

Nitrided Forging Dies

In order to investigate the influence of nitriding and nitrocarburizing on the lifetime and wear of forging dies, a number of promising treatments were transferred to forging dies, in order to create several different surface conditions. The nitrided tools were used in serial production and their lifetime was determined under real conditions. At the end of the lifetime, critical parts of the tools were metallographically investigated, in order to find out the wear mechanisms.

Schmiedegerecht nitrierte Gesenke

Dipl.-Chem. Stefanie Hoja,
Dr.-Ing. Heinrich Klümper-Westkamp,
Prof. Dr.-Ing. habil. Franz Hoffmann,
Prof. Dr.-Ing. Hans-Werner Zoch, Bremen,
Norbert Baumgartner und
Dr.-Ing. Stephan Weidel, Denklingen

Um den Einfluss des Nitrierens und Nitrocarburierens auf die Werkzeuglebensdauer und den Werkzeugverschleiß beim Gesenkschmieden zu untersuchen, wurde an Schmiedegesenken eine Vielfalt an nitrierten und



nitrocarburierten Randschichtzuständen realisiert. Die Werkzeuge wurden anschließend unter realen Bedingungen in der Produktion eingesetzt und dabei die Standmengen der unterschiedlichen Randschichten ermittelt. Nach Erreichen der Gesenklebensdauer wurden umformtechnisch kritische Gravurbereiche metallografisch untersucht, um Hinweise auf die Verschleißmechanismen zu erhalten.

Einleitung

Schmiedegesenke unterliegen in ihrem Einsatz einer komplexen Beanspruchung. Der Verschleiß der thermisch, mechanisch und tribologisch am höchsten beanspruchten Gravurbereiche ist die häufigste Ausfallursache [1].

Die mittleren Standzeiten nitrierter Werkzeuge liegen um zirka 40 Prozent höher als bei nur vergüteten Werkzeugen. Die Schwankungsbreite ist jedoch beträchtlich, da bisher die Nitrierbehandlung in Bezug auf Warmarbeitsstähle wenig differenziert

betrachtet wurde. Dabei ist es mit dem heute schon sehr weit vorliegenden Expertenwissen zum Verständnis der ablaufenden Mechanismen beim Nitrieren und Nitrocarburieren und der entsprechenden Anlagentechnik möglich, gezielt sehr unterschiedliche Randzustände

Variante	Nitriermedium	Behandlung	Verbindungsschichtdicke	Standardabweichung Verbindungsschicht	Porensaumdicke	Standardabweichung Porensaum	Nitrierhärte tiefe
			CLT [µm]	σCLT [µm]	CLT _p [µm]	σ _p [µm]	
1	Gas	520 °C 90 h K _N = 0,5	0	0	0	0	0,32
2	Gas	520 °C 120 h K _N = 3	23,6	4,8	7,6	1,7	0,58
3	Plasma	520 °C 150 h N ₂ :H ₂ 1:8	0	0	0	0	0,42
4	Plasma	520 °C 25 h N ₂ :H ₂ 3:1	5,0	0,8	0	0	0,29
5	Plasma	500 °C 40 h N ₂ :H ₂ 1:5	0	0	0	0	0,21
6	Gas	520 °C 25 h K _N = 3 + 2,5 % CO ₂	7,5	1,5	3,6	1,6	0,25
7	Gas	520 °C 4 h K _N = 3	4,5	1,5	0	0	0,15
8	Plasma	520 °C 1 h N ₂ :H ₂ 3:1	0	0	0	0	0,09

Tabelle 1: Versuchsparameter der Gesenke.

Tabelle: Autoren

einzustellen. Neben der Dicke und Zusammensetzung der Verbindungsschicht kann auch die Struktur der darunter liegenden, mit Stickstoff angereicherten Ausscheidungsschicht beeinflusst werden. Untersuchungen von Klümper-Westkamp zeigen auf, dass zum Beispiel durch eine dickere

Ausscheidungsschicht (bei gleicher Verbindungsschichtdicke) eine Standmengen-erhöhung gegenüber einer dünneren Ausscheidungsschicht erzielt werden kann [2], [3].

Nitrier- und Nitrocarburierbehandlungen

Die Nitrier- und Nitrocarburierbehand-

lungen wurden in einer industriellen Gas-nitrocarburieranlage mit Nitrierkennzahlregelung sowie in einer industriellen Plasmanitrieranlage durchgeführt. Tabelle 1 zeigt die an Begleitproben ermittelten Nitrierhärte-tiefen und Verbindungsschicht-dicken. Die Bandbreite der Nitrierhärte-tiefe reicht von 0,09 mm bis 0,58 mm. Auch die Verbindungsschichten konnten sehr unterschiedlich gestaltet werden. Neben verbindungs-schichtfreien Randschichten wurden Verbindungsschichten mit unterschiedlicher Dicke und Porosität erzeugt.

Werkzeugstandmengen

Für die Standmengenuntersuchungen wurde ein Vorstufengesenk aus dem Werkstoff 1.2367 (X 38 CrMoV 5-3) ausgewählt (Bild 1). Bei dem beschriebenen Werkzeug liegen verschiedene Bereiche mit unterschiedlicher Beanspruchung vor. Die nitrierten Werkzeuge wurden in der Produktion unter einer vollautomatischen Exzenterpresse eingesetzt. Umgeformt wurde der Werkstoff C45 bei einer Schmiedetemperatur von 1.200 °C. Die Schmierung erfolgte mit einem salzbasierten weißen Sprühmittel.

Die durchschnittlich erzielten Standmengen sind in Bild 2 in Abhängigkeit von der Nitrierhärte-tiefe aufgetragen. Der Jahres-durchschnitt für die Serienwerkzeuge wird zu 100 Prozent gesetzt. Die Standmenge steigt zunächst mit zunehmender Nitrierhärte-tiefe an. Für Nitrierhärte-tiefen > 0,3 mm ist keine weitere Verbesserung der Standmenge durch eine höhere Nitrierhärte-tiefe zu beobachten.

Bei der Auftragung wurde zwischen reinen Ausscheidungsschichten und aus einer Verbindungs- und Ausscheidungsschicht bestehenden Nitrierschichten unterschieden, da sich diese Nitrierschichttypen in ihrer Ausscheidungsstruktur und ihrer Härte unterscheiden. Bei der verbindungs-schicht-freien Nitrierung verarmt die Randschicht an Kohlenstoff und es treten keine Zementit-ausscheidungen an den Korngrenzen auf. Da die Diffusionsschicht nicht vollständig mit Stickstoff gesättigt wird, wird die maximale Randhärte nicht erreicht. Bei der Nitrierung mit Verbindungsschicht bildet sich unterhalb dieser ein Kohlenstoffmaximum aus und es scheidet sich Zementit an den Korngrenzen aus. Diese Karbide werden in der Regel als kritisch angesehen, da sie möglicherweise als Schadensausgangspunkte agieren. In der Betrachtung der Standmengen ist dieser Einfluss jedoch nicht auszumachen. Beim Obergesenk scheint sogar die Ausscheidungsschicht mit darüber liegender Verbindungsschicht aufgrund der höheren Härte zu höheren Standmengen führen.

Die Verbindungsschichtdicke zeigte kaum Einfluss auf die Standmenge der Versuchs-werkzeuge. Eine dicke Verbindungsschicht

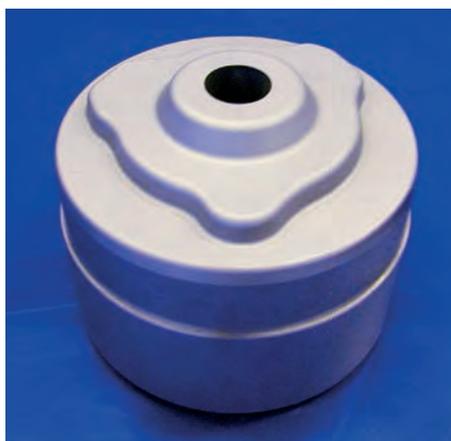


Bild 1: Versuchswerkzeuge (links: Obergesenk, rechts: Untergesenk).

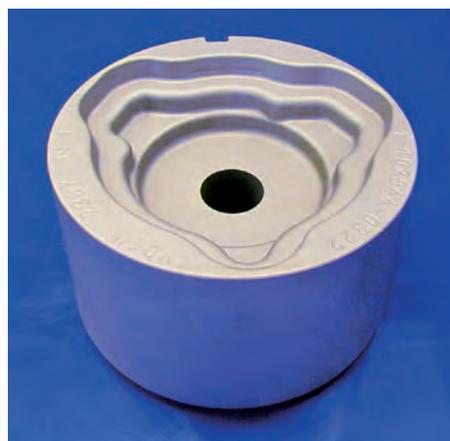


Bild: Hirschvogel

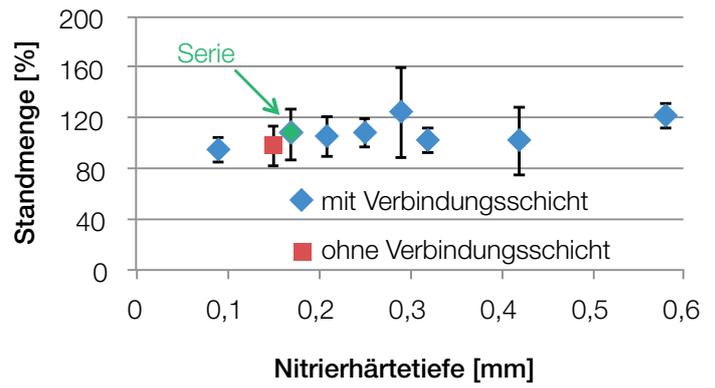
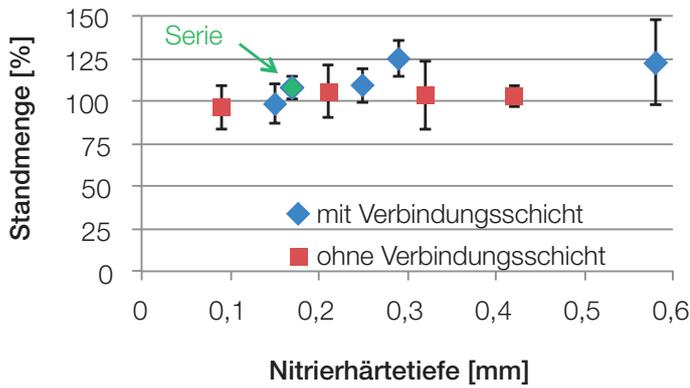
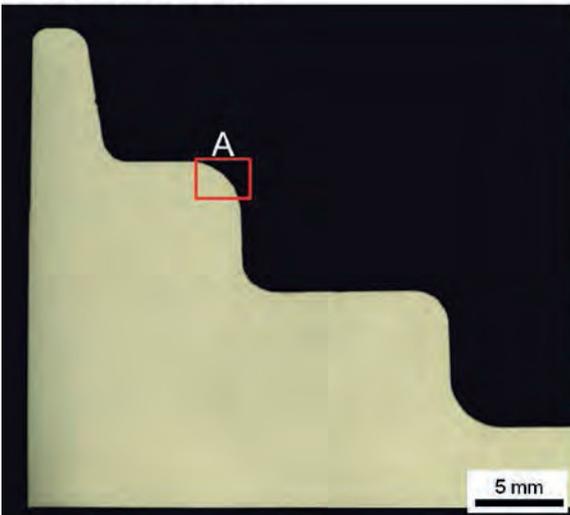
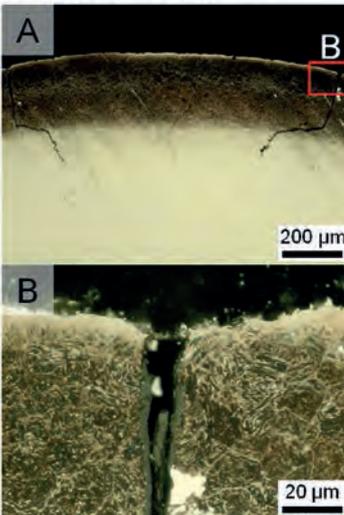


Bild 2: Standmengen der Werkzeuge in Abhängigkeit von der Nitrierhärte (Bezug 100 Prozent = Jahresdurchschnitt der Seriengesenke; grün hervorgehoben: durchschnittliche Standmenge der Seriengesenke im Versuchszeitraum).

Gravurübersicht



Vergrößerungen



wirkte sich nicht negativ auf die Standmenge aus. Eine Verbesserung der Standmenge durch eine dickere Verbindungsschicht war aber ebenfalls nicht zu erreichen.

Werkzeugschädigungen

Die mikroskopische Betrachtung des Untergesenks zeigte bereits nach wenigen Umformungen Schädigungen an den stark abrasiv beanspruchten Außenradien (Bild 3). Helle oberflächennahe Bereiche deuteten auf eine Gefügewandlung infolge hoher Temperaturen beim Schmieden hin. Tiefe Warmrisse, die rein mechanisch bedingt beim Überschreiten der Warmzugfestigkeit des Werkzeugwerkstoffs am Ende der Druckberührung entstehen, waren ebenfalls bereits nach dieser vergleichsweise geringen Zahl an Umformungen zu beobachten.

Bild 3: Untergesenk (Variante 1) am abrasiv beanspruchten Radius nach 1 Prozent der durchschnittlichen Standmenge.

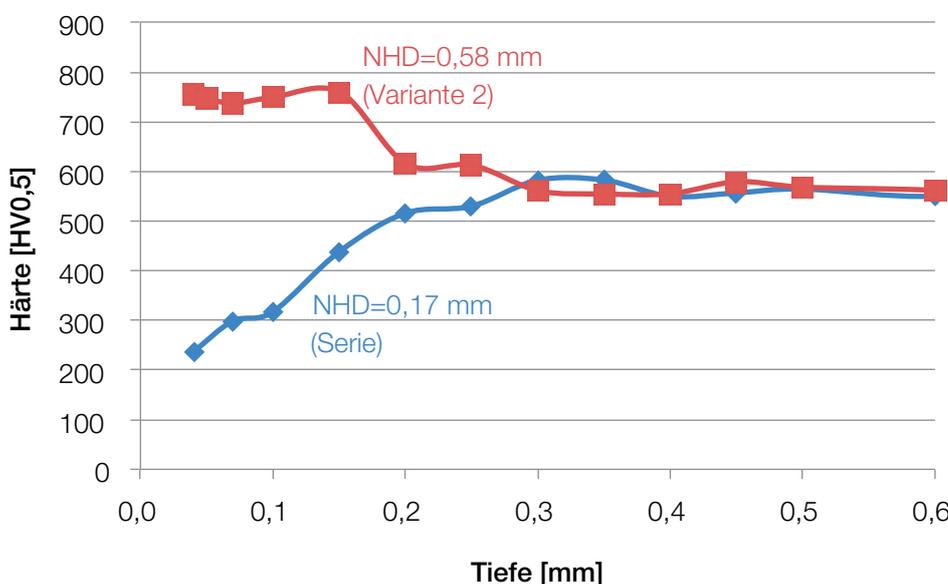


Bild 4: Härteprofilverläufe am abrasiv beanspruchten Radius des Obergesenks nach zirka 60 Prozent der durchschnittlichen Standmenge. Bilder 2-4: Autoren

Durch die abrasive Beanspruchung während des Schmiedens wird die Nitrierschicht an der Krümmung der Radien abgetragen. Die Untersuchung von Werkzeugen mit gleicher Standzeit zeigte, dass der Verschleiß nicht komplett linear abläuft: Eine hohe Nitrierhärte führt dazu, dass die Nitrierschicht länger erhalten bleibt und der Grundwerkstoff dadurch länger geschützt wird. Ein Vergleich von Werkzeugen mit gleicher Nitrierschicht mit Standmengen von 56 Prozent und 135 Prozent in Relation zur Serie ergab, dass nach dem Abtrag der Nitrierschicht die Abflachung der Radien und damit der Materialabtrag mit steigender Standmenge zunimmt.

Die Temperaturen beim Schmieden liegen über der Anlassstemperatur beim Vergüten, sodass die Härte des Grundwerkstoffs unter die Kernhärte abfällt, sobald die anlassbeständigere Nitrierschicht nicht mehr in einer ausreichenden Dicke vorhanden ist (Bild 4). Um die beim Schmieden in der Werkzeugrandzone auftretenden Temperaturen abzuschätzen, wurden zusätzlich zur optischen Dokumentation an unterschiedlichen Stellen Härteprofilverläufe aufge-

nommen. Mit Hilfe des entsprechenden Anlassdiagramms [4], [5] kann daraus die beim Schmieden in der Randzone vorliegende Spitztemperatur ungefähr ermittelt werden.

Die Härtemessungen ergaben, dass die Temperaturen an den Außenradien der Werkzeuge in 40 µm Tiefe beim Schmieden bis zu 770 °C betragen können. An der Oberfläche des Werkzeugs, die direkt mit dem Schmiedestück in Berührung kommt, ist mit noch höheren Temperaturen zu rechnen, sodass die hellen Bereiche, die teilweise an der Oberfläche der Werkzeuge beobachtet wurden, tatsächlich als umgewandeltes Gefüge zu deuten sind. Ob die Abkühlung mittels einer Gesenksprühung schnell genug stattgefunden hat, um Martensit zu erzeugen oder ob es sich hierbei um ferritische Gefügeanteile handelt, konnte nicht eindeutig festgestellt werden, da diese Bereiche zu dünn für eine herkömmliche Härtemessung sind.

In den flachen Gravurbereichen, in denen die Beanspruchung der Werkzeugrandzone als eine überwiegend thermische Wechselbelastung beschrieben werden kann, war bei hohen Nitrierhärteflächen zerrüttung zu beobachten. Durch die Spannungen und Plastifizierungen, die durch unterschiedliche Ausdehnung der Gesenkbereiche mit unterschiedlichen Temperaturen entstehen, bildet sich ein Rissnetzwerk aus, das Ausgangspunkt für weitere Schädigungen ist. Die Nitrierhärtefläche war in diesen Bereichen noch weitestgehend vorhanden, lediglich die Höhe der Randhärte ist durch Anlassen geringer, und zwar abhängig von der Anzahl der durchgeführten Umformungen (zunehmende Anlassedauer). Bei ausreichender Dicke schützt die Nitrierschicht den Grundwerkstoff vor einem Härteverlust durch Anlassen. Bei den Varianten (Tabelle 1) mit geringen Nitrierhärteflächen ist bereits nach 60 Prozent der durchschnittlichen Standmenge ein Härteverlust im Grundwerkstoff unter der Nitrierschicht zu beobachten.

In den Innenradien der Obergesenke war die Nitrierschicht in allen Fällen nach 60 Prozent der durchschnittlichen Standzeit noch vorhanden, jedoch durch Warmrisse

geschädigt, die meist innerhalb der Nitrierschicht enden. Die Härtemessungen ergaben, dass hier so gut wie kein Härteabfall stattfindet. Die Temperatur muss beim Schmieden demnach am Innenradius in 40 µm Tiefe unterhalb der Nitriertemperatur liegen, da die Nitrierschicht etwa bis zu dieser Temperatur anlassbeständig ist. Mit zunehmender Standmenge treten neben den Warmrisen in diesem Bereich auch größere Ausbrüche auf.

Bei keinem der mit Verbindungsschicht nitrierten oder nitrocarburierten Werkzeuge ist diese nach dem Schmieden noch zu erkennen. Sie muss daher während der Abschmiedung abgetragen worden sein. Es konnte anhand der untersuchten Werkzeuge jedoch nicht festgestellt werden, ob die Verbindungsschicht kontinuierlich abgetragen wurde oder in größeren Stücken herausgebrochen ist und zu welchem Zeitpunkt dies passiert ist.

Zusammenfassung

Obwohl eine große Vielfalt an nitrierten Randschichten untersucht wurde, gab es keine Behandlung, die zu einer statistisch signifikanten Standmengenerhöhung führte.

Die mikroskopische Betrachtung der unterschiedlichen Gravurbereiche der Werkzeugpaare zeigte, dass der Materialverschleiß an abrasiv beanspruchten Stellen durch eine hohe Nitrierhärtefläche verlangsamt werden kann. In den Innenradien, in denen der Materialfluß beim Schmieden eine geringere Geschwindigkeit hat, reicht eine geringe Nitrierhärtefläche aus. In Bereichen, die hauptsächlich durch Temperaturwechsel beansprucht werden, ist eine mittlere Nitrierhärtefläche zu wählen, da bei großen Nitrierhärteflächen vermehrt Oberflächenzerrüttung beobachtet wurde.

Die Wahl einer geeigneten Nitrierbehandlung sollte abhängig von den für den Ausfall des Gesenks verantwortlichen Gravurbereichen und der in diesem Bereich optimalen Nitrierhärtefläche getroffen werden. Eventuell wäre abhängig vom Werkzeug auch eine Nitrierung in mehreren Schritten denkbar, in der zunächst die Gravurbereiche abgedeckt werden, in denen eine niedrige Nitrierhärtefläche benötigt wird. ■

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 16587 N der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Stahlverformung e. V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert. Die Langfassung des Abschlussberichts kann bei der FSV, Goldene Pforte 1, 58093 Hagen, angefordert werden.

Die Autoren danken außerdem der projektbegleitenden Patengruppe und insbesondere der Firma Hirschvogel für die Anregungen und Diskussionen bei den Sitzungen sowie für die aktive Unterstützung des Projekts.

Literatur

- [1] Heinemeyer, D.: Untersuchungen zur Frage der Haltbarkeit von Schmiedegesenken. Dissertation TU Hannover 1976.
- [2] Klümper-Westkamp, H.: Optimierung der Randschichtzusammensetzung durch Nitrieren von Warmarbeitsstählen zur Steigerung der Werkzeuglebensdauer. Abschlussbericht der Projektstudie IMU12, Mai 2009, Industrieverband Massivumformung e. V., Goldene Pforte 1, 58093 Hagen.
- [3] Klümper-Westkamp, H.: Load-adapted nitriding and nitrocarburising of forging dies for hot massive forming of steel. European Conference on Heat Treatment 2010 Nitriding and Nitrocarburising, 29-30 April 2010, Aachen, Germany.
- [4] Spies, H.-J.; Berns, H.; Ludwig, A.; Bambauer, K.; Brusky, U.: Warmhärte und Eigenspannungen nitrierter Stähle. HTM Härtereitechn. Mitt. 53 (1998) 6, S. 359-366.
- [5] Dr. Sommer Werkstofftechnik GmbH: StahlWissen NaviMat. Version 6.0.301-XXL. Datenversion 29.03.2006. Werkstoff: 1.2367 – X38CrMoV5-3 – DIN EN ISO 4957:2001-02.



Dipl.-Chem.
Stefanie Hoja



Dr.-Ing. Heinrich
Klümper-Westkamp



Prof. Dr.-Ing. habil.
Franz Hoffmann



Prof. Dr.-Ing.
Hans-Werner Zoch



Norbert Baumgartner



Dr.-Ing.
Stephan Weidel