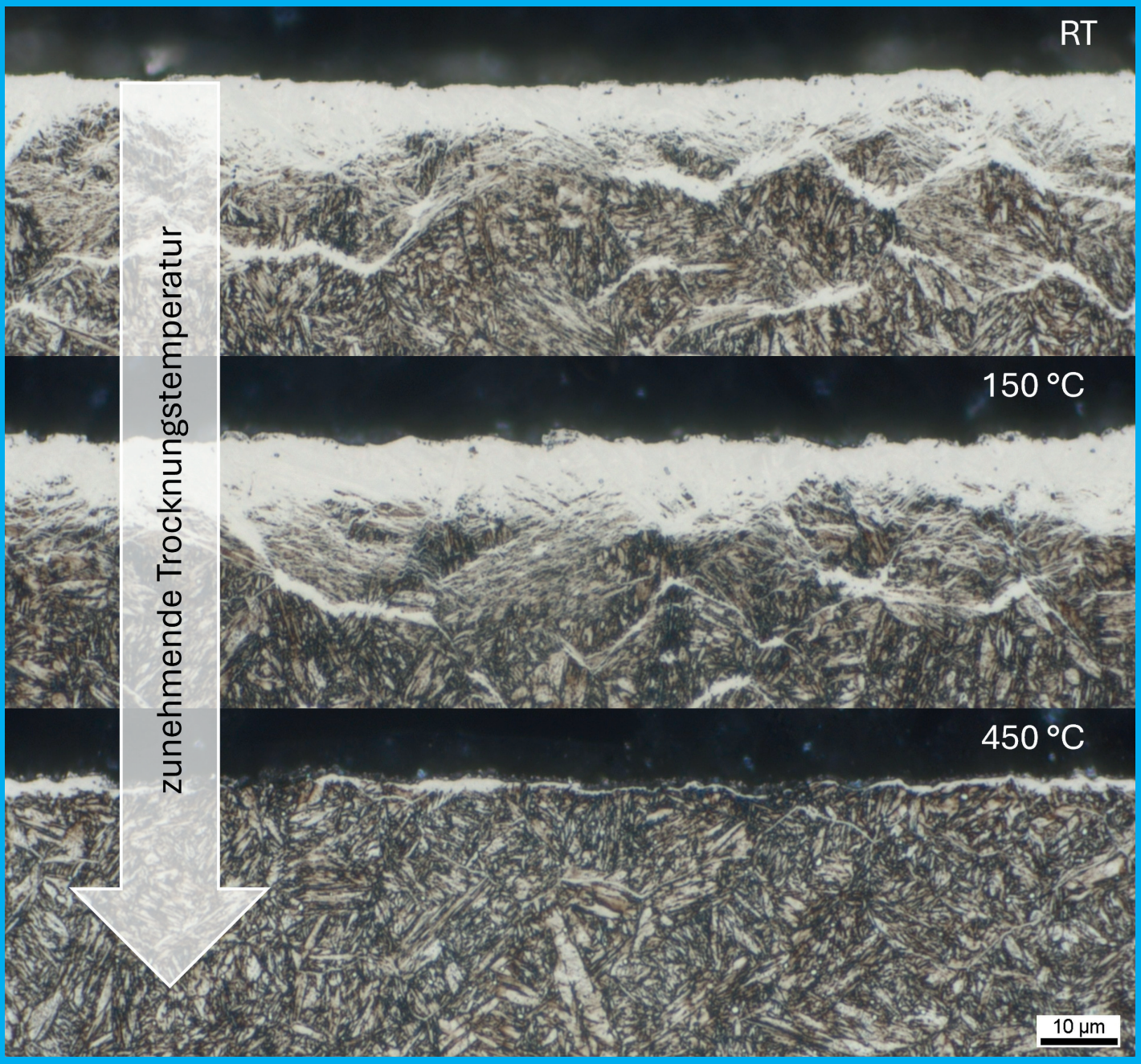
Einfluss der fertigungsbedingten Randschichtveränderung auf die Nitrierbarkeit von Schmiedewerkzeugen



Das Nitrieren von Schmiedewerkzeugen ermöglicht eine Steigerung der Härte und Verschleißbeständigkeit der Randschicht und damit eine Verlängerung der Standzeit der Werkzeuge. Bei unsachgemäßer Fertigung kann es jedoch zur Bildung von oberflächlichen Sperrschichten kommen, die eine erfolgreiche Nitrierung verhindern. Um eine gleichmäßige Nitrierschichtbildung zu erreichen, müssen die Schleifprozesse zur Fertigung und die anschließende Lagerung der Schmiedewerkzeuge optimiert werden.

AUTOREN



Martje Brandt, M.Sc.

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin der Abteilung Wärmebehandlung der Hauptabteilung Werkstofftechnik am Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien – IWT in Bremen



Tim Oelker, M.Sc.

ist ehemaliger wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Wärmebehandlung der Hauptabteilung Werkstofftechnik am Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien – IWT in Bremen



Dr.-Ing. Matthias Steinbacher

leitet die Abteilung Wärmebehandlung der Hauptabteilung Werkstofftechnik am Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien – IWT in Bremen



Rica Baustert, M.Sc.

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin der Abteilung Wärmebehandlung der Hauptabteilung Werkstofftechnik am Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien – IWT in Bremen



Ablie Nije, M.Sc.

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Schleifen und Verzahnung der Hauptabteilung Fertigungstechnik am Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien – IWT in Bremen

> Selbst die Sputterwirkung beim Plasmanitrieren kann keine zuverlässig beherrschte Prozesskette ersetzen
>
> **Martje Brandt**

> Das Nitrieren ist ein robustes Wärmebehandlungsverfahren, das eine leistungsorientierte Fertigung von Schmiedewerkzeugen ermöglicht
>
> **Rica Baustert**

> Eine sorgfältige industrielle Reinigung ist eine wesentliche Voraussetzung für einen erfolgreichen Nitrierprozess.
>
> **Dr. Matthias Steinbacher**

Beim Nitrieren handelt es sich um ein beanspruchungsorientiertes, thermochemisches Wärmebehandlungsverfahren, durch das die Gebrauchseigenschaften von hochbeanspruchten Bauteilen verändert werden [1]. Dabei wird die Bauteilrandschicht mit Stickstoff angereichert; dies bedingt bei Überschreitung der Löslichkeitsgrenze des α-Eisens eine Phasenumwandlung und die Bildung von Eisennitriden. In Abhängigkeit der Nitrierbedingungen und der chemischen Zusammensetzung des Werkstoffs erfolgt eine Härtesteigerung der Randschicht.

Die gewünschte Wirkung des Nitrierens stellt sich jedoch nur ein, wenn bei der Wärmebehandlung über den gesamten Gravurbereich eine gleichmäßig ausgeprägte Nitrierschicht ausgebildet wird. Eine fehlende oder unzureichend ausgebildete Nitrierschicht stellt eine Schwachstelle im Randschichtgefüge dar und kann zu einem frühzeitigen Ausfall des Werkzeugs führen. Um ein optimales Nitrierergebnis zu erzielen, ist eine nitrierbare Oberfläche beziehungsweise Randschicht daher unerlässlich [2].

Durch die Kräfte, Temperaturen und die chemische Umgebung, die im Verlauf der Fertigung auf das Material einwirken, entsprechen Struktur und Gefüge der Randschicht des Werkzeugs in der Regel nicht denen des Grundwerkstoffs [3], [4]. Durch Reaktionen mit dem Kühlschmierstoff können sich beispielsweise verschiedene Schichten (Bild 1) unterschiedlicher Haftfestigkeit auf der Werkstoffoberfläche bilden [6]. Weiterhin werden durch die Bearbeitung Verformungen und Eigenspannungen in die Randzone eingebracht [7]. Gerade bei zu nitrierenden Bauteilen ist mit höheren Krafteinwirkungen bei der Bearbeitung zu rechnen, da diese in der Regel vorvergütet werden und im Gegensatz zu Bauteilen zum Einsatzhärten bereits vor der abschließenden thermochemischen Wärmebehandlung eine hohe Festigkeit beim Schleifen aufweisen. Die durch die Fertigung verformte Grenzschicht kann im Zusammenspiel mit der diffusionsbehindernden Reaktionsschicht den erfolgreichen Übergang des Stickstoffs in die Randschicht verhindern. Die Bildung einer solchen Sperrschicht kann somit das Nitrierergebnis entscheidend beeinflussen und zu Schwachstellen im Werkzeug führen.

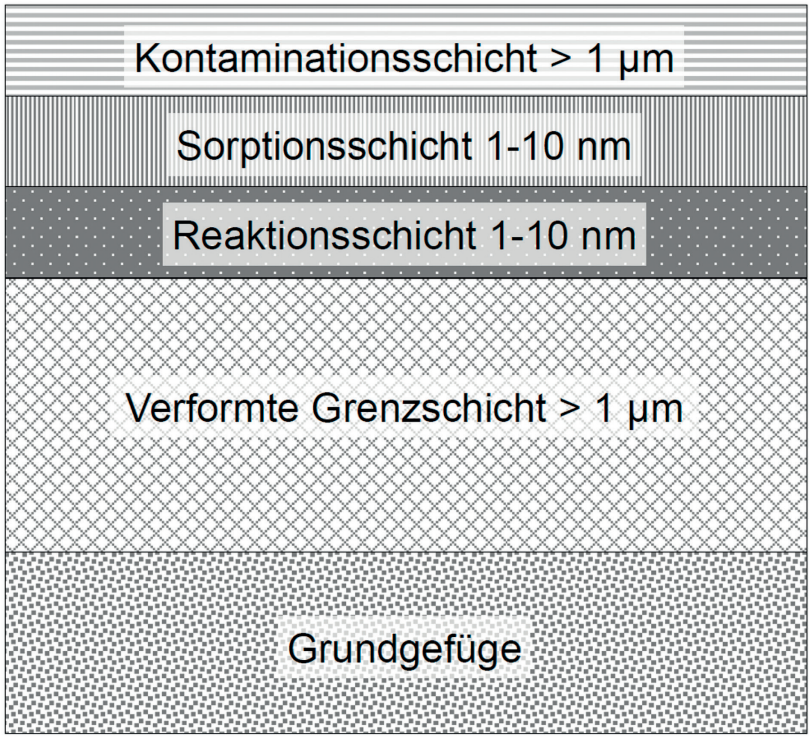


Bild 1: Schematischer Aufbau der Oberfläche metallischer Bauteile nach Haase [5]

Ziel des Projekts „Einfluss der fertigungsbedingten Randschichtveränderung auf die Nitrierbarkeit von Schmiedewerkzeugen" war, die Zusammenhänge zu untersuchen, die zwischen der Gestaltung des Schleifprozesses, den dadurch induzierten Veränderungen auf und in der Randschicht, der Lagerung der geschliffenen Werkstücke und der abschließenden Nitrierung bestehen. Im Rahmen des Projekts sollte eine optimale Abstimmung zwischen der Hartfeinbearbeitung und der Wärmebehandlung ermöglicht werden. Hierfür wurden die Schleif- und Lagerungsbedingungen für zwei praxisübliche Warmarbeitsstähle variiert. Nach gleicher Nitrierbehandlung wurden an metallographischen Querschliffen die Verbindungsschicht- und Porensaumdicke sowie die Nitrierhärtetiefe beurteilt.

EXPERIMENTELLES

Aufgrund ihrer hohen Relevanz für Schmiedegesenke dienten die praxisüblichen Warmarbeitsstähle X38CrMoV5-3 und 55NiCrMoV7 als Untersuchungswerkstoffe. Da Bauteile in der Regel nach dem Nitrieren ohne weitere Nachbearbeitung eingesetzt werden, wurden Proben mit einem vorvergüteten Ausgangzustand genutzt. Um die Nitrierbarkeit der Werkstoffe zu ermitteln, wurden unterschiedliche Vergütungszustände, Schleifparameter, Reinigungs- und Lagerbedingungen in verschiedenen Versuchsreihen miteinander kombiniert. Dabei sollten bewusst Passiv- beziehungsweise Sperrschichten erzeugt werden, die eine gleichmäßige Nitrierschichtbildung verhindern. Im Anschluss wurde der Einfluss der Sperrschichten auf die Nitrierschichtbildung nach einem Gas- und Plasmanitrierprozess untersucht. So sollte weitergehend die Wechselwirkung zwischen dem Nitrierprozess und den Sperrschichten bestimmt werden. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Versuchen zu gewährleisten, blieben die Nitrierbedingungen über die Versuche gleich. Angestrebt wurde eine praxisübliche Nitrierhärtetiefe (NHD) von 0,3 bis 0,4 Millimetern. Die Parameter der Nitrierbehandlung sind der Tabelle zu entnehmen. Vor dem Plasmanitrieren wurden die Proben mit Ethanol gereinigt. Vor dem Gasnitrieren wurden die Proben einer praxisüblichen industriellen Reinigung unterzogen.

Um den Einfluss der Schleifparameter zu untersuchen, wurden unterschiedliche Belastungskollektive aus thermischen und mechanischen Lasten eingestellt. In einer ersten Versuchsreihe wurden die unterschiedlichen Belastungskollektive durch eine Variation der Vorschubgeschwindigkeiten und Zustellungen beim Schleifen realisiert. Die thermischen Lasten wurden bewusst so hoch gewählt, dass die Proben bei einigen Belastungskollektiven Schleifbrand aufwiesen. Zudem wurden innerhalb dieser Versuchsreihe die Passiv- beziehungsweise Sperrschichtbildung bei unterschiedlichen Vorvergütungszuständen untersucht. Hierfür wurde durch unterschiedliche Anlasstemperaturen für beide Werkstoffe eine Härte von 44 HRC beziehungsweise 55 HRC eingestellt. Ferner kam in einer zweiten Versuchsreihe eine elastisch gebundene anstatt einer keramisch gebundenen Korundschleifscheibe zum Einsatz. So konnte eine mechanisch dominierende Wirkung sichergestellt und der Einfluss der mechanisch verformten Randzone auf die Nitrierschichtbildung untersucht werden.

Nitrierverfahren	Temperatur	Dauer	Nitrierkennzahl	Druck	Atmosphäre
Plasma	520 °C	1 + 36 h	–	300 Pa	80 % N_2 + 20 % H_2
Gas	520 °C	30 h	2,5 bar^{-1}	atm.	NH_3 + N_2 + H_2

Tabelle: Prozessparameter der Nitrierbehandlung

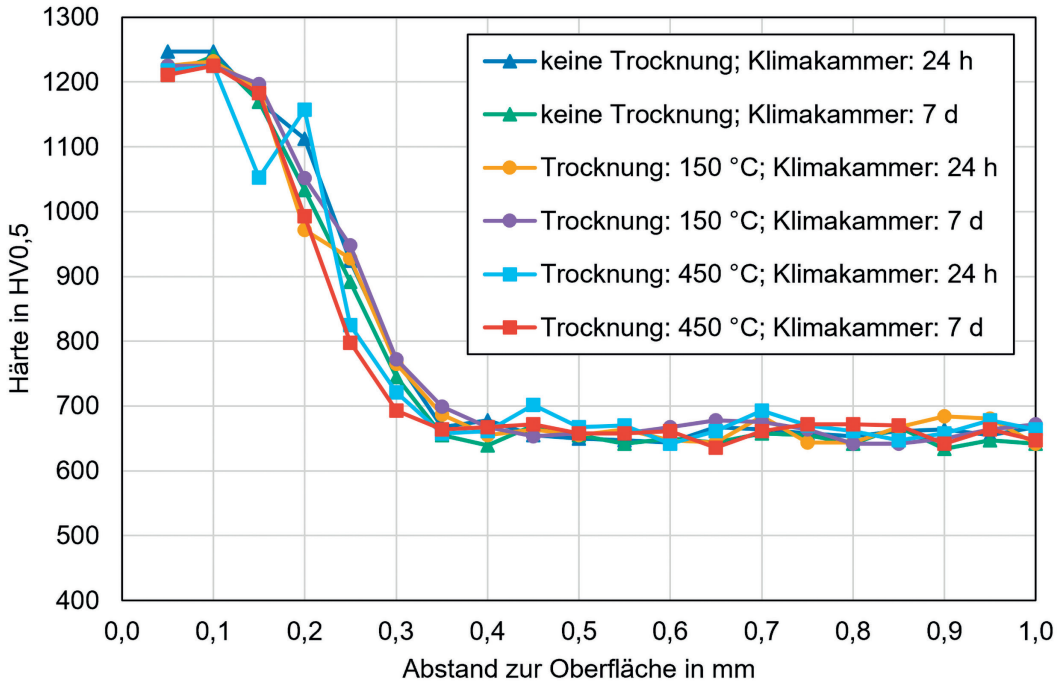


Bild 2: Härteverläufe der plasmanitrierten Proben des X38CrMoV5-3 der dritten Versuchsreihe

Zwei weitere Versuchsreihen betrachteten den Einfluss von Kühlschmierstoffen, der anschließenden Lagerung und der Reinigung der Bauteile auf die Gleichmäßigkeit der Nitrierung. In der dritten Versuchsreihe wurde Öl als Kühlschmierstoff verwendet. Um die Auswirkung des Kühlschmierstoffs zu verstärken, wurde dieser bei teilweise bis zu 450 °C auf den Proben eingebrannt. Darüber hinaus wurde die Lagerdauer bis zum Nitrieren variiert. So wurden die Bauteile entweder lediglich 24 Stunden oder sieben Tage nach der Bearbeitung vor dem Nitrieren gelagert. In der letzten Versuchsreihe wurde mit Emulsion als Kühlschmierstoff gearbeitet. Hierbei lag der Fokus auf der Reinigung und Lagerung der Bauteile. Entweder wurden die Zahnräder im Vorfeld gereinigt oder mit Kühlschmierstoff imprägniert. Die Lagerung fand anschließend im Korrosionsschutzbeutel oder an Luft statt.

ERGEBNISSE

Ein wesentliches Ergebnis der Untersuchungen ist, dass selbst bei Schleifprozessen mit Parametern über der oberen Prozessgrenze in der Regel keine negativen Auswirkungen auf die Nitrierbarkeit zu erwarten sind. Sowohl beim Gas- als auch beim Plasmanitrieren ließen sich bei allen Proben der ersten Versuchsreihe geschlossene und gleichmäßige Verbindungsschichten erzeugen. Die erzielten Nitrierhärtetiefen und Ver-

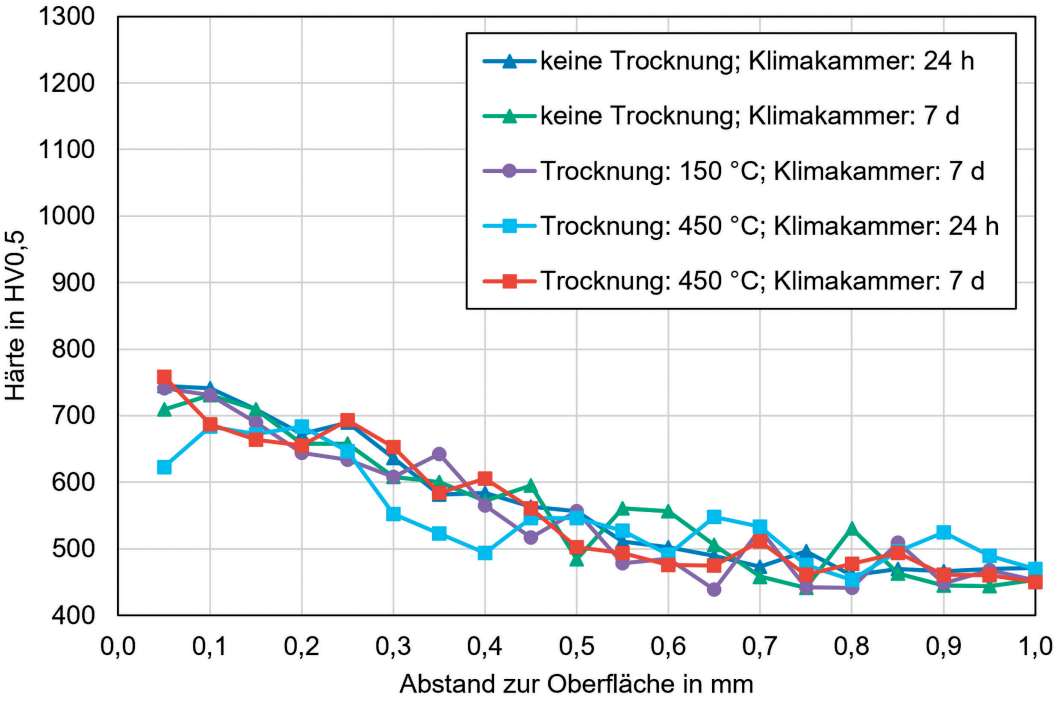


Bild 3: Härteverläufe der plasmanitrierten Proben des 55NiCrMoV7 der dritten Versuchsreihe

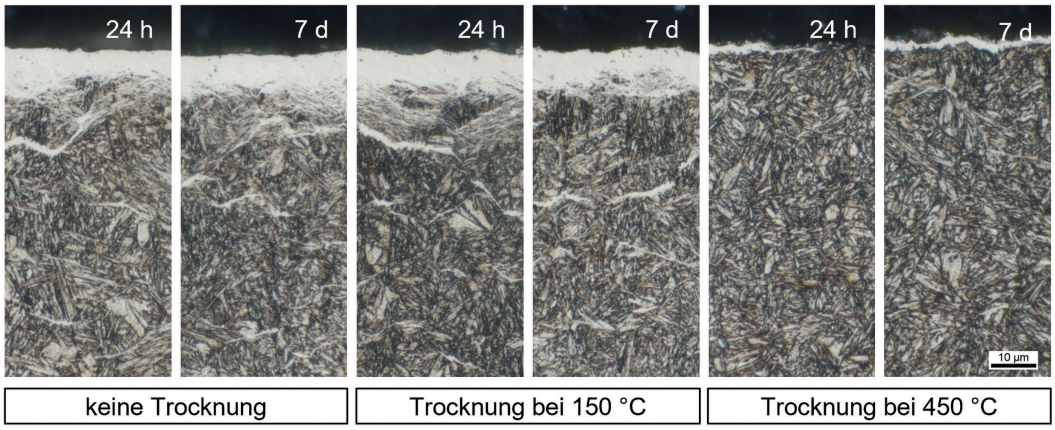


Bild 4: Lichtmikroskopische Darstellung der Randschichten der plasmanitrierten Proben des X38CrMoV5-3 (Ätzung: 3 %ige alkoholische HNO_3) aus der dritten Versuchsreihe (Schleifversuche mit Öl); Lagerdauer in der Klimakammer oben rechts im Bildabschnitt

bindungsschichtdicken zeigten unabhängig von der Gefügestruktur keine signifikanten Abhängigkeiten von der mechanischen oder thermischen Vorbelastung durch den Schleifprozess. Ebenfalls ohne Einfluss auf die Nitrierschichtbildung erwies sich die bewusste mechanische Verformung der Oberfläche innerhalb der zweiten Versuchsreihe. Auch die Variation der Lagerungsbedingungen der vierten Versuchsreihe zeigte keine signifikante Auswirkung auf die Verbindungsschicht- und Porensaumdicke oder die Nitrierhärtetiefe.

Die Bildung von diffusionsbehindernden Passiv- beziehungsweise Sperrschichten konnte primär auf Rückstände von Kühlschmierstoffen zurückgeführt werden. Werden Kühlschmierstoffe vor dem Nitrieren nicht vollständig entfernt, können sie bei hohen Prozesstemperaturen in die Oberfläche einbrennen und die Nitrierung dort lokal oder großflächig behindern. Für die Entfernung der Kühlschmierstoffrückstände erwies sich eine praxisübliche industrielle Reinigung als ausreichend. So zeigten lediglich die Ergebnisse der plasmanitrierten Proben der dritten Versuchsreihe deutliche Unterschiede in der Ausprägung der Verbindungsschichtdicke. Die Härteverläufe der dritten Versuchsreihe blieben dabei unbeeinflusst von der Sperrschichtbildung und zeigten keine signifikanten Unterschiede innerhalb der Werkstoffe, wie in Bild 2 und Bild 3 zu sehen ist.

In Bild 4 und Bild 5 sind die lichtmikroskopischen Aufnahmen der Randschicht der plasmanitrierten Proben der dritten Versuchsreihe dargestellt. Wie zu erkennen ist, kam es bei einer Trocknungstemperatur von 450 °C und dem damit verbundenen Einbrennen von Kühlschmierstoffrückständen bei beiden Werkstoffen zu einer deutlich verringerten Verbindungsschichtbildung. Bei dem 55NiCrMoV7 ist zudem eine Entkohlung des randnahen Bereichs erkennbar, was auf eine zeitverzögerte Verbindungsschichtbildung hindeutet.

ZUSAMMENFASSUNG

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Schmiedewerkzeuge leistungsorientiert und prozesssicher geschliffen werden können, ohne die nachgeschaltete Nitrierung zu gefährden. Die untersuchten Warmarbeitsstähle wiesen eine hohe Beständigkeit gegenüber fertigungsbedingten Einflüssen auf und zeigten selbst nach hoher thermischer und mechanischer Beanspruchung eine gleichmäßige Nitrierschichtbildung. Dies unterstreicht die Robustheit des Nitrierens gegenüber moderaten Gefügeänderungen im Grundwerkstoff, sofern die Oberfläche vor der thermochemischen Wärmebehandlung ausreichend gereinigt wird. Die Befürchtung, dass allein die thermomechanische Umformung oder moderate Schleifbrandzonen grundsätzlich zu einer Sperrschichtbildung führen, konnte im Rahmen dieses Vorhabens weitestgehend entkräftet werden. Ein wichtiger Transferaspekt für die industrielle Praxis ist die Erkenntnis, dass die Reinigung das entscheidende Bindeglied in der Prozesskette darstellt. Es konnte nachgewiesen werden, dass eine industrielle Standardreinigung in der Lage ist, die meisten prozessbedingten Rückstände zu entfernen, um so eine erfolgreiche Nitrierung sicherzustellen. Problematisch wird es erst dann, wenn die Vorreinigung gänzlich entfällt oder Rückstände von Kühlschmierstoffen durch unsachgemäße thermische Zwischenschritte auf der Bauteiloberfläche fixiert werden und so die Bildung von Sperrschichten bedingt wird.

Für Unternehmen ergeben sich aus diesen Erkenntnissen deutliche Vorteile. Die Fertigungsabläufe können effizienter

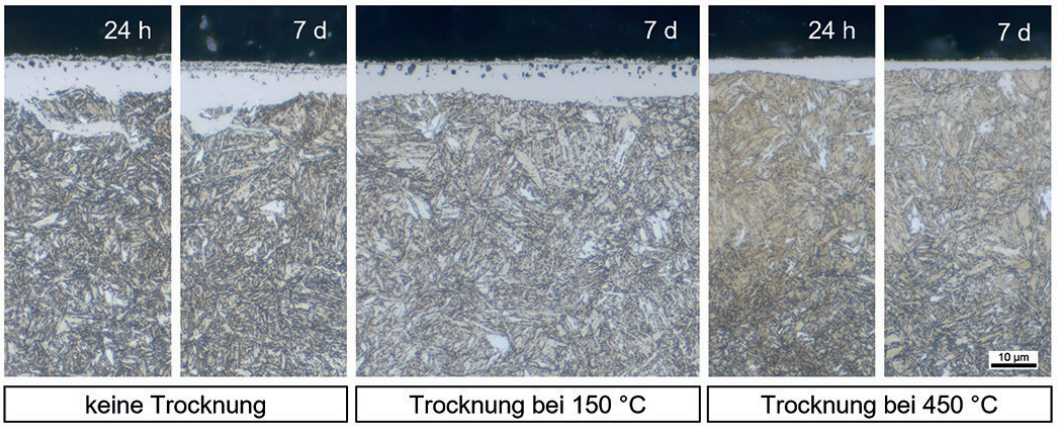


Bild 5: Lichtmikroskopische Darstellung der Randschichten der plasmanitrierten Proben des 55NiCrMoV7 (Ätzung: 3 %ige alkoholische HNO_3) aus der dritten Versuchsreihe (Schleifversuche mit Öl); Lagerdauer in der Klimakammer oben rechts im Bildabschnitt. Bilder: Autoren

gestaltet werden, indem der Fokus auf robuste Reinigungsprozesse gelegt wird und nicht auf eine unnötig konservative Auslegung von Schleifprozessen, die unter Umständen die Produktivität verringert. Die Ergebnisse des Projekts liefern somit eine fundierte wissenschaftliche Basis für die Optimierung der gesamten Fertigungskette von Hochleistungsschmiedewerkzeugen.

Das IGF-Vorhaben IGF-Nr. 01IF22877N der Forschungsvereinigung AWT – Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung + Werkstofftechnik e.V. wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit den Mitteln der IGF gefördert.

Gefördert durch:

INDUSTRIELLE GEMEINSCHAFTSFORSCHUNG

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

[1] Liedtke, D.: Merkblatt 447: Wärmebehandlung von Stahl – Nitrieren und Nitrocarburieren, Stahl Informations-Zentrum, 2005, ISSN: 0175-2006

[2] Huchel, U.; Klümer-Westkamp, H.; Sommer, P.; Spengler, A.: Notwendige Anforderungen an Bauteile zur Sicherung der Prozessfähigkeit beim Nitrieren und Nitrocarburieren, HTM J. Heat Treatm. Mat. Journal 64 (2009) S. 222 – 225

[3] Fuchs, K.D.; Rasche, K.; Wendl, F.: Einfluss der Erodierbedingungen auf Gefügeausbildung und Zähigkeit von Werkzeugstählen und daraus folgende Fehlerscheinungen bei Druckgießformen, Giesserei Band 76, Heft 24, S. 843 – 847, 1989

[4] Yilkiran, T.: Untersuchungen zu den Randzonenbeeinflussungen von Werkzeugen für die Warmmassivumformung infolge verschiedener Fertigungsverfahren, www.umformtechnik.net, Verlag Meisenbach GmbH, Franz-Ludwig-Straße 7a, 96047 Bamberg, 2010

[5] Haase, B.: Bauteilreinigung vor/nach der Wärmebehandlung. Bericht aus dem FA 14 "Bauteilreinigung" der AWT, HTM Z. Werkst. Wärmebeh. Fertigung 63 (2008) 2, S. 104 – 114

[6] Haasner, T.; Stiles, M.; Walter, A.; Haase, B.; Bauckhage, K: Nachweis von Reaktionsschichten und ihr Einfluss auf thermochemische Diffusionsverfahren, HTM Härterei-Techn. Mitt. Journal 55 (2000), S. 101 – 108

[7] Scholtes, B.: Eigenspannungen in mechanisch randschichtverformten Werkzeugzuständen – Ursachen, Ermittlung und Bewertung, Habilitation Universität Karlsruhe, 1990