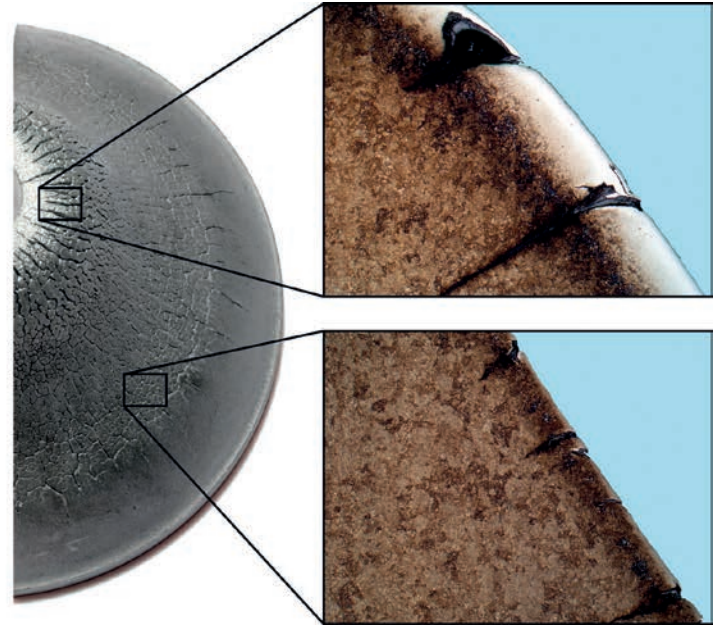
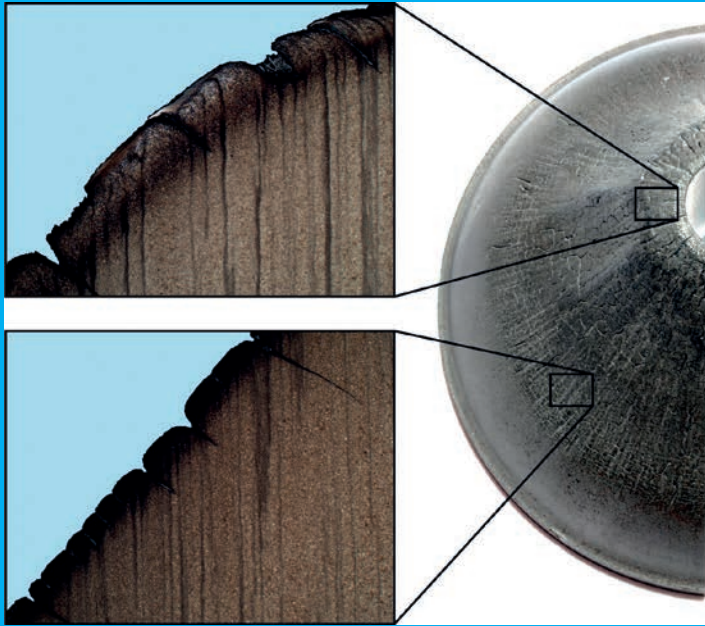




Intelligente Schmiedewerkzeuge – Effizienter Verschleißschutz durch zyklische Randschichthärtung?

Schmiedewerkzeuge sind prozessbedingt hohen Beanspruchungen ausgesetzt. Die im Prozess zyklisch auftretenden Beanspruchungen führen zu einem stetigen Verschleiß der Werkzeugkonturen. Im Rahmen eines von der industriellen Gemeinschaftsforschung geförderten Forschungsvorhabens wird die Entwicklung eines Warmarbeitsstahls vorangetrieben, welcher auf die im Prozess vorherrschenden Beanspruchungen reagiert und einen systemimmanenten Verschleißschutz bildet. Durch eine intelligente Reaktion des Werkstoffs auf die thermomechanischen Umgebungsbedingungen soll durch eine gezielte Beeinflussung der Gefügeumwandlungen in der Werkzeugrandschicht ein verstärkter Neuhärteneffekt erreicht werden, der zu einer Erhöhung der Verschleißbeständigkeit der Werkzeuge beiträgt.

AUTOREN



**Dipl.-Ing.
Jan Pupp**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und leitet die Gruppe Verschleiß am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen der Leibniz Universität Hannover



**Dipl.-Ing.
Steven Dinkel**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkstoffkunde der Leibniz Universität Hannover



**Prof. Dr.-Ing.
Bernd-Arno Behrens**

ist Leiter des Instituts für Umformtechnik und Umformmaschinen der Leibniz Universität Hannover



**Prof. Dr.-Ing.
Hans Jürgen Maier**

ist Leiter des Instituts für Werkstoffkunde der Leibniz Universität Hannover

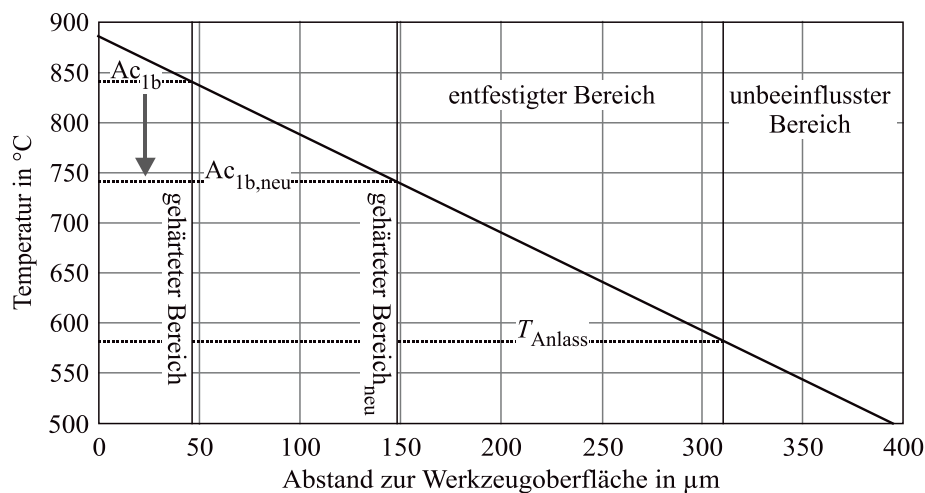


Bild 1: Temperaturprofil in der Werkzeugrand-schicht (schematisch)

Werkzeuge im Bereich der Warmmassivumformung unterliegen prozessbedingt hohen thermischen, mechanischen, tribologischen und chemischen Beanspruchungen. Diese Beanspruchungen treten in der Regel überlagert auf. Das sich dadurch einstellende Belastungskollektiv führt im Vergleich zu anderen Fertigungsverfahren bereits nach kurzen Standmengen zum Ausfall der formgebenden Werkzeugkomponenten.

Der Verschleiß stellt dabei die häufigste Ausfallursache von Schmiedewerkzeugen dar. Methoden zur Verschleißreduzierung bei Schmiedewerkzeugen sind daher Gegenstand zahlreicher Forschungsarbeiten. Auch wenn bereits deutliche Verbesserungen in den Werkzeugstandmengen durch Maßnahmen wie zum Beispiel die Erzeugung hoher Randschicht härten durch Nitrieren [1] und/oder das Aufbringen von Hartstoffschichten [2] erzielt wurden, existiert bisher kein zufriedenstellendes Kosten-Nutzen-Verhältnis. Eine weitere und bisher

kaum untersuchte Methode zur Verschleißreduzierung liegt in der Entwicklung eines an die spezifischen Anforderungen der Schmiedebbranche angepassten Warmarbeitsstahls [3].

METHODISCHER ANSATZ

Es wird das Ziel verfolgt, einen passiven, systemimmanenten Verschleißschutz für Werkzeuge der Warmmassivumformung zu entwickeln. Durch eine gezielte Beeinflussung der Gefügeumwandlungen in der Werkzeugrandschicht, die aus der thermo-mechanischen Beanspruchung im Schmiedeprozess resultieren, soll ein Neuhärteeffekt erreicht werden, der über viele Schmiedezyklen erhalten bleibt und somit für einen fortwährenden Verschleißschutz sorgt. Dies bewirkt eine intelligente Reaktion des Werkstoffs auf seine Umgebung durch die Anpassung der Randschichteigenschaften auf thermo-mechanische Umgebungsbedingungen. Einen vielversprechenden Lösungsansatz stellt die Absenkung der Austenitstarttemperatur Ac_{1b} dar (Bild 1).

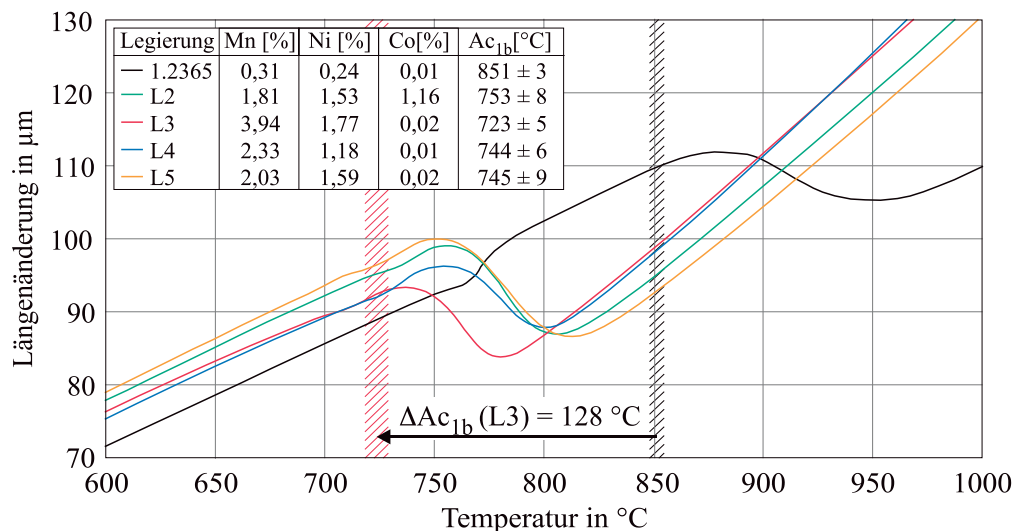


Bild 2: Längenänderungs-Temperatur-Kurven für den Stahl 1.2365 und dessen Modifikationen

Das Überschreiten der Ac_{1b} -Temperatur bewirkt ein partielles Austenitisieren des Gefüges in der Werkzeugrandschicht. Durch die sich an den Umformvorgang anschließende Werkzeugkühlung wird das teilaustenitierte Gefüge wieder abgeschreckt. Dadurch bildet sich ein sehr hartes, feinkörniges, martensitisches Gefüge aus, welches in Schlibbildern bereits nach wenigen Schmiedezyklen in Form einer weißen Schicht zu erkennen ist. Dieser Vorgang wiederholt sich zyklisch. Durch das zusätzliche Legieren eines Warmarbeitsstahls mit Austenit stabilisierenden Legierungselementen kann die werkstoffspezifische Ac_{1b} -Temperatur abgesenkt werden. Die Absenkung zielt dabei auf eine tiefer in das Werkzeuginnere reichende Randschichthärtung ab, die zur Erhöhung der Verschleißbeständigkeit der Werkzeuge beitragen soll.

LEGIERUNGSENTWICKLUNG

Um den Effekt der zyklischen Randschichthärtung verstärkt zu nutzen, wurden Legierungskonzepte auf Basis des Warmarbeitsstahls 1.2365 mit zusätzlichen Anteilen an Austenit stabilisierenden Elementen entwickelt. Neben Mangan (Mn) wurden die Elemente Nickel (Ni) und Kobalt (Co) in die Legierungsentwicklung einbezogen. Durch softwaregestützte Berechnungsverfahren auf Basis der chemischen Thermodynamik konnten zunächst zahlreiche Legierungskonzepte auf ihr Umwandlungsverhalten hin analysiert werden. Aus den Berechnungen wurden unterschiedliche Legierungsvarianten identifiziert, welche sich für die definierte Zielsetzung eignen. Das theoretisch ermittelte Umwandlungsverhalten wurde an-

schließend in experimentellen Untersuchungen durch die Ermittlung von Längenänderungs-Temperatur-Kurven validiert (Bild 2). Im Vergleich zum Warmarbeitsstahl 1.2365 konnte zum Beispiel durch das Hinzulegieren von 3,94 % Mangan und 1,77 % Nickel (Massenanteil in %) die Ac_{1b} -Temperatur des modifizierten Stahls um 128 °C reduziert werden.

Durch eine ganzheitliche Betrachtung der Auswirkungen der in variierenden Mengen hinzulegierten Elemente, sowohl auf das Umwandlungsverhalten als auch auf die mechanischen Eigenschaften, wurde die Legierung mit zusätzlichen Anteilen von etwa 2 % Mangan und 1,6 % Nickel für den Einsatz in weiterführenden industriellen Praxisversuchen ausgewählt.

EINSATZ DER MODIFIZIERTEN LEGIERUNG IN DER INDUSTRIELLEN PRAXIS

Es wurden Werkzeuge aus der modifizierten Legierung in industriellen Prozessen eingesetzt, um die Leistungsfähigkeit in der Praxis zu ermitteln. Dazu wurden unter anderem Serienschmiedeversuche an Werkzeugen in Form eines Napfstempels auf einer automatisierten Mehrstufenpresse mit horizontaler Stoßbewegung durchgeführt. Der Einsatz der Werkzeuge erfolgte unter reproduzierbaren Versuchsbedingungen bis zum Erreichen der Standmenge. Im Anschluss daran wurden die Werkzeuge metallografisch analysiert. Lichtmikroskopische Untersuchungen sowie Mikrohärtemessungen wurden dazu genutzt, die Gefügeveränderungen zu charakterisieren und die erwartete Neuhärtung in der Randschicht zu erfassen.

sen. Anhand der Untersuchungen konnte eine verstärkte Neu-
härtung des Gefüges beim modifizierten Stahl nachgewiesen
werden (Bild 3).

Als Referenz dienten nitrierte Werkzeuge der Serienpro-
duktion aus dem Stahl 1.2367. Die in Bild 3 analysierten Stem-
pel weisen eine ähnliche Standmenge auf. Beim Serienwerk-
zeug wurde die Nitrierschicht am verschleißkritischen Radius
des Napfstempels (Bereich 1) abgetragen. Ausbrüche, plas-
tische Verformungen und eine charakteristische Anlasszone
dominieren das Verschleißbild. Beim modifizierten Stahl ist eine
ausgeprägte Neuhärtungszone in Form einer weißen Schicht
zu erkennen. Die Schicht erreicht dabei eine maximale Breite
von etwa 400 µm. Mikrohärtemessungen bestätigen die Zu-
nahme der Härte in der Randschicht (Bild 4). Die Härte an der
Werkzeugoberfläche liegt bei etwa 900 HV0,025.

Die Neuhärtung des Gefüges tritt allerdings nur am Stempel-
radius auf. Es ist zu vermuten, dass die thermo-mechanische
Belastung an der Stempelflanke (Bereich 2) nicht ausreicht,
um das Gefüge zu austenitisieren und eine entsprechen-

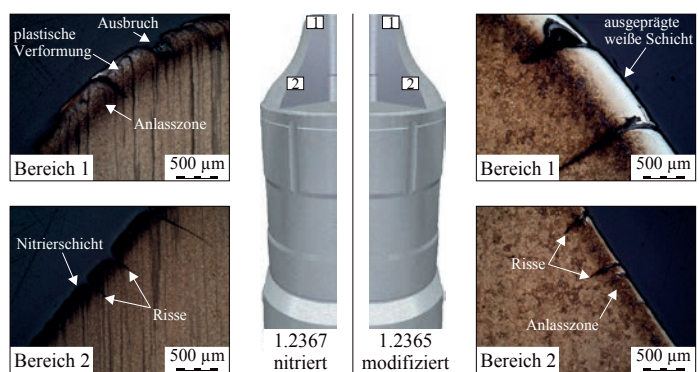


Bild 3: Randzonengefüge am Napfstempel

de Neuhärtung hervorzurufen. Die Werkzeugbereiche an
der Stempelflanke unterliegen im Wesentlichen einer ther-
mischen Entfestigung, was durch die Mikrohärtemessungen
im Bereich 2 bestätigt werden kann. An der Werkzeugober-

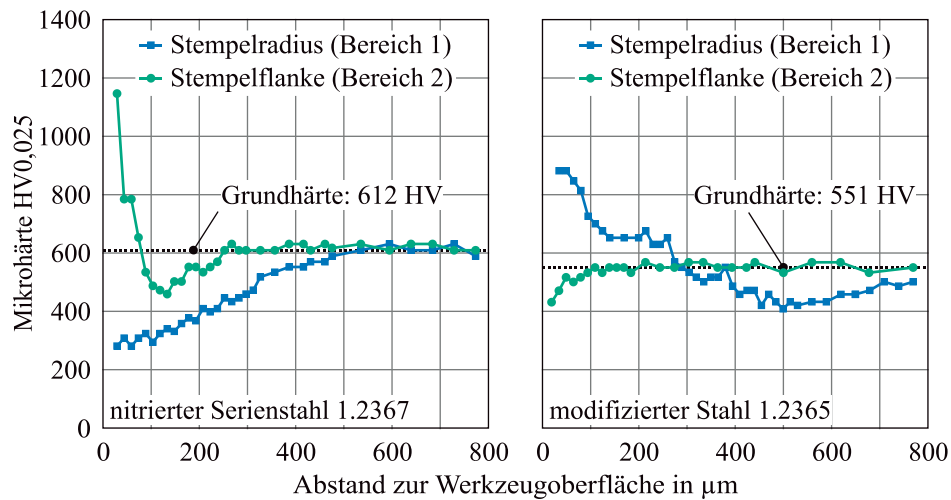


Bild 4: Mikrohärte-Tiefenverläufe in der Werkzeuggrandschicht am Napfstempel
Bilder: Autoren

fläche wurde die Härte auf 430 HV_{0,025} reduziert. Es wird in diesem Bereich vermutlich lediglich die Anlasstemperatur überschritten, die Ac_{1b} -Temperatur hingegen nicht. Die Folge ist ein verminderter Verschleißschutz und ein vorzeitiger Ausfall der Werkzeuge. Beim Serienwerkzeug ist die Nitrierschicht nur lokal abgetragen und sorgt somit an der Stempelflanke noch für einen ausreichenden Verschleißschutz. Die Werkzeuge aus dem modifizierten Stahl erreichten im Durchschnitt nur 74 Prozent der Standmenge der nitrierten Serienwerkzeuge.

FAZIT UND AUSBLICK

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Absenkung der werkstoffspezifischen Austenitstarttemperatur Ac_{1b} durch legierungstechnische Maßnahmen zu einer Verstärkung der zyklischen Randschichthärtung beiträgt. Beim modifizierten Stahl konnten im Vergleich zum Stahl 1.2367 ausgeprägte weiße Schichten nachgewiesen werden. Diese treten vorrangig im verschleißkritischen Bereich am Stempelradius auf. In diesem Bereich führen das Überschreiten der Ac_{1b} -Temperatur und das anschließende Abschrecken des Werkstoffs zur Ausbildung einer Neuhärtezone. An der Stempelflanke wird aufgrund der unzureichenden thermo-mechanischen Beanspruchung das Gefüge nicht umgewandelt und neugehärtet. Es bildet sich in diesen Bereichen an der Werkzeugoberfläche primär eine Anlasszone mit verminderter Härte aus, die das Werkzeug zusätzlich schwächt und den Verschleiß fördert. Das Potenzial der intelligenten Werkstoffmodifikation kann daher nur in Abstimmung mit den Schmiedeparametern voll ausgeschöpft werden. Bei den untersuchten Werkzeugen wäre eine zusätzliche Nitrierbehandlung notwendig, um die Verschleißbeständigkeit in den geschwächten Bereichen effizient zu erhöhen.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden stichprobenartig auch nitrierte Napfstempel aus dem modifizierten Stahl eingesetzt. Ein Napfstempel erreichte dabei eine Standmenge von 133 Prozent. Inwieweit sich die Verschleißbeständig-

keit von Schmiedewerkzeugen durch eine Kombination aus dem modifizierten Stahl und anschließender Nitrierbehandlung erhöhen lässt, soll in zukünftigen Forschungsarbeiten thematisiert werden.



Das IGF-Vorhaben „Entwicklung intelligenter Werkstoffe zur Verschleißreduzierung bei Schmiedegesenken“, IGF-Projekt Nr. 445 ZN, der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. (FOSTA) 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 Bundestags gefördert, wofür die Projektpartner ihren Dank aussprechen. Die Langfassung des Abschlussberichts kann bei der FOSTA, Sohnstraße 65, 40237 Düsseldorf, angefordert werden.



- [1] Hoja, S.; Klümper-Westkamp, H.; Hoffmann, F.; Zoch, H.-W.: Plasmanitrieren von Warmarbeitsstählen für die Massivumformung, HTM – J. Heat Treatm. Mat. 68 (2013) 1, S. 3-11
- [2] Behrens, B.-A.; Biströn, M.; Paschke, H.: Standmengenerhöhung in der Warmmassivumformung durch borhaltige Mehrlagenbeschichtungen, SchmiedeJOURNAL, September 2011, S. 32-35
- [3] Pfahl, A.; Puchert, A.; Behrens, B.-A.; Bach, F.-W.: Legierungsentwicklung zur Verschleißreduzierung von Schmiedegesenken – Einfluss von Mangan auf die Absenkung der Ac_{1b} -Temperatur, HTM – J. Heat. Treatm. Mat. 64 (2009) 5, S. 291-296