

Verfahrenstechnische Aspekte beim induktiven Härten

von **Stefan Dappen, Farsad Amiri**

Zur Erhöhung der Schwing- und Torsionsfestigkeit, sowie der Verschleißbeständigkeit von hoch beanspruchten Stahl- und Gussteilen ist das induktive Härten weit verbreitet. Vorteilhaft sind dabei die erhöhte Zugfestigkeit des Härtegefüges und die durch die Umwandlung entstehenden Druckeigenstressungen. Der vorliegende Artikel bringt dem Leser einige verfahrenstechnische Aspekte des induktiven Härten aus der Praxis nahe, die sehr häufig bei der Abstimmung zwischen Härteanforderungen einerseits und der Übersetzung dieser Anforderungen in einen Prozess andererseits eine maßgebliche Rolle spielen.

Procedural aspects of induction hardening

For increasing the vibration and torsion resistance as well as for improved wear resistance of highly stressed steel and cast components, induction hardening is widely-used. This article gives the reader an understanding of several procedural aspects of induction hardening from practical experience, which regularly play a decisive role when it comes to the coordination of hardening requirements on the one hand and their conversion into process requirements on the other.

Das induktive Härten wird in der Regel als Randschichthärten eingesetzt, da sich der bei diesem Verfahren induzierte Strom wegen des sogenannten Skin-Effektes direkt unter der Oberfläche des Werkstücks konzentriert. Je nach Wahl der Parameter kann die Randhärtetiefe bis zu einem gewissen Grad beeinflusst werden. Die Beschränkung der Härtesteigerung auf die Randschicht ist bei vielen hochdynamisch beanspruchten Bauteilen geradezu erwünscht, denn die Erhaltung der Duktilität des Grundmaterials ist entscheidend für die Bruchfestigkeit. Die randschichtnahe Härtung bietet aber auch den Vorteil, dass bei geeigneter Werkzeug- und Prozessauslegung eine konturnahe Ausbildung der Härtezone ermöglicht wird. Bei geeignetem Material mit einer serientauglichen Streuung bietet das induktive Härten nach Ermittlung der optimalen Einstellung nachweislich hoch reproduzierbare Resultate. Darüber hinaus sichern entsprechende Parameterüberwachungen in Härtemaschinen den Prozess ab und können innerhalb eines Taktes auf eine eventuelle Drift reagieren. Hierin liegt ein weiterer Vorteil der induktiven Härtung gegenüber Verfahren wie Ofen- oder Einsatzhärten, da jedes Werkstück einzeln gehärtet wird und einer Prozessüberwachung unterliegt. So werden

im Falle kritischer Bauteile die Prozessparameter für jedes einzelne Werkstück erfasst und zwecks Nachverfolgbarkeit dokumentiert. Teilweise verlangt die Nachverfolgbarkeit auch die Zuordnung des jeweiligen Werkstücks zum verwendeten Prozesskanal und dem auf diesem Kanal eingesetzten Werkzeug.

WANN IST INDUKTIVES HÄRTEN INTERESSANT?

Grundsätzlich eignet sich das induktive Härten wegen der vergleichsweise hohen Prozessgeschwindigkeit einerseits, und dem erforderlichen Investitionsvolumen andererseits für mittlere bis große Lose. So werden mit voll automatisierten Maschinenkonzepten Taktzeiten von ca. 30 s für Pkw-Kurbelwellen und ca. 13 s für diverse Achsteile (Tripoden, Flansche, Achzapfen usw.) erreicht. Die eigentliche Prozesszeit hängt zum einen von der Zeichnungsspezifikation der Härtezone und zum anderen von der Prozessstrategie zum Erreichen dieser Zeichnungsspezifikationen ab. Dies ist insofern von Bedeutung, als die schnelle Gefügeumwandlung im Kontext mit daraus resultierenden möglichen Verzügen und Rissbildungen zu sehen ist, die auf jeden Fall prozessstabil zu verhindern sind.

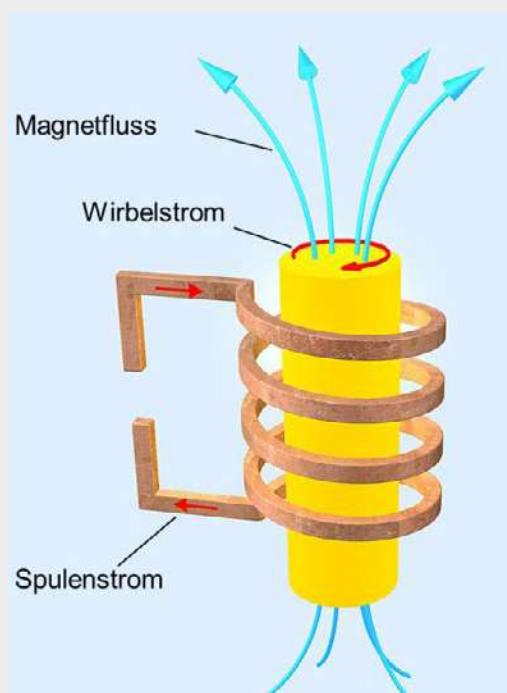


Bild 1: Wirkungsweise der Induktion

PRINZIP

Das induktive Härten basiert auf dem Induktionsprinzip, bei dem eine Primärspule (Induktor) ein wechselndes Magnetfeld erzeugt, das zu einem induzierten Wechselstrom im Werkstück führt (**Bild 1**). Als Primärspule kommt ein ein- oder mehrwindingiger formangepasster Induktor zum Tragen. Die Auslegung des Induktors ist applikationsspezifisch und folgt der Prozessführungsstrategie (Vorschub- oder Schussverfahren).

Ein wesentliches Merkmal dieses Verfahrens ist die direkte Wärmeenergieerzeugung im Werkstück selbst. Im Gegensatz zu klassischen Härteverfahren (Ofenhärten, Einsatzhärten etc.) ist die Leistungsdichte nicht von dem Wärmeübergang an der Oberfläche abhängig. Die Leistungsdichte lässt sich damit sehr stark steigern, ohne die Oberfläche zu überhitzen (Laserhärtung etc.). Hierbei führt der induzierte Strom im leitfähigen Werkstück zu einem schnellen und oberflächennahen Anstieg der Temperatur. Wegen der kurzen Heizzeit bei hoher Leistungsdichte wird die Erwärmung auch als Kurzzeitaustenitisierung bezeichnet. Infolge der anschließenden schnellen Abschreckung durch ein geeignetes Medium entsteht ein martensitisches Gefüge, dessen Härte hauptsächlich vom Werkstoff abhängt.

Komplexe Bauteil- und Härtezonengeometrien stellen aufgrund der Prozessdynamik hohe Anforderungen an die Prozessführung, da nur jene Stellen des Werkstücks

eine martensitische Härtung erfahren, die zunächst richtig austenitisiert wurden und danach mindestens die kritische Abkühlgeschwindigkeit erreicht haben.

Allgemein unterliegt das Ergebnis der Wärmebehandlung folgenden Einflussfaktoren:

- Komplexität der Bauteilgeometrie,
- Härteanforderungen (Härte, Härtetiefe, Gefüge),
- Legierung und Ausgangsgefüge des Werkstoffes,
- Prozessstrategie (Vorschub, Stillstand, Rotation),
- Prozessparametrierung (Leistung, Heizzeit, Frequenz, Abschreckparameter),
- Induktordesign (u. a. Kopplungsabstand des Induktors).

Allerdings entstehen bei komplexen Bauteil- und/oder Härtezonengeometrien gegenseitige Abhängigkeiten, die nicht beliebige Kombinationen aus Randhärtetiefe, lateraler geometrischer Ausbildung der Härtezone und Härteverlauf zulassen.

Wegen der Unterschiede zu konventionellen Härteverfahren gibt es eine Reihe spezifischer Fragestellungen, die im Folgenden beantwortet werden:

- Was ist die optimale Erwärmung für meinen Werkstoff?
- Wie bewerte ich die Erwärmung auf Basis von Schlitzen (zu heiß, zu kalt)?
- Wie stelle ich die induktive Erwärmung optimal ein?
- Welche Abschreckung erfordert mein Werkstoff?
- Welche Möglichkeiten des Anlassens gibt es?

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN DER GEFÜGEAUSBILDUNG

Erwärmung

Beim induktiven Randschichthärten laufen die Umwandlungsvorgänge deutlich schneller ab und erfordern deshalb eine erhöhte Temperatur. Dieser Zusammenhang kann aus einem werkstoffspezifischen Zeit-Temperatur-Austenitisierungsdiagramm (ZTA) entnommen werden [1].

Bei einer typischen Erwärmungsgeschwindigkeit von 100 K/s wird für den Werkstoff 42CrMo4 die beginnende Austenitbildung bei ca. 760 °C erreicht (**Bild 2**, Punkt 2) und bei 830 °C abgeschlossen (Punkt 3). In Abhängigkeit der Korngröße des Grundgefüges (Punkt 1) ist die Kohlenstoffverteilung aber noch nicht gleichverteilt, sodass hier erst ab einer Temperatur von ca. 920 °C ein homogener feinkörniger Austenit, der die Basis für ein späteres homogenes Martensitgefüge bildet, erreicht wird (Punkt 4). Eine weitere Steigerung der Temperatur ist bei mittleren Kohlenstoffgehalten meist unkritisch und nur mit einem geringen Härteabbau verbunden. Allerdings steigt mit höheren Temperaturen auch die Austenitkorngröße (und damit die Martensitkorngröße) (Punkt 5) und somit auch die Rissgefahr. **Bild 3** zeigt einen Härtezonenauslauf. Außerhalb des wärmebeeinflussten Bereichs findet man ferritisch-perlitisches Grundgefüge (1) und vom Rand der Härtezone

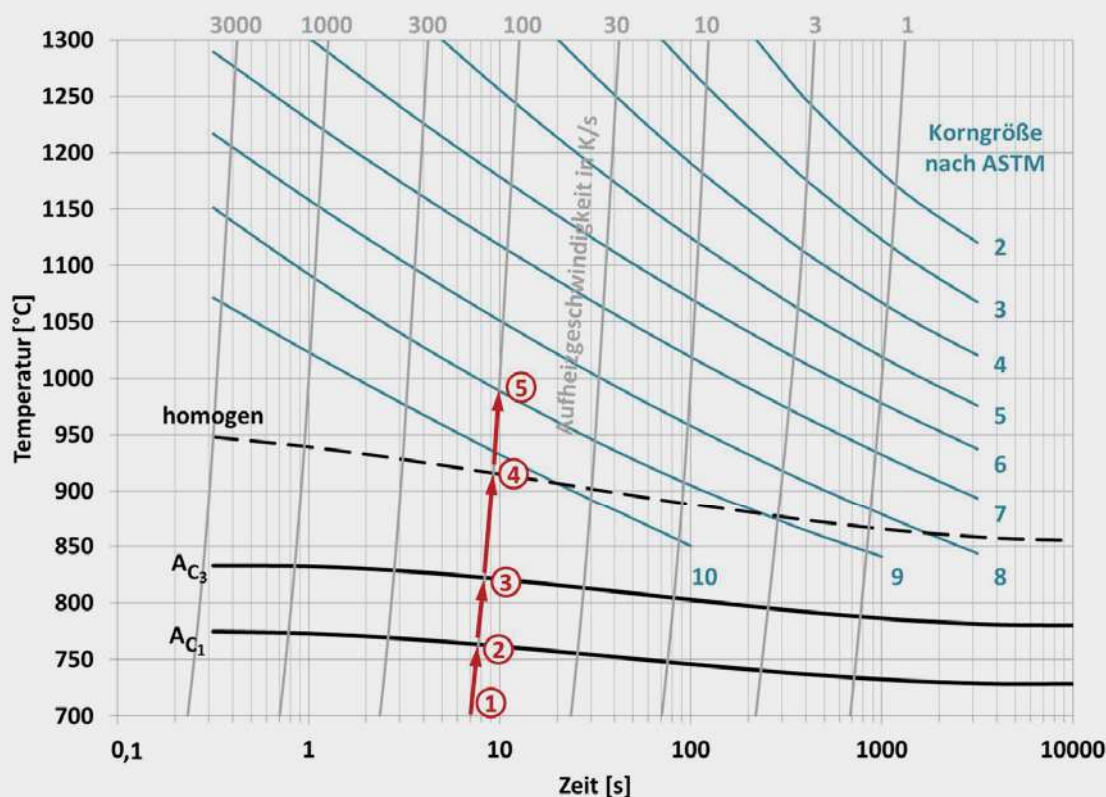


Bild 2: ZTA-Diagramm für 42CrMo4

in Richtung Oberfläche einen Übergangsbereich von teilumgewandeltem Ferrit-Perlit-Martensit (2) über inhomogenen Martensit (3) bis zu feinkörnigem Härtegefüge (4).

Abschrecken

Das Abschrecken sorgt nach der Austenitisierung für die notwendige schnelle Abkühlung des Austenits. Die Abschreckvorgänge sind in werkstoffspezifischen Zeit-Temperatur-Umwandlungsdiagrammen (ZTU) dargestellt und sind deutlich stärker von der realen Legierungszusammensetzung des Werkstücks abhängig. Schwankungen einzelner Legierungsbestandteile, selbst innerhalb der zulässigen Legierungstoleranzen, können erhebliche Änderungen in den Abschreckergebnissen mit sich bringen. **Bild 4** zeigt für einen an der unteren Spezifikationsgrenze legierten 42CrMo4 die Gefügebereiche für zwei Austenitisierungstemperaturen (850 °C Linie durchgezogen, 1.050 °C gestrichelt). Für diesen Werkstoff unterscheidet sich die Härte für beide Temperaturen nicht wesentlich im Bereich der Martensit- und beginnenden Bainitbildung. Die blauen Abkühlkurven schneiden die schwarzen Kurven der Gefügebereiche und definieren dabei die Gefügeanteile im abgekühlten Werkstück.

Dabei ist insbesondere darauf zu achten, dass das ZTU-

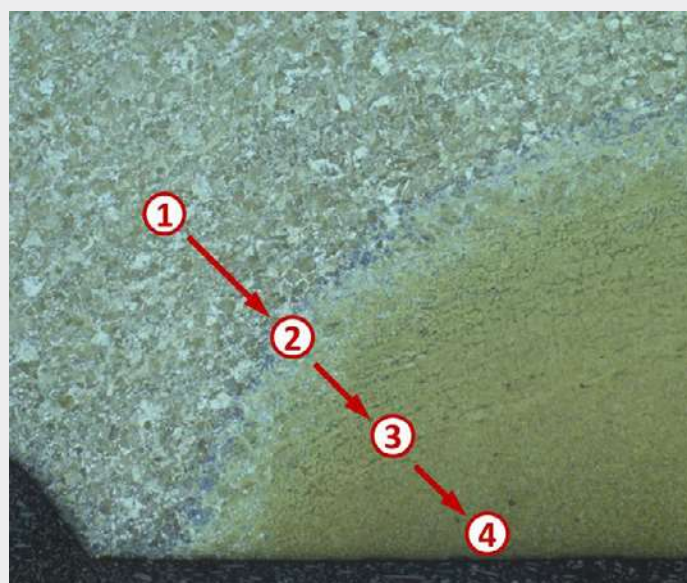


Bild 3: Gefügeverteilung am Härtezonenauslauf
(Quelle: SMS Elotherm)

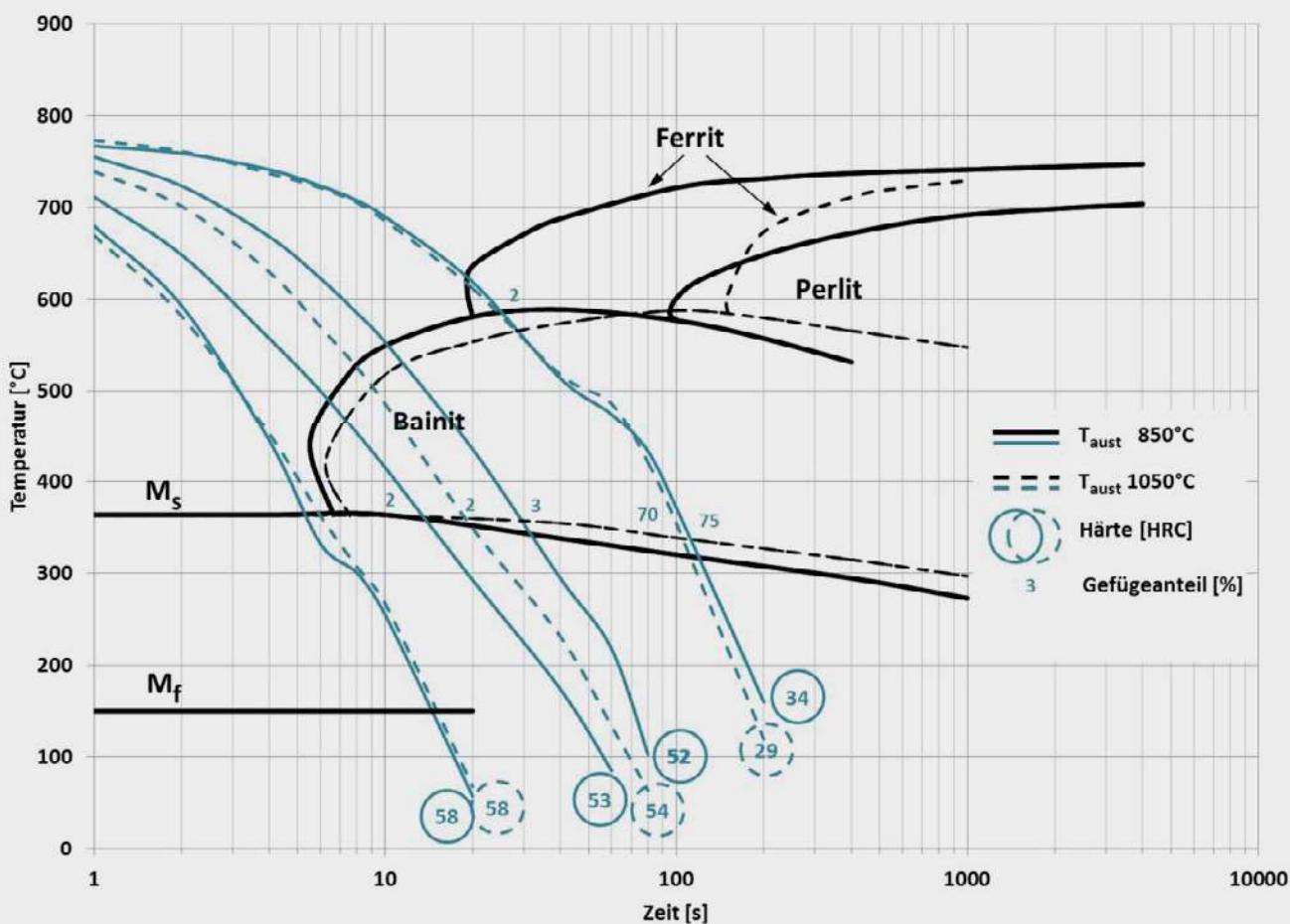


Bild 4: ZTU-Diagramm für 42CrMo4

Diagramm immer eine ausreichende Austenitisierung voraussetzt. Das heißt, die beim induktiven Randschichthärten im Randbereich typischer Härtezonen auftretenden Mischgefüge sind nicht auf eine zu schwache Abschreckung, sondern auf die Teilumwandlung beim Austenitisieren (siehe Bild 2, Bereich zwischen A_{c1} und A_{c3}) zurückzuführen. Generell sind die Anforderungen an das Abschrecken:

- Intensive und schnelle Abkühlung (nicht den Bainitbereich schneiden) über die gesamte Härtetiefe bis unterhalb der unteren Martensitbildungstemperatur M_f ,
- (ungewolltes) Wiederanlassen vermeiden.

Anlassen

Der Prozessschritt des Anlassens wird für fast alle hoch beanspruchten oder kritischen Bauteile im Anschluss an den Härtevorgang angewendet. Durch den Härtevorgang liegt ein verspanntes Gitter vor, das durch die in Zwangslösung befindlichen G-Atome zwar zu einer hohen Härte, aber auch zu einer hohen Sprödigkeit des Werkstoffes führt. Wird der

Werkstoff nun erwärmt, ohne dass die Umwandlungstemperatur erreicht wird, gehen die G-Atome teilweise in Lösung und bilden Karbide. Dadurch entspannt sich das Gitter und es kommt zu einer erhöhten Zähigkeit des Materials, die i. d. R. mit einem Härteabbau einhergeht.

Sowohl das Maß der Zunahme der Zähigkeit als auch der parallel dazu verlaufende Härteabbau hängen von den Anlassparametern Temperatur und Zeit ab, zwischen denen eine systematische Abhängigkeit besteht [2]. So können unterschiedliche Temperatur/Zeit-Kombinationen zu einem ähnlichen Anlassverhalten führen. Vor diesem Hintergrund finden das Anlassen aus der Restwärme und das induktive Anlassen immer häufiger Anwendung, da diese Prozesse ebenfalls sehr schnell sind und klassische Anlassöfen bei vielen Anforderungsprofilen entsprechend substituieren können.

Beide Anlassverfahren (induktiv, Restwärme) ermöglichen es im Gegensatz zum Ofenanlassen, unterschiedliche Härtezonen auf einem Bauteil mit verschiedenen Härtever-

Tabelle 1: Vergleich der Anlassverfahren

	Ofenanslassen	Induktives Anlassen	Restwärmearlassen
Wirkung	Wärme verteilt sich gleichmäßig	Wärme kommt von außen, gute Verteilung bei ausreichender Anlassenzeit	Wärme kommt von innen und verteilt sich gleichmäßig
Leistungsbedarf	hoch	gering	sehr gering
Zeitbedarf	sehr hoch	gering	gering
Härtetiefe	beliebig	typisch < 10 mm	typisch > 3 mm
Härteabbau	einstellbar über Zeit und Temperatur	einstellbar über Zeit und Leistung	ca. 3-4 HRC
Härteverteilung	gleichmäßig	gleichmäßig bei ausreichender Anlassenzeit	gleichmäßig
Werkstoffe	Stahl/Guss	Stahl/Guss	Stahl, meist < 0,5 % C
Prozesskontrolle	sehr gut	sehr gut	gut

ten einzustellen. Die Eigenschaften der einzelnen Verfahren sind in **Tabelle 1** dargestellt.

Während das induktive Anlassen ein aktiv gesteuerter Prozess mit dezidiertem Leistungseinsatz ist, läuft das Anlassen aus der Restwärme passiv ab und verwendet die aus der Austenitisierung verbliebene Wärme (**Bild 5**). Die im Werkstück gespeicherte Wärme muss auch nach dem Abschrecken ausreichend hoch sein, um das Bauteil auf Anlasstemperatur zu erwärmen. Um dies zu erreichen, wird meist die Abschreckung reduziert. Dabei ist allerdings sicherzustellen, dass über die gesamte Härtetiefe (SHD) eine ausreichende Martensitumwandlung erreicht wird.

Reicht die Restwärme, z. B. bei Härtetiefen unter ca. 3 mm, nicht aus, kann der Anlassprozess durch einen zusätzlichen Leistungseinsatz auf niedrigem Niveau unterstützt werden. Beide Anlassprozesse werden für Stahlwerkstoffe in der Serie erfolgreich eingesetzt.

EINSTELLUNG DER OPTIMALEN ERWÄRMUNG

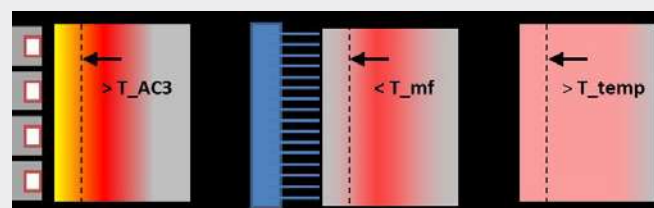
Charakteristisch für das induktive Härten ist, dass die Eindringtiefe des induzierten Wirbelstromes nicht mit der Randhärtetiefe gleichzusetzen ist. Durch den Aufheizprozess an der Randschicht mit hohen Leistungsdichten entsteht ein Temperaturgradient, der eine Wärmeleitung in das Werkstück hinein bewirkt.

Die Erwärmungstiefe hängt deshalb nicht nur von der Wärmeleitung ab, sondern wegen des Skin-Effektes auch von der Anlagenfrequenz. Zum besseren Verständnis des Zusammenhangs von Zeit, Frequenz und Leistungsdichte helfen Schaubilder, auch wenn heute numerische Verfahren zur Auslegung der Härteanlagen verwendet werden. Ein Nomogramm [3] (**Bild 6**) zeigt für eine gegebene Anlagenfrequenz (hier: 10 kHz) und eine gewünschte Einwärmtiefe (hier: 2 mm bei 830 °C) die notwendige Leistungsdichte im

Werkstück und die Heizzeit (680 W/cm² und 5 s). Die Oberflächentemperatur beträgt dann ca. 890 °C und führt somit nicht zu einer homogenen Umwandlung. Mithilfe einer Frequenzerhöhung auf 30 kHz (**Bild 7**) kann die Oberflächentemperatur erhöht werden. Das induktive Randschichthärten erlaubt also durch die Wahl von Frequenz, Heizzeit und Leistung die optimale Einstellung der Umwandlungstemperatur.

WERKSTÜCKE UND INDUKTOREN

Reale Bauteile und ihre Härtezonen sind meist nicht glatt, sondern haben veränderliche Härtetiefen und Wandstärken

**Bild 5:** Randbedingungen des Restwärmearlassens

und weisen Verzahnungen, Einstiche und Durchmesser-sprünge auf.

Die Induktoren sind diesen Konturen angepasst und zusammen mit einer Relativbewegung von Induktor und Werkstück kann die gewünschte Härtezone meist realisiert werden. Wegen der berührungslosen Energieübertragung vom Induktor ins Werkstück kommt dem dazwischen liegenden Luftspalt eine besondere Bedeutung zu. Kleine Luftspalte intensivieren die Übertragung (bessere „Ankopplung“), größere schwächen sie. Neben der räumlichen Führung und der Ausformung

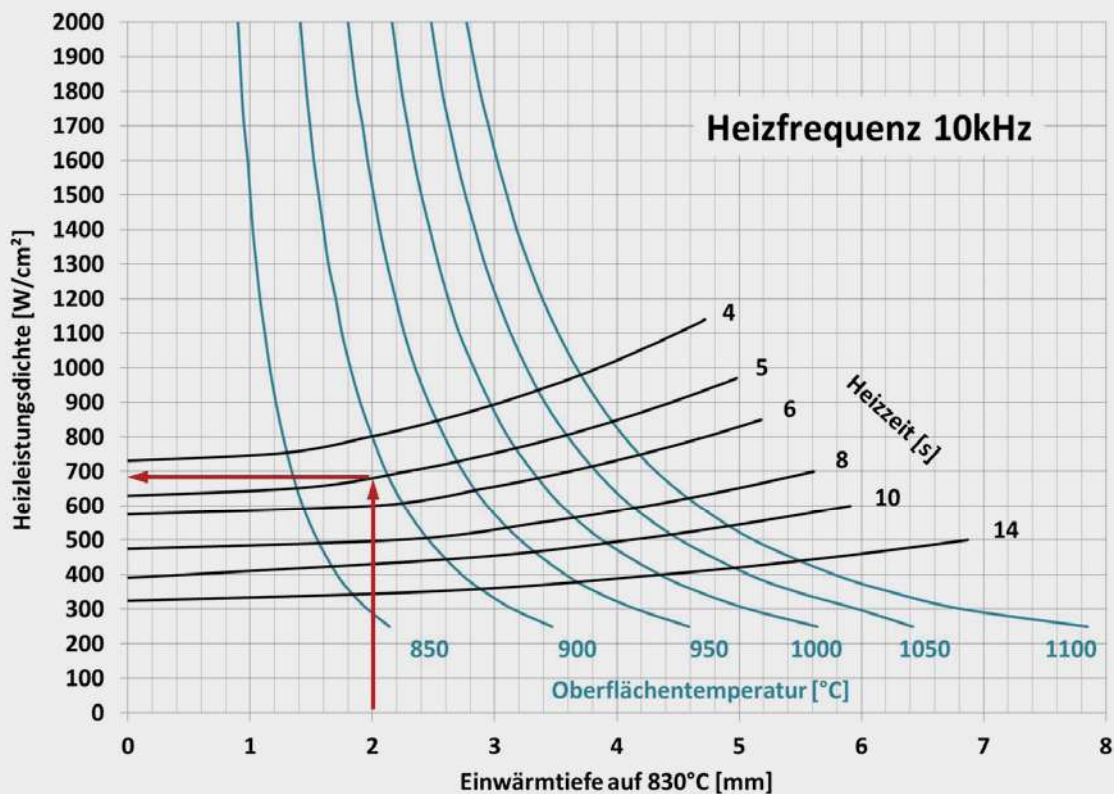


Bild 6: Nomogramm der Einwärmtiefe für 10 kHz

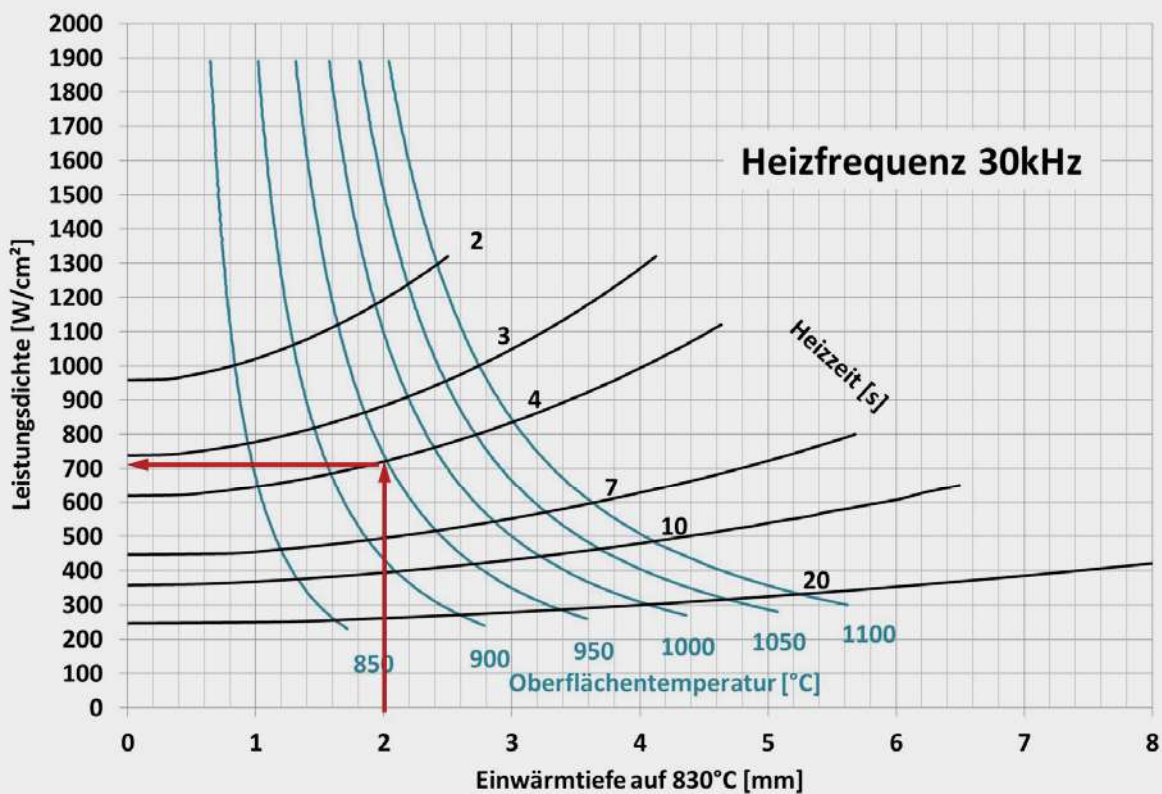


Bild 7: Nomogramm der Einwärmtiefe für 30 kHz

des Kupferleiters und dem lokalen Einsatz von magnetischen Konzentratoren ist dies ein Mittel zur Einstellung der Härtezone.

Der induzierte Strom fließt ohne weitere Maßnahmen zunächst im Werkstück direkt auf der dem Kupferleiter gegenüberliegenden Seite. Wenn einzelne Stellen des Werkstücks weniger stark erwärmt werden sollen (Außenecken, z. B. am Werkstückende, an Einstichen/Nuten, an Durchmessersprüngen) oder stärker erwärmt werden sollen (Innenecken, z. B. Radienhärtung Kurbelwelle, Achszapfen unten), kann der Induktor angepasst werden. Dadurch wird der Induktor meist elektrisch schlechter (mehr Verluste) und damit auch stärker thermisch belastet.

Als Beispiel ist in **Bild 8** die Härtezone an einer Außenecke dargestellt. Man erkennt, dass die Härtezone um die Ecke herumläuft (Bild 8a), was in diesem Fall nicht gewünscht wird. Durch eine Änderung des Luftspalts der letzten Windungen kann dies unter leichter Erhöhung der Verluste vermieden werden (Bild 8b).

Die Themen Härtezone, Gefüge und Effizienz stehen in einer Wechselbeziehung (**Bild 9**). Im Allgemeinen nimmt die Effizienz mit zunehmender Komplexität der Härteanforderung (Härtezone und Gefüge) ab und der Kühlaufwand steigt an.

Der Induktor als Werkzeug der Leistungsübertragung ist ein entscheidendes Glied in der Härtemaschine, nicht zuletzt weil dort die höchsten Ströme fließen und der Induktor der Wärmestrahlung des zu härtenden Werkstücks ausgesetzt ist. Die Effizienz des Induktors hängt von folgenden Faktoren ab:

- Anforderungen der Härtezone,
- Konstruktion des Heizleiters,
- Kühlung des Heizleiters,
- Stabilität des Kopplungsabstandes,
- Bauweise des Induktorgehäuses.

Neben konstruktiven und technologischen Maßnahmen zur Sicherstellung einer möglichst hohen Effizienz und Lebensdauer des Induktors, verwendet SMS Elotherm bei bestimmten Anwendungen gefräste Heizleiter. Hierbei werden die am meisten belasteten Bereiche des Induktors nicht mehr im Lötverfahren stückweise zusammengesetzt, sondern über ein CAD/CAM-Modell als eine Einheit mit einer CNC-Maschine hergestellt. Diese Methode der Herstellung

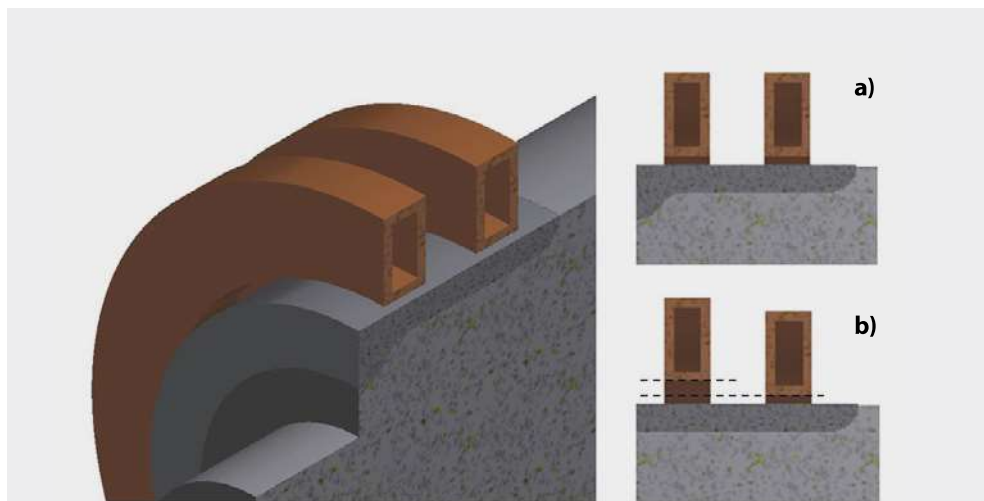


Bild 8: Härtezone an einer Außenecke (Quelle: SMS Elotherm)

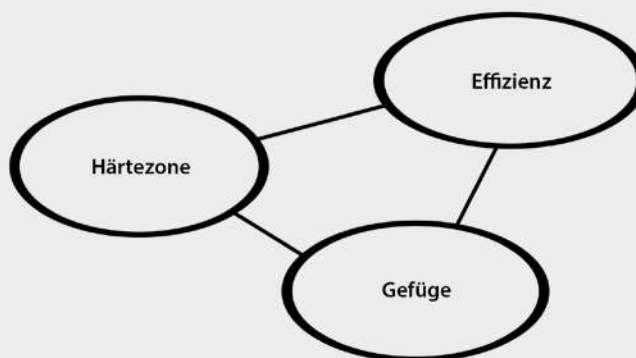


Bild 9: Zusammenhang Härtezone, Effizienz und Gefüge

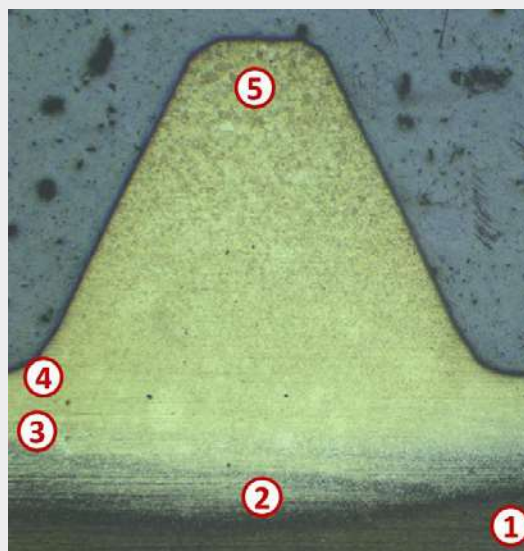


Bild 10: Gefüge an einer Verzahnung (Quelle: SMS Elotherm)

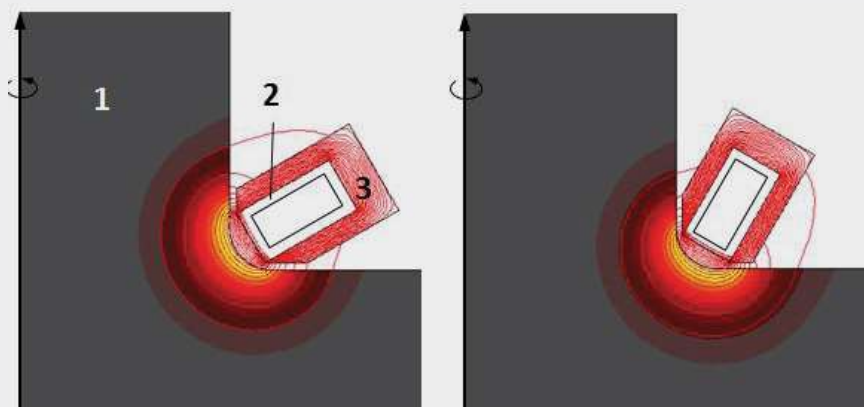


Bild 11: Beeinflussung einer Innenecke (Farbverlauf = Leistungsdichte)

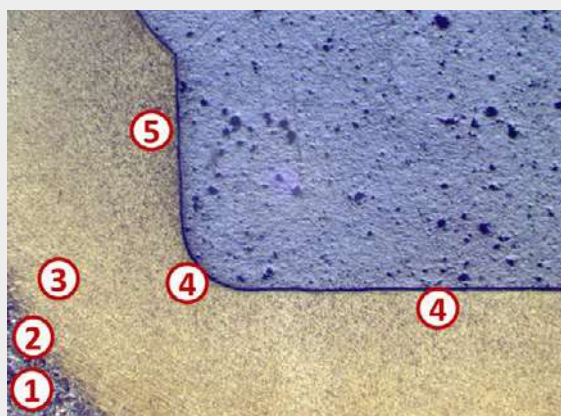


Bild 12: Härtezone einer Innenecke

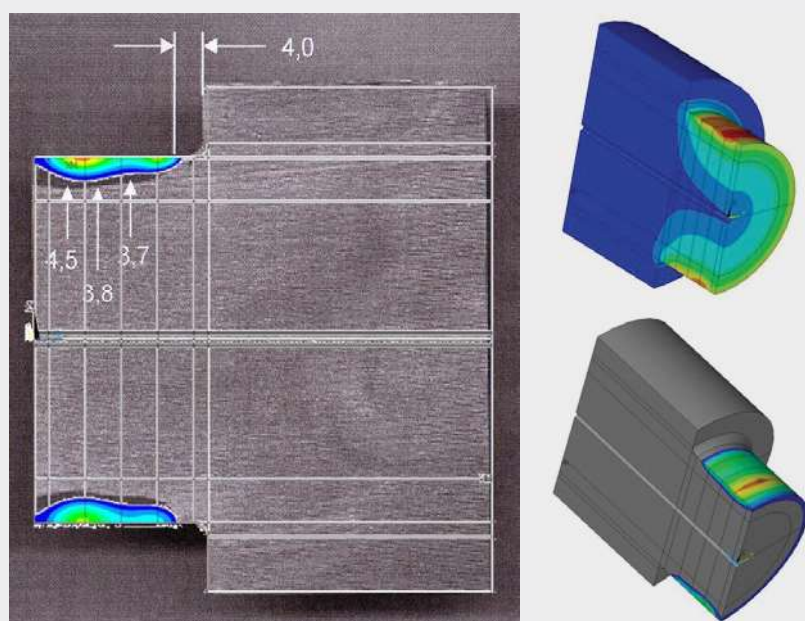


Bild 13: Numerische Härtezonenermittlung

erhöht neben der Reproduzierbarkeit der betreffenden Komponenten auch die Effizienz des Induktors, da der Stromfluss nicht mehr kritische Lötstellen passieren muss. Im Ergebnis werden Effizienzsteigerungen von ca. 10 % erreicht. Die erhöhte Effizienz wiederum erlaubt eine Reduzierung des Leistungseinsatzes und hat einen positiven Einfluss auf die Lebensdauer des Induktors.

PROZESSFÜHRUNG

Beispiel 1: Verzahnungshärtung

Der Induktor liegt in diesem Beispiel quer zum Werkstück und umschließt es. Dadurch ergeben sich bei der Vorschubhärtung unterschiedlich Luftspalte zum Zahnkopf und zum Zahngrund. Die bessere Ankopplung im Zahnkopf ergibt eine leichte Kornvergrößerung (ASTM 6) und trotzdem einen feinen homogenen Martensit im Zahngrund (**Bild 10**).

Meist lässt sich eine erhöhte Temperatur schon am Gefüge erkennen. Bei feinen Strukturen kann man eine oberflächennahe Überhitzung auch mit dem Rasterelektronenmikroskop überprüfen.

Beispiel 2: Härtung einer Innenecke

Bei der Härtung einer Innenecke (**Bild 11**, Pos. 1) an einem Durchmesser sprung ist neben der schlechteren mechanischen Zugänglichkeit auch der erhöhte Wärmeabfluss in das Werkstück zu beachten. Der Induktor benötigt hier einen längeren Bogen in Umfangsrichtung und ist mit einem magnetischen Konzentrator (3) ausgestattet. Durch eine Schrägstellung des Kupferleiters (2) ist es beispielsweise möglich, die Erwärmung variabel entlang des Radius zu verändern (**Bild 11**, links und rechts).

Beispielhaft ist in **Bild 12** das Härtegefüge einer Innenecke gezeigt. Bei einer Radiushärtetiefe von 3 mm wird überwiegend ein Gefüge von mindestens ASTM 7 erreicht. Lediglich im Bereich des Bundes (Pos. 5) ergibt sich ASTM 6. Die Position der höchsten Leistungsdichte ist besonders dann von Interesse, wenn es um die Vermeidung von Kornvergrößerungen am Werkstück geht. Die Kombination von kom-

plexen Härtezonen, kurzen Heizzeiten, hohen Härtetiefen und feinen Gefügen erfordert ein spezielles Induktordesign, für das heute auch numerische Verfahren verwendet werden.

Die Berechnung spezieller Härteanforderungen erfolgt mit der Simulationssoftware ANSYS über ein gekoppeltes elektromagnetisch-thermisches Modell unter Berücksichtigung der Relativbewegung von Induktor und Werkstück. Für das Abschrecken wurden Wärmeübergangskoeffizienten aus Versuchen ermittelt. Die ausreichende Martensitumwandlung kann vereinfacht betrachtet werden: Dabei genügt es, die nach dem Abschrecken erreichten Minimaltemperaturen innerhalb der zuvor austenitisierten Zone zu prüfen. Nach dem Abschreckvorgang setzt meist ein thermischer Ausgleich innerhalb des Werkstücks ein. Er kann zu einer Wiedererwärmung und damit dem – möglicherweise ungewollten – Restwärmearlassen der Härtezone führen und muss deshalb ebenfalls überprüft werden.

Bild 13 zeigt die Nachrechnung (links, farbiger Bereich) einer Lagerhärtung im Vergleich zur Messung (links, grauer Bereich). Die Abbildungen rechts stellen den Temperaturverlauf zu Beginn des Abschreckens (oben) und die austenitisierte Zone (unten) dar.

Kühlung und Abschreckung

Die Standzeit eines Induktors hängt maßgeblich von der mechanischen Beanspruchung und der elektrischen Belastung ab, aber auch von der optimalen Kühlung der Heizschleife. Diese wird wiederum von der Qualität des Kühlwassers des elektrischen Kühlkreislafs beeinflusst. Durch den Einsatz des EloFresh™ Überwachungs- und Regelsystems (**Bild 14**) von SMS Elotherm für Kühl- und Abschreckanlagen wird eine optimale Kühlung und damit Standzeit der Induktoren erreicht und Korrosionsfraß und Veralgung vorgebeugt. Das System ist standardmäßig für die Überwachung der Wasserqualität durch eine Korrosionsmessstrecke sowie Anzeige von pH- und Leitwert des Anlagenkühlwassers ausgestattet.

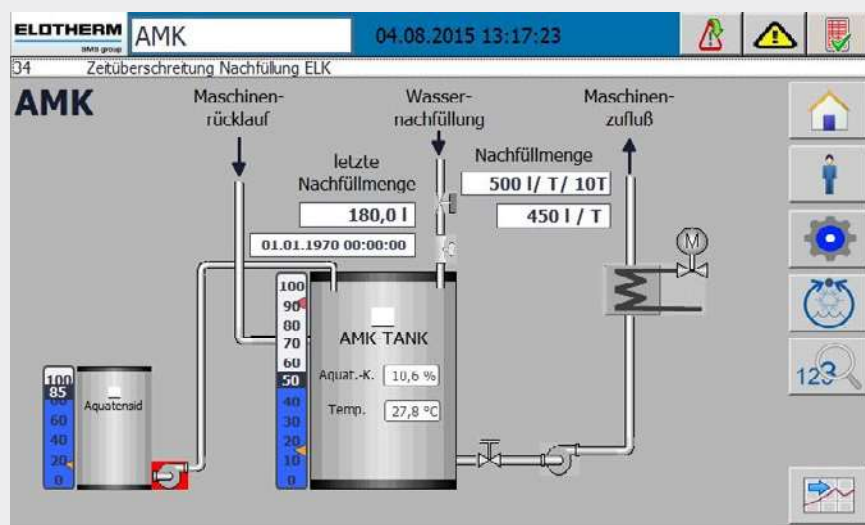
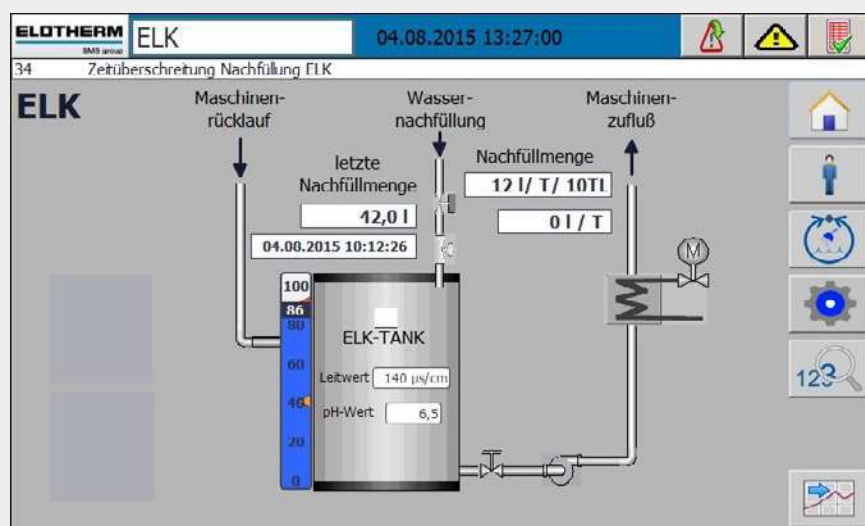
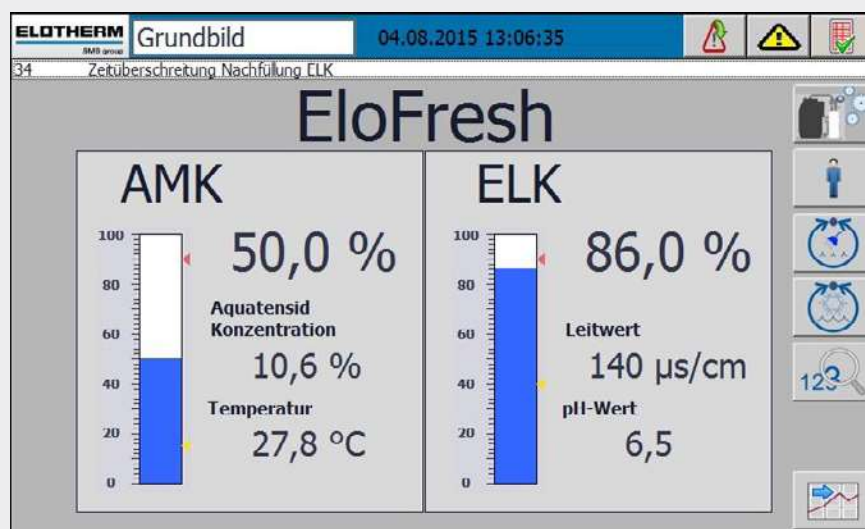


Bild 14: Qualitätssicherung für Kühl- und Abschreckmedium mit EloFresh

FACHBERICHTE

Weitere Module bieten:

- eine Wasserverbrauchsüberwachung in Abhängigkeit der Zeit und Meldung einer Induktor-Leckage,
- die Nachdosierung von Biozid und Kupferinhibitor,
- eine erhöhte Prozesssicherheit des Härteverfahrens durch die kontinuierliche und vollautomatische Überwachung der Konzentration des Abschreckmediums und bedarfsweise Nachdosierung. Dadurch entfallen die notwendigen Handmessungen zur Konzentrationsbestimmung und die Laboranalysen. Die Abschreckmittel-Konzentration bleibt dadurch konstant. Optimale Härteergebnisse sind sichergestellt.

Diese ganzheitliche Überwachung und Regelung der Kühl- und Abschrecksysteme durch EloFresh™ bedeutet eine deutliche Erhöhung der bisher möglichen Prozesssicherheit für Härteprozesse.

FAZIT

Die mittlerweile in der Serienproduktion üblichen hohen Anforderungen an die Prozessstabilität im Zusammenhang mit kurzen bis sehr kurzen Taktzeiten einerseits, und die anspruchsvollen Spezifikationen der Härtezeiten andererseits, erfordern eine fundierte empirische und/oder numerische Auslegung des Prozesses unter Berücksichtigung des Werkstoffs und der Härteanforderungen. Hierzu werden bezogen auf den jeweiligen Anwendungsfall numerische Simulationen herangezogen, deren Ergebnisse die Temperaturverteilung im Werkstück bei vorgegebenen Prozessparametern widerspiegeln. Auf Basis dieser Simulationen werden die Prozessdaten sowie die Auslegung des Induktors – im Rahmen der physikalischen Möglichkeiten – optimiert. Im Rahmen der Prozessbewertung sind Fragestellungen

bzgl. der Abhängigkeiten zwischen Gefüge, Ausbildung der Härtezone und der Auslegung des Induktors zu eruieren. Ferner ist durch entsprechende Maßnahmen – z. B. im Hinblick auf das tatsächlich erforderliche Leistungsniveau, Induktordesign, Kühl- und Abschreckkreisläufe – sicherzustellen, dass möglichst hohe Verfügbarkeiten erreicht werden können.

LITERATUR

- [1] Orlich, J.; Rose, A.; West, P.: Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle, Band 3. Verlag Stahleisen, 1973
- [2] Thomas, G. A.; et al.: LANL. Time-Temperature Equivalence in Martensite Tempering, 2008
- [3] Geisel, H.: Die Berechnung der Einwärmtiefe bei der Oberflächen-Induktionshärtung. Werkstatttechnik und Maschinenbau, Heft 10, 1956

AUTOREN



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



Dipl.-Ing. Farsad Amiri
Evoprojekt / SMS Elotherm GmbH
Remscheid
Tel.: 0160 / 7037647
f.amiri@sms-elotherm.com

Besuchen Sie uns
auf dem **HK 2015**

Vulkan-Verlag
Halle 4.1 / Stand F 018

28. - 30. Oktober 2015
Kölnmesse, Köln
Deutschland

