

Induktives Härten versus Einsatzhärten – ein Vergleich

von **Sascha Brill, Dirk M. Schibisch**

Reduzierung des Flottenverbrauchs in der Automobilindustrie oder Servicefreiheit für die Lebensdauer der Dreh-Wälzverbindung von Offshore-Windanlagen – alles hängt von der Qualität der eingesetzten Komponenten ab. Dabei spielt die Wärmebehandlung bzw. die Härtung der Oberfläche eine entscheidende Rolle, um einerseits die geometrischen Dimensionierungen so klein wie möglich zu halten, andererseits die Bauteile widerstandsfähig gegen immer höher werdende Belastungen zu machen. In Zeiten eines zunehmend intensiveren internationalen Wettbewerbs kommt es für die Hersteller dieser Komponenten zusätzlich auf eine intelligente Fertigungstechnik an. In diesem Beitrag wird das traditionelle Verfahren des Einsatzhärtens dem Induktionshärten gegenübergestellt und gezeigt, dass die Induktionstechnik vor allem in Bezug auf die Integration in den Fertigungsfluss, hohe Produktivität, energie- und ressourcenschonender Fertigung, Flexibilität bei der Werkstoffauswahl und Reproduzierbarkeit der Härtergebnisse überlegen ist.

A comparison between inductive hardening and case hardening

Reducing fleet consumption in the automotive industry or service free operation of components in offshore wind mills during lifetime – all depends on the quality of the components used. Especially the heat treatment, here the surface hardening, plays an important role, on the one hand for keeping geometrical dimensions as small as possible, on the other hand for boosting the component's resistance to ever increasing loads. In times of growing international competition among the manufacturers of such components, an intelligent manufacturing technology is an essential asset. This article compares the traditional process of case hardening with induction hardening and proves that the induction technology mainly is advantageous, when it comes to the integration into manufacturing lines, high productivity, energy and resource saving production, flexibility of the material selection and reproducibility of the hardening results.

Gegossene, warm- bzw. kaltverformte Bauteile aus Stahl haben häufig noch nicht die notwendigen Gefügeeigenschaften, um den Anforderungen im eingebauten Zustand zu genügen. Zur Steigerung bzw. Optimierung der Materialeigenschaften wie zum Beispiel dem Verschleißwiderstand, der Festigkeit oder der Zähigkeit können unterschiedliche Wärmebehandlungsverfahren durchgeführt werden.

Wärmebehandlung ist gemäß DIN EN 10052 definiert als: „Ein Werkstück ganz oder teilweise Zeit-Temperatur-Folgen zu unterwerfen, um eine Änderung des Gefüges und/oder der Eigenschaften herbeizuführen. Gegebenenfalls kann bei einigen Verfahren während der Wärmebehandlung die chemische Zusammensetzung des Werkstoffes geändert werden.“

Wärmebehandlungsverfahren werden allgemein in thermische (Glüh- und Härteverfahren) und thermochemische Verfahren (Diffusions- und Beschichtungsverfahren) eingeteilt (**Tabelle 1**).

Während das Induktionshärten zu den thermischen Verfahren zählt, wird das Einsatzhärten den thermochemischen Verfahren zugeordnet. Richtig angewendet stellen beide Verfahren eine gezielte Gefügeumwandlung der Randschicht sicher, sodass, gemessen von der Oberfläche bis zu einer bestimmten Tiefe, ein vollständiges martensitisches Härtegefüge generiert wird. Dabei wird der Kern in dem jeweiligen Ausgangszustand nicht oder nur bedingt beeinflusst.

Voraussetzung für die Härbarkeit des jeweiligen Werkstoffes ist ein entsprechender Kohlenstoffanteil in Verbin-

Tabelle 1: Einteilung von Wärmebehandlungsverfahren; in Anlehnung an [3]

Thermische Verfahren		Thermochemische Verfahren	
Glühen:	Härten:	Diffundieren:	Beschichten:
Normalglühen	Vergüten	Einsatzhärten	TiN
Weichglühen	Bainitisieren	Aufkohlen	TiC
Spannungsarmglühen	Induktionshärten	Carbonitrieren	TiCN
Rekristallisationsglühen	Flammhärten	Nitrocarburieren	CrN
Grobkornglühen	Laserstrahlhärten	Nitrieren	usw.
Lösungsglühen	Elektronenstrahlhärten	Borieren	
usw.	usw.	Chromieren	
		usw.	

derung mit einem entsprechenden Anteil an Legierungselementen. Zudem ist eine sorgfältige Prüfung der richtigen Kombination aus Werkstückgeometrie, Härtevorschrift und Wärmebehandlungsverfahren notwendig. Die Tabelle 1 zeigt gängige Härteverfahren. Im weiteren Verlauf werden die beiden Verfahren, das Einsatzhärten und das Induktionshärten, beschrieben und verglichen.

EINSATZHÄRTEN

Wärmebehandlungsverfahren wie das Einsatzhärten werden zur Verbesserung der Lebensdauer durch Steigerung der Oberflächenhärte und der Schwingfestigkeit bei gleichzeitig zähem, elastischem Kerngefüge angewendet. Für das Einsatzhärten können sogenannte Einsatzhärtestähle nach DIN EN 10084 oder Automateneinsatzstähle nach DIN EN 10087 verwendet werden. Diese Stähle weisen einen Massenanteil an Kohlenstoff von ca. 0,1-0,3 % auf. Durch den geringen Kohlenstoffanteil können diese Stähle gut zerspannt und umgeformt werden. Für eine hohe Außenhärte von zum Beispiel 60 HRC ist der Kohlenstoffanteil von ca. 0,1-0,3 % nicht ausreichend und das Bauteil muss daher aufgekühlt werden.

Das Aufkohlen erfolgt durch Diffusion des Kohlenstoffs in die Werkstückoberfläche. Zur Regelung des Aufkohlungsprozesses wird der C-Pegel, also der Kohlenstoffpegel herangezogen. Beim Gasaufkohlen erfolgt der Kohlungsprozess in zwei aufeinander abgestimmten Teilprozessen: Im ersten Schritt wird die Aufkohlungstiefe mit einem höheren C-Pegel angestrebt, in einem zweiten Schritt wird dann der C-Pegel so reduziert, dass sich der Massenanteil des Randkohlenstoffs in der erforderlichen Tiefe einstellt.

Ein Gasgemisch aus Träger- und Zusatzgas stellt die Basis für die Aufkohlungsatmosphäre im Ofen dar. So wird z. B. Propan und Erdgas/Methan als Trägergas in einem separaten Endogasgenerator erzeugt und vor der Einleitung in einen Ofen auf Raumtemperatur gebracht, um eine weitere Reaktion der Gase zu verhindern. Die Methodik der Direktbegasung stellt eine weitere Möglichkeit dar. Hierbei

wird zum Beispiel Erdgas mit Zugabe von Propan direkt in die Ofenatmosphäre eingeleitet. Entscheidende Faktoren für die richtige Auswahl des Aufkohlungsprozesses sind die werkstoffspezifischen Materialparameter, die Härteanforderungen in Verbindung mit der Gaszusammensetzung und eine kontinuierliche, gleichmäßige Ofenatmosphäre.

Die Härbarkeit eines Werkstoffes wird unterschieden in die kohlenstoffabhängige Aufhärbarkeit (höchste erreichbare Oberflächenhärte) und in die legierungsabhängige Einhärbarkeit (Härtetiefenverlauf). Bei Letzterem werden vorwiegend die Legierungsbestandteile Molybdän, Chrom und Mangan eingesetzt, welche das Verhalten der Gefügeumwandlung beeinflussen. Das Umwandlungsverhalten ist nicht nur von den jeweiligen vorhandenen Legierungselementen geprägt, sondern wird zudem von der Temperatur und Haltezeit, sprich den Austenitisierungsbedingungen, als auch der Abkühlgeschwindigkeit, Abschreckmedium und der Korngröße beeinflusst.

Das Härten wird durch Erwärmen auf Austenitisierungstemperatur mit ausreichend langer Haltezeit und anschließendem Abschreckvorgang erreicht. Dabei ist es entscheidend, dass der Kohlenstoff im Austenit in Lösung gebracht wird. Die Kohlenstoffmenge ist dabei abhängig von der Werkstoffzusammensetzung und dem Zustand des Ausgangsgefüges. Zu lange Haltezeiten oder eine zu hohe Temperatur während des Austenitisierungsprozesses können sich negativ auf das Kornwachstum bzw. auf die Gefügestruktur auswirken.

Im Anschluss an den Härteprozess kann ein Tiefkühl- oder ein direkter Anlassvorgang durchgeführt werden. Beide Vorgänge führen u. a. zur Reduzierung des Restaustenits sowie der Härte- und Verzugseigenschaften. Das Tiefkühlen wird i. d. R. unmittelbar nach Erreichen der Raumtemperatur durchgeführt. Geschieht dieser Vorgang zu einem späteren Zeitpunkt, erfolgt eventuell eine Stabilisierung des noch nicht umgewandelten Austenits, was zu einer Beeinträchtigung bzw. zu einer Verhinderung der Reduzierung von Restaustenit führen kann. Des Weiteren wird das Tiefkühlen bei sehr hohen Qualitätsanforderungen in puncto Maß- und Formgenauigkeit im Zusammenhang mit Temperaturdifferenzen bei der Verwendung gehärteter Bauteile eingesetzt.

Das Anlassen wird in verschiedene Temperaturbereiche eingeteilt. Die Anlasstemperatur von Bauteilen aus nied-

rig- bzw. unlegierten Stählen liegt überwiegend zwischen ca. 180 und 250 °C. Je höher die Temperatur gewählt wird, desto größer ist u. a. der Härteabfall. Hochlegierte Kalt-, Warm- oder Schnellarbeitsstähle hingegen zeigen bei Temperaturen > 500 °C sogar eine Härtesteigerung. Man spricht hier von sogenannten „Sekundärhärten“. Dieser Härteanstieg resultiert aus der Umwandlung von Restaustenit in Martensit in Verbindung mit einer Ausscheidung von Carbiden. Deshalb wird bei der Verwendung hochlegierter Stähle oftmals ein zweiter Anlassprozess zusätzlich durchgeführt, um den neu entstandenen Martensit anzulassen. Dies zeigt, dass die Auswirkungen des Anlassprozesses auf die Gebrauchseigenschaften eines Bauteiles nicht nur auf die Anlass temperatur, sondern auch auf den Gehalt an Legierungselementen zurückzuführen sind. Die Übersicht in **Bild 1** zeigt einen typischen Prozessablauf für das Einsatzhärten.

Vorgelagerte Prozesse können einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität der Werkstücke haben. Dazu gehört beispielsweise ein Spannungsglühn unter Schutzgas bei Temperaturen von ca. 580-680 °C zur Reduzierung der Eigenspannungen. Der Einfluss von Schutzgas dient hierbei zur Minimierung der Zunderbildung. Das Einsatzhärten kann gemäß DIN 17022T3 in weitere Untergruppierungen eingeteilt werden (**Bild 2**). Dazu gehören die Verfahren Direkthärten, Einfachhärten, Härten nach isothermischem Umwandeln und das Doppelhärten.

Direkthärten

Die Direkthärtung wird unmittelbar im Anschluss an den Aufkohlungsprozess durchgeführt, der unter anderem in Abhängigkeit von Material und Härteanforderung bei ca. 900 °C erfolgt. Im direkten Anschluss an die Aufkohlung erfolgt eine Absenkung auf die werkstoffspezifische Härtetemperatur. Die Aufkohlungstemperatur kann die Gefügestruktur ausschlaggebend beeinflussen. Bei höheren Temperaturen können eine Grobkornbildung und ein höherer

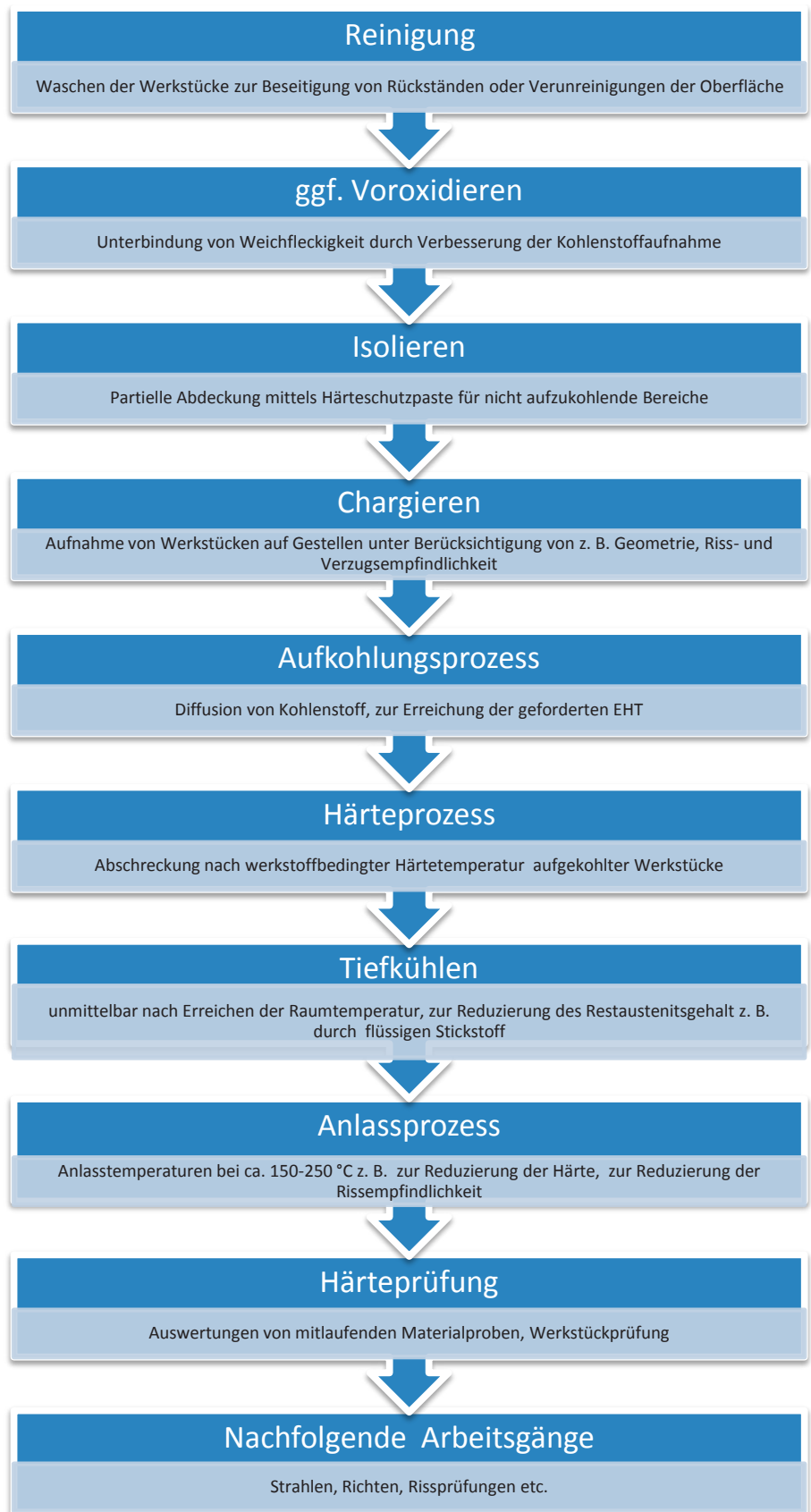


Bild 1: Prozesskette eines Einsatzhärteverfahrens; in Anlehnung an [2]

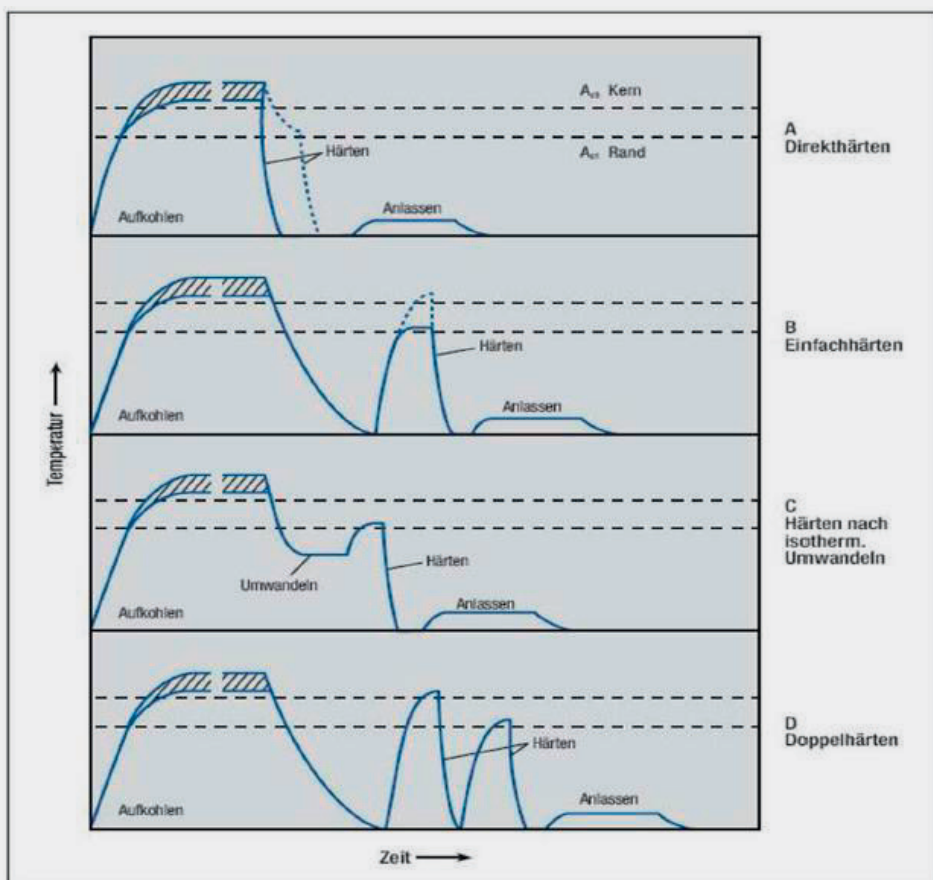


Bild 2: Einteilung möglicher Einsatzhärteprozesse; in Anlehnung an [4]

nach erfolgtem Aufkohlungsprozess die Temperatur auf ca. 600–650 °C reduziert. In diesem perlitischen Umwandlungsbe- reich wird die Temperatur isothermisch konstant gehalten, bis die Austenitumwandlung in Perlit abgeschlossen ist. Nach der durchgeführten isothermischen Umwandlung wird wieder auf die werkstoffspezifische Härtetemperatur erwärmt. Im Anschluss erfolgt die Abschreckung auf Raumtemperatur.

Doppelhärten

Wie der Name bereits sagt, enthält dieses Verfahren ein zwei- maliges Härten. Nach erfolgter Aufkohlung wird nochmals auf Kernhärtetemperatur erwärmt und abgeschreckt. Dieser Prozess wird wiederholt, allerdings wird die Härtetemperatur auf die Randhärtetemperatur reduziert. Die Verwendung dieses Verfahrens dient der Homogenisierung der Gefügestruktur im Kerngefüge nach dem ersten Prozess und der Optimierung der Mikrostruktur des Randgefüges nach dem zweiten Verfahren.

Anteil an Restaustenit im Randbereich erfolgen. Nach Einstellen der erforderlichen Härtetemperatur wird das Abschrecken durchgeführt.

Einfachhärten

Im Gegensatz zum vorher beschriebenen Direkthärten, besteht das Einfachhärten aus in sich abgeschlossenen Prozessabläufen. Das heißt, dass der Aufkohlungsprozess und der Härteprozess zwei separate Vorgänge darstellen. Erstgenannter bedeutet, dass von der spezifischen Aufkohlungstemperatur auf Raumtemperatur abgekühlt wird. Aufgekohlte Werkstücke können dann zwischenbearbeitet werden. Im Anschluss können die Werkstücke auf Härtetemperatur erneut erwärmt werden. Das nochmalige Erwärmen über die Austenitumwandlungstemperatur bewirkt eine Neuformierung des Gefüges. Gerade deshalb kann dieser Prozess vor allem nach hohen Aufkohlungstemperaturen > 930 °C eingesetzt werden.

Härten nach isothermischem Umwandeln

Ähnlich wie beim Direkthärten wird bei diesem Verfahren

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Verfahren Direkthärten und Härten nach isothermischem Umwandeln durch Aufkohlen und Härten in einem Schritt gekennzeichnet sind. Beide Verfahren generieren eine feine Gefügestruktur und haben zudem den Vorteil, dass sie, im Vergleich zum Einfach- oder Doppelhärten, einen geringeren Energiebedarf haben. Zudem wird eine weniger komplexe Anlagentechnik eingesetzt als beim Doppelhärten. Weiter ist festzustellen, dass Direkthärten und Härten nach isothermischem Umwandeln bessere Eigenschaften bezüglich der Form- und Maßänderung aufweisen. Alle Verfahren beinhalten einen Anlassvorgang als Abschluss des jeweiligen Härteprozesses.

INDUKTIONSHÄRTEN

Anders als bei der konventionellen Ofentechnik wird bei der induktiven Erwärmung das metallene Werkstück, partiell oder komplett, mittels einer stromführenden Spule einem elektromagnetischen Wechselfeld ausgesetzt. Dadurch werden im Material Wirbelströme erzeugt. Diese fließen

entgegengesetzt zum ursprünglichen Strom und es entsteht Wärme (**Bild 3**).

Man spricht bei der Induktionshärtung auch vom Kurzzeitaustenitisieren, da die Austenitisierungstemperatur im Vergleich zu Ofenprozessen nur wenige Sekunden erreicht wird. Die Härtetemperaturen sind meist ca. 50 bis 150 °C höher als bei einer konventionellen Ofenhärtung. Die Prozessfolge beim Härten besteht im Wesentlichen aus Aufheizen, Halten, Abschrecken und gegebenenfalls einem nachfolgenden Anlassprozess und ist somit deutlich kürzer als die Prozessfolge beim konventionellen Einsatzhärten.

Durch eine gezielte Prozesssteuerung wird das Verfahren entsprechend überwacht und somit Härteergebnisse zuverlässig reproduziert. In Abhängigkeit der jeweiligen Frequenz, der eingebrachten Energie, der Abschreckmethode und des konstanten Kopplungsabstandes zwischen Werkstück und Induktor werden die Gefügeeigenschaften in der erforderlichen Tiefe kohlenstoffhaltiger Werkstoffe eingestellt. Der Härteprozess wird speziell auf die jeweilige Anforderung zugeschnitten (**Bild 4**). So werden beispielsweise zylindrische Werkstückgeometrien im Vorschub oder im Ganzflächenverfahren (Schuss) gehärtet. Verzahnungen können je nach Modul und Geometrie an den Zahnflanken, im Zahngrund- bzw. den Zahnlücken oder komplett, wie bei der Allzahnhärtung mittels Ringinduktor, gehärtet werden. Bei dem Werkstück in Bild 4a wurde der Mittelsteg aus Festigkeitsgründen nicht gehärtet.

Der Arbeitsschritt des vorherigen Isolierens oder Voroxidierens, welcher bei einer Ofenhärtung erfolgen müsste, entfällt bei der Induktionshärtung komplett. Des Weiteren werden vielfach, unter Berücksichtigung der Verzugempfindlichkeit, geringere Schleifaufmaße berücksichtigt, was die Wirtschaftlichkeit weiter erhöht. Die Übersicht in **Bild 5** zeigt einen typischen Prozessablauf für das Induktionshärten.

VORTEILE DER INDUKTION

Die technischen und wirtschaftlichen Vorteile der Induk-

tion stellen insbesondere unter dem Aspekt der Energieeffizienz eine enorme Bedeutung dar. Entsprechend auf die jeweiligen Kundenanforderungen maßgeschneiderte Maschinenkonzepte bieten zum einen die Möglichkeit, die Induktion in eine Fertigungslinie zu integrieren und zum anderen auch als separate, autarke Anlage zu fungieren.

Moderne Induktionshärtemaschinen zeichnen sich durch eine große Flexibilität für ein ständig wechselndes und wachsendes Teilespektrum aus. Relevante Kriterien sind:

- Kurze Taktzeit,
- Direkte Integration in Fertigungsstraßen,
- Reproduzierbarkeit, Prozessgenauigkeit durch exakt ausgelegte Induktoren,
- Energieeffizienz durch geringen Wärmeverlust, Energiesparmodi, kontinuierlich verbesserte Umrichter-technologie sowie durch partielles Härten und kurze Aufheizdauer,
- Energieverbrauch nur unter Last,
- Geringe Nacharbeitskosten,
- Geringer Verzug,
- Geringer Platzbedarf,
- Einsatz verschiedener Abschreckmedien,
- Unabhängig von fossilen Brennstoffen,
- Keine zusätzlichen Abgasemissionen (kleiner CO₂ Footprint),
- Ausgewogenes Preis-Leistungs-Verhältnis.

Dafür werden im Maschinen- und Anlagenbau modularisierte Maschinenkonzepte eingesetzt. Basierend auf einer Vielzahl verschiedener Grundvarianten werden individuelle Konfigurationen ermöglicht. Diese werden optional mit zahlreichen Zusatzfunktionen individualisiert und somit auf die spezielle Kundenanwendung zugeschnitten.

Dazu gehören zum Beispiel Optionen wie:

- Anzahl der Arbeitsstationen (Einzel- oder Doppelstation, Rundtisch),

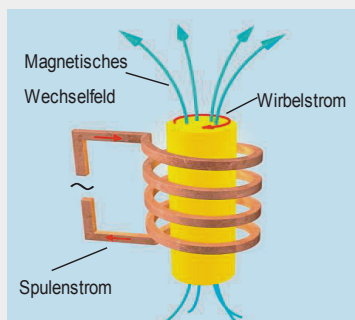


Bild 3: Prinzip der Induktion

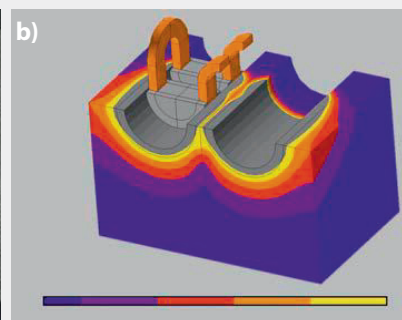


Bild 4: a) Schnitt eines doppelreihigen Kugellagerings mit induktiv gehärteten Laufbahnen; b) Simulation der Induktionshärtung mit einem Induktor (Quelle: SMS Elotherm GmbH)



Bild 5: Prozesskette eines Induktionshärteverfahrens

- Manuelle oder automatische Beladung,
- Gesamtflächen- oder Vorschubverfahren,
- Individuelle Kombinationsmöglichkeiten bzgl.

Härte- und Anlassverfahren,

- Integration von Zwischenbearbeitungen, wie zum Beispiel Nachkühlen, Abblasen,
- Verkettung in Fertigungszellen bestehend aus Roboterbeladung, Richtstation, separater Anlassstation, Nachbearbeitungsstation, usw.

Des Weiteren kann der Härteprozess selbst, zum Beispiel durch einen speziell ausgelegten Induktor, so konzipiert werden, dass die Induktionshärtung in einer Schutzgasatmosphäre erfolgt. Dies wird durch eine entsprechende Schutzgasflutung der Induktorkammer erreicht. Hierdurch wird einer Verzunderung der Oberfläche, die bei Temperaturen im Austenitisierungsbereich durch den Einfluss von umgebendem Sauerstoff entsteht, entgegengewirkt. Aufwendige Nachbearbeitungsschritte werden somit minimiert bzw. entfallen ganz.

In der Regel folgt nach dem induktiven Härteprozess ein Anlassvorgang. Dieser dient dem Abbau bzw. der Reduzierung von eingebrachten Materialspannungen durch das Volumenwachstum des Materialgefüges bei der Martensitbildung. Zudem kann dadurch die Ansprunghärte des Werkstückes auf die erforderliche niedrigere Härte gemäß Kundenvorgabe gebracht werden. Ein derartiger Anlassprozess kann auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen, bzw. sollte auf die individuellen Kundenanforderungen abgestimmt werden. Folgende Anlassvorgänge stehen zur Verfügung:

- Anlassen aus Restwärme,
- Induktives Anlassen,
- Anlassen im Ofen.

Das Anlassen aus Restwärme wird häufig im Bereich vollautomatisierter Prozesse eingesetzt. Durch eine verkürzte Abschreckzeit verbleibt ausreichend Wärme im Bauteilinneren, die nach einem thermischen Ausgleichsvorgang zum Anlassen der Oberfläche ausreicht. Es wird nur ein geringer Härteabbau erreicht. Der Prozess des Anlas-

VORAUSSETZUNG UND PROZESSVARIANTEN FÜR EFFIZIENTES INDUKTIVES HÄRTEN

- Einsatzzweck: Festigkeits- und Verschleißverhalten,
- Materialauswahl: Härtebarkeit (C-Gehalt > 0,3 %),
- Vorbearbeitung,
- Geometrische Parameter: z. B. Werkstückgeometrie, Wandstärke, Durchmesser,
- Härtevorgaben: z. B. Härte, Härtetiefe, Grenzhärte, Korngröße,
- Härteverfahren: Gesamtflächen- oder Vorschubhärtung,
- Werkzeug: z. B. Ringinduktor, Flächeninduktor,
- Art der Abschreckung: z. B. Ringbrause, Kastenbrause, Tauchbad,
- Verzugsverhalten,
- Prozessparameter: z. B. Aufheizzeit, Abkühlgeschwindigkeit, Abschreckmedium, Kopplungsabstand (Induktor zu Werkstück), Frequenz (MF, HF oder Zweifrequenz),
- Anlassprozess: Anlassen aus Restwärme, induktives Anlassen, Anlassen im Ofen.

sens aus der Restwärme ist werkstoffabhängig nur bedingt kontrollierbar und erfordert eine genaue Prozessüberwachung. Häufig wird dieser Vorgang aus Taktzeit- und Kostengesichtspunkten favorisiert.

Das induktive Anlassen wird ebenfalls bei vollautomatisierten Prozessen eingesetzt. Dabei wird, nach einem verkürzten Abschreckvorgang, das Bauteil kurzzeitig nochmals induktiv erwärmt, bevor es abschließend heruntergekühlt wird. Aus Taktzeitgründen wird der induktive Anlassprozess oft in einer zusätzlichen Arbeitsstation integriert. Alternativ kann dieser Vorgang aber auch in der gleichen Aufspannung wie der Härteprozess durchgeführt werden. Im Vergleich zum Anlassen aus der Restwärme können über die feine Steuerung der Leistungseinbringung deutlich reproduzierbarere Anlassergebnisse erzielt und der Härteabbau flexibel bis zu 10 HRC eingestellt werden.

Das Anlassen im Ofen ist aus qualitativer Sicht die sicherste Art einen homogenen Härteabbau zu gewährleisten. Zudem können auch Materialspannungen, die vor dem Induktionshärten entstanden sind, minimiert werden. Das Ofenanlassen bietet die Möglichkeit, einen konstant hohen Härteabbau in Kombination mit einem homogenen Temperaturverlauf zu gewährleisten. Oftmals wird allerdings aufgrund des zeitintensiven Prozesses (bis zu mehrere Tage) und der erheblichen Zusatzinvestition auf ein Anlassen im Ofen verzichtet und stattdessen auf die beiden erstgenannten Verfahren zurückgegriffen.

In der Serienfertigung kann auch die Kombination eines induktiven Härteprozesses und einer nachgeschalteten induktiven Anlassstrecke in einem Durchgangsofen ein hohes Maß an Qualität und Wirtschaftlichkeit erfüllen. Dieser Prozess kann zum Beispiel in eine Fertigungszelle integriert werden (**Bild 6**). Die Verkettung erfolgt durch einen Roboter. Der induktive Anlassprozess wird horizontal im Schuss durchgeführt. Nach erfolgter Ablage einer Welle durch den Roboter, wird diese durch eine Hubbalken-Transporteinheit weiter in den Durchgangsofen getaktet.

Ein weiteres Beispiel ist die Auslegung einer Doppelstation. Diese ermöglicht das Induktivhärten mit nachfolgendem induktivem Anlassen für eine Vielzahl unterschiedlichster Werkstückgeometrien. Die Maschinenkonzepte selbst, aber auch die notwendige Peripherie zur exakten Parametrierung des gesamten Prozesses wie zum Beispiel die Umrichtertechnik, die Steuereinheit, ggf. der Netztransformator, die Kühlung der elektrischen Kreisläufe, die Kühlung des Abschreckmediums etc. sind notwendige Komponenten zur

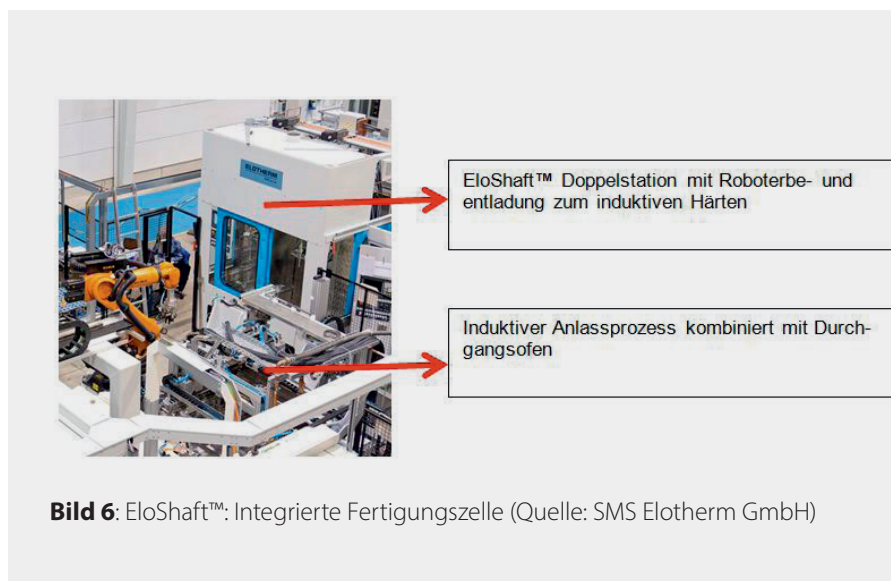


Bild 6: EloShaft™: Integrierte Fertigungszelle (Quelle: SMS Elotherm GmbH)

Erreichung folgender Anforderungen:

- Schnelle Reaktionszeit für extrem kurze Heizzeiten,
- Dauerbetrieb bei Nennlast,
- Variabler Frequenzbereich,
- Integrierter Überstrom- und Überspannungsschutz,
- Standby-Modus: Abschaltung aller Pumpen und Nebenggregate,
- Zugänglichkeit und Wartungsfreundlichkeit,
- kleine Aufstellfläche der Maschine.

ANWENDUNGSBEISPIEL: KOSTENGEGEN-ÜBERSTELLUNG

Die beispielhafte Rechnung bezieht sich auf den reinen Energieverbrauch, der für den dargestellten, definierten Wärmebehandlungsprozess benötigt wird. Weitere Kosten wie z. B. die Anschaffung eines Schachtofens bzw. einer Induktionshärteanlage, das Chargieren bzw. Rüsten, ein Chargiergestell, eine Abschreckvorrichtung, weitere Arbeitsgänge wie z. B. das Isolieren, Richten, Strahlen, sowie der Personaleinsatz sind aufgrund der individuellen Auslegung nicht miteinbezogen worden.

Zudem beinhalten der Wegfall bzw. Reduzierungen weiterer Arbeitsgänge wie zum Beispiel die Vorbearbeitung (Schleifaufmaß), Materialbeschaffung, Hartbearbeitung oder das Strahlen von Bauteilen ein großes Kostensenkungspotenzial gegenüber einem Einsatzhärteverfahren. Aufgrund des vergleichsweise hohen Verschleißes eines Schachtofens und der notwendigen Chargiergestelle sind zusätzliche Kosten durch erhöhte Instandhaltung zu erwarten.

Beispiel 1:

Einsatzhärten eines Einsatzstahles (16MnCr5)

EH von ca. 2 mm und einer Härte von 57-62 HRC in einem Schachtofen:

Werkstück: Welle D. 30x500 mm, Gewicht ca. 3 kg
 Chargengröße: 8 t
 Die Gesamtkosten für eine 8 t Charge betragen € 1.353,-.
 Der Prozess dauert 46 Stunden.

Beispiel 2:

Prozessschritt	Dauer [h]
Aufheizen	14
Diffusion	18
Härten	10
Anlassen	4
Summe	46

Medien	Kosten [€]
Erdgas	1.149,-
Strom	138,-
Stickstoff	10,-
Endogas	36,-
Propan	20,-
Summe	1.353,-

Induktionshärten eines Vergütungsstahles (42CrMo4)

RHT von ca. 2 mm und eine Härte von 57-62 HRC mittels Schusshärtung:

Werkstück: Welle D. 30x500 mm, Gewicht ca. 3 kg
 (8 t entsprechen somit 2.667 Wellen)
 Taktzeit/Welle: 20 s (bestehend aus Heizen, Abschrecken, Anlassen)
 Benötigte Leistungsenergie für das Härten und Anlassen: 0,56 kWh/ Stück
 Für eine 8 t-Charge ergibt sich daraus eine benötigte Leistungsenergie von 1.492 kWh.
 Die Gesamtkosten für eine 8 t-Charge betragen € 150,-.
 Durchlaufzeit für 8 t: ~15 h

Medien	Gesamtkosten [€]
Strom	150,-

Schon der reine Energiekostenvergleich zeigt die Überlegenheit des Induktionsverfahrens im direkten Vergleich mit dem Einsatzhärten, wenn sich das Bauteil dafür eignet. Im Beispiel beträgt die Prozesszeit beim Induktionshärten mit 15 Stunden für 8 t Werkstücke (2.667 Wellen) nur rund ein Drittel der Prozesszeit beim Einsatzhärten mit 46 Stunden. In anderen Anwendungsfällen, zum Beispiel der Wärmebehandlung von Großwälzlagern, ist das Verhältnis deutlich drastischer: Während ein Induktionshärteprozess eines Ringes von 3 m Durchmesser gut eine Stunde dauert, kann die

Wärmebehandlung im Ofen fast eine Woche in Anspruch nehmen. Dabei ist der Zusatzaufwand zur Beseitigung des entstandenen Verzuges durch spanende Bearbeitung noch nicht berücksichtigt.

Die Energiekosten des Induktionshärtens liegen im Beispiel mit € 150 um Faktor 9 unter den Energiekosten der Ofenwärmebehandlung mit € 1.353. Eventuelle Zusatzeinsparungen durch Nicht-Nutzung von CO₂-Zertifikaten bleiben in diesem Fall ebenfalls unberücksichtigt und stellen weiteres Potenzial dar.

FAZIT

Wärmebehandlungsverfahren wie das Induktionshärten oder das Einsatzhärten sind erforderlich, um die enormen Anforderungen der industriellen Anwender an die Qualität und Belastungsfähigkeit einzelner Komponenten erfüllen zu können. Beispielsweise kann die Schwingfestigkeit im Material durch beide Verfahren so optimiert werden, dass der Einsatz von dynamisch hoch beanspruchten Bauteilen erst dadurch gewährleistet werden kann.

Die Vielzahl der verschiedenen konventionellen Härteprozesse zeigt die diversen Einsatzmöglichkeiten und soll auch nicht generell infrage gestellt werden. Die individuelle Gefügeeinstellung, insbesondere von Stählen mit bestimmten Legierungselementen, wird sinnvoll mit abgestimmten Wärmebehandlungen in Öfen erreicht. Vielfach ist aber eine induktive Lösung zur Einstellung bestimmter Oberflächenhärteparameter oder Gefügeeigenschaften deutlich schneller und wirtschaftlicher. Die Anbieter induktiver Anlagentechnik stehen mit ihrem Know-how den Anwendern beratend zur Seite.

Gleichwertig zur Auswahl des jeweiligen Härteprozesses ist die maßgeschneiderte Anlagentechnik. Die präzise Regelung und Steuerung wichtiger Prozessparameter in induktiven Härtesystemen leisten einen entscheidenden Beitrag zur Erfüllung qualitativer und wirtschaftlicher Ansprüche. Die dargestellte Energiekostenrechnung zeigt bereits eine deutliche Differenz im Vergleich beider Verfahren zugunsten des Induktionshärtens. Den hohen Investitionskosten für Wärmebehandlungsöfen stehen zusätzlich vergleichsweise geringe Kosten für entsprechende Induktionsanlagen gegenüber. Durch die individuelle Integration der Induktion in komplexe Fertigungsprozesse ist eine wirtschaftliche Produktion sichergestellt. Der ökologische Aspekt des Einsatzes von elektrischer Energie statt fossiler Brennstoffe zur Vermeidung von Emissionen wie CO₂, NO_x oder SO_x sei an dieser Stelle nur kurz erwähnt.

Die Induktionstechnik hat sich deshalb bereits in vielen Bereichen der Industrie, wie zum Beispiel im Automotive-Bereich oder in der Windkrafttechnik, fest etabliert. So ist eine verlängerte Lebensdauer für komplexe Bauteile das wichtigste Kriterium, das auch zukünftig für innovative Bauteilentwicklungen im Bereich des Antriebsstrangs von

Pkw/Lkw oder hochbelasteten Offshore-Windkraftanlagen die Grundvoraussetzung sein wird.

- [5] Liedtke, D.; Stiele, H.: Merkblatt 236 „Wärmebehandlung von Stahl – Randschichthärten“ (Ausgabe 2009)

LITERATUR

- [1] Benkowsky, G.: Induktionserwärmung: Härten, Glühen, Schmelzen, Löten, Schweißen; Grundlagen und prakt. Anleitungen für Induktionserwärmungsverfahren, insbes. Auf d. Gebiet d. Hochfrequenzenerwärmung. Berlin: Verlag Technik, 1990; S.82-134
- [2] Schreiner, A.; Irretier, O.: Praxishandbuch Härtereitechnik – Anwendungen | Verfahren | Innovationen. Essen: Vulkan Verlag, 2013
- [3] Läßle, V.: Wärmebehandlung des Stahls – Grundlagen, Verfahren und Werkstoffe. Haan-Gruiten: Europa Lehrmittel Verlag, 2003
- [4] Liedtke, D.: Merkblatt 452 „Einsatzhärten“, Stahl-Informations-Zentrum (Ausgabe 2008)

AUTOREN



Dipl.-Kfm. (FH) **Sascha Brill**
SMS Elotherm GmbH
Remscheid
Tel.: 02191 / 891-571
s.brill@sms-elotherm.com



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

Energie sparen und Prozesse optimieren

DIN EN ISO 50001 in der Praxis

Ein Leitfaden für Aufbau und Betrieb eines Energiemanagementsystems

Dieses Fachbuch vermittelt erstmals das Grundwissen für den Aufbau von Energiemanagementsystemen auf Basis der DIN EN ISO 50001.

Die im April 2012 eingeführte Norm definiert die Anforderungen von Energiemanagementsystemen und löst die DIN EN 16001 aus dem Jahr 2009 ab. Neben technischen Grundlagen der Verbrauchsmessung und Energieabrechnung erfahren die Leser in kompakter, transparenter Form Methoden zur Datenerfassung und Datenanalyse sowie zur zielgerichteten Nutzung der gewonnenen Ergebnisse. Die ergänzenden digitalen Inhalte bieten – gemeinsam mit dem eBook – zudem praktischen Nutzen für den mobilen Einsatz.

Ein Werk für alle, die mit der Beschaffung und Bereitstellung von Energie betraut sind und sich mit der Planung sowie mit der Umsetzung von effizienzsteigernden Verfahren in Unternehmen befassen.

K. Reese

1. Auflage 2012, 303 Seiten in Farbe mit Datenträger (inkl. eBook), Hardcover
ISBN: 978-3-8027-2382-7
€ 90,-

Bestellung unter:

Tel.: +49 201 82002-14

Fax: +49 201 82002-34

bestellung@vulkan-verlag.de



Inklusive
eBook
auf Datenträger