

OHMKnife - Thermomechanisches Schmieden perlitisch-martensitischer Chromstähle

Prof. Dr. Simon Reichstein

Fakultät Werkstofftechnik
Technische Hochschule Nürnberg

Dr.- Stephan Kraft

Fakultät Werkstofftechnik
Technische Hochschule Nürnberg

Wesentliche Projektziele:

Die meisten hochwertigen und rostfreien Messerklingen bestehen aus perlitisch-martensitischen Chromstählen. Allerdings erreicht bis heute kein rostfreies Schneidwerkzeug die Schneideigenschaften von nicht rostfreien Stählen, die einen deutlich geringeren Chromgehalt aufweisen. Chrom bewirkt in Stählen bei ausreichend hohen Konzentrationen von über 12-18 Gew.% die Bildung einer diffusionsdichten Oberflächenschicht aus Chromoxid, welche die Korrosion des Stahls wirksam verhindert. Allerdings bildet Chrom mit dem Kohlenstoff des Stahls auch sogenannte Karbide. Diese scheiden sich bei konventioneller Herstellung als harte, grobe Partikel im Werkstoff aus und stören die Schneideigenschaften, indem sie an der Schneidkante entweder als Zähne verbleiben oder zu Ausbrüchen führen. Deswegen weisen Klingen aus Chromstählen eher Eigenschaften einer (Mikro-)Säge auf. Perfekte Schneidwerkzeuge sollen aber eine scharfe gerade Schnittkante aufweisen, um mit wenig Kraft einen glatten sauberen Schnitt ausführen zu können. Solche Schnittkanten kann man bis heute nur mit Stahlsorten erzielen, die so wenig Chrom enthalten, dass sich keine Karbide bilden. Typischer Weise enthalten solche Stähle unter 3 Gew.% an Chrom und sind damit keinesfalls korrosionsresistent. Eine technische Lösung, die optimale Schnitteigenschaften in rostfreien Stählen ermöglicht, ist bis heute nicht gefunden.

Einen Ausweg aus diesem Widerspruch zwischen Schneideigenschaften und Korrosionsbeständigkeit könnte das thermomechanische Schmieden bieten. Der grundlegende Vorteil thermomechanischer Behandlungen von Stählen liegt darin, dass durch die gleichzeitige Umformung und Abkühlung ein sehr viel feineres und homogeneres Gefüge erzielt wird als bei konventionellem, rein thermischen Härten von Stahl. Insbesondere die für die Schneideigenschaften kritischen Karbide bilden sich nach aktuellen Forschungsergebnissen bei einer thermomechanischen Behandlung in viel feinerer Form aus [2].

1. Projektdaten

Fördersumme	10.000 Euro
Laufzeit	August bis Dezember 2015
Fakultät /Institut / Kompetenzzentrum	Fakultät Werkstofftechnik
Projektleitung	Prof. Dr. Simon Reichstein
Kontaktdaten	E-Mail: simon.reichstein@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage

Während Stähle früher entweder durch eine Wärmebehandlung oder durch Walzen gehärtet wurden, können heute durch gleichzeitiges Umformen und kontrolliertes Abkühlen weit höhere Festigkeiten in kostengünstigen, niedriglegierten HSLA-Stählen (high strength low alloyed steels) erzielt werden [1]. Durch diese höheren Werkstofffestigkeiten können Karosserien der gleichen Festigkeit mit Blechen geringerer Wandstärke gebaut werden und somit den ehemaligen Gewichtsvorteil von Aluminium weitgehend kompensieren. Diese Entwicklung, eine der größten Werkstoff-Innovationen der letzten 20 Jahre, ist auch als Stahlleichtbau bekannt geworden. Alle führenden Stahlhersteller und eine Vielzahl von Forschungsinstituten und Werkstoffexperten haben sich über Jahrzehnte diesem Thema gewidmet, in erster Linie mit Blick auf kostengünstige niedriglegierte Massentstähle. Im hier vorgestellten Vorhaben wollen wir versuchen, diesen Mechanismus auf eine andere Stahlsorte zu übertragen, die perlitisch-martensitischen Chromstähle. Perlitisch-martensitische Chromstähle finden Anwendung in vielen Bereichen, bei denen gute Festigkeiten bei sehr guter Korrosionsbeständigkeit erforderlich sind. Unter anderen werden solche Stähle im breiten Umfang für hochwertige Schneidwerkzeuge wie Skalpelle sowie Maschinen zur Lebensmittelverarbeitung eingesetzt.

3. Ziele des Forschungsprojekts

Die konsequente Weiterführung des Projekts zielt auf die Prozessentwicklung und die Prozessoptimierung. Zunächst sollen an den ausgewählten Materialien gezielte thermomechanische Verformungsversuche durchgeführt werden, um ein sicheres Gefühl für die Prozesskette zu erhalten und über die ermittelten Temperatur-, Zeit- und Verformungsdaten eine Korrelation zu dem sich einstellenden Gefüge zu ermitteln. Aus dieser Korrelation lässt sich die Parametrisierung der Prozesskette ableiten und so die prinzipielle Vorgehensweise definieren. Um den Effekt des thermomechanischen Umformens relativ zur rein thermischen Härtung zu beschreiben, werden Probenplättchen nach der Austenitisierung rein thermisch abgeschreckt, möglichst mit der gleichen Abkühlrate wie die thermomechanisch behandelten Proben.

Im nächsten Schritt werden die gesammelten Erfahrungen auf das Bauteil „OHMKnife“ übertragen, wobei zunächst die Verformungsapparatur auf die Bauteilgeometrie eingerichtet werden muss. Die prinzipielle Machbarkeit des Schmiedevorgangs wird durch die Übertragung der Prozessparameter auf die Kaltverformung von Rein-Aluminium überprüft. Das ist möglich, da die Festigkeitswerte des zu schmiedenden Stahls bei 1100°C mit der Kaltverformung von Rein-Aluminium vergleichbar sind. Stellt sich hierbei heraus, dass die an der Fakultät Werkstofftechnik vorhandene Spindelpresse nicht ausreicht, kann das Schmiede-Gesenk auch bei einer externen Firma betrieben werden. Entsprechende Partner wurden bereits kontaktiert und in die Planung einbezogen.

Begleitend zu den mechanischen Versuchen sind Analysen des erzeugten Gefüges notwendig, um die Wirkung des Umformverfahrens beurteilen zu können.

Nachgelagert werden Festigkeitsprüfungen des erzeugten Materials durchgeführt, um die Abhängigkeiten des Gefüges zu den mechanischen Eigenschaften zu beschreiben.

Auf Grund der zu erwartenden Ergebnisse wird schon innerhalb dieses Vorlauftorschungsprojekts die Erstellung eines Antrags auf ein öffentlich geförderten Forschungsvorhabens beabsichtigt, welches das Thema „Thermomechanisches Schmieden“ auf wissenschaftlicher Ebene tiefgreifender angehen wird.

4. Herangehensweise und Forschungsergebnisse

Aus der bisherigen Finanzierungshilfe der Technischen Hochschule Nürnberg wurden für die Initiierung des Forschungsvorhabens deutliche Fortschritte erzielt. Insbesondere konnte die Werkstoffauswahl getroffen werden. Weiterhin wurde in Vorversuchen die Versuchsanlage für das thermomechanische Schmieden konzipiert und das für das eigentliche Projektziel, das „OHMKnife“, passende Schmiedegesenk geplant, konstruiert und in Auftrag gegeben.

Werkstoffauswahl

Für die Vorversuche wurden drei verschiedene Stahlsorten ausgewählt:

1. 100Cr6 – Wälzlagerstahl durchhärtend
2. 42CrMo4 – klassischer Vergütungsstahl
3. C60 – unlegierter härtpbarer Stahl
4. X55CrMo14 (1.4110) – klassischer Messerstahl

Konzeption Versuchsanlage

Um Vorversuche zur Ermittlung der Gefügeveränderungen durch thermomechanisches Schmieden an einer an der Fakultät WT existierenden 40 kN Spindelpresse durchführen zu können, wurden in der Zentralwerkstatt der TH Nürnberg ein Druckstempel und eine Druckplatte hergestellt. Mit dieser Vorrichtung können Probelplättchen des Versuchsmaterials thermomechanisch geschmiedet werden. Die Plättchen werden an der Apparatur auf Schmiedetemperatur erhitzt (ca. 1100 °C) und dann zeitnah ($t < \text{ca. } 5 \text{ s}$) zwischen Druckstempel und -platte bei maximaler Kraft der Presse geschmiedet. Der Schmiedevorgang erfolgt unter Temperaturkontrolle, d.h. in der Probe ist ein Thermoelement angebracht, das die Temperatur der Probe hochaufgelöst aufzeichnet.

Durch die hohen Temperaturen wird das Material weitestgehend austenitisiert und homogenisiert (v.a. Auflösung der Karbide). Der unmittelbar anschließende rasche Schmiedevorgang und die dabei auftretenden Temperaturänderungen sollen zu einer feinen Ausscheidungsstruktur führen.

Bei definierten Anfangsdimensionen der Plättchen (ca. $2 \times 10 \times 10 \text{ mm}$) kann die Dickenabnahme und damit der Umformgrad durch den Schmiedevorgang ermittelt werden. So lässt sich in Abhängigkeit der Messungen des Temperaturverlaufs während des Schmiedevorgangs und des erreichten Umformgrades die entstandene Mikrostruktur beurteilen.

Konzeption Schmiedegesenk

Im Rahmen der Vorarbeiten wurde der Prototyp eines Bauteils konzipiert. Das für das thermomechanische Schmieden repräsentativste Bauteil hinsichtlich der Wirkung dieses Umformverfahrens ist eine Messerklinge, da hier die wesentlichen Eigenschaften Rostfreiheit, Schneidfähigkeit, Schneidhaltigkeit, Schärfe und Schärfbarkeit durch die durch thermomechanische Umformung erzielte Mikrostruktur maßgeblich beeinflusst werden kann. Gleichzeitig müssen hier auch die mechanischen Eigenschaften wie Härte und Festigkeit kontrolliert werden, zudem muss ein Messer der Notwendigkeit der Lebensmittelechtheit genügen.

Entsprechend dieser Anforderung wurde ein Schmiedegesenk konzipiert, das zum Ende des Jahres 2015 fertiggestellt sein wird.

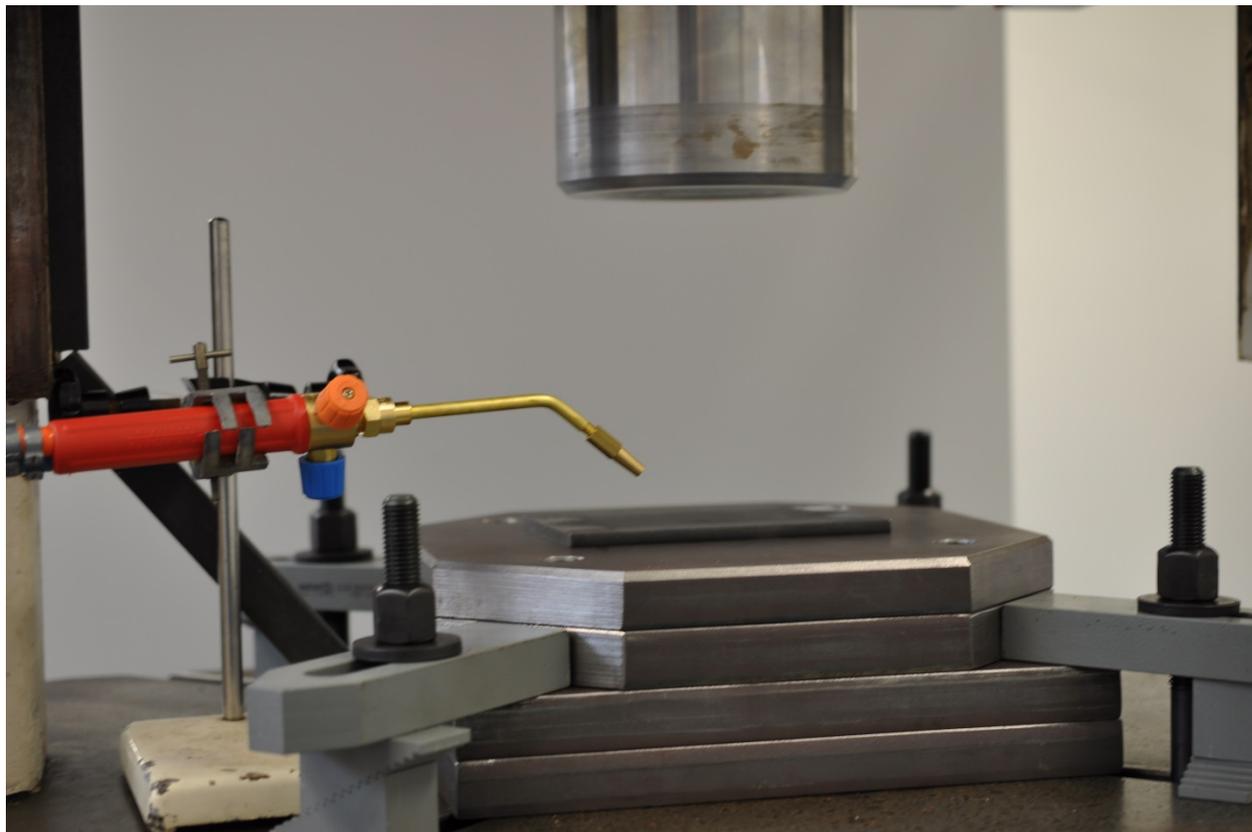


Abb. 1: Versuchsaufbau zum thermomechanischen Schmieden. Zwischen Oberstempel und Schmiedeplatte wirkt eine Kraft von ca. 40 kN.

5. Nachhaltigkeit / Verwertung / wissenschaftliche Arbeiten

Falls sich in den oben beschriebenen Versuchen die gewünschten Eigenschaften thermomechanisch geschmiedeter perlitisch-martensitischer Chromstähle abzeichnen, wird ein Antrag im Rahmen des Programms „Neue Werkstoffe in Bayern“ gestellt. Auch eine parallele Antragstellung im Programm „Vom Material zur Innovation (vormals WING – Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft)“ - einem Programm des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) - ist denkbar, da es sich bei den geplanten Industriepartnern um Klein- und Mittelständische Unternehmen (KMUs) handelt, welchen eine inhaltlich freie Antragsstellung im Ausschreibungstext zugestanden wird.

Aktuell besteht Kontakt zu zwei Industriepartnern. Das sind die LASCO Umformtechnik GmbH in Coburg und die SWM Werkzeugfabrik GmbH & Co. KG in Steinbach-Hallenberg. LASCO ist ein führender Hersteller von Umformmaschinen, SWM fertigt Schmiedegesenke und schmiedet als Tochter der Firma Stahlwille Werkzeuge und Werkzeugteile.

Im Erfolgsfall ist (eine Zustimmung der Hochschule vorausgesetzt) die Vermarktung als „OHMKnife“ geplant. Zunächst soll dies für die Fertigung kleiner Stückzahlen in einer Ausgründung der TH Nürnberg geschehen, eine Fertigung größerer Stückzahlen würde eine Kooperation mit einem Unternehmen oder Investor erfordern. Falls die Messer die gewünschten Eigenschaften aufweisen, wäre es möglich, diese hochpreisig als Premiumprodukte über den aktuellen Top-Produkten zu vertreiben.

Die Umsetzung des Projektes ist mit studentischen Mitarbeitern im Rahmen von Bachelor- und Masterarbeitern bzw. des Studiengangs Master of Applied Research geplant. Unabhängig davon, ob die Herstellung von Stählen mit den gewünschten Eigenschaften gelingt, stünde danach an der Hochschule das Equipment für die Herstellung von Schneidwerkzeugen im Rahmen von Praktika und Projektarbeiten zur Verfügung. Selbst wenn das Projekt als F&E-Projekt scheitert, stellt es eine erhebliche Bereicherung der Attraktivität der Lehre in der Fakultät Werkstofftechnik dar. Sollte es gelingen, wäre die TH Nürnberg führend auf dem Gebiet der Stähle für hochwertige rostfreie Schneidwerkzeuge, mit allen dazugehörigen Möglichkeiten der wirtschaftlichen, technischen und wissenschaftlichen Verwertung.

Literatur

- [1] Hui X., Lin-Xiu D., Jun H. und Misra, R.D.K *Microstructure and mechanical properties of a novel 1000 MPa grade TMCP low carbon microalloyed steel with combination of high strength and excellent toughness* Materials Science & Engineering A 612 (2014) 123–130
- [2] Shena, Y.F., Wang, C.M. und Sun X. *A micro-alloyed ferritic steel strengthened by nanoscale precipitates* Materials Science and Engineering A 528 (2011) 8150– 8156