

Verbesserte Verschleißvorhersage beim Schmieden durch realitätsnahe Berücksichtigung von Härteänderungen

Als eines der ältesten formgebenden Fertigungsverfahren ist das Schmieden durch extreme Belastungen des Werkzeugs gekennzeichnet. Die thermische Belastung führt dabei zu konstanten Änderungen der Randschichthärte, was wiederum einen entscheidenden Einfluss auf die Ausprägung des Verschleißes hat. Ein erweiterter numerischer Berechnungsansatz bietet hier die Möglichkeit, basierend auf den Ergebnissen einer neu entwickelten Materialcharakterisierungsmethode die Härteänderungen und deren Auswirkungen auf den Verschleiß übersichtlich in einer konventionellen FE-Anwendung vorherzusagen.

AUTOREN



Felix Müller, M.Sc.

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



Hendrik Wester, M.Sc.

leitet die Abteilung Materialcharakterisierung und Simulation 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

Hohe Werkstücktemperaturen von bis zu 1.250 °C beim Schmieden von Stahl führen zu einer extremen Erwärmung der Werkzeugrandschicht. Dadurch werden mikrostrukturelle Gefügeveränderungen hervorgerufen, die zu einer Änderung der Werkzeughärte (Anlasseffekte) führen. Diese hängen hauptsächlich von der maximalen Werkzeugtemperatur ab und steigern das Risiko eines Werkzeugversagens. In aktuellen Untersuchungen konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass die mechanische Belastung beim Schmieden das Austenitierungsverhalten von Warmarbeitsstählen stark beeinflusst und das Auftreten von martensitischer Neuhärtung im Einsatz in Folge einer raschen Oberflächenkühlung ermöglicht oder sogar verstärkt [1]. Generell haben Veränderungen der Härte einen entscheidenden Einfluss auf das abrasive Verschleißverhalten und damit auf die Werkzeugstandzeit. Der zunehmende Werkzeugverschleiß führt zu Geometrieabweichungen und somit insgesamt zu einer Verringerung der Bauteilqualität, was der Forderung nach endkonturnaher Fertigung und gleichbleibender Produktqualität widerspricht.

Im Falle eines signifikanten Verschleißfortschritts fallen neben der aufwendigen Herstellung neuer Werkzeuge auch hohe Rüstkosten an. Für eine wirtschaftliche Prozesssteuerung und die Planung von Rüstzeiten sind daher zuverlässige Informationen über die zu erwartende Werkzeugstandzeit notwendig. Darüber hinaus ist für die Auslegung verschleißoptimierter

Werkzeuge eine realistische Vorhersage des zu erwartenden Werkzeugverschleißes in Abhängigkeit von der Anzahl der Schmiedezyklen und den Prozessbedingungen erforderlich.

Um diese Randschichteffekte numerisch vorhersagen zu können, wurde eine Testmethodik zur Charakterisierung der Neuhärte- und Anlasseffekte von Warmarbeitsstählen entwickelt. Diese Methode erlaubt es, die Härteänderungen realitätsnah in Abhängigkeit von der Anzahl der Schmiedezyklen, der Maximaltemperatur sowie erstmals auch der mechanischen Belastung zu untersuchen und anhand eines numerischen Ansatzes zu beschreiben. Durch Implementierung dieses Ansatzes in eine FE-Anwendung lassen sich die genannten Härteveränderungen detailliert bei der numerischen Verschleißvorhersage berücksichtigen.

MATERIALCHARAKTERISIERUNG

Für die Vorhersage der Härteänderungen wurde zunächst eine neue Charakterisierungsmethode im Labormaßstab entwickelt, um die im Schmiedeprozess auftretenden thermo-mechanischen Belastungen realitätsnah auf vergütete Proben aus dem Warmarbeitsstahl 1.2343 abzubilden. Dafür wurde ein Dilatometer vom Typ DIL805D in Zusammenarbeit mit dem Hersteller TA Instruments softwareseitig erweitert, sodass zyklische Erwärmungs- und Abkühlversuche mit konstanter Kraft- beziehungsweise Drucküberlagerung durchgeführt

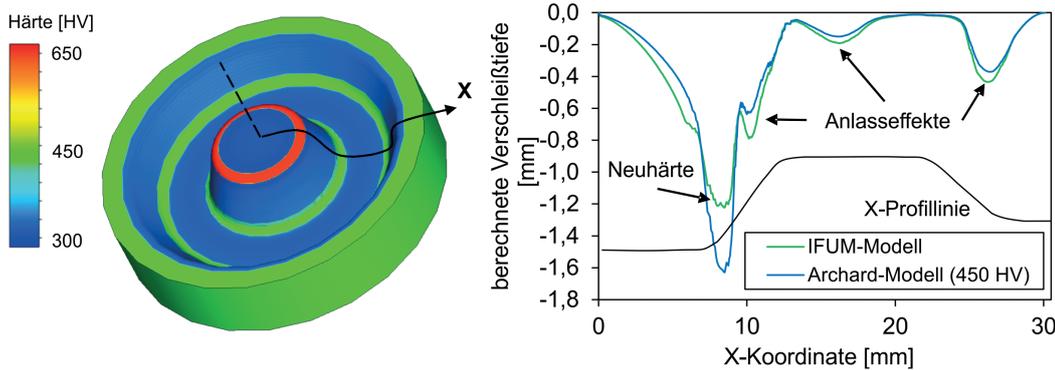


Bild 1: Gegenüberstellung der Härte und Verschleißvorhersagemöglichkeiten des erweiterten IFUM-Modells im Vergleich zum konventionellen Archard-Modell anhand des Modellschmiedeversuchs nach 2.000 Zyklen.

werden können. Die Erwärmung erfolgt dabei induktiv und die Abkühlung mittels Stickstoff-Inertgas. Als wesentliche Versuchsparameter ergeben sich damit die in jedem Zyklus angesteuerte Maximaltemperatur, der Grad der Kraftüberlagerung und die tatsächliche Anzahl der applizierten Belastungszyklen. Zur realitätsnahen Einstellung der Versuchsparameter wurden zum einen FE-Simulationen von Warmmassivumformprozessen durchgeführt und hinsichtlich der thermischen Belastung ausgewertet. Zum anderen wurde die Streckgrenze des Warmarbeitsstahls bestimmt, um anhand dieser die Kraftüberlagerung prozentual einzustellen. Dies sollte ein Versagen der Proben im Versuchsbetrieb verhindern. Nach der Versuchsdurchführung wurde jede Probe metallographisch präpariert und unter Anwendung des Härteprüfverfahrens nach Vickers untersucht. Aus den entstandenen Datenfeldern lassen sich die Härteab- oder -zunahme aufgrund von Anlass- oder Neuhärteeffekten in Abhängigkeit von der thermomechanischen Belastung und der Zyklenzahl ablesen. Allgemein zeigte die zusätzliche Drucküberlagerung bei den Versuchen im Anlass-temperaturbereich (um 750 °C) eine reduzierte Ausprägung der Anlasseffekte im Vergleich zu einer rein thermischen Belas-

tung. Analog zeigte sich im Bereich der Neuhärte (800 °C bis 850 °C), dass die Kraftüberlagerung die Bildung von Neuhärte verstärkt und sich bereits bei Maximaltemperaturen ab 800 °C nachweisen lässt [2].

NUMERISCHE IMPLEMENTIERUNG

Im nächsten Schritt wurden diese Datenfelder genutzt, um das bereits in der industriellen Anwendung bekannte IFUM-Verschleißmodell zu erweitern [3]. Dieses Modell definiert den abrasiven Verschleiß W eines Umformhubs für jeden Berechnungsknoten als Summe der in jedem Berechnungsincrement anfallenden Verschleißmenge. Diese Berechnungsmethode basiert auf dem bereits am IFUM entwickelten Verschleißmodell unter Berücksichtigung der Kontaktnormalspannung σ_N , der Gleitgeschwindigkeit v_{rel} , der Inkrementdauer Δt , der Härte H_0 und der Verschleißkonstante k :

$$W = \sum_{Ink = 1}^n k \cdot \frac{\sigma_N \cdot v_{rel} \cdot \Delta t}{H_0}$$

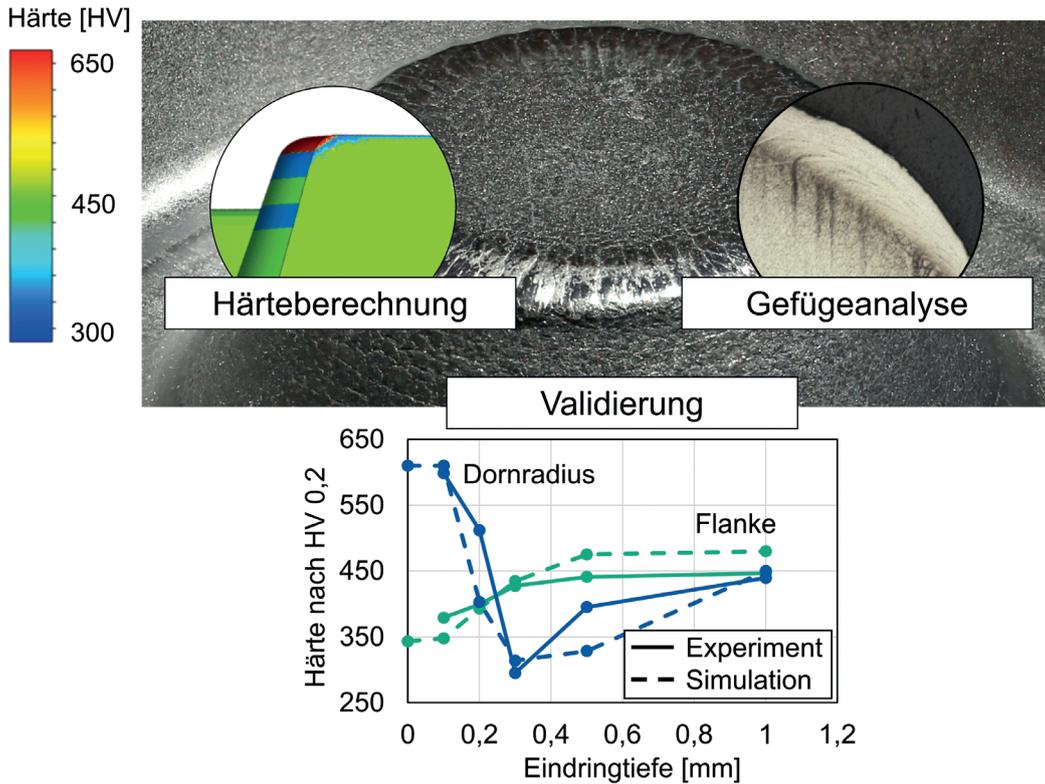


Bild 2: Härteberechnung, Gefügeanalyse und Validierung im Rahmen des IFUM-Modellschmiedeversuchs, Bilder: Autoren

Zur Berücksichtigung der Härteveränderung in der Werkzeuggrandschicht wurde diese Berechnung um eine weitere Summenbilanz erweitert, mit der sich der Verschleiß in jedem folgenden Hub lokal neu gewichten lässt. Durch die Auswertung der experimentell ermittelten Datenfelder für die Härteveränderung $H(T_{max}, \sigma_N, n)$ ergibt sich nach der folgenden Gleichung der Gesamtverschleiß W_{tot} am Ende der betrachteten Zyklen- beziehungsweise Hubzahl n :

$$W_{tot} = \sum_{Hub=1}^n \frac{H_0}{H(T_{max}, \sigma_N, n)} W$$

Bild 1, links zeigt die Darstellung der Härte entsprechend der implementierten Datensätze $H(T_{max}, \sigma_N, n)$ für den Warmarbeitsstahl 1.2343 auf dem Obergesenk aus dem IFUM-Modellschmiedeversuch nach 2.000 Zyklen. Da im Anwendungsfall am Dornradius Spitzentemperaturen von über 800 °C erreicht werden, erfolgt hier ausgehend von der Grundhärte von 450

nach HV0,2 ein Anstieg aufgrund von Neuhärteeffekten. In den anliegenden Flankenbereichen treten dagegen Härteabnahmen aufgrund von Anlasseffekten auf. Der rechte Teil des Bilds verdeutlicht die Auswirkungen dieser Modellerweiterung auf die berechneten Verschleißtiefen. So reduziert sich die zu erwartende Verschleißtiefe an Stellen, an denen Neuhärte auftritt, im Vergleich zum konventionellen Archard-Modell deutlich. Treten Anlasseffekte auf, zeigt die Implementierung folglich eine Erhöhung der Verschleißtiefe an.

VALIDIERUNG ANHAND EXPERIMENTELLER SERIENSCHMIEDEVERSUCHE

Anhand des IFUM-Modellschmiedeprozesses wurden Rand-schichtveränderungen infolge der thermomechanischen Belastung nach bis zu 2.000 Hüben untersucht. Dabei wurden rotationssymmetrische, konturierte Modellgeometrien zum Schmieden mit Grat eingesetzt. Die Schmiedeversuche erfolgten unter konstanten Versuchsbedingungen auf einer vollautomatisierten Exzenterpresse Eumuco Typ SP30a. Heizelemente hielten diese auf einer Grundtemperatur von 250 °C. Als Werkstücke dienen Rohteile aus dem Vergütungsstahl

42CrMo4. Die Rohteile wurden induktiv auf eine Temperatur von 1.150 °C erwärmt und durch einen Roboter in den Pressenraum transportiert. Zurückbleibender Zunder wurde mit Druckluft entfernt. Nach der Umformung erfolgte anschließend die Kühlschmierung durch Besprühen der Werkzeuggravur mit einer Wasser-Grafit-Suspension. Die Taktzeit betrug zirka acht Sekunden.

Der vorgestellte Berechnungsansatz ermöglichte es im Rahmen des zugehörigen Forschungsvorhabens erfolgreich die Härteveränderungen in der Werkzeugrandschicht vorherzusagen (Bild 2). Mit der darauf aufbauenden Verschleißberechnung ließ sich danach realitätsnah das Verschleißverhalten der Werkzeuge in Abhängigkeit der Prozesseinstellungen, wie zum Beispiel der Gratstärke, berechnen. Zur Demonstration der Übertragbarkeit wurden beide Berechnungsmethoden auch zur Untersuchung eines mehrstufigen Schmiedeprozesses bei einem Industriepartner eingesetzt.



[1] Malik, I. Y.; Lorenz, U.; Chugreev, A.; Behrens, B.-A.: Microstructure and wear behaviour of high alloyed hot-work tool steels 1.2343 and 1.2367 under thermo-mechanical loading. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 629, 2019, p. 12011

[2] Müller, F.; Malik, I.; Wester, H.; Behrens, B.-A.: Experimental Characterisation of Tool Hardness Evolution under Consideration of Process Relevant Cyclic Thermal and Mechanical Loading During Industrial Forging, pp. 3 – 12

[3] Behrens, B.-A.: New Developments in the FE Simulation of Closed Die Forging Processes. Proceedings of NAMRI/SME 2012 (2012) 40

ZUSAMMENFASSUNG

Die in Warmmassivumformprozessen auftretenden starken thermomechanischen Belastungen führen zu Veränderungen der Werkzeughärte in der Randschicht und erschweren somit eine genaue Verschleißprognose. Mit Hilfe der vorgestellten Materialcharakterisierungs- und Berechnungsmethoden lassen sich diese Phänomene vorhersagen und zur Verbesserung der Verschleißberechnung einsetzen. Die Ergebnisse stellen im Hinblick auf neue Forschungsprojekte eine vielversprechende Grundlage für die Vorhersage von weiteren Gesenk-Schädigungseffekten dar, die sich auf zeitlich und lokal wandelnden Festigkeits- beziehungsweise Härteeigenschaften in der Randschicht zurückführen lassen.



Das IGF-Vorhaben 19647 N der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Stahlverformung e. V. (FSV) 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. Die Langfassung des Abschlussberichts kann bei der FSV, Goldene Pforte 1, 58093 Hagen, angefordert werden.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

IGF
Industrielle
Gemeinschaftsforschung