

Nitrierbehandlung eines zyklisch selbsthärtenden Warmarbeitsstahls

Die Reduktion von Reibung und Verschleiß ist aus ökonomischer und ökologischer Sicht von hoher Bedeutung für die Umformtechnik. Dort betragen die verschleißbedingten Schäden deutschlandweit schätzungsweise mehrere Milliarden Euro [1]. Eine Erhöhung der Standmenge von Schmiedewerkzeugen und eine damit verbundene Effizienzsteigerung sind daher erstrebenswert. Einen vielversprechenden Ansatz bietet die Entwicklung einer neuartigen, an die speziellen Anforderungen angepassten Legierungsmodifikation in Kombination mit einer werkstofftechnisch angepassten Randschichtmodifikation.

AUTOREN



Uwe Lorenz, M. Sc.

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover



Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

leitet das Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover



Serdal Acar, M. Sc.

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkstoffkunde (IW) der Leibniz Universität Hannover



Dr.-Ing. Sebastian Herbst

ist Bereichsleiter „Technologie der Werkstoffe“ am Institut für Werkstoffkunde (IW) der Leibniz Universität Hannover

Das Gesenkschmieden ist ein wirtschaftliches Verfahren zur Herstellung poren- und seigerungsfreier Bauteile, die über gute mechanische Eigenschaften verfügen. Prozessbedingt unterliegen die formgebenden Werkzeuge jedoch hohen Wechselbeanspruchungen, die zu Schädigungen an den Gravurflächen führen. Dabei stellt der Verschleiß in Folge der Relativbewegungen zwischen Werkstück und Werkzeugen die häufigste Versagensursache dar. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurde für Werkzeuge der Warmmassivumformung eine angepasste Legierungsmodifikation mit einem systemimmanenten Verschleißschutzmechanismus entwickelt. Entsprechend der Definition intelligenter Werkstoffe kommt ein Werkzeugwerkstoff zum Einsatz, der seine mechanischen Eigenschaften autonom an sich ändernde Umgebungsbedingungen anpasst. Überschreitet die Gesenkrandschicht im Schmiedeprozess die Austenitstarttemperatur (A_{c1b}), geht das dortige Gefüge in einen teilaustenitisierten Zustand über. Bei raschem Abschrecken, zum Beispiel durch Besprühen mit einer Kühlschmiermittel-Suspension zwischen zwei Schmiedezyklen, wandelt sich das teilaustenitisierte Gefüge in ein sehr hartes und feines martensitisches Gefüge um. Entsprechend zielt das Projekt auf ein Legierungskonzept zur gezielten Absenkung der A_{c1b} -Temperatur ab.

Durch austenitstabilisierende Legierungselemente lassen sich die mikrostrukturellen Gefügeumwandlungen in den Werkzeugrandschichten derart beeinflussen, dass während des Schmiedeprozesses eine zyklische Randschichthärtung stattfindet.

Eine Reduzierung der A_{c1b} -Temperatur des Warmarbeitsstahls 32CrMoV12-28 (Werkstoff-Nr. 1.2365) durch zusätzliche Massenanteile von 2 Prozent Mangan und 1,5 Prozent Nickel bewirkt eine sich stetig erneuernde Randschichthärtung, die als Verschleißschutz nutzbar gemacht werden kann. Werkzeuge dieser Legierung weisen in thermomechanisch hochbelasteten Werkzeugbereichen eine deutlich gesteigerte Verschleißresistenz auf [2]. Bei einer reduzierten A_{c1b} -Temperatur des Werkzeugs tritt dieser Effekt bereits bei niedrigeren Temperaturen ein und reicht weiter in das Grundgefüge hinein. Eine wichtige Voraussetzung hierfür sind Schmiedeprozesse mit geeigneten thermomechanischen Bedingungen. Sind diese beispielsweise durch eine unzureichende Erwärmung oder zu geringe Abschreckraten nicht erfüllt, kommt es zu keiner zyklischen Randschichthärtung, sondern lediglich zu Anlasseffekten, die den Verschleiß fördern.

Um in diesen thermomechanisch geringer beanspruchten Werkzeugbereichen dennoch einen effektiven Verschleißschutz zu erreichen, wurde eine Nitrierbehandlung entwickelt, die auf das neue Legierungskonzept angepasst ist. Die Randschichten nitrierter Schmiedegesenke sind sehr hart und korrosionsbeständig und zeigen unter hohen mechanischen, tribologischen und chemischen Beanspruchungen eine gute Verschleißbeständigkeit. Eine ausreichend tiefe Diffusionszone, charakterisiert durch die Nitrierhärte tiefe, steigert die Dauerschwingfestigkeit und wirkt zugleich stützend auf die harte Nitrierzone [3].

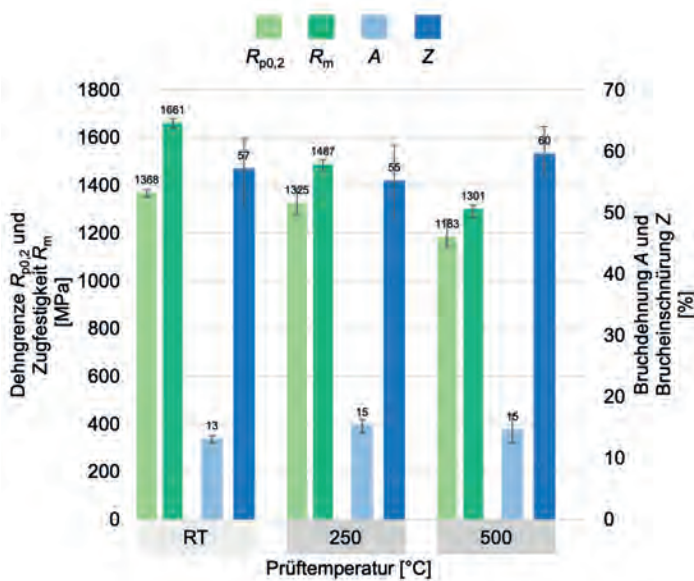


Bild 1: Mechanische Eigenschaften der Legierungsmodifikation 1.2365mod bei verschiedenen Prüftemperaturen

MATERIALCHARAKTERISIERUNG

Mittels Zugversuchen wurde die Legierungsmodifikation auf Basis des Warmarbeitsstahls 1.2365, fortan mit 1.2365mod bezeichnet, bei einer Vergütungshärte von 49 HRC charakterisiert. Zur Erreichung der Härte wurde der 1.2365mod zunächst bei einer Temperatur von 1.040 °C für 30 Minuten austenitiert und anschließend mit einer N₂-Gasabschreckung (7 bar) gehärtet (Vakuumhärten). Nach dem Abkühlen wurde die Legierungsmodifikation in der 1. und 2. Anlasstufe jeweils bei 550 °C für zwei Stunden und in der 3. Anlasstufe bei 560 °C für eine Stunde angelassen. Die angewendeten Anlasstemperaturen wurden oberhalb des Sekundärhärtemaximums gewählt, um eine hohe Verschleißbeständigkeit und Zähigkeit des 1.2365mod zu gewährleisten. In vorherigen Untersuchungen hat diese Anlasstrategie zu den höchsten Festigkeiten und einer vergleichsweise hohen Duktilität geführt [4].

Der Zugversuch wurde in Anlehnung an die DIN EN ISO 6892-1 durchgeführt. Für die Untersuchungen bei Raumtemperatur und bei erhöhten Temperaturen wurden Rundzugproben der Form C beziehungsweise der Form B nach DIN 50125 verwendet. Die in Bild 1 aufgeführten Ergebnisse zeigen mit steigender Prüf-temperatur einen Abfall der Streckgrenze und Zugfestigkeit und gleichzeitig leicht gesteigerte sowie konstant bleibende Werte für die Bruchdehnungen und Brucheinschnürungen. Gegenüber den Warmarbeitsstählen 1.2365 und 1.2367 erreicht

die Legierungsmodifikation 1.2365mod verbesserte mechanische Eigenschaften. Die Ac_{1b}-Temperatur des 1.2365mod wurde dabei im Vergleich zum Ausgangszustand des 1.2365 bei einer schmiedetypischen Aufheizrate von 1.000 K/s um bis zu 65 °C (auf 805 °C) reduziert.

ERMITTLUNG EINER ANGEPASSTEN NITRIERBEHANDLUNG

Um die Verschleißbeständigkeit in den Werkzeugbereichen zu erhöhen, die aufgrund der Prozessbedingungen keine zyklische Neuhärtung erfahren, wurden die Verfahren Gas- und Plasmanitrieren untersucht. Für diese wurden jeweils vier Varianten untersucht, wobei sich jeweils die Prozessdauer unterschied. Längere Prozesszeiten führten dabei erwartungsgemäß zu tiefer in den Werkstoff reichenden Nitrierzonen. Anschließend wurden in Zylinderstauchversuchen drei Parameterkombinationen über jeweils 1.000 Schmiedezyklen untersucht und mit den Ergebnissen eine Vorauswahl für eine aussichtsreiche Nitrierbehandlung getroffen. Werkzeuge, die einem Plasmanitrieren für 24 Stunden unterzogen wurden, zeigten keine Rissbildung in der Werkzeuggrandschicht, daher wurde diese Behandlung in der Folge näher betrachtet. Zusätzlich wurde mit dem 8-Stunden-Plasmanitrieren auch eine Variante mit verhältnismäßig kurzer Nitrierdauer und geringer Nitrierhärte-tiefe betrachtet. Damit wurde untersucht, ob es nach einem zu erwartenden frühen Abtrag der Nitrierzone in den hoch beanspruchten Werkzeugbereichen zur Neuhärtung des Gefüges kommt. In Anlehnung an industrielle Standards wurde zusätzlich als Referenz der Stahl 1.2367 mit einer 24-Stunden-Gasnitrierung untersucht.

SERIENSCHMIEDEVERSUCHE AN MODELLWERKZEUGEN

Anhand eines Modellschmiedeprozesses wurde die für den Verschleißschutz maßgeblich verantwortliche Nitrierzone auf ihre Beständigkeit untersucht. Dabei wurden rotationssymmetrische, konturierte Modellgeometrien zum Schmieden mit Grat eingesetzt. Die Schmiedeversuche erfolgten unter konstanten Versuchsbedingungen auf einer vollautomatisierten Spindel-presse Lasco vom Typ SPR 500. Heizelemente hielten diese auf einer Grundtemperatur von 250 °C. Als Werkstücke dienten Rohteile aus dem Vergütungsstahl 42CrMo4. Die Rohteile wurden induktiv auf eine Temperatur von 1.000 °C erwärmt und durch einen Roboter in den Pressenraum transportiert. Zurückbleibender Zunder wurde mit Druckluft entfernt. Anschließend erfolgte die Kühlschmierung durch das Besprühen der Werkzeuggravur mit einer Wasser-Graphit-Suspension. Die Taktzeit betrug 29 Sekunden.