

Intelligent eingesetzte Umrichtertechnologie für das ultra-tiefe Randschichthärten großer Wellen

Christine Tränkner, Martin Bauer

Mittels Randschichthärten ist es möglich, Werkstücke mit einer harten, verschleißfesten Oberfläche bei gleichzeitig zähem Kern herzustellen. Üblicherweise betragen die erzielten Randschichthärtungstiefen einige Millimeter. Werden sehr große Bauteile mit einer höheren Härtetiefe benötigt, muss die Induktionstechnik entsprechend angepasst werden. Im Folgenden soll am Beispiel eines Retrofits einer bestehenden Anlage gezeigt werden, wie die Energieversorgung für das induktive Randschichthärten bei sehr großen Walzen mit entsprechend hohen Randschichthärtungstiefen von mehreren Zentimetern umgesetzt wurde.

Einleitung

Sehr große Walzen und Wellen mit Massen von mehreren Tonnen werden beispielsweise in der Metallverarbeitung zur Blechherstellung verwendet. Die dabei auftretenden hohen Belastungen führen zu einem starken Verschleiß der Oberfläche. Um diesen zu minimieren, werden verschiedene Verfahren eingesetzt. Neben der Möglichkeit, Schichten aus Keramik oder Hartmetall als Verschleißschutz aufzubringen, kann auch eine Oberflächenhärtung einen schnellen Materialabtrag verhindern. Hierbei wird das Gefüge im Randbereich umgewandelt, ohne die chemische Zusammensetzung zu verändern. Dabei wird die Randschicht des Werkstücks bis in eine bestimmte Tiefe auf Härtetemperatur erwärmt und dann schnell abgeschreckt, sodass sich in diesem Bereich ein hartes Martensitgefüge bildet. Da die Erwärmung sehr rasch erfolgt, spricht man

auch vom Kurzzeitaustenitisieren. Eine schnelle und effiziente Methode ist dabei das induktive Härten. Hier wird mithilfe einer von Wechselstrom durchflossenen Spule im Werkstück ein veränderliches magnetisches Feld und somit elektrischer Wechselstrom induziert. Bei elektrisch leitfähigen Materialien kommt es so zur Erwärmung durch Wirbelstromverluste, bei ferromagnetischen ebenso durch Hystereseverluste. Die benötigte Energie wird – bei auf die jeweilige Erwärmaufgabe angepasster Frequenz – durch passende Umrichter bereitgestellt. Diese werden für die spezielle Anwendung optimiert und an die Kundenwünsche angepasst. Dies soll im Folgenden am Beispiel einer Anlage des Unternehmens SIJ Ravne Systems d.o.o. zum induktiven Oberflächenhärten von Walzen und Wellen beleuchtet werden, bei der für sehr große Werkstücke auch entsprechend große Randschichthärtungstiefen (kurz: SHD, surface hardening depth) gewünscht wurden. Für kleine Teile mit Abmessungen im Zentimeterbereich werden üblicherweise Härtetiefen von einigen Millimetern erzielt, während hier bis zu 40 mm gewünscht wurden. Dies stellt eine besondere Herausforderung an die Auslegung der Anlagentechnik dar. Das Unternehmen ITG Induktionsanlagen sah sich dieser Herausforderung durch den Einsatz modernster Umrichtertechnologie gewachsen.

Optimierte mechanische Eigenschaften durch das induktive Randschichthärten

Der Vorteil des Randschichthärten liegt darin, dass nur die Oberfläche des Werkstücks gehärtet wird, während der Kern seine Zähigkeit behält. Man erhält dadurch eine verschleißfeste Oberfläche, vermeidet aber, dass das Teil als Ganzes zu spröde wird. Die Einhärtungstiefe hängt von der gewünschten Anwendung ab und kann durch die Prozessführung in gewissen, vom jeweiligen Material abhängigen Grenzen beeinflusst werden. Ein wichtiger Parameter ist dabei die Frequenz der am Induktor anliegenden Wechselspannung.



Bild 1: Zweifrequenzanlage mit gekoppelten, simultan betriebenen Induktoren für eine niedrige und eine hohe Frequenz.

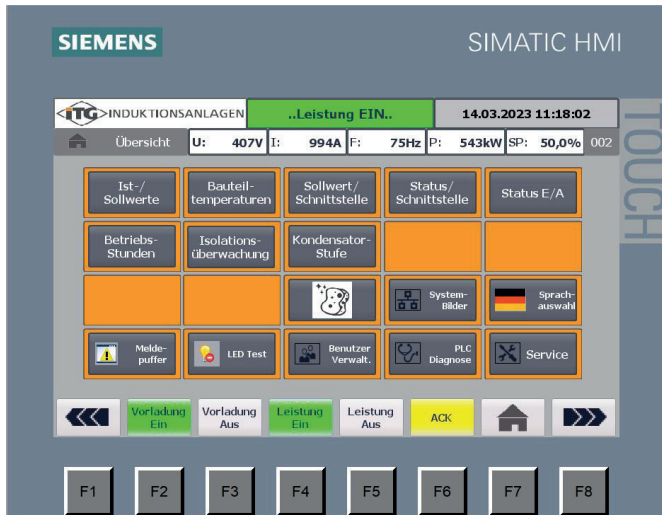


Bild 2a: Übersichtsbild des Bedienpanels: Von hier aus kann beispielsweise auf die Soll-/Ist-Werte oder die Bauteiltemperaturen zugegriffen werden.

$$\text{Über } \delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \cdot \mu \cdot f}} \quad (1)$$

mit δ = Eindringtiefe in mm, μ = Permeabilität in H/m und f = Frequenz in Hz ist die Eindringtiefe des Magnetfeldes in die Probe mit der Frequenz direkt verknüpft. Als Eindringtiefe oder Stromeindringmaß bezeichnet man die Länge, auf der die im Werkstück induzierte Stromdichte um den Faktor e^{-1} abgesunken ist. In diesem Bereich wird demnach der Hauptteil der induzierten Energie, etwa 86 %, umgesetzt und in Wärme umgewandelt [1], [2]. Für hohe Eindring- und damit Härtetiefen sind also niedrige Frequenzen notwendig; mit hohen Frequenzen können dünne Randhärteschichten erzeugt werden.

Während bei komplexen Werkstückgeometrien häufig speziell an die Form angepasste Induktoren entwickelt werden, werden bei achsensymmetrischen Teilen oft einfache Rundspulen verwendet. Diese werden im sogenannten Vorschubverfahren am Werkstück entlang bewegt; alternativ kann auch das Werkstück bewegt werden. Auch die dabei verwendete Geschwindigkeit und damit Dauer der Erwärmung hat einen Einfluss auf die Dicke der wärmebehandelten Schicht. Für jedes Bauteil kann der Erwärmprozess durch die Wahl der geeigneten Parameter angepasst werden. Auslegung von Induktor und Anlage erfolgen damit auf Basis der zu behandelnden Werkstücke.

Retrofit für bestehende Anlage

Im vorliegenden Fall wurde von SIJ Ravne Systems – Teil der SIJ Slovenian Steel Group d.d. [3] – die Modernisierung einer bestehenden Induktionshärteanlage, die zum Härten von großen Arbeitswalzen für Kaltwalzwerke, Zwischenwalzen, Stützwalzen und anderen Rollen genutzt wird, angefragt. Dabei sollte der Prozess optimiert sowie seine Stabilität verbessert werden. Außerdem wurden aufgrund gestiegener Kundenanforderungen höhere Härtetemperaturen und Härtetiefen benötigt. Die zu erwärmenden Werkstücke haben dabei eine Masse von bis zu 8 t bei einer Länge von maximal 5,5 m und einem Durchmesser von bis zu 800 mm [4]. Verarbeitet werden beispielsweise chromhaltige Werkzeugstähle wie 86CrMoV7

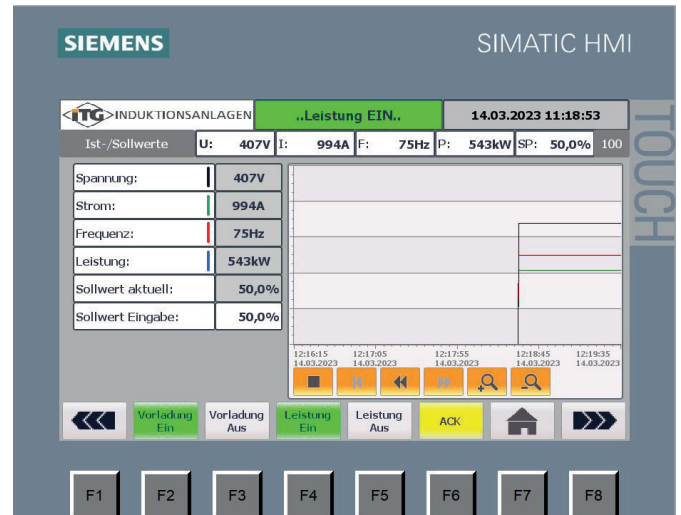


Bild 2b: Oberfläche des Bedienpanels mit Anzeige der Soll-/Ist-Werte.

und Stahlqualitäten wie 100Cr6 oder 42CrMo4. Die gewünschten Oberflächenhärten variieren je nach Anwendung und können beispielsweise zwischen 45 und 50 HRC liegen oder auch 65 bis 68 HRC betragen. Die SHD hängt von der jeweiligen Stahlsorte sowie vom Walzentyp ab und liegt für kleinere Walzen im Bereich von 6-12 mm, bei großen Walzen werden bis zu 40 mm angefordert. Es werden somit unterschiedliche Eindringtiefen δ und damit auch ein breites Frequenzspektrum benötigt.

Erweiterter Frequenzarbeitsbereich für unterschiedliche Eindringtiefen

Für die Lösung dieser komplexen Aufgabe hat man sich für den Einsatz von zwei Weitbereich-Umrichtern entschieden. Die beiden Umrichter decken zusammen einen Frequenzbereich von 30 Hz bis 1,2 kHz ab. Mit dieser Konstellation hat der Kunde die Möglichkeit, mit einer Energie und eingestellter Frequenz kleine und mittlere Härtetiefen direkt zu erzielen. Für die ultra-tiefen Härtungen können die beiden Umrichter parallel mit unterschiedlichen Frequenzen und Leistungen gefahren werden. Dabei wärmt die tiefe Frequenz vor, auch um im Werkstück die Gefahr von Härterissen bei zu schnellem Aufheizen zu verringern. Mit der zweiten Frequenz wird im Anschluss die endgültige Austenitisierungstemperatur erreicht. Verwendet werden einwindige Induktoren mit an die Werkstücke angepassten Durchmessern und Höhen. Für große Teiledurchmesser sind diese beispielsweise ca. 200 mm hoch. Mit den zur Verfügung stehenden Frequenzen erreicht man im Stahl bei 400 °C Eindringtiefen zwischen 2 und 10 mm, bei höheren Temperaturen auch wesentlich mehr. **Bild 1** zeigt einen Härteprozess für ultra-tiefes Randschichthärten bei einer großen Welle.

Die Resonanzfrequenzen im Schwingkreis ergeben sich aus Induktivität und Kapazität im Lastkreis. Da die Induktivität meist durch die Anwendung (Induktor und Werkstück) vorgegeben ist, kann die Frequenz nur durch die geeignete Wahl der Kapazität beeinflusst werden. Über eine Kondensatorstufenschaltung können Kondensatoren hinzu- oder abgeschaltet werden. Dies kann entweder mechanisch über Schaltmuttern erfolgen oder elektrisch über Schütze ein-

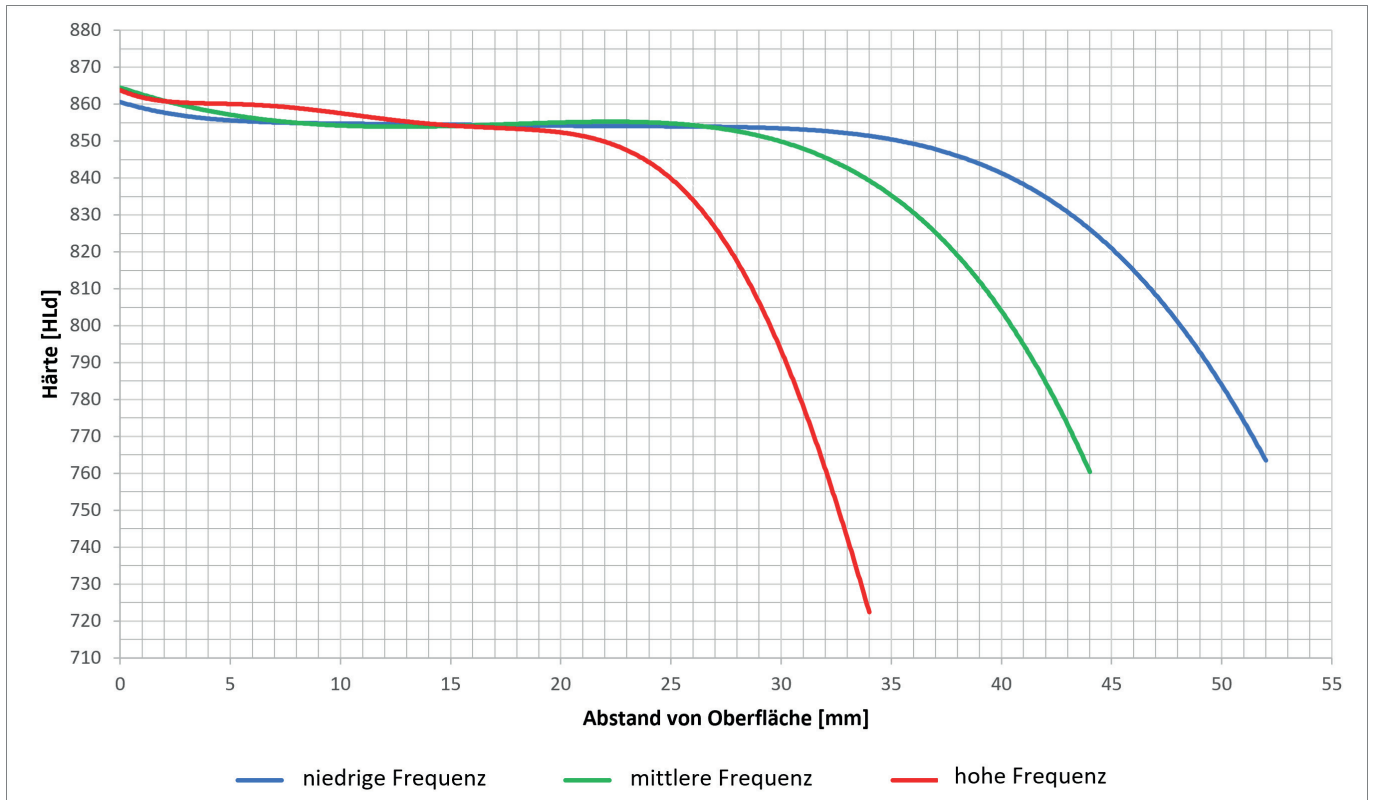


Bild 3: Härteverlauf bei einer mittelgroßen Welle bei verschiedenen verwendeten Frequenzen.

gestellt werden. Bei der hier betrachteten Anlage wurde die Anpassung über Schütze realisiert. Im Gegensatz zur mechanischen Umschaltung ist hierbei keine Elektrofachkraft nötig. Möglich ist auch das Umschalten durch die Maschinensteuerung mittels Hinterlegung im Rezept. In diesem werden die für jedes Werkstück verwendeten Prozessparameter gespeichert und nach Auswahl des entsprechenden Bauteiles abgerufen.

Besonderheiten der Anlage

Für den hier vorgestellten Erwärmprozess müssen, um die gewünschten großen Einhärtetiefen bei gleichzeitig hoher Produktivität zu erreichen, die beiden enggekoppelten Induktoren simultan betrieben werden. Dabei besteht die Gefahr, dass sich die entstehenden Magnetfelder gegenseitig beeinflussen. Dies konnte bei dem hier realisierten Aufbau durch angepasste Abstände der Induktoren vermieden werden. Hinsichtlich der Umrichter fiel die Wahl bei den verwendeten niedrigen Frequenzen auf moderne IGBT-Wechselrichter. Der Einsatz von SiC-Wechselrichtern eignet sich bei höheren Frequenzen. Der geringe Blindstromanteil und das damit einhergehende gute Netzverhalten ergeben sich durch die Verwendung von ungesteuerten Gleichrichtern mit 6-Puls-Brückenschaltung (B6U) im Umrichter, wobei auch 12-Puls-Umrichter möglich gewesen wären. Hierbei treten nur geringe Oberwellenanteile auf. Dabei ist die Anlage hocheffizient: Bei einer Frequenz von 50 Hz ergibt sich, unabhängig von der abgerufenen Leistung, für die Stromversorgung vom Netz bis einschließlich Wechselrichter ein Wirkungsgrad von 95 %. Der Gesamtwirkungsgrad wird dann beispielsweise noch durch Verbindungen wie Stromschienen oder Kabel oder den Wirkungsgrad des Induktors beeinflusst.

Damit ein möglichst breites Teilespektrum gefahren werden kann, gibt es verschiedene, an die jeweilige Geometrie angepasste Induktorsätze. Nach einem Wechsel muss nur das jeweilige Rezept, in dem die zugehörigen Prozessparameter gespeichert sind, geladen werden. Die Frequenz- und Leistungsanpassung geschieht über das Umschalten von Trafo und Kondensatorstufen.

Um die Prozesssicherheit zu gewährleisten, erfasst die SPS-Steuerung kontinuierlich die Betriebsdaten der Anlage, wie beispielsweise Bauteiltemperaturen im Umrichter oder Durchlaufmengen aus den Kühlkreisläufen. Störungen werden dem Bediener direkt auf dem HMI-Bedienpanel angezeigt. Damit es bei irregulären Werten nicht sofort zu einer Notabschaltung mit Anlagenstillstand und damit zu einem Produktschaden am hochwertigem Bauteil kommt, wird ohne Unterbrechung des Prozesses zuerst eine Warnung ausgegeben. Somit kann der Bediener hier direkt eingreifen oder sich nach erfolgter Wärmebehandlung um die Störung kümmern. Es sind zudem Überwachungen eingebaut, die den Zwischenkreisgleichstrom, die Ausgangsspannung sowie den Ausgangsstrom begrenzen und die Anlage bei Überschreiten der Toleranz abschalten, um Schäden am Gerät zu verhindern. Die übergeordnete Steuerung wird mittels Profinet-Schnittstelle angebunden. In **Bild 2a** ist das Übersichtsbild des Bedienpanels dargestellt. Von hier aus erreicht man über das Touchpad schnell und einfach die Anzeigen (z. B. Bauteiltemperaturen) oder Steuerbildschirme (z. B. Kondensatorstufenanpassung). **Bild 2b** zeigt beispielhaft Soll- und Ist-Werte für einen laufenden Prozess.

Insgesamt bietet die Anlage eine hohe Verfügbarkeit. So wurden in den ersten zehn Monaten nach der Inbetriebnahme über 800 Walzen gehärtet.

Verbesserte Eigenschaften der gehärteten Wellen

In **Bild 3** ist der Härteverlauf für eine mittelgroße Walze dargestellt. Deutlich wird, dass die Einhärtetiefe stark von der gewählten Frequenz beeinflusst wird, während die Härtewerte der Randschicht kaum streuen. Von SIJ Ravne Systems wird eine homogene Härte der Einhärtzone innerhalb +/- 0,5 HRC garantiert [5]. Das Gefüge besteht beispielsweise bei den Arbeitswalzen aus niedrig angelassenem Martensit mit verschiedenen Sekundärkarbiden.

Zusammenfassung

Um die gewünschte hohe Produktivität in Kombination mit den benötigten großen Einhärtetiefen zu erreichen, wurde im Rahmen eines Retrofits die Umrichtertechnik an einer bestehenden Induktionshärteanlage für große Walzen modernisiert. Zwei gekoppelte, simultan betriebene Induktoren erwärmen die Walzen dabei auf Härtetemperatur. Die Umrichter können dabei ein sehr breites Frequenzspektrum abbilden. Besonderes Augenmerk wurde beim Umbau der Anlage auch auf Bedienerfreundlichkeit und Prozesssicherheit gelegt.

Literatur:

[1] Benkowsky, G.: Induktionserwärmung, Verlag Technik GmbH, Berlin, 1990.

- [2] RWE Energie Aktiengesellschaft (Hrsg.): Induktive Erwärmung: Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen. 1991.
- [3] Unternehmenshomepage <https://sij.ravnesystems.com/en/>, 11.04.2023.
- [4] Katalog „Heat Treatment“, <https://sij.ravnesystems.com/assets/Uploads/HEAT-TREATMENT.pdf>, 18.11.2022.
- [5] Katalog „Forged Rolls“, <https://sij.ravnesystems.com/assets/Uploads/FORGED-ROLLS.pdf>, 14.03.2023.

Autoren:



Dr. Christine Tränkner

ITG Induktionsanlagen GmbH
Hirschhorn/Neckar
+49 (0) 6272 / 9203-846
christine.traenkner@itg-induktion.de



Martin Bauer

ITG Induktionsanlagen GmbH
Hirschhorn/Neckar
+49 (0) 6272 / 9203-41
martin.bauer@itg-induktion.de