

Härten XL: Induktionstechnik mit rotierender Kurbelwelle

von **Stefan Dappen, Dirk M. Schibisch**

Kurbelwellen werden in Verbrennungsmotoren eingesetzt, um die Hubbewegung des Pleuels im Zylinder in eine rotatorische Bewegung zum Antrieb der Achsen umzusetzen. Dabei treten im Betrieb Torsions- und Biegewechselbelastungen auf, die meist eine Wärmebehandlung der Kurbelwelle erfordern. Das induktive Härteverfahren mit rotierender Kurbelwelle hat sich dabei weltweit gegenüber konkurrierenden Methoden durchgesetzt und ermöglicht den Motorenbauern zudem eine hohe Flexibilität in Bezug auf verschiedene geometrische Ausführungen, Ausbildungen der gehärteten Zone sowie Anpassung an steigende Produktionsmengen.

Hardening XL: Induction technology with rotating crankshaft

Crankshafts are used in combustion engines, transforming the con rod's stroke into a rotatory motion for driving the axle shaft. Along with this, torsional and flexural fatigue appears and demands a special heat treatment process. The induction hardening with a rotating crankshaft has mostly replaced competitive methods and provides the engine builders with a flexible production process for varying geometries, different hardening zones as well as increasing production rates.

Die wachsende Mittelschicht in den Gesellschaften weltweit führt nachhaltig zu einer höheren Mobilität. Während in den westlichen Ländern der Absatz von Automobilen einen Höhepunkt erreicht hat, ist vor allem in asiatischen Ländern noch kein Ende abzusehen. Wachstumsraten im mittleren zweistelligen Bereich sind keine Seltenheit und führen zu einer Steigerung der Produktion von Verbrennungsmotoren im gleichen Maße. Neben den klassischen Automobilmotoren werden aber zunehmend auch Motoren von schienengebundenen Fahrzeugen und Schiffsmotoren gefertigt, um dem hohen Bedarf zu Lande und zu Wasser gerecht zu werden. Insbesondere im Bereich der Schiffsmotoren mit Großkurbelwellen deutet sich durch steigende Schiffstreibstoffkosten für Schweröl sowie die Reduzierung zulässiger Emissionen ein Trend zu umweltfreundlicheren Gasmotoren an, deren Kurbelwellen höheren Belastungen ausgesetzt sind. Ein ebenso wachsendes Einsatzfeld sind Dieselgeneratoren verschiedener Größen zur lokalen Stromerzeugung.

In der überwiegenden Zahl kommen dabei induktiv gehär-

tete Kurbelwellen zum Einsatz, die je nach Anwendung zwischen 500 mm bis über 10 m Länge haben können. Dem Rotationshärten mit sich drehender Kurbelwelle und lokal gehärteten Lagerstellen kommt dabei die größte Bedeutung zu. Hintergrund sind die Vorteile gegenüber anderen Verfahren, die zu einer hohen Reproduzierbarkeit der Härteergebnisse führen. Induktiv gehärtet können selbst schmale Lagerausführungen hohen Belastungen standhalten und gleichzeitig die Motorengröße verringern.

DER PROZESS DES INDUKTIVEN RANDSCHICHTHÄRTENS

Induktives Härten kann in zwei zeitlich aufeinanderfolgende Prozessschritte unterteilt werden: das induktive Erwärmen und das Abschrecken mit Kühlmedium. Beide Teilprozesse sind gleichbedeutend in ihrer Wichtigkeit für reproduzierbare Prozessergebnisse.

Beim induktiven Erwärmen erzeugt eine von Wechselstrom durchflossene Spule, der in Form und Größe an das

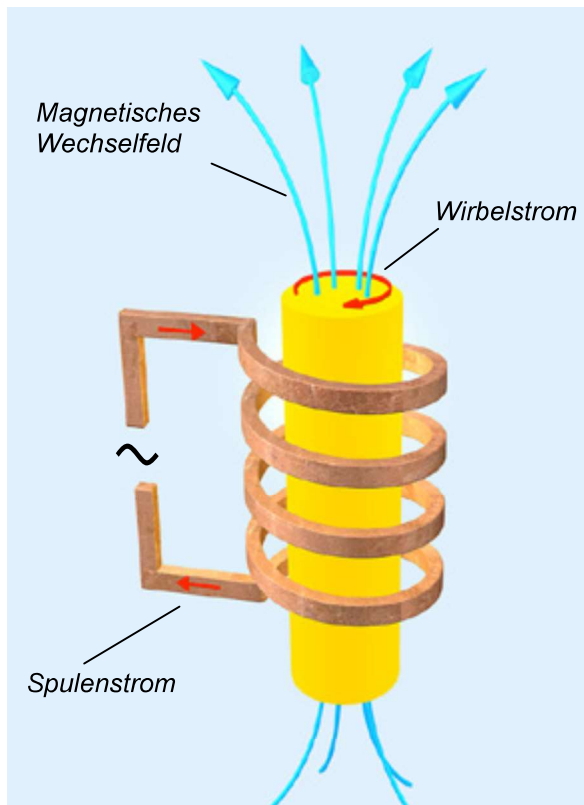


Bild 1: Induktionsprinzip

Werkstück angepasste Induktor, ein magnetisches Wechselfeld, welches im Material Wirbelströme induziert (**Bild 1**). Die Eindringtiefe der Induktion hängt von der Frequenz der Wechselspannung ab. Je höher die Frequenz, desto geringer die Eindringtiefe (Skin-Effekt). Die Temperatur und die Einwärmtiefe kann somit über die Frequenz, die Stromstärke im Induktor und die Dauer der Stromzufuhr beeinflusst werden. Im Gegensatz zu anderen Erwärmungsverfahren wird die Wärme im Material selbst erzeugt, muss also nicht durch Konvektion oder Strahlung übertragen werden. Dies hat den Vorteil, dass bei gleicher übertragener Leistung bei der induktiven Erwärmung eine deutlich geringere Überhitzung der Oberfläche entsteht. Somit kann mit sehr hohen Leistungsdichten gearbeitet werden. Um zu verhindern, dass sich das Werkstück durch Wärmeleitung vollständig durchwärmt, ist die Dauer der Stromzufuhr kurz. Somit sind bei kleinen Einwärmertiefen verfahrensbedingt Prozesszeiten von nur wenigen Sekunden möglich.

Durch das Induktionsprinzip wird das Material auf eine Temperatur oberhalb der werkstoffabhängigen A_3 -Temperatur erwärmt. Dabei wandelt sich das bei Raumtemperatur vorliegende α -Eisen (Ferrit) in γ -Eisen (Austenit) um, in dem wesentlich mehr Kohlenstoff aus den vorhandenen Karbiden gelöst werden kann als im Ferrit. Aus diesem Grund muss ein Stahl mindestens 0,2 % Kohlenstoff enthalten, um gehärtet werden zu können. Anderenfalls muss in einem vorgeschalteten Prozessschritt entsprechend aufgekohlt werden.

Im anschließenden Abschreckprozess wird das austenitisierte Material schnell und kontrolliert abgekühlt. Die kritische Diffusionsgeschwindigkeit überschreitend findet keine Rückbildung in ein ferritisch-perlitisches Gefüge statt. Das Mikrogefüge kann aufgrund der zusätzlich eingebauten Kohlenstoffatome nicht mehr in das kubisch-raumzentrierte α -Eisen übergehen. Es entsteht ein durch das Kohlenstoffatom tetragonal-verzerrtes, kubisch-raumzentriertes Gitter, Martensit genannt. Dabei ist die durch unterschiedliche Abschreckmedien (Wasser mit Zusätzen) steuerbare Abkühlgeschwindigkeit für das Ausmaß der Martensitbildung verantwortlich. Es gilt: je schneller die Abkühlung, desto mehr Martensit bildet sich.

In diesem abgeschreckten Zustand ist das Material sehr hart und spröde. In einem abschließenden Anlassvorgang können die Härte vermindert und die gewünschten Gebrauchseigenschaften (Härte, Zugfestigkeit und Zähigkeit) des Werkstoffs eingestellt werden.

VORTEILE DES ROTATORISCHEN INDUKTIVEN RANDSCHICHTHÄRTENS

Das rotatorische Induktionshärten hat sich weltweit zum Standard in den Motorenwerken entwickelt. Während es in Europa seit Jahrzehnten eingesetzt und weiterentwickelt wurde, haben die Motorenbauer in den asiatischen Ländern, allen voran China, dieses Verfahren von ihren westlichen Joint-Venture-Partnern übernommen und in ihre zahlreichen neuen Werke integriert. Die zunehmende Bauteil-Minimierung von Motorenkomponenten, die durch die steigenden Benzinpreise und CO_2 -Reduzierungszwänge weltweit gefordert wird, führt aktuell auch zu einer Kehrtwende in den NAFTA-Ländern. Während dort in der Vergangenheit vorwiegend ungehärtete, dafür aber große Kurbelwellen in großvolumigen Motoren eingesetzt wurden, kommen auch dort zunehmend rotatorisch induktiv gehärtete Kurbelwellen mit deutlich kleineren Abmessungen zum Einsatz. Diese meist aufgeladenen 3- oder 4-Zylinder-Motoren stehen ihren großen Vorgängern dabei leistungsmäßig in nichts nach.

Voraussetzung für diese Entwicklung waren die klaren Vorteile des rotatorischen Verfahrens, bei der die Kurbelwelle zwischen Futter und Spitze gespannt, in eine Drehbewegung versetzt, mit Halbschalen-Induktoren erwärmt und mit einer integrierten Brause anschließend abgeschreckt wird.

Beim Rotationshärten dreht sich die PKW-Kurbelwelle mit 30–60 U/min unter einem Halbschaleninduktor (**Bild 2**). So wird der gesamte Umfang der Lagerstelle in gleicher, reproduzierbarer Tiefe auf Austenitisierungstemperatur gebracht – eine zwingende Voraussetzung für die Ausbildung einer gleichmäßig ausgebildeten Härtezone.

Anschließend stehen für den ebenso kritischen Abschreckprozess nahezu 360° Umfangswinkel (davon 180° mit forcierter Abschreckung durch Brausen) zur Verfügung, so dass sichergestellt werden kann, dass die kritische

Abkühlgeschwindigkeit zur Erzeugung eines homogenen martensitischen Gefüges auch tatsächlich erreicht wird.

Ein geometrisches Kennzeichen einer Kurbelwelle sind die unterschiedlichen Masseverhältnisse am Umfang der Lager, vor allem der Hublagerstellen. Während am oberen Totpunkt seitlich kaum Material ist, befinden sich am unteren Totpunkt des gleichen Lagers auf beiden Seiten die Wangen des Hublagers. Da beim Induktionshärten, wie beschrieben, die Wärme im Bauteil selbst erzeugt wird, führt die Verteilung der Masse in der Nähe der Erwärmungszone zu einem unterschiedlich ausgeprägten Wärmefluss, der zwangsläufig zu unterschiedlichen Temperaturen führt. Um das zu vermeiden, erlaubt das Rotationshärten sogenanntes „Power Pulsing“. Hierbei können in Abhängigkeit der Winkellage des Lagers immer die optimale Energiemenge zugeführt und somit immer gleichbleibende Erwärmungsbedingungen erzeugt werden. Am oberen Totpunkt des Hublagers wird dementsprechend weniger Energie zugeführt, weil auch weniger in die Umgebung abfließen kann, am unteren Totpunkt dafür mehr, um den Wärmefluss in die Wangen auszugleichen.

Mit dem beschriebenen, exakt steuerbaren rotatorischen Bearbeitungsprozess ist nicht nur ein reproduzierbares Härteergebnis sichergestellt, sondern auch der Verzug der Kurbelwelle minimiert. Dieser ergibt sich durch das lokale Materialwachstum im Erwärmungsbereich, insbesondere bei der Radialhärtung. Der Verzug wird durch eine Kombination aus Verzugsimulation, intelligenter Härtereihenfolge der Lagerstellen, gezielte Leistungssteuerung (Power Pulsing) und speziellen mechanischen Werkstückführungen minimiert. In der Folge ergeben sich verzugsarme Kurbelwellen mit exakt gehärteter Randschicht und den gewünschten Gefügeeigenschaften [1].

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das induktive Rotationshärten die beiden kritischen Teilprozesse „Erwärmen über Austenitisierungstemperatur“ und „Abschrecken mit der erforderlichen Abkühlrate“ zur reproduzierbaren Ausbildung des Martensits sehr kontrolliert beherrscht.

Während man für den Abschreckprozess auf die klassischen Prozessüberwachungen der Temperatur, Zusammensetzung, Sauberkeit sowie des Durchflusses des Abschreckmittels zurückgreift, hat SMS Elotherm für den Erwärmungsprozess ein Verfahren entwickelt, das die für die Austenitisierung des Werkstücks notwendige Energie prozesssicher ermittelt.

Hier findet die patentierte Werkstückwirkleistungsmessung [2] ihre Anwendung. Mit dieser ist es möglich, genau zu überwachen, welche elektrische Leistung tatsächlich in das Werkstück induziert und folglich in Wärmeenergie umgewandelt wird. Kennzeichen dieses Systems ist die Berücksichtigung der gesamten Verlustleistung zwischen Energieeinspeisung und Induktor, so dass die effektive Wirkenergie als Kenngröße für die Qualität des Aufheizprozesses nicht nur angezeigt, sondern auch protokolliert wird. Im Vergleich zu anderen

ROTATIONSHÄRTEN VS. DREHUNGSFREIES STANDHÄRTEN: EIN VERFAHRENSVERGLEICH

Das Rotationshärten hat sich weltweit als Standardverfahren für die Kurbelwellenhärtung etabliert.

Daneben hat sich mit dem drehungsfreien Standhärten ein Verfahren entwickelt, bei dem die Lagerstellen der Kurbelwelle, von nahezu umschließenden Induktoren erwärmt werden.

Während dieses Verfahren einerseits durch einen einfacheren Maschinenbau besticht, da das Bauteil nicht in Rotation versetzt werden muss, bestehen andererseits prozesstechnische Einschränkungen bei der Erreichung eines homogenen, martensitischen Gefüges.

Verfahrensbedingt ist eine gleichmäßige Erwärmung nur eingeschränkt möglich, da die spezielle Induktorausführung für eine gleichmäßige Erwärmung nicht optimal ist bzw. über die fehlende Rotation zu keiner Vergleichmäßigung der Erwärmungszone beigetragen wird.

Zudem behindert der Induktor den freien Zugang des Abschreckmediums zur Lagerstelle, was zu unkontrollierter Abkühlung führt und damit die Martensitbildung behindern kann. Beide Teilprozesse, also Austenitisieren und Abschrecken, können beim Rotationshärten optimal aufeinander abgestimmt werden, um eine reproduzierbare, homogene Härtezone auszubilden.

Während beim drehungsfreien Standhärten verfahrensbedingt nur eine Leistung für die Erwärmung verwendet werden kann und somit immer ein Kompromiss gesucht werden muss, damit der Werkstoff am oberen Totpunkt nicht überhitzt und am unteren Totpunkt ausreichend warm wird, erlaubt die winkelabhängige Leistungssteuerung (Power Pulsing) beim Rotationshärten den jeweils optimalen Energieeintrag.

Im direkten Vergleich der beiden Verfahren zeigt sich zudem, dass das rotatorische Härten deutlich weniger zu einer lokalen Überhitzung im Bereich der Öllöcher neigt und eine gleichmäßigere Gefügeumwandlung über dem Lagerquerschnitt bewirkt.

Die beschriebenen Möglichkeiten zur Reduzierung von Verzügen der Kurbelwellen beim Rotationshärten, wie Leistungssteuerung, spezielle Werkstückaufnahmen oder geeignete Härtereihenfolgen, sind beim Standhärten so nicht gegeben. In der Folge sind deshalb beim drehungsfreien Härten größere Verzüge zu erwarten, die nicht zuletzt zu einer azentrischen Positionierung im Induktor und letztlich zu größerem Werkzeugverschleiß führen.

Zusammenfassend überwiegen somit die prozesstechnischen Vorteile des Rotationshärtens und rechtfertigen einen etwas aufwendigeren Maschinenbau, so dass sich dieses Verfahren bei nahezu allen Motorenbauern weltweit durchgesetzt hat.



Bild 2: Halbschaleninduktor zum induktiven Randschichthärten von Kurbelwellen



Bild 3: EloCrank™ für PKW-Kurbelwellen
(Quelle: SMS Elotherm)



Bild 4: EloCrank™ XL für Großkurbelwellen
(Quelle: SMS Elotherm)

Systemen, die lediglich die Umrichter Ausgangsleistung messen, gestattet die werkstückbezogene Protokollierung der Wirkleistung eine 100-prozentige Kontrolle ohne die sonst unerlässliche werkstückzerstörende Qualitätsprüfung.

Insbesondere für kritische Bauteile wie Kurbelwellen wird dem Motorenbauer ein System an die Hand gegeben, das die hohen Anforderungen moderner Qualitätsaudits ebenso erfüllt wie die Bedingungen an lückenlose Teilerückverfolgung.

VON DER ELOCRANK™ ZUR ELOCRANK™ XL

Durch die unterschiedlichen Anwendungen von Kurbelwellen, angefangen in Kleinmotoren für Gartengeräte über PKW- und LKW-Motoren, Diesellokomotiven bis hin zu Generatoren und Schiffsdieseln hat sich eine entsprechende Vielzahl unterschiedlicher Größen und Geometrien entwickelt.

Dementsprechend gibt es unterschiedliche Kurbelwellenhärtemaschinen, die aber durch ihre modulare Bauweise jeweils einen großen Geometriebereich abdecken.

Die EloCrank™ von SMS Elotherm ist ein typisches Beispiel für eine flexible Induktionshärtemaschine für PKW-Kurbelwellen unterschiedlicher Größe. Flexibel hinsichtlich der Länge und des Hüllkreises der Kurbelwelle können in Abhängigkeit der Produktionsstückzahlen sowohl die Anzahl der Bearbeitungsstationen als auch die Anzahl der individuellen Induktoren gewählt werden.

Der modulare Aufbau und das Werkzeugmaschinen-Design mit Möglichkeiten der Prozesseinsicht und einer bedienerfreundlichen Menüführung werden ergänzt durch dem Fertigungsfluss der Motorenbauer angepasste Belademöglichkeiten. Neben dem klassischen Hubbalkentransport stehen Shuttlelösungen bzw. Direktbeladung in die Maschine durch ein Portal zur Auswahl.

Automatisch umrüstbar auf unterschiedliche Werkstücke können so auf einer Maschine mit zwei Härtestationen (**Bild 3**) beispielsweise 4-Zylinder-Kurbelwellen in rund 30 Sekunden Taktzeit gehärtet werden. Auch sind unterschiedliche Anlassprozesse zur Reduzierung der Restspannungen wie induktives Anlassen oder Anlassen aus der Restwärme möglich.

Für Kurbelwellen aus dem LKW-Bereich steht die EloCrank™ L. Der wesentliche Unterschied ist neben der Möglichkeit, Kurbelwellen bis 1.500 mm zu härten, vor allem der linear verfahrbare Schlitten mit den Induktoren. Damit kann man sehr flexibel auf unterschiedliche Stückzahlenforderungen reagieren, da sowohl mit einer Minimalausstattung an Induktoren für den sukzessiven Härteprozess, als auch mit einer Werkzeug-Vollbestückung von 13 Transformator-Induktor-Einheiten gefahren werden kann.

Für Großkurbelwellen steht ein modularer Baukasten an induktiven Härtemaschinen aus der EloCrank™ XL-Reihe zur Verfügung. Vor allem unterschiedlich lange Maschinenbetten ermöglichen damit das sukzessive Härten von Kurbelwellen

bis 12 m Länge und 8 t Stückgewicht. Damit können zum Beispiel Kurbelwellen für Schiffsantriebe, Lokomotiven oder für ortsfeste Aggregate wie Generatoren, Kompressoren und Pumpen induktiv gehärtet werden (**Bild 4**).

Je nach Kundenanforderung können investitionsschonende Grundausstattungen oder höhere Ausbaustufen für deutlich verkürzte Taktzeiten gewählt werden. Möglich sind Bestückungen mit bis zu sechs Transformator-Induktor-Einheiten sowie der Betrieb von zwei separaten Frequenzumrichtern, den Leistungsversorgern der Induktion, zum parallelen Härten von zwei Lagerstellen.

Der Härteprozess ist für alle Lagerstellen separat einstellbar und erfolgt vollautomatisch.

Im Folgenden werden auf einen induktiven Härteprozess einer Großkurbelwelle mit hinterschnittenen Radien näher eingegangen und die Besonderheiten erläutert.

ANWENDUNGSBEISPIEL GROSSKURBELWELLEN AUF DER ELOCRAK™ XL

Das Standardhärteverfahren für viele Großkurbelwellen ist nach wie vor die Laufflächenhärtung. Dabei wird nur die zylindrische Außenfläche der Lagerstelle gehärtet. Die Induktoren haben Kupferheizschleifen, deren aktiver Teil aus einem einzigen Profil gefertigt wird und vor allem im Bereich der Queräste wirkt. Die wärmebeeinflusste Zone beschränkt sich auf das Lager und wirkt nicht in den Bereich der Lagerwangen, wodurch kein nennenswerter Verzug der Kurbelwelle beim Härten auftreten kann. Die Laufflächenhärtung ist im Wesentlichen eine Verschleißhärtung mit zusätzlicher Stabilisierung gegenüber Torsionsbeanspruchungen.

Die Härtung der Radien zusammen mit der Lauffläche als zweites Verfahren dient der weiteren Aussteifung der Kurbelwelle, insbesondere gegen eine Biegewechselbeanspruchung. Die Induktoren müssen stärker an die zusätzlichen Härteanforderungen in den Radien angepasst werden und bestehen aus komplexen Kupferheizschleifen, wobei insbesondere die radiusseitigen Heizleiteräste Feldkonzentratoren haben. Die Radienhärtung erfordert mehr Leistung und kann zu einem Verzug der Welle führen. Bei Wahl einer geeigneten Härtefolge kann dieser Wert aber auf einen Betrag unterhalb des Schleifaufmaßes reduziert werden.

Die Hinterschnitthärtung ist eine Weiterentwicklung der Radienhärtung. Im Bereich der Großkurbelwellen werden typischerweise seit Langem erprobte Werkstückgeometrien verwendet, die aber bisher meist nur vergütet und teilweise zusätzlich nitriert werden. Dort sind auch Hinterschnittradien zu finden.

Mit steigender mechanischer Belastung einer Kurbelwelle können die Radien zu Schwachpunkten werden. Eine weitere Vergrößerung der Radien zur Absenkung der Spannungsüberhöhung verbietet sich aber oft wegen der Reduzierung der nutzbaren Lagerfläche, so dass die vergrößerten Radien auf Kosten der Wangen eingestochen, also hinterstochen werden.

Besteht die Anforderung der Hinterschnitthärtung, muss der Induktor in den Hinterschnitt eintauchen und den dortigen Radius aufheizen (**Bild 5**).

Die vorliegenden Härteergebnisse zur Hinterschnitthärtung erfolgten auf einer EloCrank™ XL mit einer installierten MF-Leistung von 1.200 kW. Die Leistung wird durch zwei 600-kW-Umrichter bereitgestellt, die in einem Frequenzbereich von 2,5–10 kHz arbeiten. Dieser Leistungs- und Frequenzbereich erlaubt es, sich an unterschiedliche Härteanforderungen anzupassen.

Die Anlage verfügt über vier Transformator-Induktor-Einheiten: zwei große Blocktransformatoren für eine gute Lagestabilität und hohe Leistung, sowie zwei Scheibentransforma-

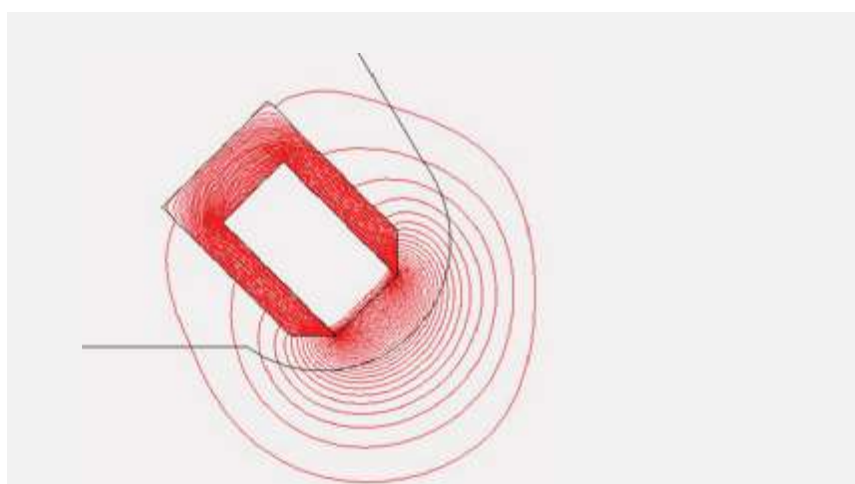


Bild 5: Beispielhafte Magnetfeldausbreitung im Hinterschnitt



Bild 6a: Härtezone mit einseitigem Hinterschnitt



Bild 6b: Härtezone für beidseitigen Hinterschnitt



Bild 7a: Lage des Induktors im Hinterschnitt (Bauteil wurde dafür aufgeschnitten)



Bild 7b: Aufheizbild des Hinterschnittinduktors

toren für kleinere Lagerstichmaße und mittlere Leistungen.

Die Maschine erlaubt den automatischen Betrieb mit bis zu vier unterschiedlichen Induktoren, so dass für normale Großkurbelwellen eine vollautomatische Härtung ohne Induktorwechsel möglich ist. Die Kurbelwelle wird einseitig in einem kardanischen Futter gehalten und liegt auf bis zu vier Prismenböcken auf, die in Abhängigkeit der Härteposition programmgesteuert motorisch angestellt werden.

Bild 6a zeigt die Härtezone einer einseitigen Hinterschnitthärtung, wobei hier der Induktor zunächst auf das Lager abgesenkt wird und dann axial in den Hinterschnitt gefahren wird. Die beidseitige Härtung in **Bild 6b** ist demgegenüber deutlich aufwendiger, da der Heizleiter beide Hinterschnitte erwärmen muss.

Bild 7a und **Bild 7b** zeigen die Lage des Induktors in einem zur besseren Darstellung aufgeschnittenen Werkstück und den Heizvorgang. Zu erkennen ist die besondere Ausführung, um in den Radienbereich eintauchen zu können, und die Bestückung mit Feldkonzentratoren zur gezielten Erwärmung.

FAZIT

Die Mobilisierung breiter Bevölkerungsschichten weltweit einerseits und die Verknappung fossiler Ressourcen verbunden mit der Notwendigkeit nachhaltig emissionsärmerer Technologien andererseits führen zu einer wachsenden Bedeutung moderner Motorenauslegungen. Deren Miniaturisierung bedingt zunehmend kompaktere Motorenkomponenten – ein Trend, der auch die Kurbelwelle nicht ausschließt.

Somit nehmen die spezifischen Belastungen dieser Kurbelwellen zu, so dass dem Verfahren des induktiven Härten der Lagerstellen eine immer größere Bedeutung zukommt. Prozessbedingt hat sich das induktive Rotationshärten bei allen Motorenbauern durchgesetzt, da so auf wirtschaftliche Weise reproduzierbare Qualitätsergebnisse erzielt werden können. Das beruht im Wesentlichen auf der exakt kontrollierten Abstimmung der beiden Teilprozesse zur Erzeugung eines homogenen martensitischen Materialgefüges: dem Aus-

tenitisieren der Lagerstellen und dem gezielten Abschrecken.

Neben der Vielzahl der Kurbelwellentypen für den automobilen Einsatz kommt den Großkurbelwellen für stationäre und mobile Anwendungen zu Wasser und zu Lande immer größere Bedeutung zu, da diese Großmotoren in vielen Fällen zum ressourcenschonenden Transport großer Menschenmengen oder Gütervolumina eingesetzt werden. Zukünftig werden wahrscheinlich auch die konventionellen 2-Takter-Diesellaggregate in der Schifffahrt durch moderne Gasmotoren ersetzt, die wiederum durch die spezielle Zündcharakteristik höhere Anforderungen an die Festigkeit der Kurbelwellen stellen, welche durch das induktive Rotationshärten zu erreichen ist.

Somit stellt das Verfahren der induktiven Härtung der Lagerstellen, mit oder ohne hinterschnittene Radien, einen wichtigen Beitrag zur umweltschonenden Mobilisierung der Weltbevölkerung dar.

LITERATUR

- [1] Dappen, S.; Amiri, F.: Verzugsminimiertes Induktionshärten von Kurbelwellen. *elektrowärme international* (2008) Nr. 3
- [2] Vorrichtung und Verfahren zum induktiven Erwärmen von Werkstücken. SMS Elotherm Patent EP 0 427 879 B1

AUTOREN



Dr.-Ing. Stefan Dappen
SMS Elotherm GmbH
Remscheid
Tel. 02191/891-204
s.dappen@sms-elotherm.com



Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dirk M. Schibisch
SMS Elotherm GmbH
Remscheid
Tel.: 02191 891-300
d.schibisch@sms-elotherm.com