beziehungsweise auch das Zweifrequenz-Verfahren mit nacheinander wirkenden Frequenzanteilen, kann hier nicht zur Anwendung gelangen, da wegen der nicht zu erreichenden gleichmäßigen Randhärteschichttiefe die geforderten Qualitäten nicht erreicht werden können. Mit dem neu entwickelten induktiven Eldec-SDF-Härteverfahren steht jetzt ein neues und entscheidendes Einsatzgebiet bevor, das im Begriff ist, das Einsatzhärten in weiten Teilen ersetzen zu können und damit bei mindestens gleich hoher Qualität die Kosten drastisch zu reduzieren.

Literaturhinweise

- [1] Schwenk, W.: Konturengetreues induktives Härten von Pkw-Getriebezahnrädern. In: wt Werkstattstechnik Nr. 80 (1990), S. 609-610
- [2] Schwenk, W.; Peter, H.-J.: Anwendungen des Zweifrequenz-Simultan-Verfahrens zum induktiven Randschichthärten. In: Elektrowärme International, Nr. 1 (2002), S. 13-18
- [3] Schwenk, W.: SDF Induction Heating Provides Accurate Contour Hardening of PM Parts. In: Industrial Heating, Mai 2003, S. 51-53
- [4] Schwenk, W.: Simultaneous Dual-Frequency Induction Hardening. In: Heat Treating Progress April/Mai 2003, S. 35-38
- [5] Schwenk, W.: The Simultaneous Dual Frequency Method of Inductive Gear Hardening. Gear Solutions, May 2003
- [6] Schwenk, W.; Peter, H.-J.: Surface hardening using the simultaneous dual frequency method. In: Metallurgia, März/April 2003, S. 8-9
- [7] Peter, H.-J.: Das Zweifrequenz-Simultan-Härteverfahren (SDF-Verfahren) – eine neue Härtemethode. In: Elektrowärme International, Nr. 3 (2003), S. 105-108
- [8] Peter, H.-J.: Das induktive Randschichthärten mit dem Zweifrequenz-Simultan-Verfahren (SDF-Verfahren) – Anwendung und Erfahrungen. In: HTM 59 (2004), Nr. 2, S. 119-124
- [9] Benkowsky, G.: Induktionserwärmung, 5., stark bearbeitete Auflage. Verlag Technik GmbH, Berlin, 1990
- [10] Rudnev, V.; Loveless, D.; Cook, R.; Black, M.: Handbook of Induction Heating. Marcel Dekker, 2003, New York, Basel
- [11] Eldec-Katalog in www.Eldec.de

For an English version of this article, see **ATZ worldwide**
For information on subscriptions, just call us or send an email or fax.



ATZ

Wieweg Verlag, Postfach 1546, D-65773 Wiesbaden
Hotline 06 1178 78-151, Fax 06 1178 78-425
email: vieweg.service@gvw-fachverlage.de