

S. Bischoff, H. Klümper-Westkamp, F. Hoffmann, H.-W. Zoch, J. Rohde

Gasaufkohlen unter Normaldruck und ohne Randschichtschädigung – erste Ergebnisse*

Gas carburizing at atmospheric pressure without surface damage – first results

Kurzfassung/Abstract

Das weit verbreitete geregelte Gasaufkohlen hat den Nachteil, dass aus regelungstechnischen Gründen mit sauerstoffhaltigen Aufkohlungsatmosphären gearbeitet werden muss, was zwangsläufig zu einer Bauteilrandschädigung in der Form von Randoxidation führt. Um Schädigungen durch Oxidation und Manganeffusion zu unterdrücken und auch um Anlagenkosten niedrig zu halten, wurde gemeinsam im IWT Bremen und bei ROHDE Schutzgasöfen GmbH gezielt im Normaldruckbereich geforscht. Mit einer an das verwendete sauerstofffreie Aufkohlungsgas angepassten Steuerung und Diffusionsberechnung ist es gelungen, eine gezielte Aufkohlung mit guter Gleichmäßigkeit in einer industriellen Anlage zu erzeugen, die beim verwendeten Werkstoff 18CrNiMo7-6 (1.6587) bei einer CHD von rund 1 mm eine Manganeffusion erfolgreich unterdrückt und die Randoxidation nahezu vollständig vermeidet. ■

Schlüsselwörter: Einsatzhärten, Schleifbrand, Normaldruck-Aufkohlen, Acetylen, randoxidationsfrei, Niederdruck-Aufkohlen, Manganeffusion

Autoren/Authors: Dipl.-Chem. Sebastian Bischoff, ROHDE Schutzgasöfen GmbH, Bruchköbel, S.Bischoff@rohde therm.de (Kontakt/corresponding author)

Dr.-Ing. Heinrich Klümper-Westkamp, Prof. Dr.-Ing. habil. Franz Hoffmann, Prof. Dr.-Ing. Hans-Werner Zoch, IWT Stiftung Institut für Werkstofftechnik, Bremen

Dipl.-Ing. Jörn Rohde, ROHDE Schutzgasöfen GmbH, Bruchköbel

The well-established gas carburizing procedure has the disadvantage that for control reasons an oxygen containing carburizing atmospheres must be used. This inevitably leads to a damage of the component surface in the form of surface oxidation. In order to suppress damage by oxidation and effusion of manganese and to keep investment costs low, research has been conducted by foundation IWT Bremen and ROHDE Schutzgasöfen GmbH specifically at atmospheric pressure. Recent heat treatment results in an industrial plant offer a promising perspective. With pulsed atmospheric nitrogen-acetylene-processes 1 mm CHDs were reproducibly accomplished with 18CrNiMo7-6 (1.6587) avoiding manganese effusion and surface oxidation almost completely. ■

Keywords: Case hardening, overheating when grinding, atmospheric pressure carburizing, acetylene, oxygen-free, low-pressure carburizing, manganese effusion

1 Einleitung

Das Einsatzhärten ist ein Standardverfahren für Werkzeuge und Bauteile mit dem Ziel, den Verschleiß zu vermindern und die Dauerfestigkeit zu steigern. Das am weitesten verbreitete Verfahren des Einsatzhärtens ist das konventionelle Gasaufkohlen mit sauerstoffhaltigen Gasen bei Normaldruck [1]. Die Verwendung der sauerstoffhaltigen Gase führt zu einer unerwünschten Oxidation der Legierungselemente, die die Härte herabsetzt und die Bildung von Riss auslösenden Oxiden fördert [2-6]. Ist aus Verzugsgründen ein Schleifen nach der Einsatzhärtung erforderlich, so wird damit in der Regel auch die Randoxidation entfernt. Da sich die Bauteile dann schon im gehärteten Zustand befinden, ist die Nacharbeit besonders kostenintensiv und die Gefahr des Schleifbrandes steigt [7]. Um die Randoxidation zu vermeiden, wurden in der Vergangenheit verschie-

dene Versuche unternommen, um alternative Verfahren zu entwickeln [8-17]. Von diesen Verfahren hat sich das Niederdruck-Aufkohlen mit Acetylen am besten etabliert, nicht zuletzt aufgrund der sehr guten Reproduzierbarkeit, die durch dieses Verfahren erreicht wird. Das Niederdruck-Aufkohlen vermeidet die Randoxidation, erfordert aber eine aufwendige Ofentechnik und ist nicht frei von einer Randschichtschädigung, da thermische Ätzeffekte auftreten und das Legierungselement Mangan aus dem Werkstoff diffundiert [18]. Ein Gasaufkohlen ohne Randschichtschädigung würde hier einen Durchbruch in der Verfahrensentwicklung bedeuten und könnte – bei gleichzeitiger Vermeidung des Verzugs – die bisher notwendige, kostenintensive Hart-Nachbearbeitung in vielen Bereichen überflüssig machen. Neben einer möglichen Kosteneinsparung in der Produktion steht zusätzlich eine Leistungssteigerung der Bauteile von bis zu 20 % in Aussicht [19], die sich in einer Gewichtseinsparung und in einer gesteigerten Energieeffizienz auswirken könnte. Ein entsprechender Nachweis ist jedoch noch zu erbringen. Für den Erfolg eines solchen Prozesses ist es aber auch von entscheidender Bedeutung, dass damit eine sehr gute Reproduzierbarkeit erreicht wird.

* Vorgetragen von Sebastian Bischoff auf dem HK 2012, 68. Härtereikon-gress, HeatTreatmentCongress, 10.-12 Oktober 2012, in Wiesbaden.

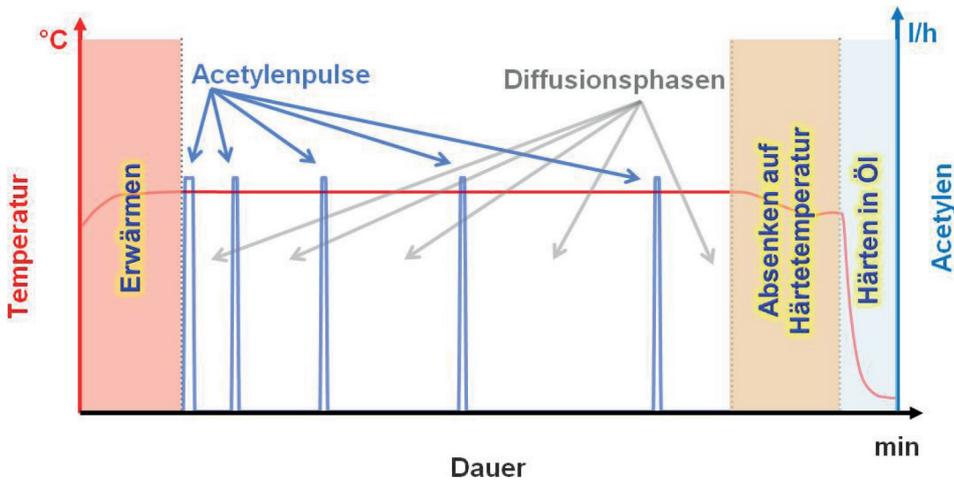


Bild 1. Prozessverlauf des Normaldruck-Aufkohlens mit Acetylen-Aufkohlungspulsen und Diffusionsphasen

Fig. 1. Course of process of normal pressure carburizing with acetylene pulses and diffusion phases

2 Konzept und Durchführung des Normaldruck-Aufkohlens mit Acetylen

Bei dem von der Fa. Rohde und dem IWT Bremen in einem ZIM-Projekt (ZIM = Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand des BMWi) entwickelten Konzept des $R_{ox-free}^{(1)}$ -Normaldruck-Aufkohlens mit Acetylen wird auf die bisherigen Erfahrungen mit dem Niederdruck-Aufkohlen zurückgegriffen, indem für das Aufkohlen Acetylen verwendet und das Aufkohlungsgas nur in wenigen kurzen Pulsen zugegeben wird. Für die Prozessgestaltung wurde das am IWT für das Niederdruck-Aufkohlen entwickelte Simulationsprogramm [20, 21] verwendet. Als Trägergas wird Stickstoff eingesetzt, um den Ofen während des gesamten Prozesses zu spülen und um einen leichten Ofenüberdruck zu erzeugen. Zum Vermeiden von Ruß wird das Acetylen mit Stickstoff verdünnt und die Acetylenzugabe zeitlich auf wenige Minuten begrenzt. Die Versuche erfolgten in einem industriellen Aichelin-Mehrzweckkammerofen mit 1100 mm x 600 mm x 650 mm Nutzraum. Die Werkstoffe 18CrNiMo7-6 und 20MnCr5 wurden gleichzeitig aufgekühlt und mit dem Ziel gehärtet, beim 18CrNiMo7-6 eine CHD von 0,8 + 0,4 mm und einen Randkohlenstoff von 0,65 + 0,10 Ma.-% zu erreichen.

¹ $R_{ox-free}$ ist eine Prozessbezeichnung der Rohde Schutzgasöfen GmbH

Das Normaldruck-Aufkohlen mit Acetylen kann wie das Niederdruck-Aufkohlen mit unterschiedlichen Prozessverläufen realisiert werden und, wie in Bild 1 dargestellt, in Acetylen- bzw. Aufkohlungspulse und darauf folgende Diffusionsphasen unterteilt werden.

Der erste Aufkohlungspuls wird direkt nach Erwärmen auf 940 °C gestartet. Die nach den Aufkohlungspulsen bei Aufkohlungstemperatur beginnenden Diffusionsphasen werden mit zunehmender Prozessdauer und geringerem Kohlenstoffkonzentrationsgefälle verlängert, um bei möglichst jedem Aufkohlungspuls mit dem gleichen Randkohlenstoffgehalt zu starten. Zum Prozessende wird auf Härte-Temperatur abgesenkt und in Öl gehärtet.

3 Ergebnisse des Normaldruck-Aufkohlens mit Acetylen

Wie in Bild 2 dargestellt führt der erste Acetylenpuls zu einem starken Anstieg des Sauerstoffsondensignals auf über 1300 mV. In der anschließenden Diffusionsphase fällt das Sauerstoffsondensignal langsam wieder ab.

Mit den vier weiteren Aufkohlungspulsen wiederholt sich dieser Vorgang, wobei das Niveau des Signals insgesamt weiter absinkt. Als eine der Hauptursachen für das Absinken der Sondenspannung wird der Volumenanteil des Wasserstoffs gesehen, der sich während der Aufkohlungspulse vom Acetylen abspaltert.

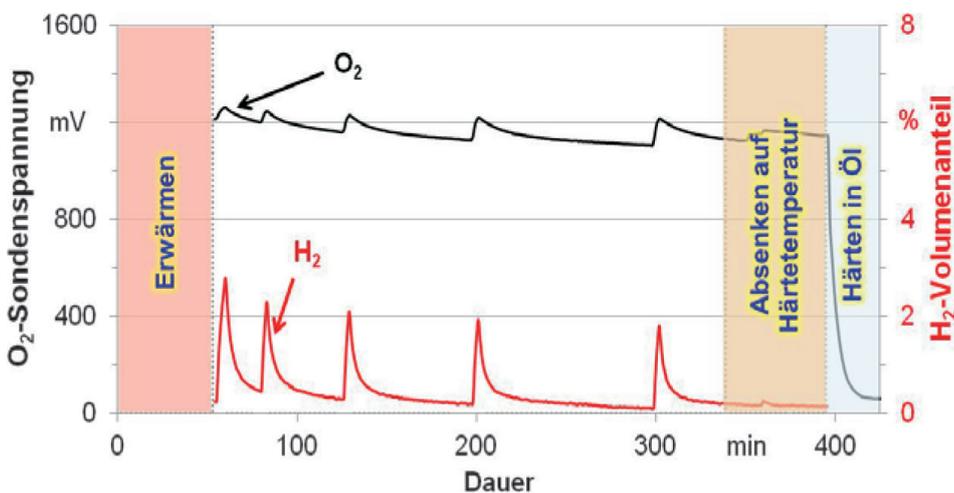


Bild 2. Prozessverlauf mit Sauerstoffsondenspannung und Wasserstoffvolumenanteil

Fig. 2. Course of the process with the hydrogen content and the oxygen probe voltage

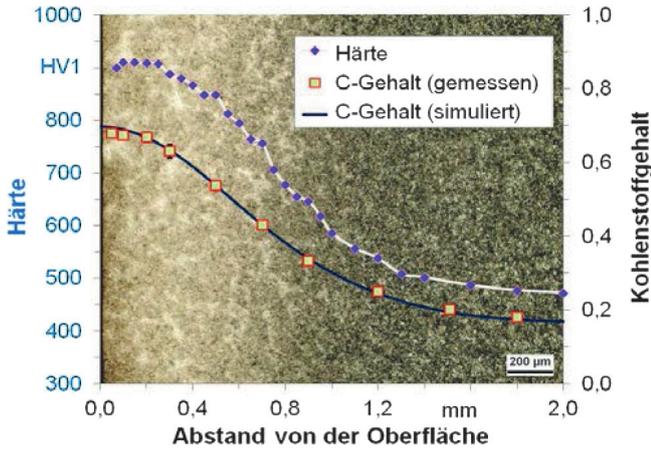


Bild 3. Kohlenstoff- und Härteverlauf des aufgekohlten und nicht angelessenen 18CrNiMo7-6

Fig. 3. Carbon and hardness profile of the carburized and not tempered 18CrNiMo7-6

In den Diffusionsphasen wird der Wasserstoff mit dem Stickstoff-Trägergas aus dem Ofen gespült, sodass der Wasserstoffgehalt wieder abnimmt. Die Ergebnisse zum Wasserstoffgehalt und zum Sauerstoffsignal lassen erwarten, dass diese in ähnlicher Weise wie im Niederdruck [22, 23] für eine Prozessüberwachung und Steuerung der Aufkohlungspulse genutzt werden können.

Zur Überprüfung des randoxidationsfreien Aufkohlungsprozesses wurde der Härte- und Kohlenstoffverlauf im nicht angelessenen Zustand untersucht. Wie in Bild 3 zu sehen, wurde der Härteverlauf und der für 18CrNiMo7-5 anvisierte Randkohlenstoffgehalt von 0,7 Ma.-% erfolgreich eingestellt. Der gemessene Kohlenstofftiefenverlauf (Bild 3) zeigt eine hervorragende Übereinstimmung mit dem simulierten Kohlenstoffverlauf. Für die erfolgreiche Simulation reichte es aus, mit dem gleichen mittleren

Kohlenstoffmassenstrom über alle Aufkohlungspulse zu rechnen. Der mittlere Massenstrom kann einerseits über Integralbildung aus dem Kohlenstofftiefenprofil ermittelt werden, andererseits aber auch über das Wiegen der Proben vor und nach der Wärmebehandlung, um somit schnell einen ersten Anhaltspunkt für den Aufkohlungserfolg zu erhalten.

Nach der Einsatzhärtung wurden die gehärteten Proben visuell mit herkömmlich behandelten Proben bei gleicher Einsatzhärtungstiefe verglichen. Die nach dem neuen Prozess einsatzgehärtete Probe (Bild 4a) sind metallisch blank geblieben und von den im Niederdruck aufgekohlten Probe (Bild 4b) rein äußerlich kaum zu unterscheiden. Im Gegensatz dazu war der visuelle Unterschied zu der konventionell gehärteten, schwarz gewordenen Probe (Bild 4c) sehr groß, obwohl beide Proben in demselben Ofen und Ölbad gehärtet wurden. Es wird davon ausgegangen, dass diese Schwärzung durch die Oberflächenrauigkeit hervorgerufen wird, die durch die Randoxidation stark zunimmt.

Alternativvorschlag: Man muss somit davon ausgehen, dass diese Schwärzung in direktem Zusammenhang mit der Randoxidation steht.

Zur Beurteilung der Randschichtschädigung wurde der Werkstoff 20MnCr5 mit dem neuen Normaldruck-Acetylen-Verfahren einsatzgehärtet (Bild 5a) und mit dem Zustand vor der Wärmebehandlung (Bild 5b) und nach herkömmlichen Einsatzhärtung metallografisch und spektroskopisch (GDOES) verglichen. Beim Niederdruckprozess wurde die Oxidation komplett vermieden, doch der niedrige Druck führte zu der in Bild 5c dargestellten, unerwünschten Abnahme des Mangangehalts im Werkstoffrand. Die am Querschliff metallografisch ermittelte Randoxidationstiefe des 20MnCr5 lag bei der konventionell einsatzgehärteten Probe erwartungsgemäß bei einem Hundertstel der Aufkohlungstiefe (Bild 5d). Durch die Oxidation des Mangans wird der Anteil des gelösten Mangans in der Randschicht schneller reduziert als er aus dem Werkstoffinneren nachdiffundiert, sodass dadurch ein Minimum des Mangangehalts im Bereich der Randoxidationstiefe

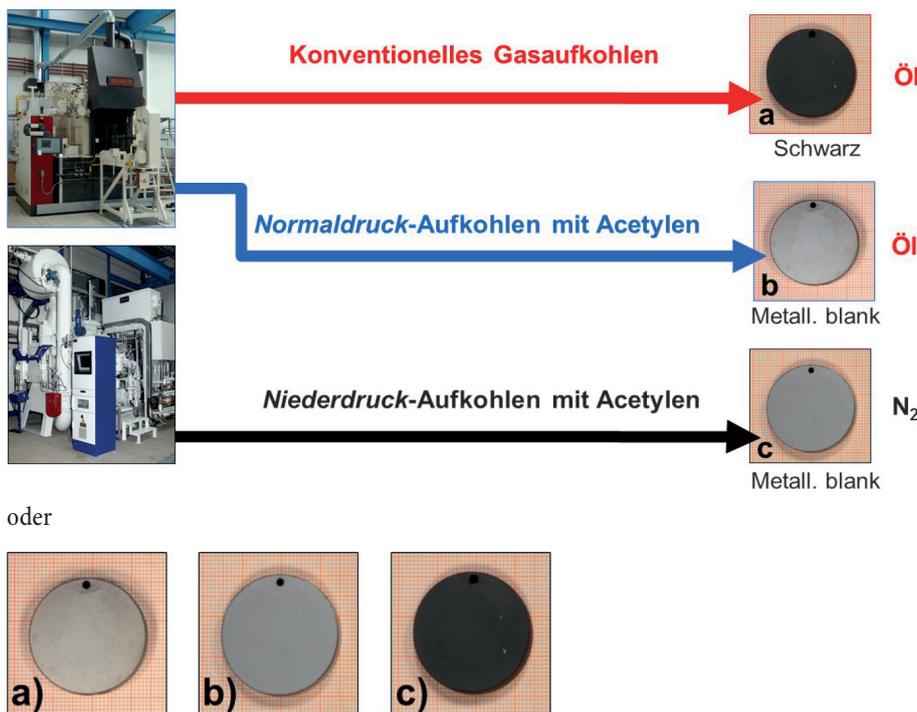


Bild 4. Visueller Vergleich der einsatzgehärteten Proben aus 18CrNiMo7-6 nach a) Normaldruck-Aufkohlen mit Acetylen und Ölabschreckung, b) Niederdruck-Aufkohlen mit Acetylen und Gasabschreckung, c) konventionellem Gasaufkohlen mit Ölabschreckung

Fig. 4. Visual comparison of probes made of 18CrNiMo7-6 after different case hardening processes: a) normal pressure carburizing with acetylene and quenching in oil, b) low pressure carburizing with acetylene and quenching with nitrogen gas, c) conventional gas carburizing with quenching in oil

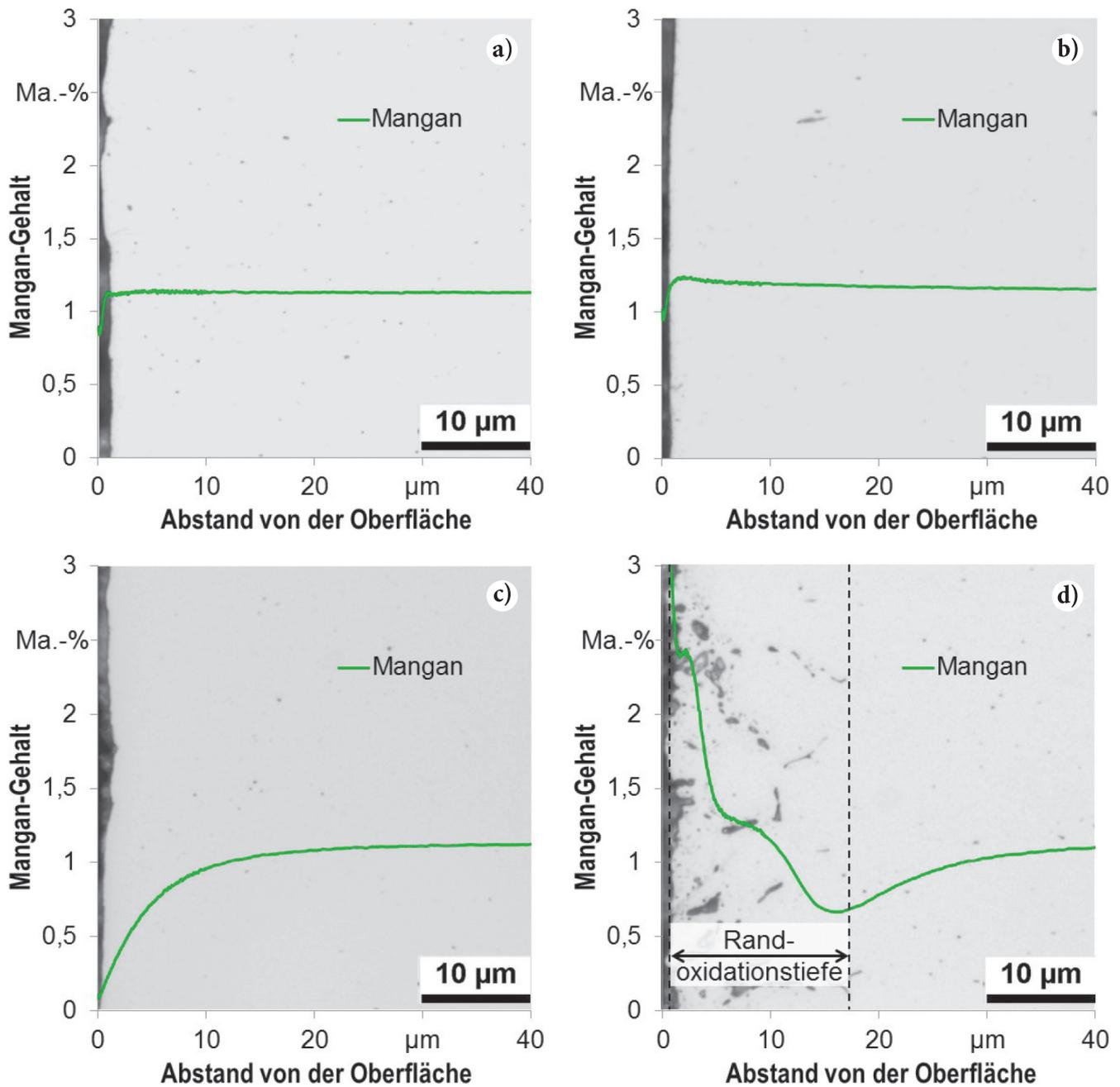


Bild 5. Ungeätzter Querschliff des 20MnCr5 und mittels GD-OES ermittelter Manganverlauf in verschiedenen Zuständen: a) nach Normaldruck-Aufkohlen mit Acetylen-Stickstoffgemisch b) vor der Wärmbehandlung, c) nach Niederdruck-Aufkohlen, d) nach konventionellem Gasaufkohlen

Fig. 5. Unetched cross section of 20MnCr5 with manganese profile determined by GD-OES in different states: a) after normal pressure carburizing with acetylene-nitrogen-mixture, b) before heat treatment, c) after low pressure carburizing, d) after conventional gas carburizing

entsteht. Der Schliff und der mittels Glimmentladungsspektroskopie (GDOES) ermittelte Manganverlauf zeigen (Bild 5a), dass mit dem neuen Normaldruck-Verfahren nicht nur die Randoxidation vermieden, sondern auch die Manganeffusion sehr erfolgreich unterdrückt wird.

Zum Vergleich der Reproduzierbarkeit wurde als erster Schritt die Gleichmäßigkeit des erreichten Randkohlenstoffgehalts mit 8 Begleitproben aus 18CrNiMo7-6 überprüft. Das Aufkohlen am Mehrzweckkammerofen erfolgt nur über einen Begasungseinlass. Im Gegensatz dazu besitzt die Niederdruck-Aufkohlungsanlage ein angepasstes Begasungssystem mit vielen Einlassstellen. Der Probenabstand im Mehrzweckkammerofen wurde dem maxima-

len Probenabstand der kleineren Niederdruck-Aufkohlungsanlage angepasst und der Randkohlenstoffgehalt der Begleitproben nach der Aufkohlungsprozess mittels GDOES ermittelt (Bild 6). Mit der Niederdruck-Aufkohlungsanlage wurde ein Randkohlenstoff von 0,7 Ma.-% an den acht wärmebehandelten Proben eingestellt und eine Standardabweichung von 0,03 Ma.-% erreicht. Der bei Normaldruck durchgeführte Versuch wurde mehrfach wiederholt. Zur Untersuchung des Chargeneinflusses wurde bei der letzten Wiederholung die Chargenoberfläche durch zusätzlichen Ballast erhöht. Die in Bild 6 dargestellten Ergebnisse des Normaldruck-Aufkohlen mit Acetylen zeigen, dass ein Randkohlenstoffgehalt von ca. 0,7 Ma.-% erzielt wurde und dass die Standardabweichung

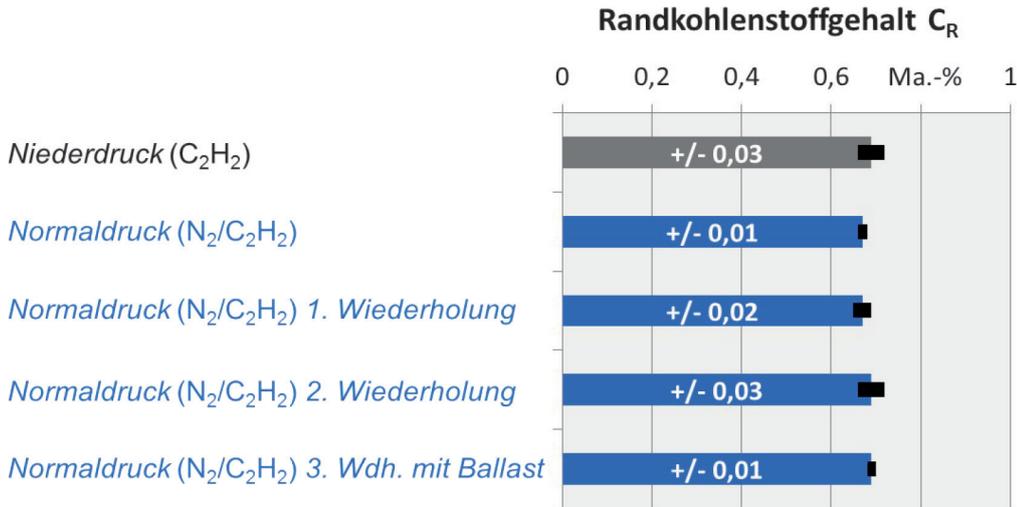


Bild 6. Ermittelter Randkohlenstoffgehalt C_R mit Standardabweichung beim Normaldruck-Aufkohlen mit Acetylen-Stickstoffgemischen im Vergleich zu einem Niederdruckprozess

Fig. 6. Measured surface carbon content C_R of normal pressure carburizing with acetylene-nitrogen-mixtures in comparison with a low pressure carburizing process

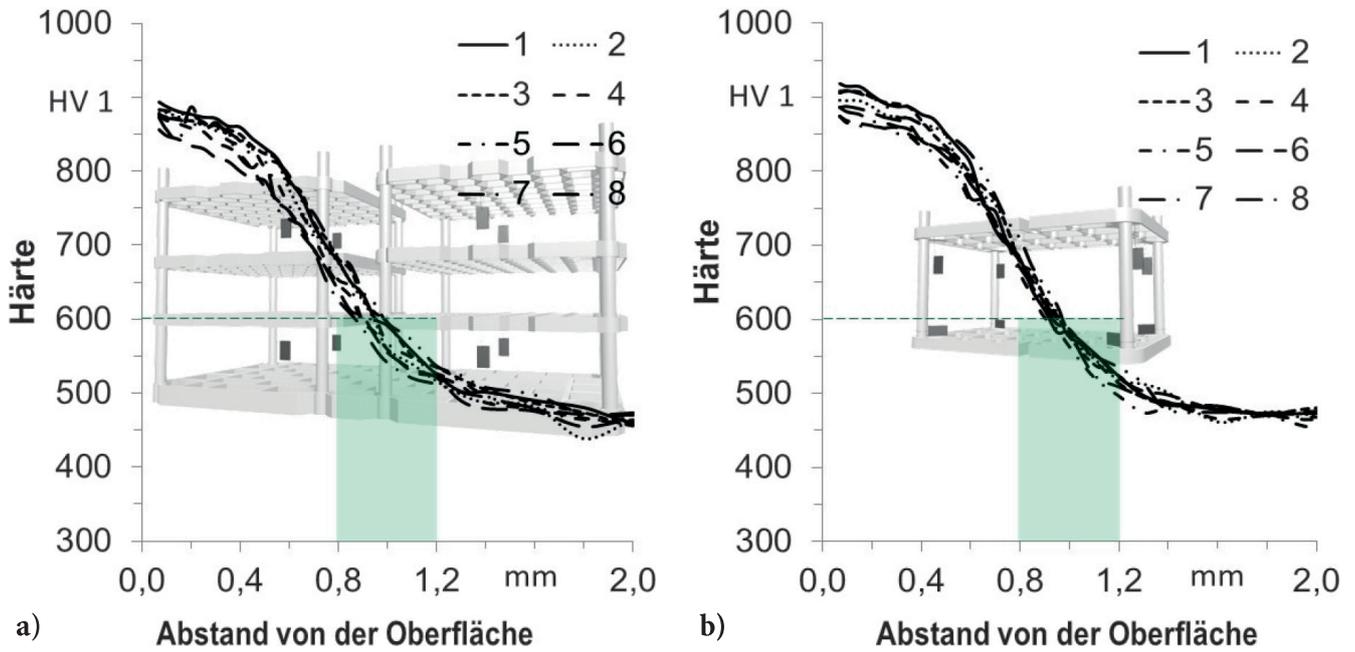


Bild 7. Gemessene Härteverläufe a) vom Normaldruck-Prozess mit Acetylen-Stickstoffgemisch im Vergleich zum b) Niederdruck-Prozess

Fig. 7. Measured case hardening profiles a) of normal pressure carburizing with acetylene-nitrogen-mixtures in comparison with b) a low pressure carburizing process

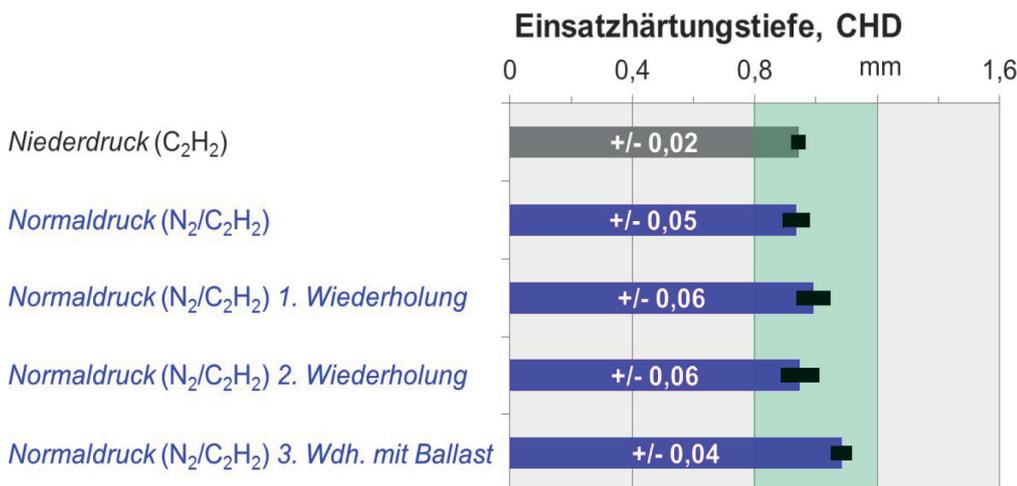


Bild 8. Gemessene Einsatzhärtungstiefe (CHD) mit Standardabweichung von Normaldruck-Prozessen mit Acetylen-Stickstoffgemischen im Vergleich zu einem Niederdruck-Prozess

Fig. 8. Measured case hardening depth (CHD) with root mean square deviation of probes, carburized at atmospheric pressure with acetylene-nitrogen-mixtures in comparison with a low-pressure gas carburizing process

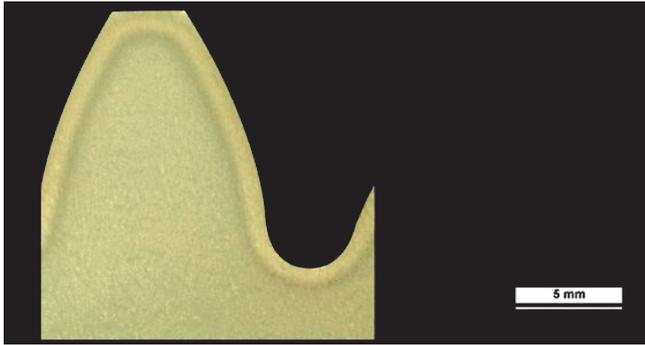


Bild 9. Übersichtsaufnahme des geätzten Schliffes eines mit dem sauerstoff-freien Normaldruck-Prozess einsatzgehärteten Zahnrades aus 18CrNi-Mo7-6

Fig. 9 Etched micrograph of an oxygen-free normal pressure case hardened gearwheel of 18CrNiMo7-6

zum Teil besser bzw. auf dem gleichen Niveau liegt, wie die des Niederdruckprozesses.

Die durch zusätzlichen Ballast erzeugte Chargenoberfläche führte zu keiner Vergrößerung der Standardabweichung des Randkohlenstoffgehaltes (Bild 6). Dies wird als erster Anhaltspunkt dafür gesehen, dass die Normaldruckprozesse ähnlich „gutmütig“ auf eine unterschiedliche Oberflächengröße reagieren, wie es von Niederdruck-Prozessen bekannt ist [24].

Zur weiteren Absicherung der Gleichmäßigkeit wurde neben dem Randkohlenstoffgehalt auch der Härteverlauf an den acht Begleitproben gemessen und dem Ergebnis eines Niederdruckprozesses in Bild 7 gegenübergestellt. Die im nicht angelassenen Zustand untersuchten Proben zeigen, dass in allen Fällen die gemessene CHD im vorgegebenen Soll-Bereich liegt und dass beide Prozesse eine ähnliche Streuung der Härtewerte aufweisen, insbesondere im äußersten Randbereich.

Die Standardabweichungen der Einsatzhärtungstiefe des wiederholt durchgeführten Normaldruck-Prozesses waren etwas größer als die des Niederdruck-Prozesses (Bild 8), liegen aber alle im Soll-Bereich, so dass von einer ausreichend guten Reproduzierbarkeit gesprochen werden kann.

Bei der mit dem sauerstofffreien Normaldruck-Prozess erzielten Gleichmäßigkeit und Reproduzierbarkeit stellt sich die Frage,

ob diese auf Kosten verstärkter Carbidausscheidungen erreicht wurde. Hierzu wurde ein mitbehandeltes Zahnrad aus 18CrNi-Mo7-6 metallografisch untersucht. Die Übersichtsaufnahme des geätzten Schliffes lässt auf eine insgesamt recht gleichmäßige Härtung vom Zahnkopf bis zum Zahnfuß schließen. Die Detailaufnahmen der Zahnkopfebene, der Zahnflanke und des Zahnfußes zeigen das nadelige, martensitische Gefüge mit einem durch die Geometrie bedingten unterschiedlichen Anteil an Restaustenit, wie es von Niederdruckprozessen bekannt ist. Schädliche Carbidausscheidungen konnten in keinem der drei Fälle nachgewiesen werden. Nur in dem für die Dauerfestigkeit unkritischen Bereich des Zahnkopfes konnten einzelne Carbide entdeckt werden.

3 Zusammenfassung

Mit der an das verwendete sauerstofffreie Aufkohlungsgas angepassten Steuerung und Diffusionsberechnung ist es gelungen, eine gezielte Aufkohlung mit guter Gleichmäßigkeit in einer industriellen Anlage zu erzeugen und dabei die Anlagenkosten niedrig zu halten. Das entwickelte Normaldruck-Aufkohlen mit einem Acetylen-Stickstoffgemisch eröffnet die Möglichkeit, Bauteile bis zu großen CHD-Werten ohne Randschichtschädigung zu härten: keine Randoxidation, keine Manganeffusion, keine Carbidausscheidungen. Das führt zwangsläufig zu höherer Bauteilqualität und in vielen Fällen sicherlich auch zur Steigerung der Bauteillebensdauer. Auch der so mögliche Entfall der abschließenden Hartbearbeitung der Bauteile und die Vermeidung von Schleifbrand können zu einer weiteren Steigerung der Wirtschaftlichkeit beitragen.

Das ZIM-Projekt „Randoxidationsfreie Gasaufkohlung“, KF 2198608 wurde aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) gefördert, wofür an dieser Stelle ausdrücklich gedankt sei.

Literatur

- AWT-Fachausschuss 5: Grabke, H. J.; Grassl, D.; Hoffmann, F.; Liedtke, D.; Neumann, F.; Schachinger, H.; Weissohn, K.-H.; Wünnig, J. A.; Wyss, U.; Zoch, H.-W.: Die Prozessregelung beim Gasaufkohlen und Einsatzhärten. Expertverlag, Renningen, 1997. –ISBN 3-8169-1454-3
- Gunnarson, S.: Gefügeanomalien in der Oberfläche gasaufgekohlter Einsatzstähle. HTM Härtereitechn. Mitt. 18 (1963) 1, S. 1

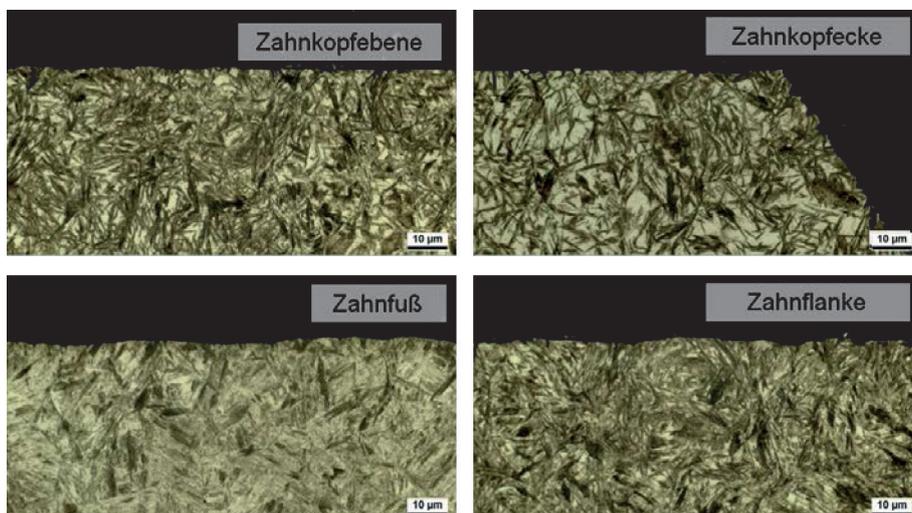


Bild 10. Schliffbilder eines unter Normaldruck mit Acetylen-Stickstoffgemisch einsatzgehärteten Zahnradbauteils aus 18CrNiMo7-6

Fig. 10. Etched micrographs of case hardened gearwheel probes of 18CrNiMo7-6, carburized at normal pressure with acetylene-nitrogen-mixture

3. *Chatterjee, R.*: Zur Frage der Randoxidation bei einsatzgehärteten Teilen. HTM Härterei-Techn. Mitt. 28 (1973), S. 259
4. *Chatterjee, R.*: Verfahrenstechnische Möglichkeiten einer randoxidationsarmen (-freien) Einsatzhärtung. Forschungsheft Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. Heft Nr. 110, 1973
5. *Hoffmann, R.*: Oxidationsvorgänge bei Wärmebehandlungen unter Schutzgas. HTM Härterei-Techn. Mitt. 39 (1984) 2, S. 61
6. *Lohrmann, M.; Lerche, W.*: Einfluss der Prozess- und Werkstoffauswahl auf das Randoxidationsausmaß bei der Gasaufkohlung. HTM 55 (2000) 6 S. 372
7. *Gorgels, C.*: Entstehung und Vermeidung von Schleifbrand beim diskontinuierlichen Zahnflankenprofilschleifen. 1. Aufl.: Apprimus-Verlag, 2011. -ISBN 978-3-863-59019-2. S. 1-125.
8. Patent DE 2216688C3: Verfahren zum Aufkohlen von Werkstücken aus Stahl, Wolfram und Molybdän mittels Kohlenstoff abgebender Gase in einer beheizbaren Vakuumkammer. C. I. Hayes Inc., Cranston, USA, 1973
9. Patent DE 3146042A1: Verfahren zum Einsatzhärten metallischer Werkstücke. Linde AG, München, 1983
10. Patent DE 69032144T2: Verfahren und Vorrichtung zur thermischen oder thermochemischen Behandlung von Stahl. Solo Fours Industriels S. A., Porrentruy, Frankreich, 1991
11. Patent DE 69612822T3: Verfahren zur Vakuumaufkohlung, Verwendung einer Vorrichtung zur Vakuumaufkohlung und aufgekohlte Stahlerzeugnisse. JH Corp., MI, USA, 1996
12. *Wünning, J.; Leyens, G.; Woelk, G.*: Gesteuerte Aufkohlung in CO-freien Atmosphären. HTM Härterei-Techn. Mitt. 31 (1976) 3, S. 132
13. *Zimmermann, D.*: Neues Schnellaufkohlungsverfahren und Anwendung in einer flexiblen Anlage. HTM Härterei-Techn. Mitt. 47 (1992) 1, S. 37
14. Patent EP 0882811B2: Verfahren zur Aufkohlung metallischer Werkstücke in einem Vakuum-Ofen. Ipsen International GmbH, Kleve, 1998
15. Patent EP 0622525B1: Verfahren zur Vermeidung von Randoxidation beim Aufkohlen von Stählen. Messer Griesheim GmbH, Krefeld, 1995
16. Patent DE 60223202T2: Verfahren zur Niederdruck-Aufkohlung. Etudes et Constructions Mécaniques, Grenoble, Frankreich, 2002
17. Patent DE 102009041927A1: Verfahren zur Niederdruck-Aufkohlung metallischer Werkstücke. Hanomag Härtecenter GmbH, Hannover, 2011
18. *Clausen, B.; Laue, S.; Burtchen, M.; Hoffmann, F.; Mayr, P.*: Randschichtschädigung infolge Niederdruckaufkohlung. HTM Z. Werkst. Wärmebeh. Fertigung 58 (2003) 1, S. 13
19. *Clausen, B.; Hoffmann, F.; Zoch, H.-W.*: Beeinflussung der Randschicht durch die Einsatzhärtung. HTM J. Heat Treatm. Mat. 63 (2008) 6, S. 326
20. *Steinbacher, M.; Clausen, B.; Hoffmann, F.; Zoch, H.-W.*: Steigerung der Vorhersagegenauigkeit bei der Berechnung des Kohlenstoffprofils von Niederdruckaufkohlungsprozessen. HTM Z. Werkst. Wärmebeh. Fertigung 63 (2008) 1, S. 33
21. *Steinbacher, M.*: Thermogravimetrische Messungen beim Niederdruckaufkohlen als Grundlage für Simulationen. Dissertation, Universität Bremen, 2012
22. *Altena, H.; Schrank, F.; Heineck, S.*: Prozessüberwachung und Regelung von Niederdruck-Aufkohlungsprozessen. HTM Z. Werkst. Wärmebeh. Fertigung 61 (2006) 4, S. 195
23. *Zosel, J.; Vashook, V.; Berg, H.-J.; Gräfen, W.; Guth, U.*: Coulometrischer Sensor für die Niederdruckaufkohlung. Dresdner Sensor-Symposium 2011, Verfahrenstechnik I, S. 103-106, DOI10.5162/10dss2011/6.3
24. *Altena, H.*: Niederdruck-Aufkohlung mit Hochdruck-Gasabschreckung. HTM Härterei-Techn. Mitt. 53 (1998) 2, S.93

Den Beitrag als PDF finden Sie unter:
 PDF of this article:
www.HTM-Journal.de
 Dokumenten-Nummer: **HT110197**

Diskussion/Discussion

D. Liedtke: Kann man aus ihrem Vortrag entnehmen, wenn Sie noch die ausstehenden Ergebnisse vorliegen haben, dass man dann das Niederdruckaufkohlen einstampfen kann?

S. Bischoff: Die bisherigen Ergebnisse sind wirklich sehr viel versprechend, da gebe ich Ihnen vollkommen Recht, aber ich möchte mich auch nicht zu weit aus dem Fenster lehnen. Ich denke, dass es durchaus auch für das Niederdruckaufkohlen in der weiteren Zukunft die entsprechenden Prozesse und Anforderungen gibt.

B. Edenhofer: Herr Bischoff, Sie nennen das Verfahren Normalaufkohlen mit Acetylen (Stickstoff/Acetylen). Ich gehe davon aus, dass Sie in den Diffusionsphasen und auch in der Aufheizphase nur Stickstoff verwenden, ist das richtig?

S. Bischoff: Das ist in den dargestellten Versuchen richtig, ja.

B. Edenhofer: Ich hatte den Eindruck, dass der Wasserstoffgehalt von dem Bild, das ich gesehen habe mit 2 % in den Höchstphasen der Acetylenzugabe sehr niedrig lag. Haben Sie keine Probleme mit Oxidationen an den Teilen bei einem derart geringen Wasserstoffgehalt im Ofen, der nur kurzzeitig bis auf 2 % hochgeht, in den Diffusionsphasen schon fast gegen Null geht, auch in der Aufheizphase bekannt ist, wenn man in Mehrzweckkammeröfen Chargen unter Stickstoff aufheizt auf 900-950 °C, dass dann die

Oberflächen oxidieren. Hatten Sie mit solchen Oxidationseffekten zu kämpfen?

S. Bischoff: Diese Frage beantworte ich gerne. Wir hatten erstaunlicherweise bei diesen Prozessen mit einer sehr geringen Randoxidation zutun, nur in den ersten Versuchen, aber auch im weiteren Verlauf zeigte sich, dass die dargestellten Ergebnisse im Randoxidationsfreien Bereich sind.

B. Edenhofer: Ich meine eher Oxidbildung an der Oberfläche, wenn Sie unter Stickstoff aufheizen kriegen Sie eine Eisenoxidschicht. Konnten Sie die wieder reduzieren in der nachfolgenden Aufkohlung, oder gab es dann Probleme?

S. Bischoff: Wir haben natürlich nicht den Aufkohlungsprozess unterbrochen und diese Oxide am äußersten Rand festgestellt, sondern wir haben letztendlich nur den Bereich angeguckt, wie er nach der Aufkohlung und Einsatzhärtung vorliegt und da konnten wir diese Oxide nicht mehr feststellen. Also in der Praxis sind die bei unseren Prozessen nicht mehr relevant.

B. Edenhofer: Es hängt natürlich sehr stark von der Dichtigkeit des Ofens ab, ob das so funktioniert oder nicht.

Zweite Frage: Wie sieht es mit der Rußbildung im Ofen aus?

S. Bischoff: Wir hatten keine besonderen Rußbildungsprobleme. Die anderen Prozesse sind auch nicht komplett Ruß frei, aber wir haben auch eine Abschätzung gemacht, was maximal an Ruß entstehen könnte bei so einem Prozess, den wir durchgeführt haben und wenn man sich dann vorstellt, dass die ganze Aufkohlung nicht stattfinden würde, und nur Ruß gebildet werden würde, dann könnte man von diesen gezeigten Prozessen den Ruß in ein normales Trinkglas reinfüllen. Aus meiner Sicht scheint das hier erstmal nicht das entscheidende Problem zu sein.

M. Lohrmann: Die Prozesssteuerung, wenn ich es richtig verstanden habe, ist ja exakt wie beim Niederdruckaufkohlen, das heißt feste Gasmengen über feste Zeiten, ohne jegliche Regelung. Keine Regelung eines Kohlenstoffpotenzials?

S. Bischoff: Ja, das haben Sie richtig festgestellt.

M. Lohrmann: Und Sie verwenden ein bestimmtes Stickstoff-Acetylen-Verhältnis. In welcher Größenordnung ist es und außerdem würde mich interessieren, ob Sie den Ofen nach einem Gasauf-

kohlen konditionieren müssen, weil ansonsten parallel zu dem Acetylenaufkohlungs-Prozess noch der herkömmliche Aufkohlungsprozess aus Methan-Bestandteilen, aus der Ausmauerung, ablaufen könnte.

S. Bischoff: Ich habe den Zwischenteil akustisch nicht ganz verstanden. Zu den gemessenen CH₄- Gehalten, wir haben auch den Methangehalt gemessen, aber dieser war äußerst gering und für die Aufkohlung so in der Weise nicht entscheidend und zu Ihrer ersten Frage: Da möchte ich einfach nur sagen, dass es nicht schlecht ist ein paar Geheimnisse für sich zu behalten, selbst in Patenten wird nicht alle verraten, das steigert vielleicht auch sogar das Interesse.

Diskussionsteilnehmer:

Dr.-Ing. D. Liedtke, Ludwigsburg

Dr. B. Edenhofer, Ipsen International, Kleve

Dr.-Ing. M. Lohrmann, ZF Friedrichshafen

Dipl.-Ing. S. Bischoff