

Lebensdauersteigerung schmiedegerecht nitrierter Gesenke durch vorgeschaltetes Carbonitrieren

Warmarbeitswerkzeuge werden in der Praxis nitriert, um die Randschichteigenschaften gegenüber thermischer und mechanischer Beanspruchung zu verbessern. Durch Carbonitrieren kann im Vergleich zum Nitrieren in kurzen Behandlungsdauern eine Ausscheidungsschicht mit einer hohen Warmfestigkeit und Verschleißbeständigkeit in der Werkzeugrandzone gebildet werden. Nachfolgend kann an der Oberfläche noch eine verschleiß- und korrosionsbeständige Verbindungsschicht durch ein anschließendes Nitrieren erzeugt werden.



AUTOREN



**Dr.-Ing.
Stefanie Hoja**

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung Wärmebehandlung am Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien (IWT) in Bremen



**Dr.-Ing.
Heinrich Klümper-Westkamp**

ist Gruppenleiter Sensorik in der Abteilung Wärmebehandlung am Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien (IWT) in Bremen



**Dr.-Ing.
Matthias Steinbacher**

leitet die Abteilung Wärmebehandlung am Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien (IWT) in Bremen



**Prof. Dr.-Ing.
Hans Werner Zoch**

ist Geschäftsführender Direktor des Leibniz-Instituts für Werkstofforientierte Technologien (IWT) in Bremen

Um den hohen Beanspruchungen bei der Warmmassivumformung zu begegnen, werden die Oberflächen und Randbereiche der eingesetzten Werkzeuge nitriert [1-4]. In früheren Untersuchungen wurde der Einfluss der Nitrierparameter auf die Werkzeuglebensdauer und den Werkzeugverschleiß untersucht [5]. Dabei zeigte sich, dass der Verschleiß an den kritischen Stellen im Bereich einiger Millimeter, das heißt deutlich über der Nitrierhärte tiefe lag. Die Untersuchungen haben ferner gezeigt, dass der Verschleißfortschritt sich erheblich beschleunigt, wenn der nitrierte Randbereich bis zu der Tiefe der Nitrierschicht abgetragen ist, da der Werkstoff unterhalb der Nitrierschicht keine ausreichende Warmfestigkeit und Verschleißbeständigkeit besitzt.

Eine Erhöhung der Nitrierhärte tiefe ist jedoch in den meisten Fällen durch eine lange Behandlungsdauer unwirtschaftlich. Eine weitere Möglichkeit zur Erzeugung hoher Härte tiefen in wirtschaftlichen Prozessdauern ist das Carbonitrieren, bei dem die Eindiffusion der Elemente Stickstoff und Kohlenstoff bereits während des Austenitisierens erfolgt [6]. Das Carbonitrieren wird üblicherweise für Bauteile wie Wellen und Zahnräder, Kolben, Walzen und Lager aus unlegierten und niedrig legierten Einsatzstählen sowie Automaten- und Baustählen mit Kohlenstoffgehalten unter 0,2 Prozent angewendet, um deren Randschicht eine wesentlich höhere Härte und Einhärtbarkeit, einen erhöhten Verschleißwiderstand, eine höhere Dauerfestigkeit sowie eine höhere Anlassbeständigkeit zu verleihen und kostspieligere höher legierte Werkstoffe zu ersetzen [7]. Das Carbonitrieren birgt aber auch Potenzial für höher legierte Stähle wie Kalt- und Warmarbeitsstähle [8-10]. Beim Carbonitrieren von Warmarbeitsstählen besteht durch den hohen Legierungsanteil die Möglichkeit, schwerpunktmäßig feinverteilte Sondernitride und Sondercar-

bonitride der Legierungselemente auszuscheiden, die den Verschleißwiderstand steigern und temperaturstabil sind.

Das übergeordnete Ziel der vorliegenden Untersuchungen war, den Verschleißwiderstand von Schmiedegesenken für die Massivumformung durch eine speziell entwickelte Wärmebehandlung zu erhöhen und dadurch die Lebensdauer der Gesenke zu steigern. Um tiefere Randbereiche der Gesenke wirtschaftlich mit höherem Verschleißwiderstand auszustatten, wurde ergänzend oder als Alternative zum Nitrieren ein Carbonitrierverfahren für diese Anwendung entwickelt und erprobt.

WÄRMEBEHANDLUNG

Die Temperaturen beim Carbonitrieren betragen üblicherweise 780 bis 900 °C, da in diesem Temperaturbereich der Stickstoffspender Ammoniak (NH₃) noch ausreichend wirksam ist und der Kohlenstoff oberhalb A_{C3} noch ausreichende Löslichkeit aufweist. Abhängig von der A_{C3}-Temperatur des zu carbonitrierenden Werkstoffs muss die Prozessführung beim Carbonitrieren gewählt werden. Beim Untersuchungswerkstoff X38CrMoV5-3 (1.2367) liegt die A_{C3}-Temperatur oberhalb der typischen Temperaturen beim Carbonitrieren. Die vollständige Auflösung der Sondercarbide, die für die Sekundärhärtung notwendig ist, erfolgt erst bei Temperaturen über 1.000 °C. Da bei so hohen Temperaturen aufgrund des hohen NH₃-Zerfalls ein Carbonitrieren kaum möglich ist, muss bei diesen Werkstoffen ein zusätzlicher Wärmebehandlungsschritt vor oder nach dem Carbonitrieren zum Auflösen der Carbide durchgeführt werden. Die Reihenfolge der Prozessschritte Carbonitrieren und Auflösen der Carbide hat einen wesentlichen Einfluss auf die Ausscheidungsstruktur der carbonitrierten Randschicht. Abhängig von der gewählten Pro-

Variante	Anlage	Carbonitrieren (CN)				Anlassen (A)	Nitrieren (N)
Schmiede 1							
CN+A	Solo	950 °C 1.000 °C	8 h 1 h	C _p = 0,35 % C _p = 0,35 %	NH ₃ = max. NH ₃ = max.	3 x 560 °C 2 h	
CN(850 °C)+A	Aichelin	850 °C 1.000 °C	64 h 1 h	C _p = 0,35 % C _p = 0,35 %	NH ₃ = 1.000 l/h NH ₃ = 1.000 l/h	3 x 560 °C 2 h	
CN(NHD)+A	Solo	950 °C 1.000 °C	32 h 1 h	C _p = 0,35 % C _p = 0,35 %	NH ₃ = max. NH ₃ = max.	3 x 560 °C 2 h	
CN+A+N (1)	Solo	950 °C 1.000 °C	8 h 1 h	C _p = 0,35 % C _p = 0,35 %	NH ₃ = max. NH ₃ = max.	3 x 560 °C 2 h	520 °C 24 h K _N = 3
Schmiede 2							
CN+A+N (2)	Aichelin	850 °C 1.000 °C	32 h 1 h	C _p = 0,35 % C _p = 0,35 %	NH ₃ = 1.000 l/h NH ₃ = 1.000 l/h	3 x 560 °C 2 h	520 °C 24 h K _N = 3

Tabelle 1: Wärmebehandlungsparameter für die Versuchswerkzeuge

zessführung ergibt sich ein unterschiedliches Ausscheidungs- bild und daraus resultierend eine unterschiedliche Härte bezie- hungsweise ein unterschiedlicher Härteverlauf [11]. Geschieht die Auflösung der Carbide vor dem Carbonitrieren, sind die Legie- rungselemente zunächst ungebunden und es besteht eine er- höhte Gefahr der Randoxidation. Das Auflösen der Carbide nach dem Carbonitrieren sollte unter Carbonitrieratmosphäre oder Stickstoff stattfinden, um eine Effusion von Stickstoff zu vermei- den. Beim Anlassen muss die Anlasstemperatur angepasst wer- den, da die Randschicht durch das Carbonitrieren eine veränderte chemische Zusammensetzung aufweist. Dabei ist weiterhin zu berücksichtigen, dass der Kern gegebenenfalls eine andere Anlasstemperatur benötigt, sodass hinsichtlich der Anlasstem- peratur der beste Kompromiss zwischen Rand- und Kernfestig- keit gefunden werden muss. Tabelle 1 zeigt die für die Versuchs- werkzeuge entwickelten Wärmebehandlungsabfolgen.

Durch ein anschließendes Nitrieren kann an der Oberfläche noch eine verschleiß- und korrosionsbeständige Verbindungsschicht erzeugt werden. Dabei ist eine Veränderung des Nitrierergeb- nisses durch den veränderten Ausgangszustand zu erwarten, da die Werkstoffrandschicht beim Carbonitrieren bereits mit Stickstoff angereichert wird und Nitridausscheidungen gebil- det werden. Das führt dazu, dass die Randhärte, wie sie nach dem klassischen Vergüten und Nitrieren vorliegen würde, durch die Kombinationsbehandlung aus Carbonitrieren und Nitrieren nicht erreicht wird, wie in Bild 1 zu sehen ist. Die unterschiedliche Kernhärte der beiden Varianten resultiert daraus, dass vor dem

reinen Nitrieren und nach dem Härten von 1.050 °C nicht angelas- sen wurde, sodass bei dieser Variante ein anderer Vergütungs- zustand vorliegt.

Durch die vorangehende Carbonitrierbehandlung kann außer- dem die Stickstoffaufnahme beim Nitrieren behindert werden. Trotz gleicher Nitrierbehandlung sind bei den Behandlungs- varianten CN+A+N (1) und CN+A+N (2) unterschiedliche Nitrier- schichten entstanden (Bild 2 d) und e)), was vermutlich eine Folge der unterschiedlichen Carbonitrierbehandlung ist. Eine Verbesserung der Nitrierbarkeit kann durch Anlassen oder eine mechanische Bearbeitung der Oberfläche wie beispielsweise Gleitschleifen nach dem Carbonitrieren erzielt werden. Auch die Ölabschreckung und das Anlassen nach dem Carbonitrieren haben einen Einfluss auf das Ergebnis der anschließenden Ni- trierung, da sich an der Werkstückoberfläche eine Oxidschicht bildet, die beim anschließenden Nitrieren reduziert wird und zu einer Doppelschichtbildung führen kann.

SCHMIEDEVERSUCHE

Schließlich wurden die speziell wärmebehandelten Schmie- degesenke in den Schmiedebetrieben unter realen Bedingun- gen in einer Schmiedepresse eingesetzt. Umgeformt wurden jeweils niedrig legierte Stähle bei einer Temperatur größer als 1.200 °C. Die Taktzeit lag zwischen 10 und 15 Sekunden. Zu- dem wurde ein salzhaltiger, weißer Schmierstoff verwendet. Neben Standmengenuntersuchungen wurden die Werkzeuge auch nach einer definierten Zahl an Umformungen ausgebaut

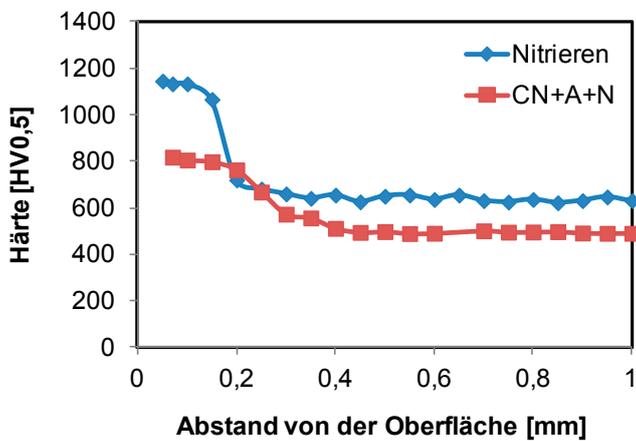


Bild 1: Härteverlauf nach dem Nitrieren (1.050 °C 1 h / Öl/520 °C 24 h $K_N = 3$) und nach der Kombinationsbehandlung aus Carbonitrieren (950 °C 8 h $C_P = 0,2\%$ $NH_3 = \text{max.} / 1.000\text{ °C } 0,5\text{ h } C_P = 0,2\%$ $NH_3 = \text{max.} / \text{Öl}$), Anlassen (3x 560 °C 2 h) und Nitrieren (520 °C 24 h $K_N = 3$)

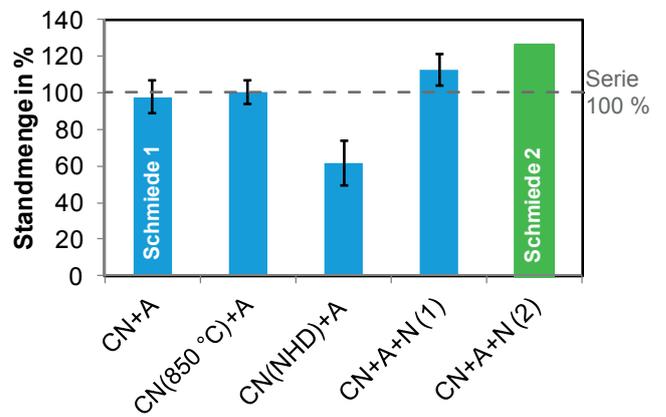


Bild 3: Standmengen der Versuchswerkzeuge im Vergleich zum Serienzustand (Wärmebehandlungsparameter siehe Tabelle 1)

und hinsichtlich des Verschleißes verglichen. Bild 3 zeigt die Standmengen der Versuchswerkzeuge im Vergleich zur jeweiligen durchschnittlichen Serienstandmenge. Sowohl mit den

carbonitrierten und nitrierten Werkzeugen als auch mit den nur carbonitrierten Werkzeugen konnten bei der Schmiede 1 im Vergleich zu konventionell nitrierten Werkzeugen ähnliche

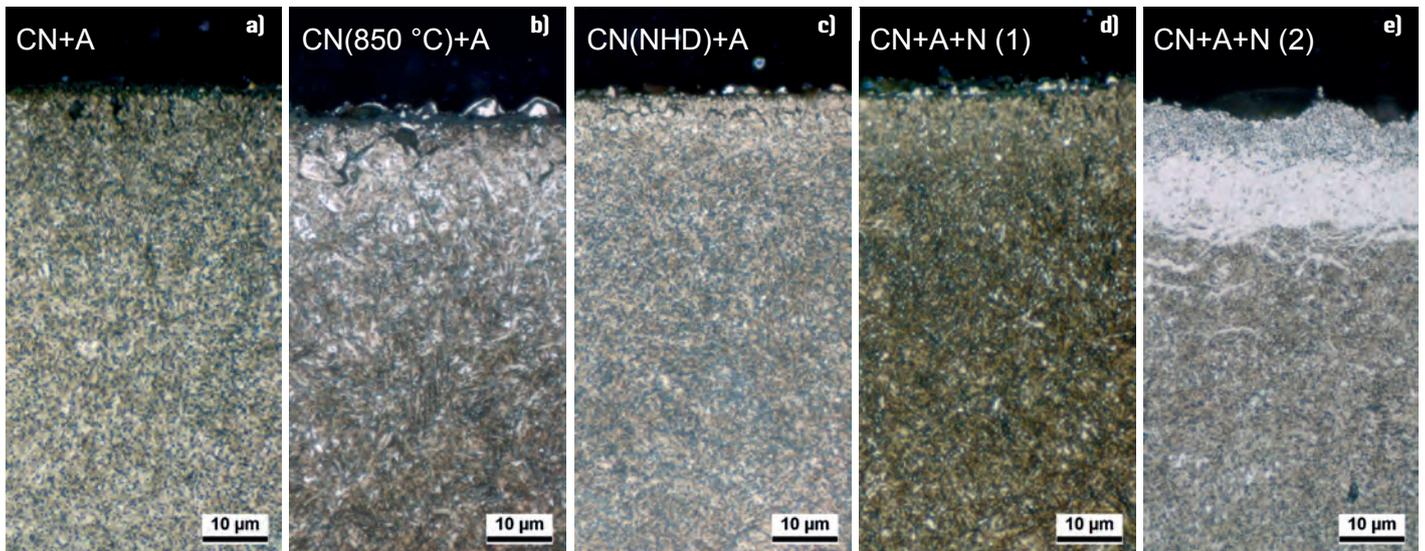


Bild 2: Mit Nital geätzte metallografische Querschliffe nach Wärmebehandlung der Versuchswerkzeuge (Wärmebehandlungsparameter siehe Tabelle 1)

Bilder: Autoren

Standmengen erreicht werden. Nur die Variante CN(NHD)+A blieb deutlich unter der Serienstandmenge. Auffällig war jedoch, dass vermehrt carbonitrierte Werkzeuge durch Brüche anstatt Verschleiß ausfielen. Als Ursache hierfür werden die höhere Kernhärte und die damit verbundene geringere Zähigkeit im Kern angenommen. Die Kernzähigkeit der carbonitrierten (und nitrierten) Werkzeuge kann durch eine andere Anlasstemperatur noch angepasst werden. Verglichen mit den vergüteten Serienwerkzeugen konnten bei der Schmiede 2 mit den carbonitrierten und nitrierten Werkzeugen deutlich höhere Standmengen erzielt werden.

FAZIT

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sowohl mit carbonitrierten als auch mit carbonitrierten und nitrierten Gesenken ähnliche und teilweise sogar höhere Standmengen erreicht werden können im Vergleich zu konventionell nitrierten Werk-

zeugen. Hinsichtlich der Abstimmung der einzelnen Wärmebehandlungsschritte Carbonitrieren, Anlassen und Nitrieren besteht jedoch noch Optimierungspotenzial.

Eine Umstellung von nitrierten auf carbonitrierte Werkzeuge würde für die Werkzeughersteller eine schlankere Prozesskette und damit eine Kosteneinsparung bedeuten, da das Carbonitrieren zusammen mit dem Härten durchgeführt werden kann und das anschließende Nitrieren gegebenenfalls entfällt. Allerdings eignet sich das Verfahren aufgrund der beim Carbonitrieren auftretenden Maß- und Formänderungen nur für (Vor-)Gesenke mit einer hohen Toleranz, da in den Gravurflächen die Carbonitrierschicht nur bedingt nachgearbeitet werden kann. Die Maß- und Formänderungen beim Carbonitrieren müssen bei der Auslegung der Gesenke berücksichtigt werden und/oder (Vor-)Gesenke mit entsprechend hohen Toleranzbereichen verwendet werden.



Das IGF-Vorhaben 18394 N der Forschungsgesellschaft Stahlverformung e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Langfassung des Abschlussberichtes kann bei der FSV, Goldene Pforte 1, 58093 Hagen, angefordert werden.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



[1] Zlatanovic, M.; Popovic, N.; Bogdanov, Z.; Zlatanovic, S.: Plasma post oxidation of nitrocarburized hot work steel samples, Surface and Coatings Technology Band 177 – 178 (2004) Heft Jan 30 2004, S. 277

[2] Min, Y.; Xu, L.; Wu, X.: Influence of surface heat treatment on thermal fatigue behaviors of hot work steel, Konferenz-Einzelbericht: 6th Internat. Tooling Conf., Proc., the Use of Tool Steels: Experience and Research, Band 1 (2002), p. 55

[3] Duh, D.; Schruoff, I.: Optimized heat treatment and nitriding parameters for a new hotwork tool steel, Konferenz-Einzelbericht: 6th Internat. Tooling Conf., Proc., the Use of Tool Steels: Experience and Research, Band 1 (2002), p. 479

[4] Hihara, M.; Yatsushiro, K.; Nosaka, Y.: Effect of repeated nitriding on aluminum die casting die surface and their die life, Zeitschriftenaufsatz, Diecasting Engineer, Band 44 (2000) Heft 2, S. 74

[5] Hoja, S.; Klümper-Westkamp, H.: Schmiedegerecht nitrierte Gesenke, Abschlussbericht IGF 16587 N, Bremen/Hagen 2013

[6] DIN 17022: Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen-Verfahren der Wärmebehandlung Teil 3 – Einsatzhärten, Beuth Verlag, Berlin (1998)

[7] Meinhard, E.: Carbonitrieren – warum und wie? Technische Zeitschrift für Metallbearbeitung, Nr. 10, 1982, S. 2 – 8.

[8] Fares, M. L.; Touhami, M. Z.; Belaid, M.; Bruyas, H.: Surface characteristics analysis of nitrocarburized (Tenifer) and carbonitrided industrial steel AISI O2 types. Surf. Interface Anal. 2009, 41, 179–186

[9] Jasinski, J.; Torbus, R.; Jeziorski, L. Influence of the microstructure modification on surface layer of X37CrMoV5-1 steel after carbonitriding process, 2nd International Conference "Heat Treatment and Surface Engineering in Automotive Applications", Riva del Garda, pp. 20 – 22 June 2005, Italia, pp. 1 – 6

[10] Jasinski, J.; Torbus, R.; Kasprzycka, E.; Bogdanski, B.: Influence of the Preheat Treatment on the Microstructure and Properties of X37CrMoV5-1 Steel. Materials and Manufacturing Processes, 22: 5 – 8, 2007

[11] Hoja, S.; Skalecki, M. G.; Klümper-Westkamp, H.; Steinbacher, M.; Zoch, H.-W.: Carbonitrieren von Warmarbeitsstählen, HTM-J. Heat Treatm. Mat. 72 (2017) 4