

Elektromagnetisch-thermische Feldsimulation für das induktive Härten von Kettengliedern

von **Stefan Dappen, Michael Dawidowicz, Gerhard Reese**

Komplexe Bauteile und aufwendige Prototypen erfordern besonderes Engineering. Der vorliegende Artikel stellt zunächst eine allgemeine Übersicht der Verfahrensmöglichkeiten dar, die man beim Induktionshärten anwenden kann und geht anschließend auf die elektromagnetische Erwärmungssimulation mit ANSYS 17.0 ein, welche für eine komplexe Induktorgeometrie zur Härtung eines großen Kettengliedes genutzt wurde. Mithilfe der Härterei Reese Bochum GmbH werden die Härteergebnisse des Kettengliedes beschrieben, die mit dem im Vorfeld simulierten Induktor erreicht wurden.

Electromagnetic thermal coupled simulation of an induction hardening process for an excavator chain

Complex workpieces and extensive prototypes require a special detailed engineering. This paper gives a brief overview about several process techniques which can be used in induction hardening and describes in detail an electromagnetic thermal coupled simulation. The computational mechanical engineering with ANSYS 17.0 was done for a complex inductor geometry which was used to harden big excavator chains. The simulated inductor was built and installed in one of the flexible hardening machines of Härterei Reese Bochum GmbH where a chain was hardened and evaluated. These results were used to validate the simulation.

Es gibt vielfältige Verfahrenstechniken des Induktionshärtens. Das induktive Härten ist ein Randschichthärtungsverfahren, das durch eine direkte Wärmeerzeugung im Werkstück gekennzeichnet ist. Im Allgemeinen können alle Werkstoffe, die den elektrischen Strom leiten, erwärmt werden; wobei nur kohlenstoffhaltige Werkstoffe wie Stahl, Stahlguss oder Gusseisen die Eigenschaft der Härbarkeit aufweisen. Durch das induktive Härten werden im randschichtnahen Bereich mechanische Eigenschaften wie Festigkeit und Verschleißbeständigkeit verbessert. Die Duktilität im Werkstückinneren, welche für dynamische Belastung notwendig ist, bleibt hingegen bestehen.

Der Härteprozess beginnt mit einer Kurzzeitaustenitisierung, bei der eine hohe Leistungsdichte in kurzer Zeit in das Werkstück übertragen wird. Durch die Temperaturänderung auf über 900 °C werden die Atome zum Schwingen angeregt. Die Bewegungsenergie verändert die kubisch-raumzentrierte

Gitterstruktur in eine kubisch-flächenzentrierte Struktur, bei der Kohlenstoffatome in das Gitter aufgenommen werden können. Der dabei entstandene Mischkristall wird als Austenit bezeichnet. Mit einem anschließenden Abschreckprozess wird eine verzerrte Gitterstruktur eingefroren, die eine Volumenänderung des Werkstückes hervorruft und das Gitter verspannt, was makroskopisch einem Härtezuwachs entspricht.

Mithilfe eines werkstoffspezifischen ZTU-Diagramms kann man die Härtetiefe und Härte für unterschiedliche Abschreckgeschwindigkeiten ermitteln. Bei dynamischen Belastungsfällen greift man meist auf einen Anlassprozess zurück, der entweder induktiv, aus Restwärme oder aber im Ofen stattfinden kann.

Die hohe Reproduzierbarkeit und die schnellen Prozessabfolgen sichern hohe Produktqualitäten in kurzen Taktzeiten und ermöglichen eine wirtschaftliche Integration in diversen Produktionslinien.

WELCHE HAUPTKOMPONENTEN WERDEN FÜR DEN HÄRTEPROZESS BENÖTIGT?

Die Auswahl der Anlagenkomponenten ist ein wesentlicher Bestandteil der Überlegungen zur Härtung des Kettenglieds und verlangt eine detaillierte Betrachtung der Härteaufgabe. Zu Beginn erfolgt eine Überprüfung der Härtespezifikation und der Werkstückgeometrie, bei der die Werkstoffeigenschaften und die im Zusammenhang stehenden Härtetiefen fokussiert werden müssen. Fehlender Kohlenstoffgehalt, zu hohe Härtetiefen oder zu kurze Taktzeiten können dazu führen, die Anforderungen des Kunden nochmals zu diskutieren. Folgende Prüfungen müssen bei einer Auslegung der Anlagenkomponenten erfolgen:

- Werkstoffeigenschaften (Kohlenstoffgehalt, Härbarkeit, Einhärtbarkeit, etc.)
- Werkstückgeometrie (Härtezone, Verzahnungen, Kannten, Hinterstiche, etc.)
- Abgleich der erreichbaren und geforderten Härtetiefe
- Abgleich der erreichbaren und geforderten Oberflächenhärte
- Überprüfung der Grenzhärte
- Einzustellende Weichzonen
- Korngröße
- Umwandlungstiefe, bei der eine martensitische Schicht erreicht werden muss.

Die hohen Netzanschlussleistungen werden durch einen Netztransformator erzeugt, der zum einen den Umrichter versorgt und zum anderen einen Hauptschalter auf der Niederspannungsseite besitzt. Dieser schaltet das System spannungsfrei und erfüllt die Sicherheitsvorschriften nach EN50519. Die Umrichterleistung orientiert sich an der Auswahl des richtigen Härteverfahrens und muss so gewählt werden, dass dem Werkstück eine ausreichend hohe Wärmestromdichte zur Verfügung gestellt werden kann. Die Wirkungsgrade der Systemkomponenten (Umrichter, Kondensator, Trafo, Verbindungsschienen) und hauptsächlich der des Induktors reduzieren die Umrichterleistung, sodass nur ca. 50–70 % der Energie ins Werkstück übertragen wird. Die Bestimmung der richtigen Härtfrequenz orientiert sich zum einen an der zu erreichenden Härtetiefe aber auch an der angegebenen Grenzhärte. Die Energieübertragung auf das Werkstück erfolgt durch den Induktor und den Abstand zwischen Induktor und Werkstück, den sogenannten Luftspalt. Für den Aufbau des elektromagnetischen Feldes wird eine hohe Blindleistung benötigt. Diese soll nicht aus dem kundenseitigen Stromnetz entnommen werden, sodass Kondensatoren eingesetzt werden. Die Blindleistung entspricht einem Vielfachen der installierten Umrichterleistung und kann durch elektrische Trenner in bestimmten Stufen geschaltet werden. Dadurch können unterschiedliche Werkstücke mit unterschiedlichen Fre-

quenzen gehärtet werden. Die Kurzzeitaustenitisierung erfordert hohe Leistungsdichten, die nur mit hohen Induktorströmen erreicht werden können. Hierfür werden Hochisoliertransformatoren eingesetzt, welche die Spannungen herunter und die Ströme hoch transformieren. Mithilfe variabler Übersetzungsverhältnisse können ebenfalls unterschiedliche Härteaufgaben mit einem Transformator erfüllt werden. Je höher der Kopplungsabstand ist, desto größer die Verluste. Mit der patentierten Lösung aus dem Hause SMS Elotherm kann die Werkstückwirkleistung gemessen werden und eine Prozessüberwachung für jedes produzierte Bauteil stattfinden. Mit dieser Qualitätsüberwachung können u. a. falsch eingestellte Luftspalte, falsche Induktoren oder andere Prozessstörungen identifiziert werden.

DIE WAHL DES RICHTIGEN INDUKTIVEN HÄRTEVERFAHRENS

Beim Induktionshärten gibt es zwei grundlegende Verfahrensvarianten, die beide Vor- und Nachteile mit sich bringen. Das Vorschubverfahren (auch „Scanning“ genannt) ist während der Aufheizphase durch eine Relativbewegung des Induktors zum Werkstück definiert. Typischerweise wird der gesamte Bereich der definierten Härtezone abgefahren. Eine angekoppelte Brause, die relativ zum Induktor in einem Abstand positioniert ist, sorgt für eine ausreichend schnelle Abschreckung. Das Bauteil wird für die Härtung meist in eine Rotationsbewegung versetzt.

Folgender Ablauf ergibt sich für das sogenannte Umlauf-Vorschubhärten (**Bild 1a**), welches z. B. für Wellenhärtungen eingesetzt werden kann:

- Rotation des Werkstückes einschalten
- Stillstandsheizen, um Einlaufzonen zu verkürzen
- Vorschubheizen mit gleichzeitigem Brausen
- Am Ende der Heizzone erfolgt eine weitere Vorschubbewegung, damit die Brause die gesamte Härtezone abschreckt
- ggf. kann im Stillstand nachgekühlt werden.

Es gibt ebenfalls Anwendungen, die eine Umlauf-Vorschubhärtung für kurze Härtezonelängen fordern. Bei dieser Variante (**Bild 1b**) kann eine ortsfeste Brause positioniert werden, bei der die Wasseranschlüsse nicht mitbewegt werden müssen.

- Rotation des Werkstückes einschalten
- Stillstandsheizen, um Einlaufzonen zu verkürzen
- Vorschubheizen
- Am Ende der Heizzone erfolgt weitere Vorschubbewegung
- Abschrecken mit ortsfester Gesamtflächenbrause.

Der wesentliche Vorteil des Vorschubverfahrens sind universell einsetzbare Induktoren, die z. B. für gleiche Wellendurchmesser aber unterschiedliche Wellenlängen verwen-

det werden können. Somit erspart man sich Werkzeugkosten und bei einem Werkstückwechsel Rüstzeiten. Auf der anderen Seite werden höhere Taktzeiten unter dieser Verfahrenseinstellung erreicht, die bei steigenden Härtezonenslängen ebenfalls wachsen. Dieser Nachteil kann durch weitere Härtestationen ausgeglichen werden.

Eine weitere Möglichkeit, kurze Taktzeitforderung einhalten zu können, ohne weitere Härtestationen in der Produktionshalle einzuplanen, gibt das Gesamtflächenverfahren. Das Gesamtflächenverfahren, bei dem der Induktor ortsfest positioniert ist und die gesamte Härtezone austenitisiert, wird auch als Standhärtung bezeichnet. Die zusätzliche Relativbewegung zum Werkstück, meist eine Rotationsbewegung, ist auch bei diesem Verfahren notwendig, kann allerdings werkstückabhängig auch durch eine oszillierende Bewegung ersetzt werden. Auch hier ergeben sich Varianten durch unterschiedliche Bewegungen und Positionen zwischen Induktor und Brause, welche als Umlauf-Standhärtung bekannt sind.

Folgender Ablauf ergibt sich für die Variante aus Bild 1c, welche z. B. für die Lagerhärtung von Kurbelwellen Anwendung findet:

- Rotation des Werkstückes
- Heizen
- Am Ende der Heizzeit erfolgt die Abschreckung durch ortsfeste Brausen.

Nicht immer ergibt sich ein Maschinenkonzept, in dem die Brausen so positioniert werden können, dass das Bauteil einheitlich benetzt werden kann. Da sich aus einer inhomogenen Abschreckung verstärkt Verzüge einstellen und ggf. Risse entstehen können, behilft man sich mit einem Gesamtflächeninduktor, der für den Abschreckvorgang zurückgefahren werden kann. Die Variante aus Bild 1d berücksichtigt diesen Aspekt:

- Rotation des Werkstückes einschalten
- Heizen
- Am Ende der Heizzeit wird der Induktor zurückgefahren
- Zeitgleich erfolgt die Abschreckung mit ortsfester Brause.

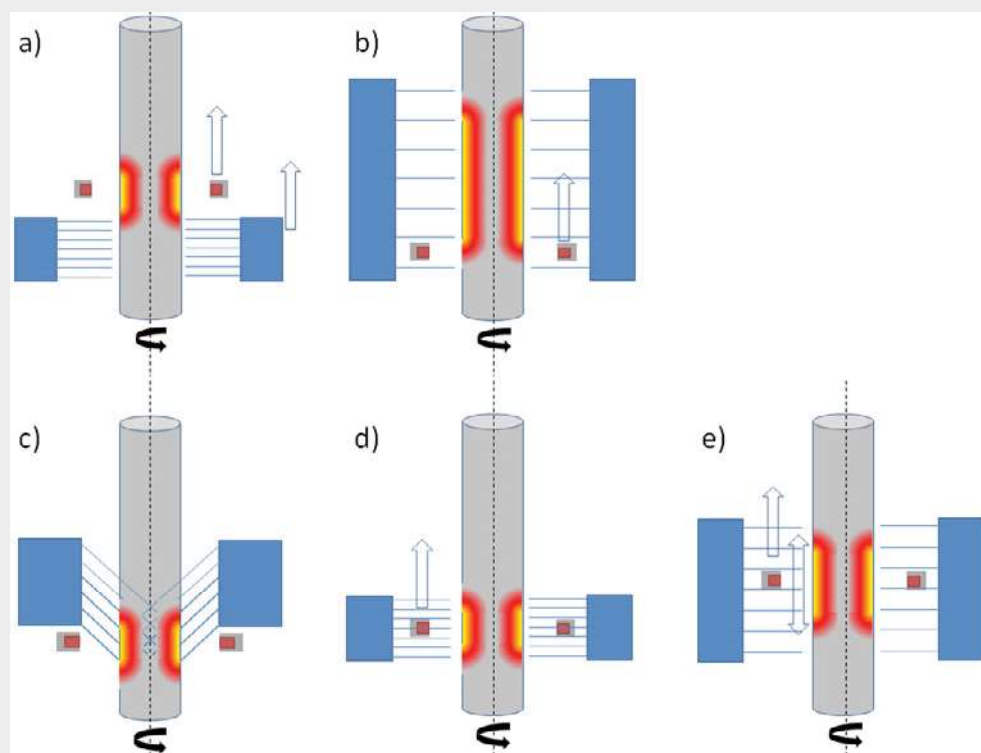


Bild 1: Darstellung der unterschiedlichen Verfahrensvarianten – a) und b) für Umlauf-Vorschubhärtung und c)-e) für Umlauf-Standhärtung

Wie bereits erwähnt, kann eine Rotationsbewegung nicht erfolgen, wenn ebene Flächen gehärtet werden sollen. Bei solchen Härteanwendungen wird die Rotationsbewegung durch eine Oszillationsbewegung ersetzt. Somit bildet sich der Heizleiter nicht auf dem Werkstück ab und verwischt die Temperaturfelder in Richtung der Oszillation. Bei Variante aus Bild 1e sollte der Oszillationsweg so gewählt werden, dass eine homogene Erwärmung der gesamten Fläche realisiert werden kann. Betrachtet man einen mäanderförmigen Induktor, wie in **Bild 2** angedeutet, so besteht ein definierter Abstand zwischen den einzelnen Kupferprofilen in Querrichtung. Dieser Abstand dient zur Anbringung von Elektroblechen, die das magnetische Feld konzentrieren, und ergibt sich durch die Auslegung der Kupferprofilbreite im Bezug zur Härtezone. Das elektromagnetische Feld breitet sich direkt unter dem Kupferprofil aus, sodass sich dort Temperaturmaxima und in den Zwischenräumen Temperaturminima bilden. Um ein gleichmäßiges Temperaturniveau zu erreichen, wird die halbe Teilung von zwei benachbarten Kupferprofilen als Oszillationsweg genutzt.

- Mehrere Oszillationsbewegungen des Induktors beim Heizen
- Am Ende der Heizzeit wird der Induktor zurückgestellt
- Zeitgleich erfolgt die Abschreckung mit ortsfester Brause.

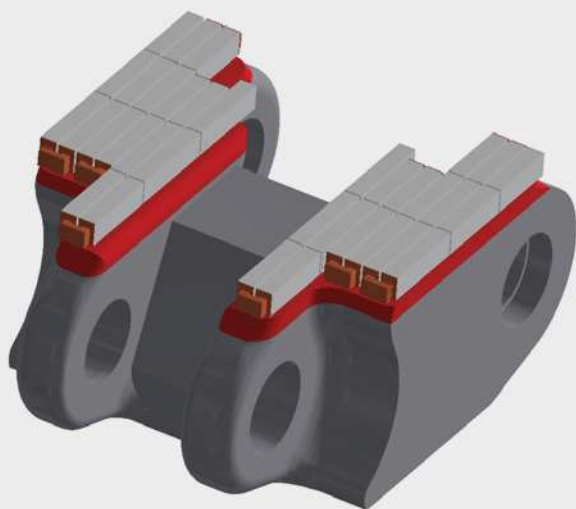


Bild 2: Kettengliedhärtung mit einem Gesamtflächeninduktor – Härtezone rot dargestellt

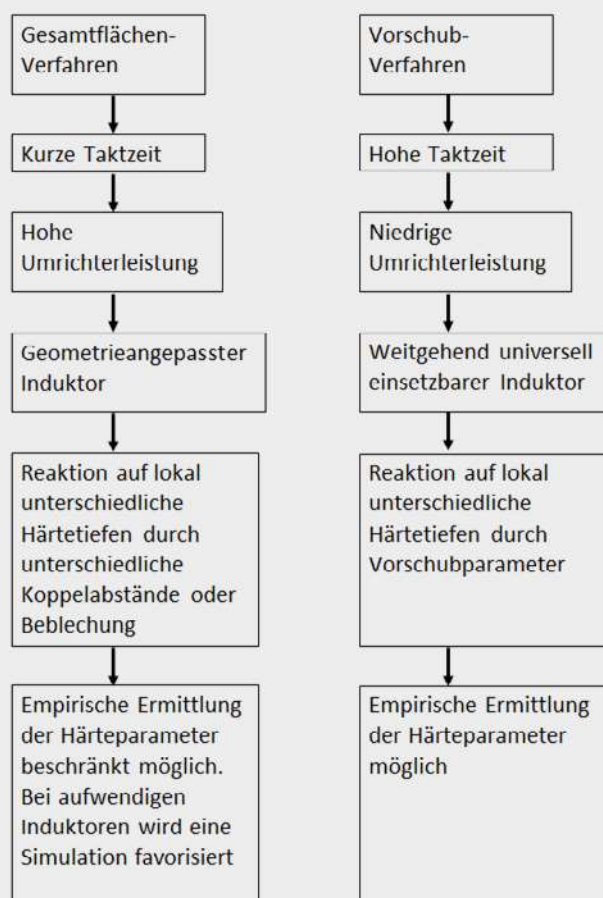


Bild 3: Gesamtflächenverfahren vs. Vorschubverfahren

Der wesentliche Vorteil des Gesamtflächenverfahrens (**Bild 3**) ist die Realisierung von kurzen Taktzeiten, die bei hohen Losgrößen z. B. von der Automobilindustrie gefordert werden. Auf der einen Seite kann man mit diesem Verfahren komplexe Geometrien härten, auf der anderen Seite werden die Induktoren werkzeugspezifisch gefertigt und können nur selten mehrere Härtezonen abdecken.

ELEKTROMAGNETISCH-THERMISCHE 3D-SIMULATION

Oft basiert die richtige Auswahl der Induktorgeometrie auf Erfahrungswerten aus der Vergangenheit, die durch gepflegte Datenbanken gefiltert werden können. Allerdings besteht auch die Möglichkeit einer empirischen Ermittlung durch experimentelle Versuche, welche bei kleineren Induktoren durchgeführt werden können. Hierbei werden geringfügige Änderungen wie Heizleiterbreiten, Beblechungen, etc. vorgenommen, die z. B. in dem Anwendungsfall einer Lagerhärtung von Kurbelwellen zum Erfolg führen. Wenn allerdings aufwendige Prototypen eingesetzt werden müssen oder das zu härtende Bauteil einen sehr hohen Wert hat, dann sind experimentelle Versuche nicht mehr wirtschaftlich. Diese werden von dreidimensional elektromagnetisch-thermischen Simulationen abgelöst. Die zu lösenden Gleichungen sind lineare partielle Differentialgleichungen erster Ordnung.

Härteaufgabe

Es handelt sich um Kettenglieder, die in Hydraulikbaggern verwendet werden. Im Einsatz unterliegen die Werkstücke hohen Lasten und abrasivem Verschleiß.

Durch die induktive Härtung soll eine gleichmäßig hohe Einhärtetiefe – in Anlehnung an sehr spezielle Kundenforderung – erreicht werden. Hierfür werden die zwei rot dargestellten Härtezonen (Bild 2) mit einem Induktor gehärtet. Im Anschluss an die Wärmebehandlung muss durch eine Magnetpulverrissprüfung die Rissfreiheit der Oberfläche nachgewiesen werden.

Erstellung eines Berechnungsmodells

Die Geometrie eines Kettenglieds ist zu komplex, um sie auf ein 2-D- bzw. sogar 1-D-Problem zu reduzieren. So wird lediglich die Spiegelsymmetrie des Bauteils für eine Modellreduzierung ausgenutzt. Die geforderte Härtetiefe ist weitaus größer als die zu erreichende Eindringtiefe des induzierten Stromes, welcher sich aufgrund des Skin-Effektes oberflächennah ausbreitet. Bei einem mäanderförmigen Induktor stellen sich bei einer Standhärtung Temperaturmaxima und -minima ein, welche durch eine Oszillationsbewegung ausgeglichen werden. Mit dem Wechselspiel zwischen induzierter Wärme und Wärmeleitung kann eine große Härtetiefe erreicht werden, ohne Oberflächenüberhitzungen zu erzeugen. Die temperaturabhängigen Mate-

rialeigenschaften wie Wärmeleitfähigkeit, Permeabilität, spezifische Wärmekapazität, um nur einige zu benennen, erfordern eine transiente Berechnung des gekoppelten Systems. Das elektromagnetische Feld, welches durch einen mit Wechselstrom durchflossenen Heizleiter aufgebaut wird, überträgt sich auf das Werkstück und induziert einen Wechselstrom. Dieser Strom fließt wegen des Skin-Effektes an der Werkstückoberfläche und kann durch eine Frequenzanpassung in Tiefenrichtung verändert werden. Aus diesem Grund wählt man bei hohen Eindringtiefen relativ niedrige Frequenzen. Aus der elektromagnetischen Berechnung resultiert die Joule'sche Wärme im Bauteil, die im thermisch-transienten Teil über eine gewisse Aufheizzeit beaufschlagt wird. Durch die Temperaturänderungen und die begleitenden Änderungen der Materialeigenschaften findet eine Rückkopplung auf die elektromagnetische Berechnung statt. Sowohl die Vernetzung des Induktors als auch die Vernetzung des Luftvolumens, welches für die Ausbreitung des elektromagnetischen Feldes dient, kann relativ grob eingestellt werden. Aufgrund des Skin-Effekts (**Bild 4**) muss allerdings die oberflächennahe Region des Werkstückes in feinen Schichten vernetzt werden, sodass der Spannungsabfall über die Eindringtiefe hinreichend ermittelt werden kann. Ein Erfahrungswert dazu fordert fünf Schichten, um den resultierenden Leistungsdichteabfall numerisch zu bestimmen. Die Eindringtiefe kann durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot f \cdot \sigma}}$$

mit δ = Eindringtiefe, μ_0 = mag. Feldkonstante, μ_r = relative Permeabilität, f = Frequenz, σ = elektr. Leitfähigkeit

Simulationserkenntnisse und Prozesseinstellung

Während der Simulationsarbeiten wurden diverse Profilbreiten und Induktorausführungen untersucht, um eine homogene Erwärmung zu erreichen. Durch die erzielte Gleichmäßigkeit verhindert man lokal eintretende Überhitzungen, die zur Grobkornbildung oder sogar zu Anschmelzungen führen können. In **Bild 5** wird die Joule'sche Wärme dargestellt, welche direkt unter den Heizleiterprofilen ihre Maxima aufweist. Der Abstand zwischen diesen Maxima entspricht etwas mehr als der gewählten Profilbreite und definiert den Oszillationsweg. Doch welche Oszillationsgeschwindigkeit ist notwendig? Dafür dient die thermisch transiente Berechnung, bei der der Induktor ortsfest positioniert ist und in einer definierten Heizzeit die Wärme im Werkstück erzeugt. In **Bild 6** wird die Temperaturentwicklung entlang der Schnittebene A-A dargestellt, welche nach nur einer Sekunde erreicht wurde. Die erreichte Oberflächentemperatur unter den

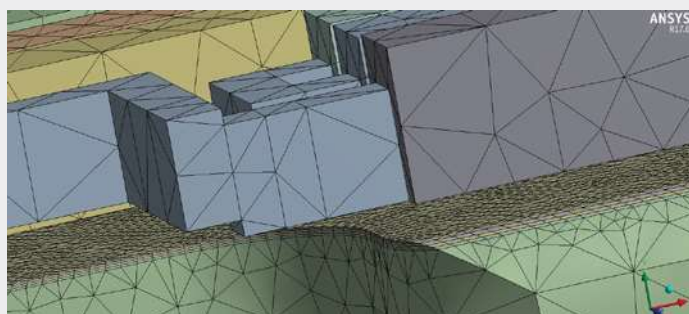


Bild 4: Berücksichtigung des Skin-Effektes bei der Erstellung des Berechnungsnetzes

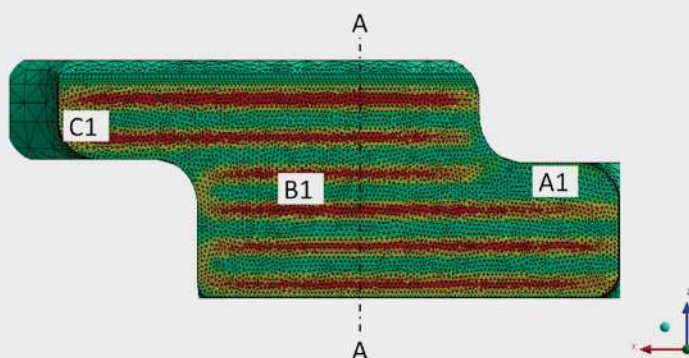


Bild 5: Joule'sche Wärme – Abbild des Heizleiters auf dem Werkstück

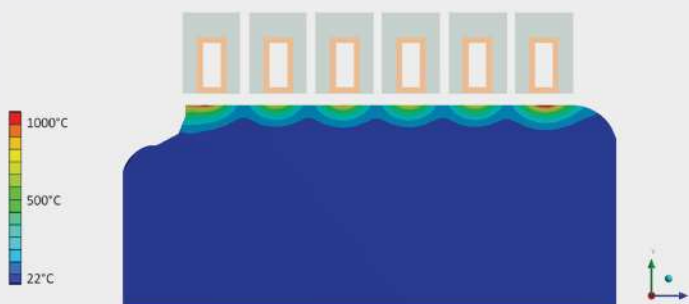


Bild 6: Direkte Wärmeübertragung des induzierten Stroms im Schnitt A-A in einer Sekunde

Heizleiterprofilen beträgt durchschnittlich 900 °C und baut sich entlang der Tiefe von 11 mm ab. Da das Kettenglied als Senke wirkt und die Temperatur ins Bauteilinnere fließt, kann die Fläche nach einem Bewegungszyklus erneut aufgewärmt werden. Nach einer gewissen Periode sättigt sich die Temperatur an der Oberfläche, da der Temperaturunterschied kleiner wird.

Die Folge einer Sättigung spiegelt sich in einem Wärmestau und der damit einhergehenden Temperaturerhöhung wieder, welche bis zu einer Grenze von 1.050 °C toleriert werden kann.

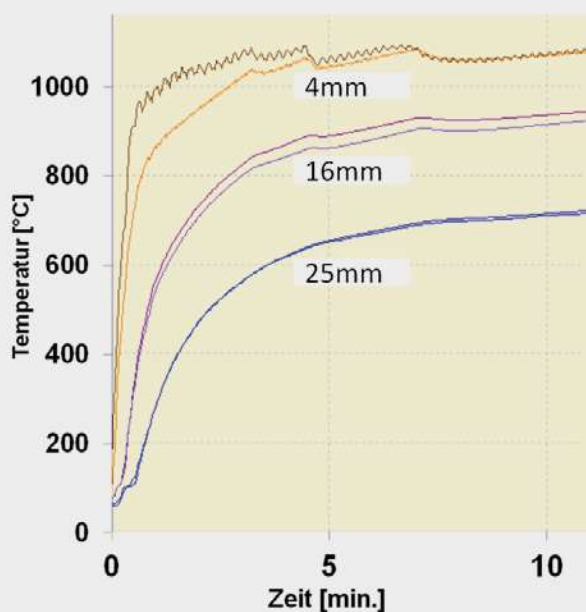


Bild 7: Temperaturkurve während des Aufheizens in unterschiedlichen Tiefen

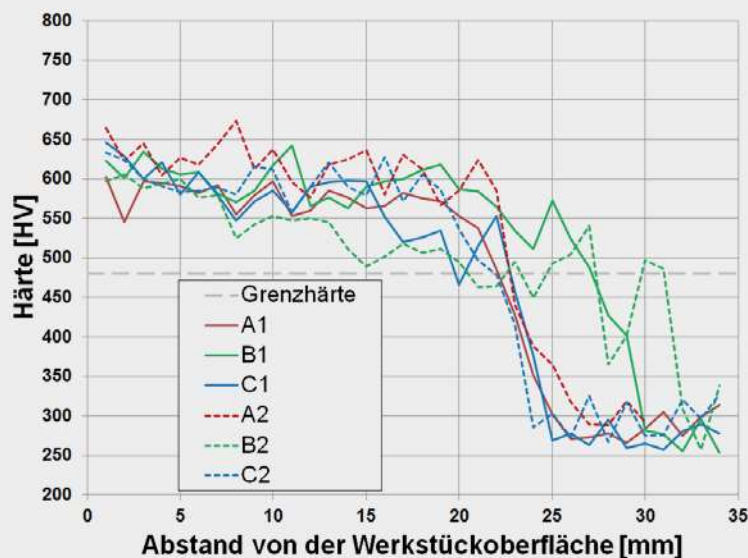


Bild 8: Härteverläufe an jeweils drei gleichpositionierten Messstellen auf beiden Kettengliedflächen

Die professionelle Zusammenarbeit mit der Härtereie Reese Bochum GmbH ermöglichte die präzise Anbringung von Thermoelementen, die jeweils in 4 mm, 16 mm und 25 mm Tiefe verteilt über das Werkstück positioniert wurden. Die Anzahl von Versuchsteilen konnte somit auf das Kleinste begrenzt werden und ersparte unnötige Laborauswertungen. In **Bild 7** erkennt man jeweils zwei Temperaturkurven in unterschiedlichen Tiefen, deren Positionen auf beiden zu härtenden Flächen identisch sind. Die geringen Unterschiede entstehen durch die manuell angebrachten Bohrungen der einzelnen Thermoelemente. Mithilfe dieser Messungen konnte die Grenztemperatur von 1.050 °C erkannt werden und in zeitlichen Abständen mit gezielten Leistungsreduzierungen gesenkt werden. Die beidseitig einheitliche Temperaturentwicklung hebt die gute Werkstückpositionierung und Induktorfertigung hervor. Eine große Härtetiefe kann beim Induktionshärten im Zusammenspiel mit der Wärmeleitung erreicht werden und erfordert in diesem Anwendungsfall eine Aufheizphase von 12 min. Ein anschließender ausgiebiger Abschreckprozess gewährleistet eine Gefügewandlung und verhindert das Anlassen aus Restwärme.

Das Härteergebnis wurde durch die genaue Induktorauslegung und Prozesseinstellung hinreichend erfüllt. Die Härteverläufe wurden an den Messstellen A1, A2, B1, B2, C1 und C2, wie in Bild 5 schematisch dargestellt, durchgeführt, wobei die Buchstaben A–C für die Messpositionen und die Zahlen 1 & 2 für die zu härtende Fläche stehen. Die Härtetiefen der Pärchen A1-A2, B1-B2 und C1-C2 unterscheiden sich aufgrund von Werkstücktoleranzen nur geringfügig und unterstreichen die homogene Arbeitsweise des Induktors auf beiden Flächen (**Bild 8**). Die minimale Härtetiefe wurde für alle Messpunkte deutlich und prozesssicher überschritten und hebt die gute Simulations- und Prozessauslegung hervor. Durch die Magnetpulverrissprüfung konnte ebenfalls die Rissfreiheit der Oberfläche nachgewiesen werden.

ZUSAMMENFASSUNG

In den vergangenen Jahren sind die Anforderungen an Kettenglieder immer weiter gestiegen. Dies gilt sowohl für die Auswahl des Werkstoffes, als auch für die Art der Härtung. Wurde in der Vergangenheit noch oft das Verfahren Flammenhärten gewählt, so wächst mit zunehmendem Anspruch auf hohe Reproduzierbarkeit und Rissfreiheit der Wunsch die Härteanforderungen

durch Induktionshärten zu erfüllen. Die Härterei Reese Bochum GmbH ist seit vielen Jahren dafür bekannt, sich speziell solchen komplexen Härteproblemen zu stellen und – in Zusammenarbeit mit kompetenten Partnern – marktgerechte Lösungen zu entwickeln. So auch in diesem Fall. Die gute Zusammenarbeit der SMS-Elotherm-Ingenieure mit den Wärmebehandlungsfachleuten der Firma Reese führte zu der Entwicklung einer neuartigen Maschine, die allen Kundenwünschen gerecht wird. Die Härterei Reese kann mit dieser neuen Maschine nun auch das Härten von Kettengliedern via induktiver Erwärmung anbieten und hat sich damit ein weiteres Standbein im großen Feld der Mining-Industrie geschaffen. Dieser Erfolg beruht maßgeblich auf der partnerschaftlichen Kooperation zwischen der SMS-Elotherm und der Härterei Reese Bochum GmbH.

LITERATUR

- [1] Läßle, V., Schorndorf: Wärmebehandlung des Stahls, Europa Lehrmittel, 2010
- [2] Höhne, E.: Induktionshärten (Werkstattbücher) Taschenbuch, H.Haake, 1955

AUTOREN



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



M.Sc. **Michael Dawidowicz**
SMS Elotherm GmbH
Remscheid
Tel.: 02191 / 891-215
m.dawidowicz@sms-elotherm.com



Dipl.-Ing. **Gerhard Reese**
Härterei Reese Bochum GmbH
Bochum
Tel.: 0234 / 9036-21
greese@haertereie.com

Check it out: www.prozesswaerme.net



Prozesswärme ONLINE vereint Wissen,
Markt und Anwender!

PROZESSWÄRME  **ONLINE**
Das B2B-Portal für die Thermoprozesstechnik