

Titel

Steigerung der Lebensdauer nitrierter Schmiedegesenke durch Realisierung duktiler Oberflächenbereiche zur Verbesserung der Rissbeständigkeit

IGF-Nr.: 19529 N

Forschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung 1: Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe,
Remscheid (IFW)

Forschungseinrichtung 2: Institut für Schicht- und Oberflächentechnik,
Braunschweig (IST)

Forschungseinrichtung 3: Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen,
Hannover (IFUM)



Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 19529 N der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. – FGW, Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid 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.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Ausgangssituation

Das Nitrieren stellt ein etabliertes Verfahren zur Steigerung der Standmenge von Werkzeugen der Warmmassivumformung dar. Nitrierte Gesenkooberflächen neigen allerdings zur Bildung von thermomechanisch induzierten Rissen. Prozessbedingte, zyklische Temperaturwechsel resultieren in einer abrupten Änderung zwischen vorherrschenden Zug- und Druckeigenspannungen in der Werkzeugrandzone. Aufgrund zu geringer Duktilität der durch die Nitrierung entstandenen spröden Randschichtbereiche führt dieser Spannungswechsel zum Werkstoffversagen durch Rissbildung, dadurch ausgelösten umfassenden Gesenkverschleiß und letztendlich zum frühzeitigem Werkzeugaustausch und Stillstandzeiten in der Produktion. Durch eine Anpassung der Nitrierbehandlung mit dem Ziel der Verringerung der Rissensitivität besteht ein großes Potential zur Steigerung der Gesenklebensdauer. Eine derartige Standzeitverlängerung nitrierter Werkzeuge ist sowohl für Unternehmen der Schmiedebranche als auch für Lohnbehandler, die Nitrierungen als Dienstleistung anbieten, von wirtschaftlichem Interesse.

Vorgehensweise und Forschungsergebnisse

Das übergeordnete Ziel des Forschungsvorhabens war die Steigerung der Lebensdauer nitrierter Schmiedegesenke durch Realisierung duktiler Oberflächenbereiche zur Verbesserung der Rissbeständigkeit. Hierdurch kann die Wirtschaftlichkeit der Prozesse gesteigert werden, welche bei der Warmmassivumformung signifikant von den Prozesskosten abhängt. Den größten Teil der Branche machen KMU aus, daher wurde ein verfahrensorientierter Lösungsansatz angestrebt, um eine weit verbreitete industrielle Anwendung in KMU zu ermöglichen.

Im Verlauf des Projekts wurde eine kostengünstige und einfach zu realisierende Nitrierbehandlung entwickelt, welche die Vorteile der thermischen Stabilität, der hohen Härte und Verschleißbeständigkeit einer konventionellen Nitrierung bietet und gleichzeitig die als nachteilig einzustufende Rissanfälligkeit von Gesenkooberflächen unterbindet.

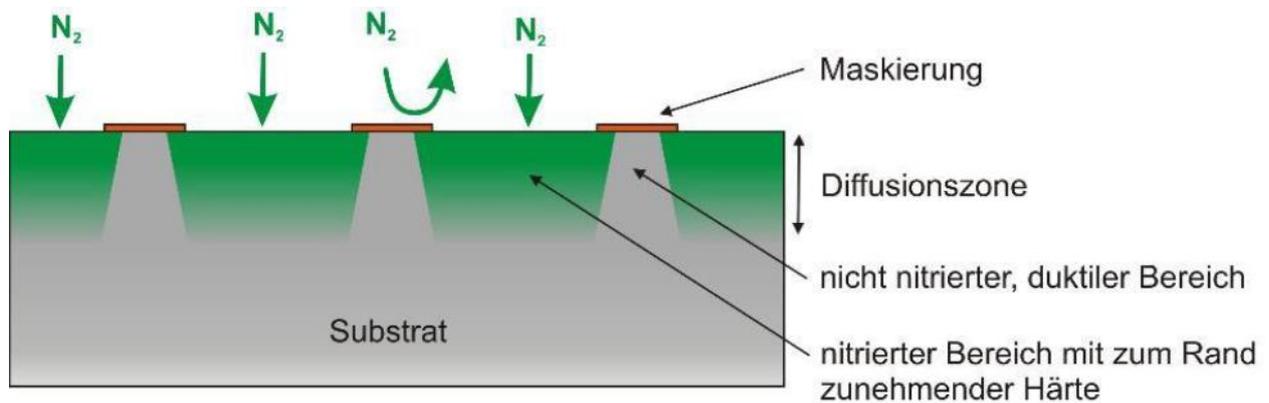


Abbildung 1: Aufrechterhaltung duktiler Werkstoffbereiche an der nitrierten Werkzeuggrandschicht

Dadurch soll das Verschleißverhalten nitrierter Werkzeuge deutlich verbessert werden. Hierzu wurden über Maskierungen definierte duktile Bereiche innerhalb der Werkzeugrandzone realisiert, welche die prozessbedingt auftretenden Wechsel zwischen Druck- und Zugspannungen ohne die Bildung von Rissen ermöglichen (Abbildung 1).

Die Verwendung von geeigneten Maskierungen verhindert dabei die Diffusion von Stickstoff in geometrisch definierten Bereichen. Dadurch werden Werkzeugbereiche realisiert, in denen die Härte- und Sprödigkeitssteigerung im randnahen Bereich durch lokale Unterbrechung der Nitrierung unterbunden wird. Die duktilen Bereiche nehmen die Spannungen im Werkstoff ohne Schädigung auf und wirken effektiv einer Rissinitiierung entgegen. Neben einer Steigerung der Lebensdauer nitrierter Schmiedegesenke konnte dadurch eine Erweiterung der Kenntnisse über das Werkstoffverhalten nitrierter Werkzeuggrandschichten gewonnen werden.

Zum Erreichen der geschilderten Ziele und Erkenntnisse, gliederte sich das Projekt in 5 Arbeitspakete, welche im Ablaufplan in Abbildung 2 dargestellt sind. Der Ablaufplan sah zunächst in einer Konzeptphase die Untersuchung der Ursachen und Voraussetzungen zur Rissbildung bei nitrierten Oberflächen vor (AP1.1), um aus den gewonnenen Erkenntnissen sinnvolle Maskierungen mit angepassten Nitrierprozessen abzuleiten (AP1.2). Die entwickelten, rissminimierenden Randschichtbehandlungen wurden anschließend auf Gesenkgeometrien appliziert und in Serienschmiedeversuchen untersucht (AP2). Zunächst wurde eine ebene Gesenkgeometrie eines Stauchprozesses verwendet (AP2.1), da dort vergleichsweise geringe Belastungen auftreten und die Übertragbarkeit der entwickelten Randschichtbehandlungen auf ebene Werkzeugbereiche gegeben ist.

Weiterhin wurden Gesenke mit komplexerer Geometrie eingesetzt (AP2.2), deren Belastungen deutlich von denen ebenen Stauchwerkzeugen abweichen. Zudem wurde untersucht, inwieweit sich die entwickelten Verschleißschutzbehandlungen mit zusätzlich überlagerten Verschleißmechanismen verhalten. Die an den Gesenkgeometrien auftretenden Schädigungen wurden eingehend untersucht und bewertet (AP3), um das effektivste Konzept zu identifizieren und angewendet auf

Produktionswerkzeugen im nachfolgenden Industrierversuch (AP4), evaluieren zu können.

Abschließend erfolgte eine Bewertung des Verschleißes auch in wirtschaftlicher Hinsicht. Parallel zu den oben genannten Arbeitspaketen erfolgte durchgängig die Erstellung der Dokumentation sowie die Durchführung der beschriebenen Transfermaßnahmen (AP5).



Abbildung 2: Vorgehensweise im Forschungsvorhaben in der Übersicht

In AP2.2 wurden unter anderem Dorngesenke untersucht. Bei diesen Untersuchungen wurde ähnlich vorgegangen wie bei den Untersuchungen der Stauchbahnen in AP2.1. Zu Beginn wurden fotografische und hochauflösende lichtmikroskopische Aufnahmen erstellt. Daraus resultierten erste Erkenntnisse zum Verschleißverhalten der Dorngesenke. Anschließend wurden optische Rauheitsmessungen durchgeführt. Weiterhin wurden die Konturen der Dorngesenke im Ausgangszustand und nach dem Schmieden gegenübergestellt, sodass der planimetrische Verschleißbetrag ermittelt werden konnte. Die Eigenspannungsmessungen erfolgten auf der Dornoberfläche.

Zusätzlich wurden metallographische Analysen durchgeführt. Diese beinhalteten eine Gefügeanalyse, die Aufnahme von Härteprofilen und eine Charakterisierung der Rissbildung.

Der höchste abrasive Verschleiß wurde am konvexen Dornradius festgestellt, der auf eine thermische Entfestigung zurückgeführt werden konnte. Weiterhin wurde am konvexen Dornradius eine erhöhte Neigung zur thermomechanischen Rissbildung festgestellt, die bei den vollständig diffusionsbehandelten Werkzeugen am stärksten

ausgeprägt war. Der höchste abrasive Verschleiß wurde zudem bei den vergüteten Dorngesenken nachgewiesen. Die großflächig linear strukturiert diffusionsbehandelten Schmiedegesenke waren vom abrasiven Verschleißverhalten zwischen den vergüteten und vollständig diffusionsbehandelten Werkzeugen einzuordnen. Bei diesen Werkzeugen konnte in diffusionsbehandelten Bereichen thermomechanische Rissbildung festgestellt werden, die in abgedeckten Bereichen endete. Dadurch konnte eine Verbesserung des thermomechanischen Rissverhaltens durch strukturierte Diffusionsbehandlungen nachgewiesen werden.

Abschließend wurden Dorngesenk mit belastungsangepasster Punktstruktur eingesetzt, mit denen vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich des Verschleißverhaltens zu vollständig diffusionsbehandelten Werkzeugen erzielt wurden. Anhand der Eigenspannungsmessungen konnte festgestellt werden, dass es in der unmittelbaren Randzone an der Oberfläche keine Unterschiede zwischen vergüteten, vollständig diffusionsbehandelten und strukturiert diffusionsbehandelten Dorngesenken hinsichtlich der entstehenden Zugeigenspannungen gibt. Mittels der Verschleißanalytik konnte festgestellt werden, dass durch strukturierte Diffusionsbehandlungen eine Verbesserung des thermomechanischen Rissverhaltens erzielt werden kann. Dabei gilt es zu beachten, dass abgedeckte Bereiche anfällig für abrasiven Verschleiß sind.

Allgemein ist festzuhalten, dass die Strukturierung sehr viele Möglichkeiten zur Optimierung des Werkzeugverschleißes bietet. Um dieses Potential vollständig nutzen zu können ist eine genaue Kenntnis des Verschleißverhaltens notwendig, um die Strukturen den Beanspruchungen aus dem Schmiedeprozess anpassen zu können.

Tendenziell sollten nur primär thermisch beanspruchte Bereiche strukturiert diffusionsbehandelt werden. In primär abrasiv beanspruchten Bereichen ist eine vollständige Diffusionsbehandlung bzw. ein hoher diffusionsbehandelter Oberflächenanteil zielführender. Diese Erkenntnisse gilt es auf die nachfolgenden Industriegesenke zu übertragen, um eine Verbesserung der thermomechanischen Rissbildung zu erreichen. In Hinblick auf die belastungsangepasst strukturierte Stauchbahn konnte eine Verbesserung zum aktuellen Stand der Technik (vollständige Diffusionsbehandlung) erzielt werden. Dementsprechend wurden eine Verbesserung des thermomechanischen Rissverhaltens bei gleichbleibender Abrasionsbeständigkeit erreicht.



Abbildung 3: Exemplarische Darstellung unterschiedlich behandelter Dorngesenke

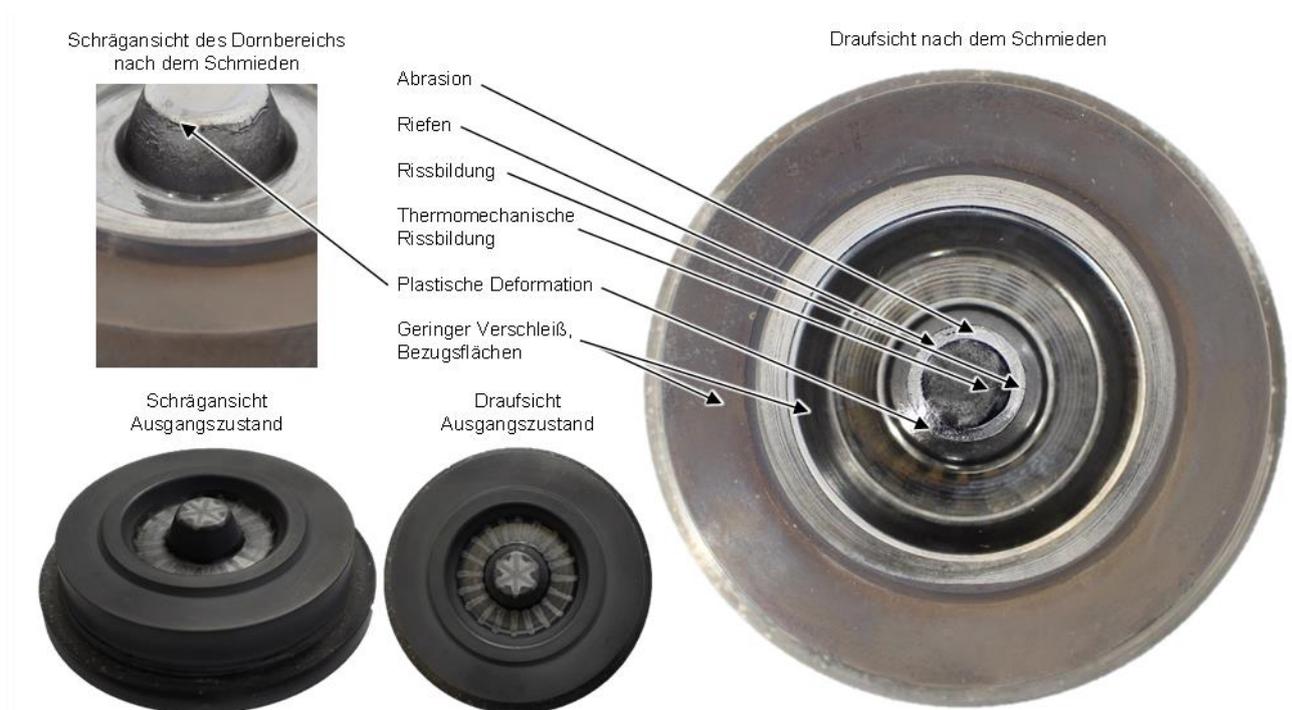


Abbildung 4: Exemplarische Darstellung der Verschleißanalytik der Dorngesenke mittels fotografischer Aufnahmen

Es wurden bei Unternehmen des PA Industrieversuche durchgeführt. Zunächst erfolgte eine umfangreiche Vorabanalytik zur Charakterisierung des Ausgangszustands, d. h. seriell eingesetzt und verschlissene Schmiedegesenke wurden untersucht. Dafür wurden hochauflösende Gesamtaufnahmen der Werkzeuge erstellt und anschließend einer Farbeindringprüfung unterzogen. Mittels 3D-Scans wurden die Geometrieabweichungen durch einen Vergleich mit den CAD-Modellen ermittelt. Abschließend wurden die Werkzeuge getrennt und metallographisch untersucht. Nach der Charakterisierung des Ausgangszustands wurde aufbauend auf den bisherigen Erkenntnissen Konzepte zur strukturierten Diffusionsbehandlung entwickelt und erfolgreich auf die Werkzeuge appliziert. Die strukturiert diffusionsbehandelten Schmiedegesenke wurden bei den Unternehmen erfolgreich eingesetzt.

Im Allgemeinen konnten vergleichbare Ergebnisse wie bei den Schmiedeversuchen in den aus AP2 erzielt werden. Der erhöhte abrasive Verschleiß in großflächig abgedeckten Bereichen konnte auch bei den Industrierversuchen festgestellt werden. Dementsprechend sollten primär abrasiv beanspruchte Werkzeugbereiche vollständig diffusionsbehandelt bzw. mit einem geringen abgedeckten Oberflächenanteil strukturiert diffusionsbehandelt werden. Bei beiden Versuchsreihen zeigte sich, dass insbesondere konvexe Radien nahe der Werkzeugmitte von einem hohen Materialabtrag betroffen sind und einen hohen diffusionsbehandelten Oberflächenanteil aufweisen sollten. Weiterhin konnte bei beiden Versuchsreihen in primär thermisch beanspruchten Bereichen eine tendenziell verbesserte Beständigkeit gegen thermomechanische Rissbildung festgestellt werden. Allerdings beschränkte sich die Verbesserung auf ausgewählte Bereiche auf bzw. nahe der Gratbahn.

Das Konzept der strukturierten bzw. belastungsangepassten Diffusionsbehandlung zeigte ein hohes Potential zur Reduzierung der Rissbildung im Kerbgrund. Durch die erhöhte Duktilität war von einer geringeren Schädigung auszugehen. Mit industriellen Schmiedegesenken wird häufig eine hohe Anzahl an Schmiedezyklen erreicht. In primär abrasiv beanspruchten Werkzeugbereichen liegen hohe negative Geometrieabweichungen vor, sodass die Diffusionszone vollständig abgetragen ist. Dementsprechend kann in diesen Bereichen nur bedingt eine Verbesserung durch strukturierte Diffusionsbehandlungen erreicht werden. Im Vergleich zu den Schmiedeversuchen im Labormaßstab (AP 2) war die Werkzeuggeometrie der Praxisversuche komplexer, wodurch nicht alle erfolgversprechenden Strukturierungskonzepte umgesetzt werden konnten. Aufgrund der einfachen und vielfältigen Anwendbarkeit der strukturierten Diffusionsbehandlungen ist aber davon auszugehen, dass bei einer optimalen angepassten Strukturierung weitere Verbesserungen zum Ausgangszustand erzielt werden können.

Bei serieller Anwendung des Verfahrens könnten wiederverwendbare Maskierungen hergestellt und eingesetzt werden, wodurch der Strukturierungsaufwand deutlich reduziert werden kann. Daraus leitet sich die nachfolgende Behandlungsempfehlung für Industrieunternehmen ab:

- Primär abrasiv beanspruchte Gesenkbereiche (z. B. konvexe Radien) sollten vollständig bzw. mit einem hohen Oberflächenanteil strukturiert diffusionsbehandelt werden.
- Zyklisch mechanischer Rissbildung (z. B. im Kerbgrund) kann durch eine vollständige Abdeckung bzw. einem hohen strukturiert abgedeckten Oberflächenanteil entgegengewirkt werden.
- Das thermomechanische Rissverhalten kann durch strukturierte Diffusionsbehandlungen bzw. vollständige Abdeckungen verbessert werden (z. B. auf der Gratbahn), jedoch muss die geringere Beständigkeit gegen abrasiven Verschleiß berücksichtigt werden.

Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde das Verschleißverhalten von Schmiedegesenken verbessert, wodurch die Werkzeugstandmenge und die Wirtschaftlichkeit des Umformprozesses gesteigert werden. Den Forschungsschwerpunkt stellte die thermomechanische Rissbildung dar, die häufig bei nitrierten Schmiedegesenken auftritt. Vergütete Werkzeuge weisen eine erhöhte Rissbeständigkeit auf, sind jedoch anfällig für abrasiven Verschleiß.

Durch strukturierte Diffusionsbehandlungen wurde das Rissverhalten verbessert, wobei die Beständigkeit gegen abrasiven Verschleiß nicht beeinträchtigt wurde. Auf den Schmiedegesenken wurden mittels diffusionshemmender Paste lokale Bereiche abgedeckt, sodass vielfältige Muster aus nebeneinander vorliegenden abgedeckten und diffusionsbehandelten Bereichen hergestellt werden konnte. Dieses Verfahren ist mit sehr geringen Investitionskosten verbunden, d. h. es wird lediglich eine diffusionshemmende Abdeckpaste benötigt. In einer umfangreichen Verschleißanalytik konnte nachgewiesen werden, dass die thermomechanische Rissbildung durch strukturierte Diffusionsbehandlungen reduziert wird. Aufgrund der geringeren Härte in abgedeckten Bereichen wurde die abrasive Verschleißbeständigkeit reduziert, sodass die strukturierten Diffusionsbehandlungen an die Werkzeugbelastung angepasst werden sollten.

Zur erfolgreichen Anwendung der strukturierten Diffusionsbehandlungen wird folgende Vorgehensweise empfohlen: Zunächst sollten die verschlissene Schmiedegesenke aus der Serienproduktion mittels 3D-Scans analysiert und die Geometrieabweichungen zum Ausgangszustand (z. B. durch einen Abgleich mit dem CAD-Modell) ermittelt werden. Anhand der Geometrieabweichungen ist dann erkennbar, in welchen Gravurbereichen ein hoher bzw. niedriger Materialabtrag vorliegt.

Bereiche die von hohem Materialabtrag betroffen sind, sollten vollständig bzw. mit einem hohen nitrierten Oberflächenanteil behandelt werden. Die Bereiche mit geringem Materialabtrag müssen hinsichtlich der thermomechanischen Rissbildung analysiert (z. B. durch hochauflösende Aufnahmen) und bei der Behandlung entsprechend mit der Maskierung abgedeckt werden. Anschließend können beliebige, individuelle Abdeckungen hergestellt werden, z. B. Bleche oder Folien, um die Abdeckpaste in der gewünschten Struktur auftragen zu können. Abschließend werden die Werkzeuge diffusionsbehandelt und im Schmiedeprozess eingesetzt.

Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Eine Langfassung der Forschungsarbeiten kann in Form eines Schlussberichts bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, www.fgw.de, angefordert werden.

Weiter Informationen erhalten Sie bei Herrn M. Sc. Dominik Lenz unter 02191 5921.123.