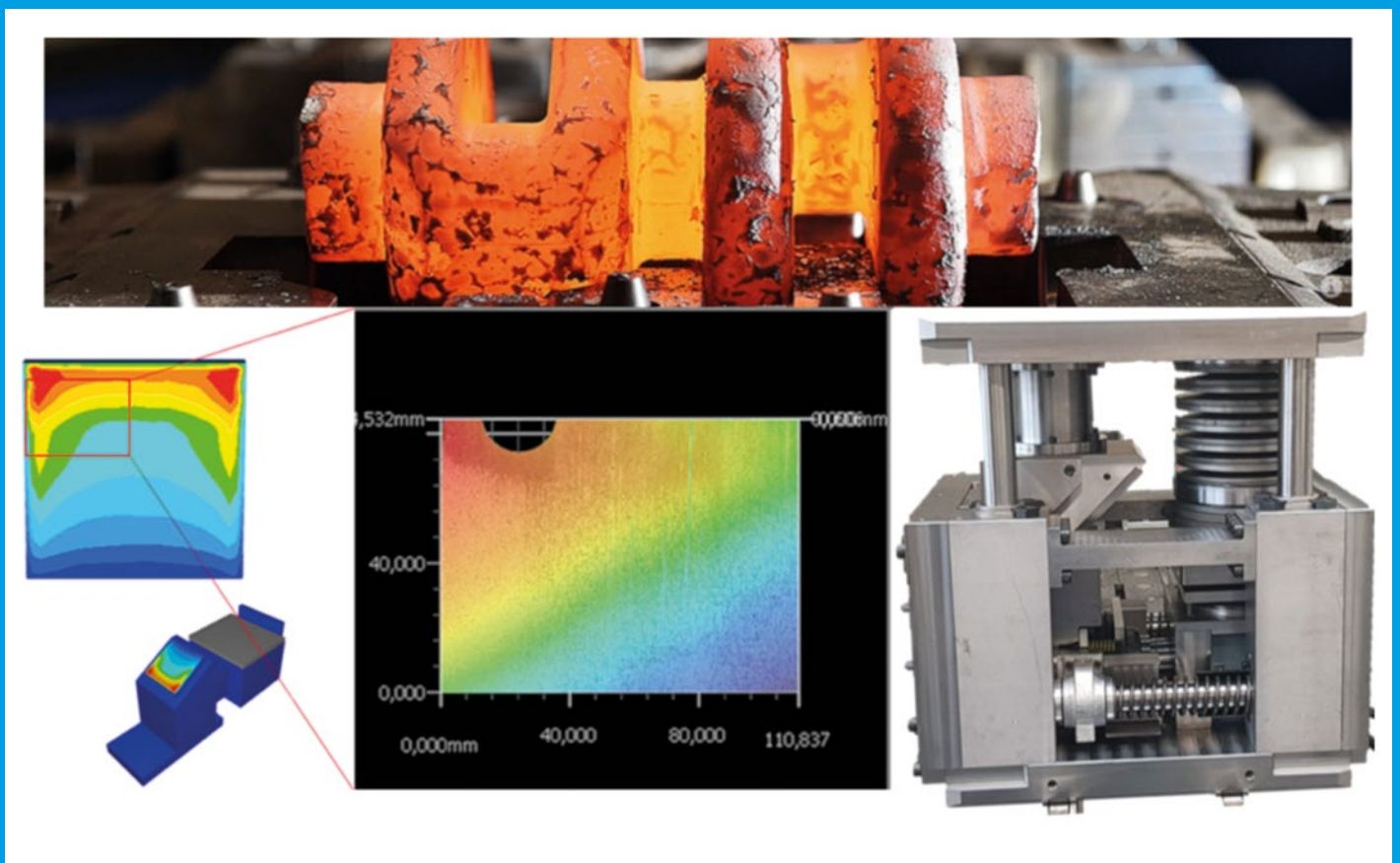


Wirtschaftliche Verwendung von Schieberwerkzeugen in der Massivumformung durch gezielte Prozessauslegung

Die prozessspezifische Auslegung mehrdirektionaler Schmiedeprozesse bietet für die Unternehmen der Schmiedebranche ein hohes Potenzial, um komplexe Geometrien innerhalb eines Schmiedehubs zu fertigen, ihr Produktportfolio zu optimieren und wirtschaftlich konkurrenzfähig zu bleiben. Eine gezielte Auswahl verschleißreduzierender Prozessparameter ermöglicht das Erschließen bestehender Potenziale zur Optimierung der resultierenden Standmenge der einzelnen Werkzeugkomponenten.



AUTOREN



Dipl.-Ing. Alexander Martini

ist Projektingenieur in der Abteilung Prozesstechnik am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH



Dipl.-Ing. Mareile Kriwall

ist Abteilungsleiterin der Prozesstechnik am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH



Dr.-Ing. Malte Stonis

ist koordinierender Geschäftsführer am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH



Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

ist geschäftsführender Gesellschafter am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH und leitet das Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover

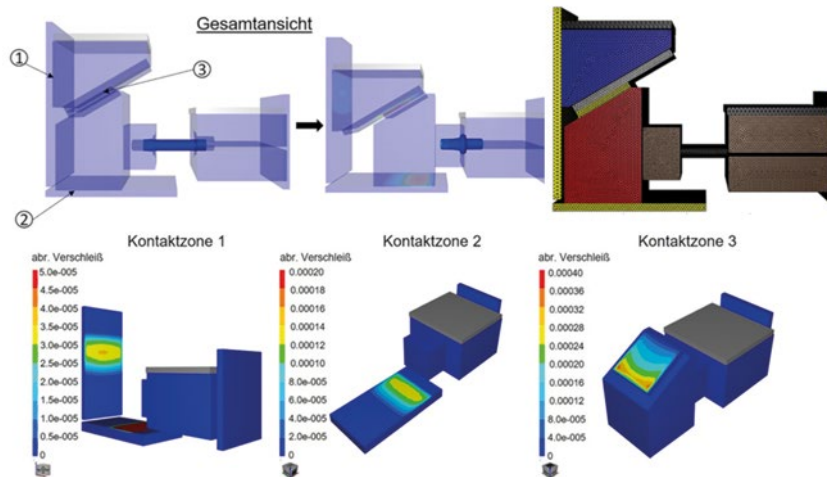


Bild 1: Simulationskonzept links, Verschleißbild in den relevanten Kontaktzonen, rechts

Viele industrielle Produkte sind ohne Bauteile aus der Branche Massivumformung nicht denkbar, da diese sich aufgrund ihres geschlossenen Faserverlaufs für Prozesse mit hohen Belastungen eignen. Ein großer Teil dieser Bauteile wird von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) mit einer Firmengröße unter 250 Mitarbeitern produziert [1]. Um als KMU konkurrenzfähig zu sein, sind geringe Losgrößen und ein hoher Grad an Flexibilität von hoher Bedeutung. Ein wichtiger Ansatzpunkt für gesteigerte Wirtschaftlichkeit ist die Reduktion der Herstellungskosten. Diese sind abhängig von den Werkstoff- und Werkzeugkosten und können beispielsweise über Standmengenerhöhungen reduziert werden. Da die materialspezifischen Kosten sich nur geringfügig beeinflussen lassen, erhält die Materialeffizienz eine besondere Bedeutung [2]. Für die Materialeffizienz sind endkonturnahe Vorformen ausschlaggebend: Durch optimierte Massenvorverteilung beim Fertigformen entsteht ein möglichst geringer Materialüberschuss [3]. Bei kontinuierlich steigender Komplexität der Schmiedeteile können Schieberwerkzeuge einen elementaren Faktor zur Effizienzsteigerung darstellen, da eine mehrdirektionale Umformung komplexe Massenverteilungen innerhalb eines Hubs ermöglicht [4]. Allerdings sind die zusätzlichen Anschaffungskosten mehrdirektionaler Werkzeuge für KMU mit einem hohen Risiko verbunden, da die zu erwartenden prozessspezifischen Verschleißerscheinungen und damit einhergehende Standmengen bisher nicht kalkulierbar sind.

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Standzeit Schieberwerkzeuge“ wurden analytische, simulative sowie experi-

mentelle Verschleißuntersuchungen zur Standzeit von mehrdirektionalen Schmiedewerkzeugen durchgeführt und – basierend auf den Ergebnissen – Prozessparameter identifiziert, die eine verschleißarme Produktion gewährleisten. So hat das IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH in Zusammenarbeit mit mehreren Unternehmen aus der Schmiedebbranche eine Konstruktionsrichtlinie entwickelt. Diese stellt allgemeingültige Ergebnisse zur prozessspezifischen Optimierung bereit und kann bei der wirtschaftlichen Auslegung bzw. Optimierung mehrdirektionaler Schmiedewerkzeuge unterstützen.

SIMULATIVE IDENTIFIKATION VERSCHLEISSINDUZIERENDER PROZESSPARAMETER

Für die Untersuchung des Verschleißes von Schieberwerkzeugen wurde ein modulares Werkzeugkonzept entwickelt, welches einen Realprozess abbildet, der für die potenzielle Fertigung einer Wellengeometrie verwendet werden kann. Durch die Beschränkung auf die verschleißrelevanten Elemente bietet dieses Werkzeugkonzept die Grundlage für die Entwicklung eines FEM-Simulationskonzeptes. Es besteht aus dem verschleißrelevanten Schieber-/Keilsystem und den formgebenden Gesenken, die eine realitätsnahe Rückstellkraft auf das Schieber-/Keilsystem aufbringen. Zusätzlich zu den Verschleißmaxima wurde die lokale Verteilung der Abrasion identifiziert, um einen potenziellen Einfluss von Kippmomenten einschätzen zu können (Bild 1).

Parameter	Einheit	Kodierung	
		-	+
Schieberwinkel	°	30	45
Schieberwerkstoff	-	1.2343	1.2365 (1.2343 experimentell)
Schiebertemperatur	°C	20 (70 experimentell)	200
Werkstücktemperatur	°C	850 (1000 experimentell)	1250
Pressengeschwindigkeit	mm/s	25	1000 (345 experimentell)
Verschleißplattenwerkstoff	-	Bronze	Sintermetall

Tabelle 1: Parametervariation für den zweistufigen Versuchsplan

Eine simulative Fallstudie untersuchte mögliche Einflussgrößen hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Verschleißentstehung. Diese beinhaltete sowohl geometrische, thermische, material-spezifische als auch kinematische Größen (Tabelle 1).

Die simulative Untersuchung zeigt, dass von den betrachteten Prozessparametern der ausgewählte Verschleißplattenwerkstoff den größten Einfluss auf die Verschleißentstehung hat. Weiterhin lässt sich der Verschleiß von Keil-/Schiebersystemen durch die geometrische Konzeptionierung des Schieberwerkzeugs zum Beispiel über den Schieberwinkel, die Werkstücktemperatur und die Pressengeschwindigkeit beeinflussen. Der Einfluss der Schiebertemperatur ist in den zu erwartenden Temperaturbereichen ebenso wie der Schieberwerkstoff als gehärtete Kontaktfläche zu den weichen Verschleißplatten nahezu ohne Auswirkungen auf den Verschleiß. Der Vergleich des

Verschleißes mit den maximal auftretenden Umformkräften der einzelnen Parameterkombinationen zeigt einen klaren Zusammenhang. An allen betrachteten Kontaktzonen führen hohe Umformkräfte im Schmiedeteil zu hohen Verschleißwerten.

VERSCHLEISSUNTERSUCHUNG: EXPERIMENTELLE VERSUCHE

Um die simulativ ermittelten Einflüsse zu verifizieren, entwickelte das Forschungsteam ein vereinfachtes Versuchswerkzeug und identifizierte den Einfluss unterschiedlicher Prozessparameter auf den resultierenden Verschleiß am Schieber-/Keilsystem experimentell. Um den Einfluss der einzelnen Prozessparameter auf den Verschleiß der Gleitplatten zu untersuchen, wurden Versuchsreihen mit 10.000 Schmiedehüben durchgeführt und der resultierende Verschleiß an den drei Kontaktzonen ausgewertet (Bild 2).

Referenzversuch: Schieberwinkel 30°, Schiebertemperatur 70°C, Werkstücktemperatur 1250°C, Pressengeschwindigkeit 25mm/s, Sintermetall

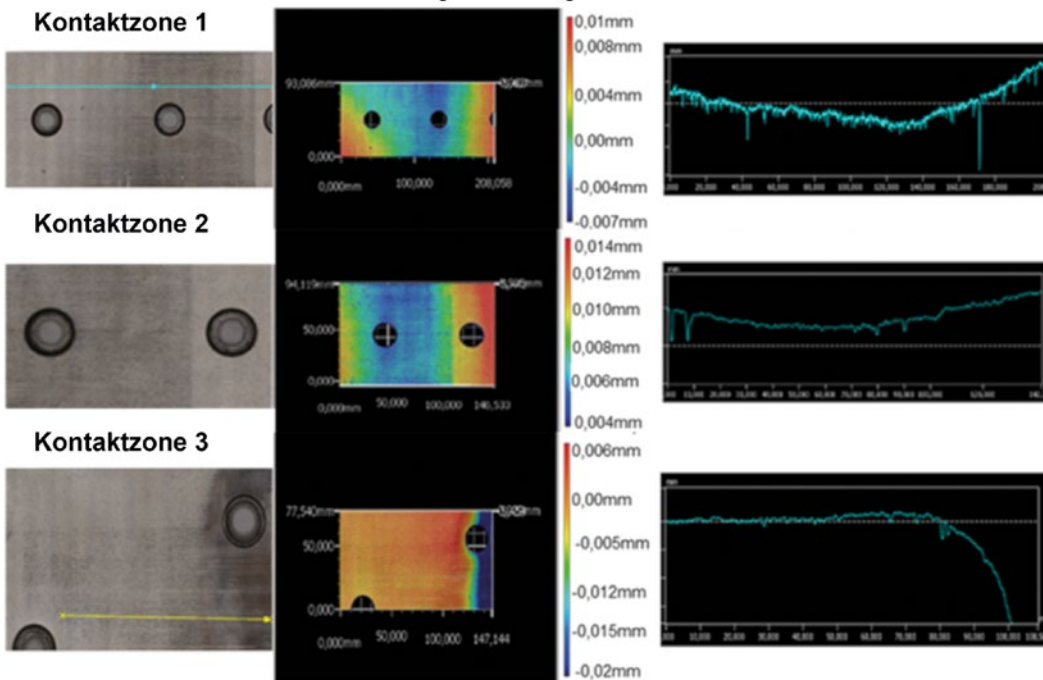


Bild 2: Gleitplatten (links), Verschleißverteilung (Mitte), Profilgrafik der Gleitplatten (rechts)

Die Auswertung der Messungen hat ergeben, dass die experimentelle Variation der Prozessparameter den gleichen Einfluss auf die Verschleißerscheinung hat, die sich bereits in den FEM-Simulationen gezeigt hat. In den drei Kontaktzonen hat sich innerhalb des Referenzversuchs ein kumulierter Verschleiß von 0,055 mm eingestellt. Bei einer Reduktion der Bauteiltemperatur auf 1000 °C hat sich gezeigt, dass die resultierende Rückstellkraft mit einhergehendem Kippmoment die zulässige lokale Flächenpressung der Gleitplatten überschritten hat. Dieses hat gerade in Kontaktzone 3 zu einem überdurchschnittlichen abrasiven Verschleiß geführt. Im Vergleich zu Versuchsreihe 1 ist der kollektive Verschleiß in Versuchsreihe 2 nach 10.000 Hügen von 0,055 mm auf 0,642 mm gestiegen.

Die Erhöhung der Schiebertemperatur von 70 °C auf 200 °C in Versuchsreihe 3 führt zur Überschreitung der zulässigen Maximaltemperatur (180 °C) im geschmierten Prozess und der kollektive Verschleiß steigt auf 0,281 an. Die Ursache hierfür liegt in dem Verschließen der Sintermetall-Poren durch Ölbrand (Bild 3).

Die Variation des Schieberwinkels in Versuchsreihe 4 zeigt eine Erhöhung des kumulierten Verschleißes auf 0,096 mm. Durch den flacheren Kontaktwinkel (30 °) erhöht sich die lokale Druckbelastung auf das Schieber-/Keilsystem und die zugehörigen Gleitplatten. Zur Identifikation des Potenzials von Kupfer-Gleitplatten wurde in Versuchsreihe 5 explizit die Kontaktzone 3 betrachtet. In der Auswertung ist zu erkennen, dass sich der Verschleiß mehr als verdoppelt, obwohl innerhalb der Versuchsreihe nur halb so viele Hübe durchgeführt wurden. Anschließend wurde die Versuchsreihe aufgrund von Prozessinstabilität in Form von Rattern abgebrochen. Die anschließende Auswertung ergab, dass sich an einigen Stellen lokal Grafit einlager in der Gleitplatte gelöst haben. Die Variation der Umformpresse (Hydraulik-, Spindelpresse) sowie eine Anpassung der Pressengeschwindigkeit auf 345 mm/s führte dazu, dass die Versuchsreihe nach ca. 3.000 Hügen aufgrund eines Versagens des Rückstellsystems abgebrochen wurde. Dieses Versagen stellte sich als eine Folge des über die Versuchsreihen voranschreitenden Verschleißes

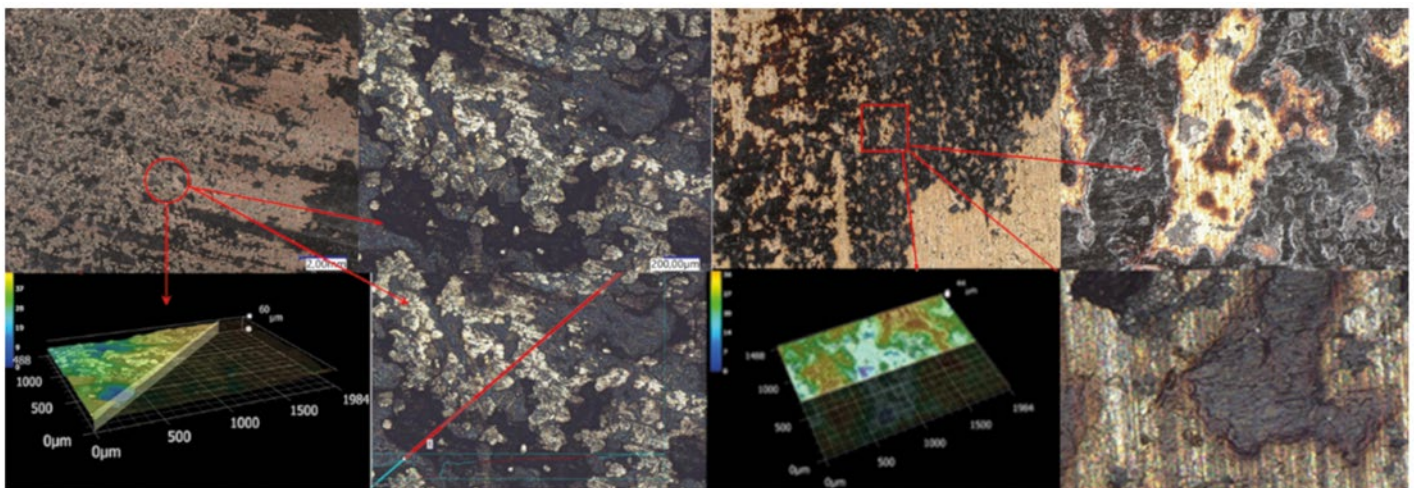


Bild 3: Oberflächenvermessung Digitalmikroskop 70 °C links, 200 °C rechts (festgebrannt)

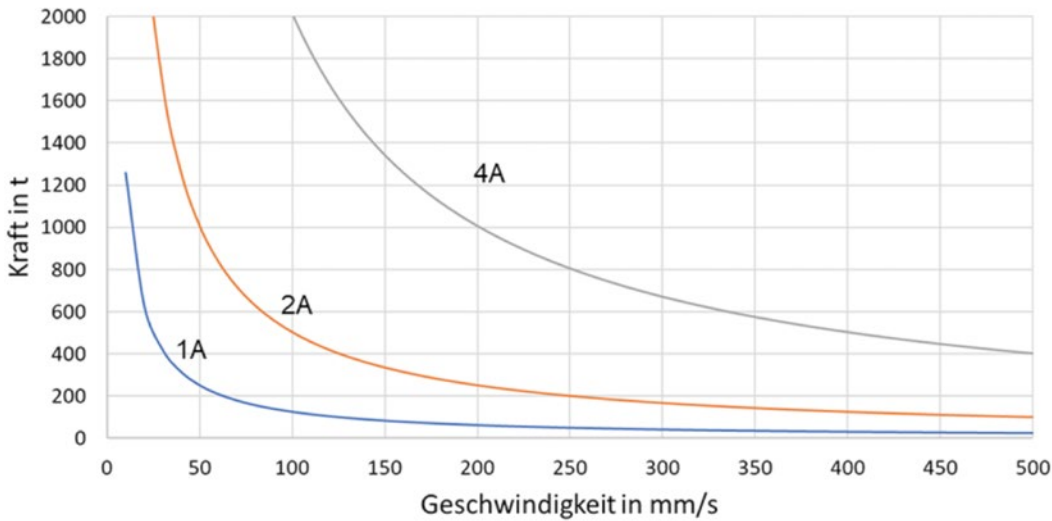


Bild 4: Pv-Werte für Sintermetall-Gleitplatten, Bilder: Autoren

der Verbindungselemente im Rückstellsystem dar. Es hat sich gezeigt, dass bereits nach der reduzierten Anzahl an Hüben der kollektive Verschleiß durch die Schlagwirkung der energiegebundenen Presse auf 0,876 mm angestiegen ist (Bild 4). Aufgrund des Sicherheitsrisikos, das mit dem fortschreitenden Verschleiß im Versuchswerkzeug einhergeht, verzichtete das Forschungsteam auf ursprünglich geplante Versuche mit formgebenden Gesenken.

KONSTRUKTIONSRICHTLINIE: UNTERSTÜTZUNG BEI DER PROZESSSPEZIFISCHEN AUSLEGUNG

Als zusammenfassende Hilfestellung bei der Auslegung und Optimierung mehrdirektionaler Schmiedeprozesse wurde eine Konstruktionsrichtlinie erarbeitet. Diese enthält allgemeine Hinweise zur Auslegung und verschleißarmen Verwendung von Schieberwerkzeugen hinsichtlich der Punkte: Werkzeugauslegung, Prozessauslegung und Prozessführung.

Neben den Potenzialen zur Verschleißreduzierung von Schieberwerkzeugen innerhalb der Prozessauslegung (beispielsweise Vermeidung von Kippmomenten, bauraumspezifische Maximierung der Schieberwinkel) bestehen Potenziale in einer optimierten Planung der Prozessführung. Hier bestehen unter-

schiedliche Prozessparameter, welche einen direkten Einfluss auf die resultierenden Verschleißerscheinungen und somit die Wirtschaftlichkeit besitzen:

- Werkstücktemperatur
- Schiebertemperatur
- Pressengeschwindigkeit

Bei der Auswahl von Werkstücktemperatur und Schiebertemperatur entsteht innerhalb der verschleißarmen Prozessführung ein Konflikt durch thermische Wechselwirkungen. Durch eine erhöhte Werkstücktemperatur wird die material-spezifische notwendige Umformkraft reduziert. Diese Umformkraft stellt gleichermaßen die resultierende Rückführkraft dar, welche auf das Keil-Schiebersystem wirkt. Somit führt eine erhöhte Werkstücktemperatur zu tendenziell geringeren Verschleißerscheinungen in den Gleitplatten, welche aus der oben erwähnten Reduzierung des Anpressdrucks resultieren. Eine Erhöhung der Schiebertemperatur führt gleichermaßen zu einer Erhöhung der Verschleißerscheinungen. Für die verwendeten Gleitplatten aus Sintermetall lassen sich die Grenzwerte 180 °C im geschmierten Zustand und 250 °C im ungeschmierten Zustand festsetzen.

Innerhalb der Prozessauslegung müssen ebenfalls Grenzwerte der Pressengeschwindigkeit berücksichtigt werden. Die maximale Normalgeschwindigkeit der Gleitelemente zueinander sollte 650 mm/s im ungeschmierten und 1.300 mm/s im geschmierten Prozess nicht überschreiten. Darüber hinaus besteht ein Verhältnis von Druck und Geschwindigkeit, das den normalienspezifischen Pv-Wert darstellt. Innerhalb der empfohlenen Sintermetallplatten liegt dieser Wert bei $2.950 \text{ daN/cm}^2 \times \text{m/min}$. Dieses hat zur Folge, dass die Prozessauslegung für jeden Prozess spezifisch angepasst werden muss. Ist eine hohe Pressengeschwindigkeit gewünscht, muss der resultierende Druck reduziert werden und umgekehrt. Für den Grenzbereich von $2.950 \text{ daN/cm}^2 \times \text{m/min}$ wird dieses Verhältnis in Bild 4 dargestellt. Die Variable A stellt hier exemplarisch eine Kontaktfläche von 256 cm^2 dar.

Wie zu erkennen ist, kann bei prozessspezifisch notwendigen hohen Anpressdrücken und Pressengeschwindigkeiten durch eine Anpassung der Kontaktfläche A zwischen den Gleitelementen eine verschleißarme Umsetzung gewährleistet werden.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Durch die Ergebnisse der Verschleißuntersuchungen lassen sich mehrdirektionale Prozesse in der Warmmassivumformung künftig verschleißarm und wirtschaftlich optimieren. Die ermittelten, verschleißinduzierenden Prozessparameter innerhalb der Konstruktionsrichtlinie stellen elementares Grundwissen dar, welches prozessspezifisch angewendet werden kann. Grundsätzlich hängt das wirtschaftliche Potenzial mehrdirektionaler Schmiedeprozesse unter Verwendung von Schieberwerkzeugen vom Anwendungsfall und den gewünschten Bauteilgeometrien ab. Mehrdirektionale Schmiedeprozesse bieten große Einsparpotenziale und können durch die gezielte Prozessauslegung unter Verwendung der erarbeiteten Ergebnisse hohe Standmengen aufweisen und die Wettbewerbssituation von Unternehmen positiv beeinflussen. Dadurch lassen sich die Herstellkosten für explizit ausgewählte Nischenbauteile mit deutlich erhöhter Komplexität künftig bei überschaubarem Investitionsaufwand reduzieren. Neben der prozessspezifischen Optimierung der Prozessparameter müssten in Zukunft Optionen zur konstruktiven Werkzeuganpassung in Hinblick auf lokale Kühlung beziehungsweise thermischen Isolierung der Schieber-Keil-Mechanik erarbeitet werden, um die Systeme in automatisierten Serienfertigungen gezielt einsetzen zu können.



[1] Industrieverband Massivumformung e. V., Branche – Kennzahlen, www.massivumformung.de/branche/kennzahlen, 2019

[2] Müller, S.; Müller, K.: Parameterstudie eines mehrdirektional wirkenden Werkzeugs zum gratlosen Präzisions-schmieden einer Zweizylinderkurbelwelle. In: STAHL, Verlag Stahleisen, o. Jg. 2008

[3] Dangel, R.: Spritzgießwerkzeuge für Einsteiger, 1. Aufl., Carl Hanser Verlag, München, 2015

[4] Pruner, H.; Nesch, W.: Spritzgießwerkzeug kompakt – Ein Praxisbuch für Einsteiger, Carl-Hanser Verlag, München 2012



Das IGF-Vorhaben 19911 N der Forschungsgesellschaft Stahlverformung (FSV) e. V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz



Industrielle
Gemeinschaftsforschung