

Induktive Wärmebehandlung unter Schutzgas

von **Wilfried Goy, Jürgen Kern**

Induktives Erwärmen erfolgt üblicherweise an der Umgebungsluft, die ca. 78 % Stickstoff und 21 % Sauerstoff enthält. Durch Reaktion der Metalloberfläche mit dem Sauerstoff erfolgt eine Oberflächenoxidation. Mit zunehmender Temperatur und Zeitdauer wird dabei eine immer stärkere Oxidationsschicht erzeugt. In diesem Beitrag wird die induktive Wärmebehandlung unter Schutzgas dargestellt.

Inductive heat treatment under protective atmosphere

Inductive heating usually takes place in ambient air, which contains about 78 % nitrogen and 21 % oxygen. By reaction of the metal surface with the oxygen, a surface oxidation occurs. With increasing temperature and time, an increasingly stronger oxidation layer is generated. In this article, the inductive heat treatment under inert gas is shown.

Schon bei Raumtemperatur von 20 °C beginnt eine Stahloberfläche zu oxidieren. Es bildet sich jedoch nur eine für das bloße Auge noch unsichtbare Oxid-schicht. Diese sogenannte Hämatitschicht (Fe_2O_3) ist mit einer Dicke von 25×10^{-6} mm (entspr. 25 Millionstel mm) aber noch so dünn, dass die Oberfläche blank erscheint. Mit Erhöhung der Temperatur wächst die Schichtdicke weiter an und die Oberfläche wird zunächst matt.

Ab ca. 200 °C beginnt sich die Oberfläche zunächst gelb zu verfärben; die Schichtdicke beträgt nun ca. 45×10^{-6} mm. Bei weiterer Temperaturerhöhung wird die Schicht noch dicker und die Verfärbung schlägt in Braun- und Blautöne um.

Im Bereich von 300 bis 560 °C bildet sich unter der Hämatitschicht (Fe_2O_3) die Magnetitschicht (Fe_3O_4) mit einem höheren Eisenanteil.

Bei Temperaturen darüber entsteht je nach Werkstoffzusammensetzung unter den beiden zuvor genannten Oxidschichten die Wüstitschicht (FeO). Dies ist nun der umgangssprachlich sogenannte Zunder, der „lose“ an der Stahloberfläche haftet. Dieser stört den Produktionsprozess und muss regelmäßig entfernt werden. Zunder besteht generell aus den oben genannten drei Schichten.

Zwar bietet hier bereits das induktive Härten aufgrund der typischerweise sehr kurzen Prozesszeiten schon einen gewissen Vorteil gegenüber herkömmlichen Härteverfahren, jedoch kann die Zunderbildung nicht komplett

vermieden werden.

In der Vergangenheit wurde die Verzunderung von Eisenwerkstoffen schon oftmals untersucht und mehrere Gesetzmäßigkeiten für das Zunderwachstum und dessen Schichtdickenzunahme wurden aufgestellt. Hintergrund all dieser Untersuchungen war jedoch immer das Verzunderungsverhalten in Langzeitprozessen bei der Stahlherstellung und -verarbeitung, z. B. bei der Schmiedeerwärmung bzw. beim Schmieden selbst. Aus diesem Grund basieren auch alle bekannten Gesetzmäßigkeiten, z. B. die Oxidations- oder Zunderkonstanten, auf diesen Prozessen. Dadurch sind diese Gesetzmäßigkeiten erst nach einer gewissen Expositionszeit (meist sogar erst nach mehreren Minuten) gültig.

Versuche zur Verzunderung beim induktiven Härten

Für die induktiven Wärmebehandlungsprozesse mit den charakteristischen sehr kurzen Erwärmungszeiten gibt es in der Literatur keine entsprechenden Angaben. Aus diesem Grund hat EMA Indutech entsprechende Versuche selbst durchgeführt. Ziel der Versuche war es, erst einmal grundsätzlich festzustellen, ob und in welchen Zeiträumen sich bereits nennenswerte Zunderschichten bilden.

Im Rahmen dieser Versuche wurde ein sandgestrahltes Werkstück (100Cr6) induktiv möglichst schnell auf eine

definierte Temperatur erwärmt, welche anschließend mit reduzierter Leistung konstant gehalten wurde. Nach den gewünschten Haltezeiten bei verschiedenen Temperaturen wurde das Werkstück, wie beim induktiven Härten üblich, mit einer Polymerlösung abgeschreckt. Das Abschrecken war auch notwendig, um das Ergebnis nicht durch lange Abkühlzeiten zu verfälschen. Die Entfernung und Auswertung der gebildeten Zunderschichten erfolgte mit einem

handelsüblichen Transparentklebefilm. Das Ergebnis eines solchen Versuches zeigt **Bild 1**.

Es ist klar erkennbar, dass sich auch schon bei sehr kurzen Erwärmungszeiten bereits ab ca. 700 °C ein nennenswerter Anteil an ablösbarem Zunder auf den Werkstückoberflächen bildet. Bei den üblichen Induktivhärte-temperaturen von 900 bis 1.000 °C ist die Oxidbildung bereits nach einer Sekunde deutlich ausgeprägt.

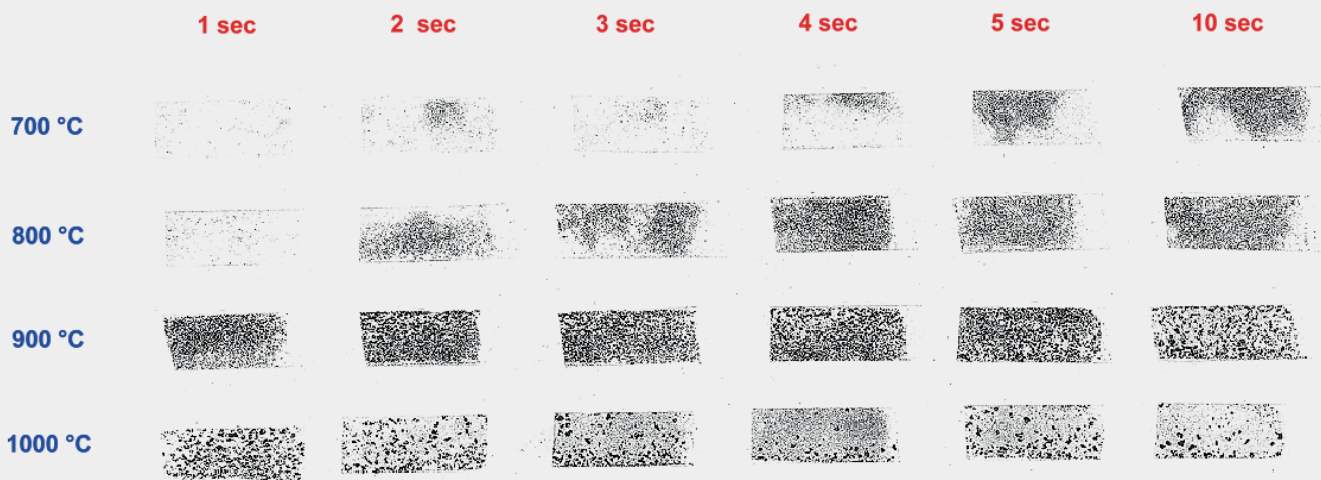


Bild 1: Oberflächenzunder auf 100Cr6

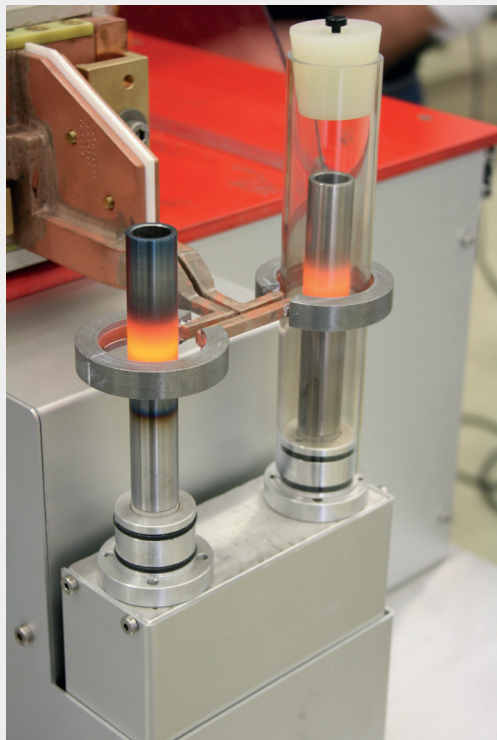


Bild 2: Erwärmung an Luft (links) und unter Schutzgas (rechts)

Ab einer Erwärmung auf 900 °C mit einer Haltezeit von wenigen Sekunden ist die typische plattenartige Struktur des Zunders zu erkennen. Gleiches gilt bei einer Temperatur von 1.000 °C bereits nach einer Sekunde. Dass die Zunderplättchen hier nur noch lose an der Werkstückoberfläche haften, bestätigt sich dadurch, dass bei diesen hohen Temperaturen und zunehmenden Prozesszeiten die schon relativ „großen“ Zunderpartikel mit dem Abschrecken wieder abgewaschen werden können. Zu sehen ist dies in den beiden Zunderabzügen in Bild 1 rechts unten (siehe 1.000 °C, 5 bzw. 10 s).

Härteprozess unter Schutzgasatmosphäre

Steht man als Anwender nun vor dem Problem, eine aufwändige Reinigung und/oder Nachbearbeitung der bei der Wärmebehandlung verzünderten Funktionsoberflächen zu vermeiden, bleibt nur, den gesamten Härteprozess unter Schutzgasatmosphäre durchzuführen (**Bild 2**, rechtes Werkstück).

Schutzgase

Schutzgase schützen die Metalloberfläche vor unerwünschten Veränderungen oder beeinflussen gezielt die Oberflächeneigenschaften. Zu beachten ist aber in jedem Fall, dass bereits geringe Mengen von Rest-Sauerstoff oder Sauerstoffverbindungen wie H₂O oder CO₂ (bei höheren Temperaturen)

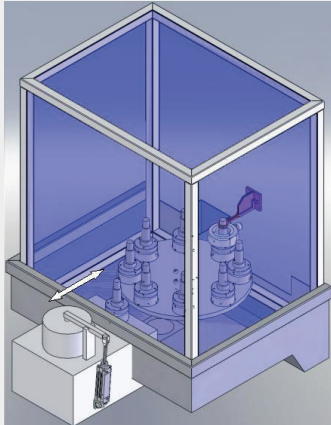


Bild 3: Kompletter Arbeitsraum als Schutzgaskammer mit Schleuse

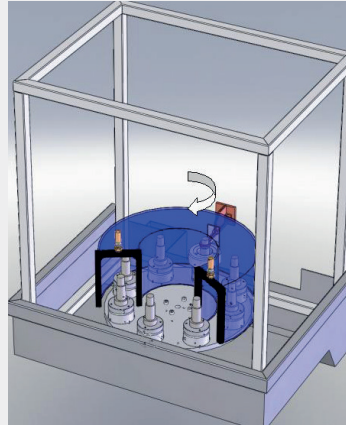


Bild 4: Schutzgastunnel

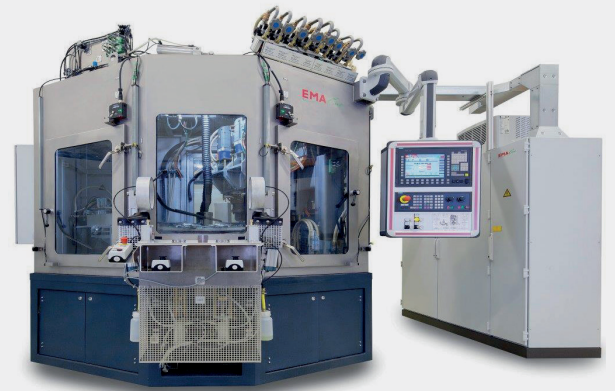


Bild 5: Komplett geschlossene Maschine mit vorne liegender Werkstückschleuse

sich immer noch qualitativ nachteilig auswirken können. Aus diesem Grund kommen hierfür nur Gase in Betracht, die sehr reaktionsträge (inert) sind, sich nur an wenigen chemischen Reaktionen beteiligen und wirtschaftlich bzw. preiswert sind. Inerte Gase gehen keine oder kaum chemische Verbindungen ein. Hierzu zählen Stickstoff und bei niedrigen Temperaturen Kohlendioxid sowie sämtliche Edelgase (Argon, Helium, Neon, Krypton, Xenon und das radioaktive Radon). Wirtschaftliche und sicherheitstechnisch einsetzbare Edelgase sind Argon, Helium und vielleicht noch Neon.

Die Erfahrungen weisen Stickstoff als das i. d. R. geeignete Schutzgas aus. Stickstoff ist ein farbloses, geschmack- und geruchloses, nicht brennbares Gas. Es ist leichter als Luft sowie deutlich preiswerter als z. B. Argon oder Helium und geht bis ca. 1.000 °C mit den meisten Metalloberflächen keine chemischen Reaktionen ein.

Schutzgasgehäuse

Für relativ kleine Werkstücke, die entweder im Gesamtflächenverfahren oder nur über eine geringe Länge gehärtet werden, empfiehlt sich in der Serienfertigung der Einsatz einer Schalttellermaschine mit einer Schutzgaskammer.

Bild 3 zeigt eine komplett geschlossene Lösung mit Schleuse und **Bild 4** eine Tunnelversion.

Bei langen Werkstücken, die nur im Gesamtflächen- oder Vorschubverfahren gehärtet werden, sind abgewandelte Sonderlösungen zu wählen.

Auf jeden Fall ist zu beachten, dass die Schutzgasgehäuse weitestgehend dicht sind, um nicht große Gasmengen zu verschwenden. Neben der ohnehin vorhandenen natürlichen Gasströmung, aufgrund des Dichteunterschiedes von Luft und Stickstoff, kommt die noch wesentlich intensivere konvektive Gasströmung entlang erhitzter Bauteile bzw. Bauteiloberflächen hinzu. Dadurch können bereits

kleine Undichtigkeiten sich deutlich negativ auf das Oxidationsverhalten auswirken.

Eine Ausführungsvariante zu Bild 3 mit einer komplett eingehausten Maschine ist in **Bild 5** dargestellt.

Prüfung der Wärmebehandlung

Neben den bereits beschriebenen, mehr oder weniger bekannten Schutzgas-Raumvarianten wird die Härtung von großen verzahnten Ringen mit Zahnmodulen größer als acht immer mehr im Markt gefordert. Solche sogenannten „Großringe“ werden heute überwiegend im Windenergiebereich eingesetzt. Mit der zunehmenden Installation von Offshore-Windparks steigen die Anforderungen bezüglich

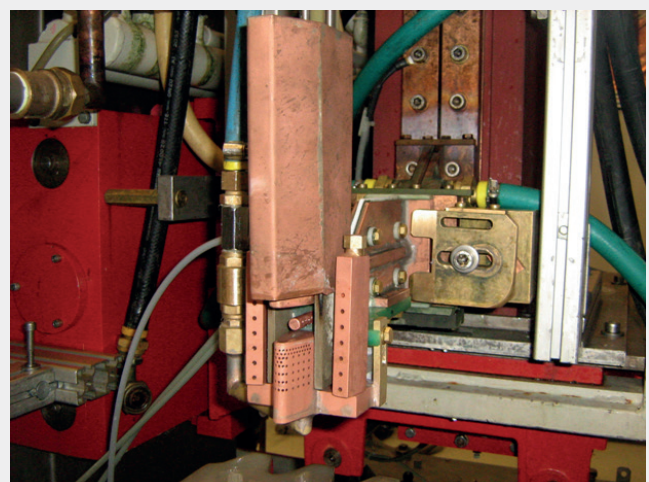


Bild 6: Einzelzahn-Schutzgasglocke

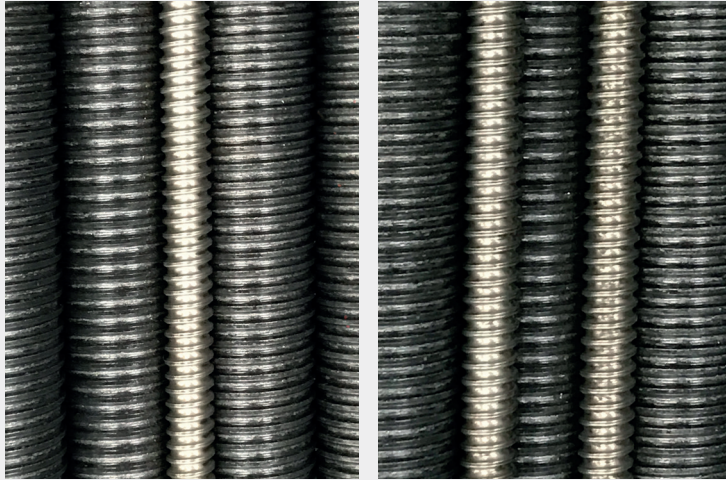


Bild 7: Unter Stickstoff wärmebehandelte Gewindespindeln



Bild 8: Gewindespindeln mit unterschiedlicher Schutzgasbeaufschlagung

Störunanfälligkeit und Lebensdauer erneut erheblich. Daher ist es heute üblich, auch bei der hier zum Einsatz kommenden Einzelzahnhärtung (jeder Zahn wird im Vorschub von unten nach oben einzeln gehärtet) eine 100 %-ige Prüfung jeder Wärmebehandlung durchzuführen, insbesondere hinsichtlich Rissbildung.

Voraussetzung für eine zuverlässige Rissprüfung ist eine gereinigte Materialoberfläche. Verzunderungen können nämlich leicht zu Fehlinterpretationen führen und/oder Risse bei der Prüfung verdecken und damit „unsichtbar“ machen. Üblich ist daher auch heute noch die manuelle Reinigung Zahn für Zahn, bzw. jeder Zahnücke einzeln.

Um diese kostenintensive Reinigungsarbeit zu minimieren bzw. gänzlich zu vermeiden, hat EMA Indutec einen „mitfahrenden“ Schutzgasraum für die Einzelzahnhärtung an Großringen konzipiert und als Patent (Pat.-Nr: DE 10 2009 026 935) angemeldet, der sich mittlerweile in der Praxis auch mehrmals bewährt hat (**Bild 6**).

Ergebnisse

In den oben zu sehenden Bildern sind die anhand einer Gewindespindel erzielten Ergebnisse einer Wärmebehandlung unter Schutzgasatmosphäre dargestellt. In **Bild 7**

liegen im Schutzgasraum gehärtete (dünnere) Werkstücke auf einem Stapel konventionell behandelter Gewindespindeln und in **Bild 8** sind Werkstücke nebeneinander gelegt, welche mit unterschiedlichen Gasbeaufschlagungen angefertigt wurden: links luftoffen (matt und verzundert), dann nach rechts folgend: verfarbt aber glänzend, nur noch schwach verfarbt und rechts metallisch blank.

AUTOREN



Dipl.-Ing. **Wilfried Goy**
EMA Indutec GmbH
Meckesheim
Tel.: 06226 / 788-213
wilfried.goy@ema-indutec.de



Dr. rer. nat. **Jürgen Kern**
EMA Indutec GmbH
Meckesheim
Tel.: 06226 / 788-109
juergen.kern@ema-indutec.de