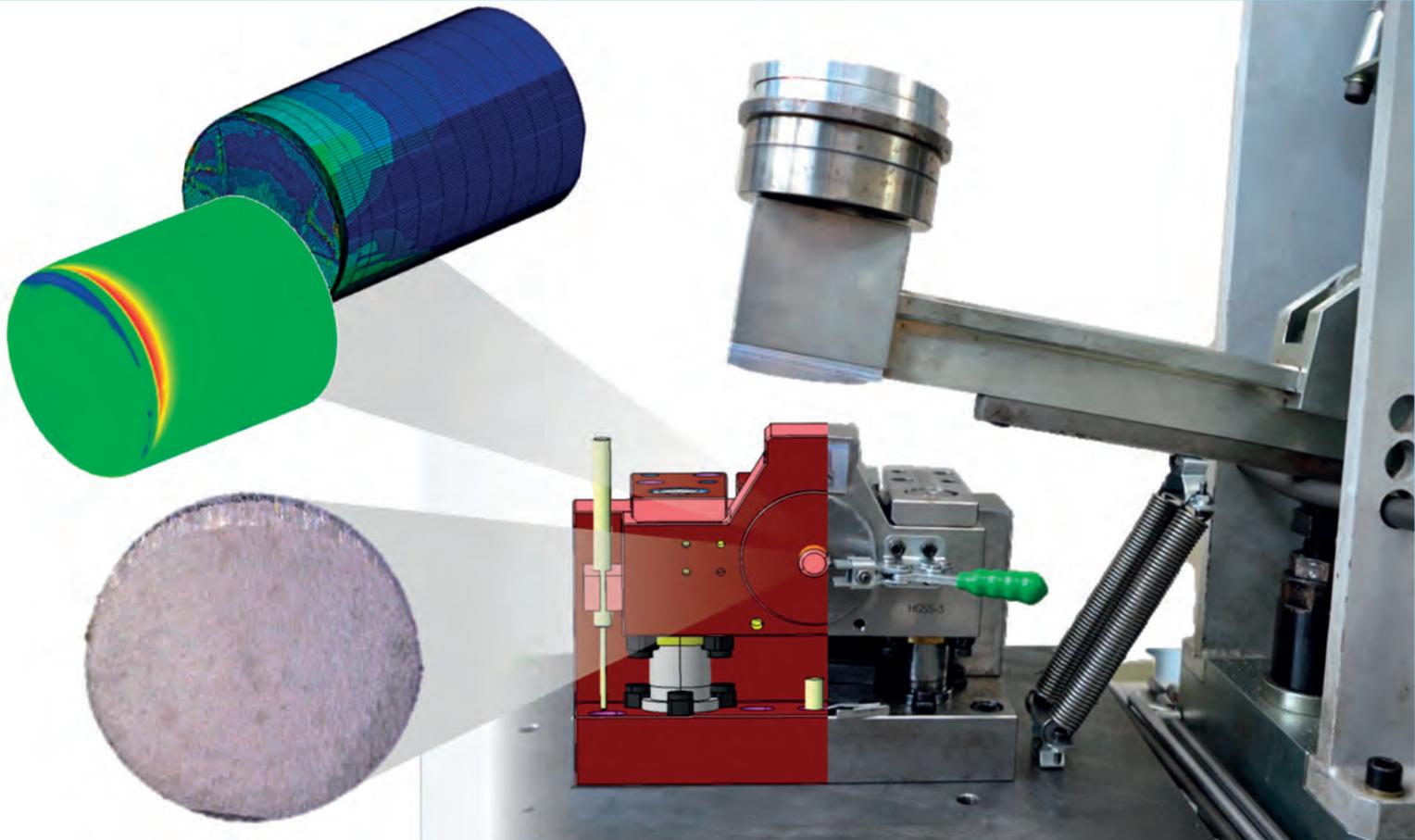


Hochgeschwindigkeits- scherschneiden von Stangenmaterial



Hochgeschwindigkeitsscherschneiden (HGSS) von Drähten oder Stangen aus Metall hat das Potenzial, die Qualität von Pressteilen signifikant zu steigern. Aufgrund begrenzter Kenntnisse über die Prozessparameter sowie über erreichbare Produktqualität dieses Scherschneidverfahrens sind derartige Schneidprozesse in industriellen Anwendungen nur vereinzelt zu finden. Die Zusammenarbeit dreier Forschungseinrichtungen erzeugte ein tieferes wissenschaftliches Verständnis und leistet einen Beitrag zur Verbreitung von HGSS-Prozessen.

AUTOREN



André Weiß, M.Sc.

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Umformtechnik (IFU) der Universität Stuttgart



Dr. Maksim Zapara

leitet das Team „Massivumformung“ am Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM in Freiburg



Dr.-Ing. Stefan Offermanns

ist stellvertretender Leiter des Referats „Hochgeschwindigkeitsbeanspruchung“ an der Materialprüfungsanstalt (MPA) der Universität Stuttgart

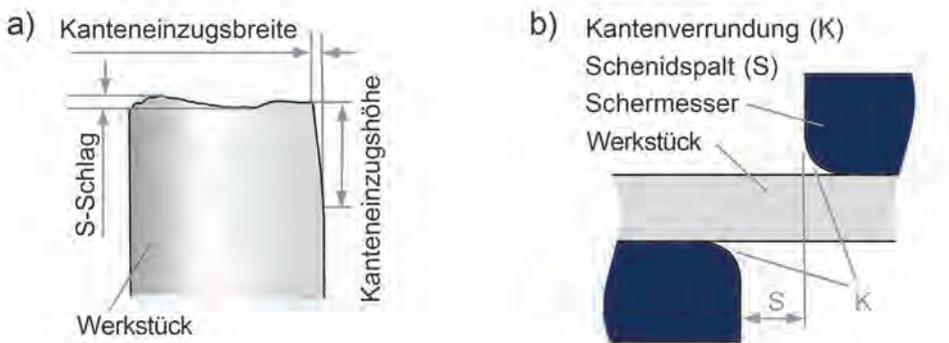


Bild 1: a) Auswahl relevanter Scherfehler am Werkstück;
b) Geometrieparameter des Schervorgangs

Steigende Anforderungen an Kaltumformprozesse und an die Qualität kaltgepresster Produkte führen in der Massivumformung dazu, dass Draht- beziehungsweise Stangenabschnitte mittels Sägen getrennt werden. Dieses Trennverfahren ist mit einem hohen Materialverlust und folglich mit erhöhten Produktionskosten verbunden. Eine mögliche Alternative hierzu bildet die Trennung des Halbzeugs mittels Scherschneidens. Das konventionelle Scherschneiden mit relativ geringer Schergeschwindigkeit verursacht jedoch geometrische Fehler (Bild 1a) sowie eine Werkstoffverfestigung in der Scherfläche des Halbzeugs. Um diese Effekte zu kompensieren, sind nach einer Scherschneidoperation zumeist ein Setzprozess oder eine zusätzliche Glühbehandlung erforderlich.

Das Hochgeschwindigkeitsscherschneiden (HGSS) bietet das Potenzial, die Qualität der Halbzeuge gegenüber dem konventionellen Scherschneiden signifikant zu steigern, wodurch der heute üblicherweise erforderliche Setzprozess des Stangenabschnitts überflüssig wird. Der Einsatzbereich des HGSS-Verfahrens zum Trennen von Stangenmaterial ist aufgrund der stark limitierten Kenntnisse bezüglich der Wechselwirkungen zwischen den Prozessparametern (Bild 1b) und deren Auswirkungen auf den Trennprozess stark eingeschränkt. Wei-

terhin verhindern aktuelle anlagen- und werkzeugtechnische Limitierungen eine breite industrielle Anwendung des Prozesses. Als Beispiele hierfür sind die unbekannte HGSS-Trennenergie und fehlende Konstruktionsrichtlinien zur Werkzeugauslegung zu nennen.

Das IGF-Vorhaben 19217 N „Hochgeschwindigkeitsscherschneiden von Stangenmaterial“ verfolgte einen ganzheitlichen Ansatz, um ein vertieftes Verständnis über den Trennprozess und die daraus folgende Produktqualität zu erlangen. Den Hauptbestandteil dieser Untersuchung bildeten die engen Wechselwirkungen zwischen drei Abschnitten: den komplexen Werkstoffuntersuchungen unter hohen Dehnraten im Labor (MPA Stuttgart), der numerischen Modellbildung des Werkstoffverhaltens (Fraunhofer IWM) und den experimentellen Prozessanalysen an einer HGSS-Anlage (IFU Stuttgart). Hierdurch war es möglich, den Trennvorgang bei hohen Formänderungsgeschwindigkeiten experimentell und numerisch abzubilden oder zu analysieren. Das Ziel bestand darin, einerseits Verfahrensgrenzen zu bestimmen und andererseits physikalische Effekte in der Scherfläche des Abschnitts nachvollziehen zu können.

Die Untersuchung des HGSS-Prozesses fokussierte auf zwei wesentlichen Forschungsschwerpunkten. Im Rahmen einer Parameterstudie wurden einerseits die Prozess- und Werkzeugeinflüsse auf den Trennprozess mit hohen Messergeschwindigkeiten systemisch ausgewertet, andererseits die Auswirkung der sich mikrostrukturell und geometrisch ausbildenden Trennfläche des Abschnitts auf einen Folgeumformprozess. Dadurch konnte ein tieferes Prozessverständnis erlangt werden, um den Einfluss von Geometrie-, Prozess- und Werkstoffparametern auf die Qualität der Scherfläche explizit quantifizieren zu können.

Zur Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Trennflächen auf einen Folgeumformprozess wurden Halbzeuge mit den Verfahren Drehen, konventionelles Scherschneiden (NGSS) und HGSS hergestellt. Der Durchmesser der Stangen aus dem untersuchten Werkstoff 16MnCr5 betrug 16 mm. Das Versuchsprogramm des Projekts umfasste dabei die Durchführung des Trennvorgangs sowohl mit niedrigen (NGSS) als auch mit hohen Messergeschwindigkeiten (HGSS), darüber hinaus auch mittels Drehen. Die durch diese unterschiedlichen Trennverfahren erzeugten Stirnflächen wiesen sowohl in der Härte als auch in den geometrischen Eigenschaften signifikante Unterschiede

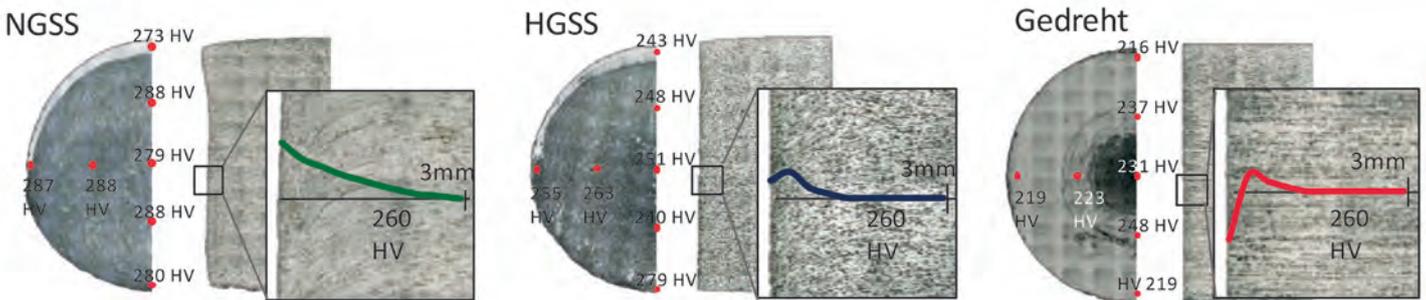


Bild 2: Verteilung der Härte nach Vickers auf der Stirnfläche und im Längsschnitt nahe den Trennflächen

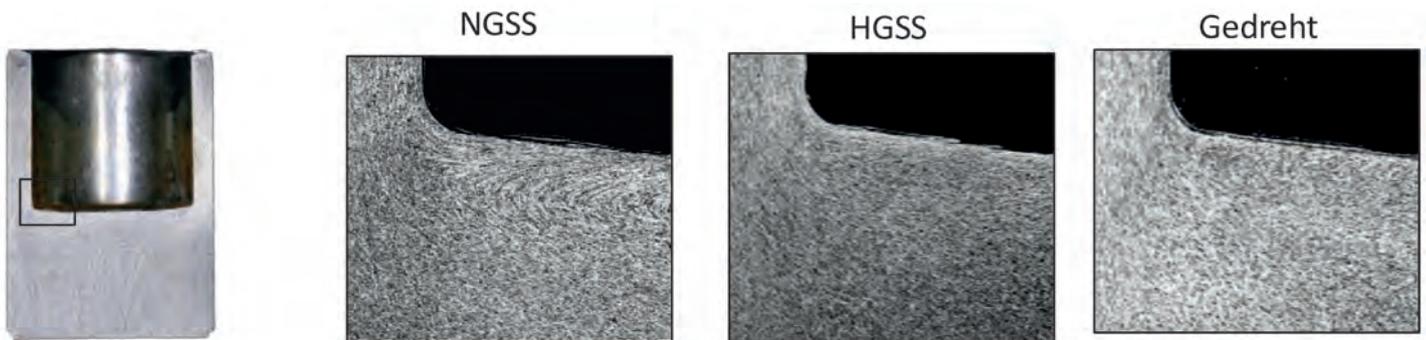


Bild 3: Schnittansicht der Napfgeometrie mit Fließlinienätzung

Eine am IFU Stuttgart experimentell durchgeführte Parameterstudie ermöglichte es, die Qualitätsmerkmale der Scherfläche beim HGSS der untersuchten Werkstoffe in Abhängigkeit von den gegebenen Prozessparametern vorherzusagen. Auf Basis der Untersuchungsergebnisse war es möglich, die beim HGSS aufgetretenen Scherfehler zu identifizieren und diese durch die Einstellung der Prozessparameter Schergeschwindigkeit, Scherspalt und Kantenverrundung zu beseitigen. Die Analyse der Qualitätsmerkmale der erzeugten Scherflächen zeigte, dass ab einer Schergeschwindigkeit von 3,5 m/s für den Werkstoff 16MnCr5 das adiabatische Trennen beziehungsweise Hochgeschwindigkeitstrennen einsetzt. Der Werkstoff EN AW-6082 zeigte dieses Verhalten im untersuchten Schergeschwindigkeitsbereich bis 8 m/s nicht.

auf. Der S-Schlag der Scherfläche (Bild 1b) der mittels NGSS hergestellten Halbzeuge zeigte sich dabei um den Faktor 3 deutlicher als der S-Schlag der durch HGSS erzeugten Abschnitte. Die ermittelten Härteverteilungen in der Stirnfläche des Abschnitts und in Richtung der Halbzeuglängsrichtung sind in Bild 2 dargestellt. Das mittels NGSS hergestellte Halbzeug wies die höchsten Härtewerte in Relation zur Härte des Ausgangsmaterials auf.

An den Trennprozess schloss sich ein Napf-Rückwärts-Fließpressprozess an, anhand dessen ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Trennverfahren und den Qualitätsmerkmalen der erzeugten Pressteile nachgewiesen werden konnte. Die maximalen Stempelkräfte beim Napf-Rückwärts-Fließpres-

sen des gedrehten Stangenabschnitts und des mittels HGSS getrennten Abschnitts befanden sich auf ähnlichem Niveau. Deutlich höhere maximale Stempelkräfte wurden beim Umformen eines Abschnitts ermittelt, welcher mit niedrigen Schergeschwindigkeiten abgetrennt wurde. Da diese hohe Presskraft zu einer höheren elastischen Dehnung des Pressenrahmens führte, korrelierte diese Beobachtung mit der verbleibenden Napfbodendicke, die bei den NGSS-Halbzeugen größer ausfiel.

Bild 3 stellt in identischer Orientierung getrennte Nöpfe mit Fließlinienätzungen dar: In dem aus einem NGSS-Halbzeug hergestellten Napfboden sind die durch den Trennvorgang

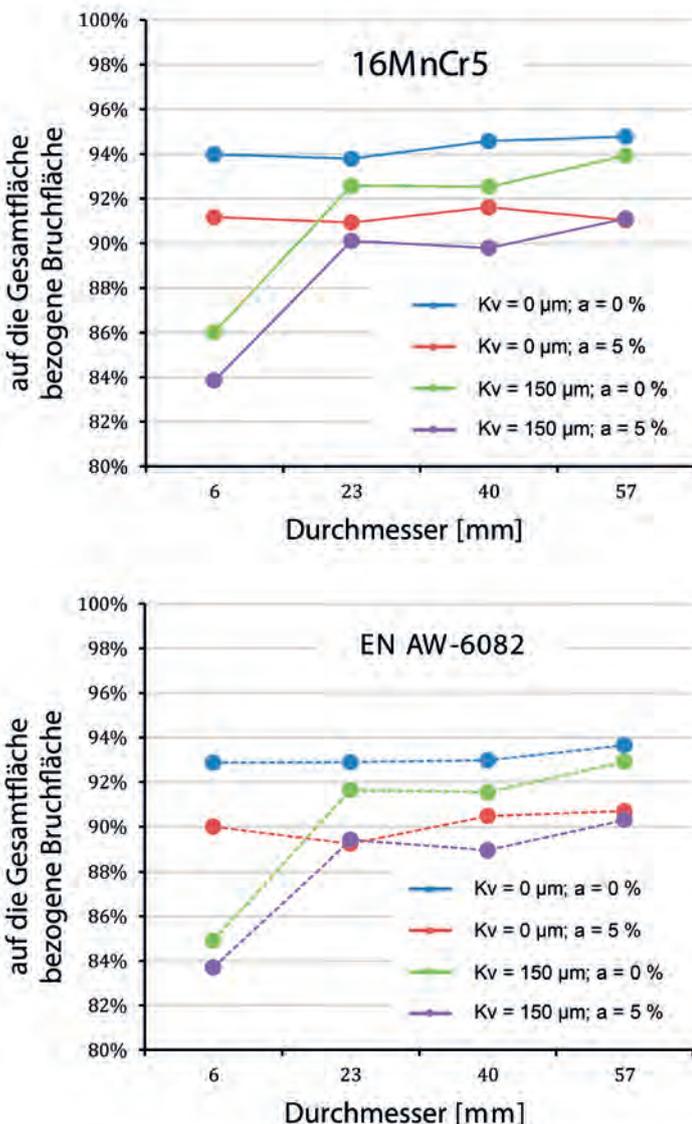


Bild 4: Numerisch berechneter Bruchflächenanteil für 16MnCr5 (oben) und EN AW-6082 (unten) mit Schneidgeschwindigkeit 5 m/s, Kv = Kantenverrundung, a = Schneidspalt

verursachten Fließlinien auch nach der Umformung deutlich zu erkennen. Die Fließlinien des gedrehten Halbzeugs und des HGSS-Halbzeugs wiesen nahezu keine Unterschiede auf und lieferten keine Hinweise auf den Trennprozess.

Die Koaxialitätsabweichungen und die Oberflächenbeschaffenheit der Pressteile der durch HGSS erzeugten und gedrehten Abschnitte waren durchgehend miteinander vergleichbar. An den Pressteilen aus den konventionell getrennten Halbzeugen (NGSS) wurden hingegen beträchtliche richtungsabhängige Koaxialitätsabweichungen festgestellt. Als Ursache gelten die Auslenkung des Napfstempels und eine gröbere Oberflächenbeschaffenheit der Napffinnenoberfläche durch die raue Scheroberfläche. Die richtungsabhängige Stempelauslenkung wurde dem dreifach stärker ausgebildeten S-Schlag der mittels NGSS hergestellten Halbzeuge zugeordnet. Damit konnte die Hypothese bestätigt werden, dass die Qualität der durch das HGSS erzeugten Halbzeuge für einen Umformprozess ohne eine korrigierende Umformstufe, wie es zum Beispiel das Setzen darstellt, ausreichend sein kann.

Da die Experimentalversuche lediglich einen begrenzten Parameterraum abdecken konnten, war es zwingend erforderlich, den HGSS-Prozess für ein vertieftes Prozessverständnis numerisch zu modellieren und den Erkenntnisstand auf Basis der experimentell erhobenen Daten zu erweitern. An der MPA Stuttgart erfolgte eine thermomechanische Werkstoffcharakterisierung von zwei repräsentativen Stählen (16MnCr5 und C4C) sowie einer Aluminiumlegierung (EN AW-6082), um eine möglichst hohe Abbildungsgenauigkeit des Schervorgangs beziehungsweise dessen numerische Modellierung zu erreichen. Der Fokus der Werkstoffcharakterisierung lag auf dem Schädigungs- und Trennverhalten bei hohen Dehnraten und hohen Temperaturen.

Anhand der experimentell ermittelten Werkstoffdaten wurden an der MPA Stuttgart und am Fraunhofer IWM in Freiburg die zur numerischen Prozessmodellierung notwendigen unbekannt Materialparameter identifiziert. Dazu wurden die Parameter für das Johnson-Cook-Materialmodell [1] sowie für das Schädigungsmodell nach Bao & Wierzbicki [2] bestimmt.

Das Schädigungsmodell wurde als Post-Processing-Subroutine in die Finite-Elemente-Programme ABAQUS/Explicit und FORGE® NxT implementiert. Unter Verwendung des parametrisierten Schädigungsmodells wurden die Charakterisierungsexperimente zur Materialtrennung am IWM vollständig nachgerechnet. Das erstellte Materialmodell bildete die Basis für die numerische Simulation des HGSS-Prozesses, welche ebenfalls am Fraunhofer IWM durchgeführt wurde. Das dreidimensionale FE-Modell des HGSS-Prozesses wurde mit der Software FORGE® NxT erstellt und anhand der geometrischen Ergebnisgrößen mit den am IFU Stuttgart durchgeführten experimentellen Parameterstudien validiert.

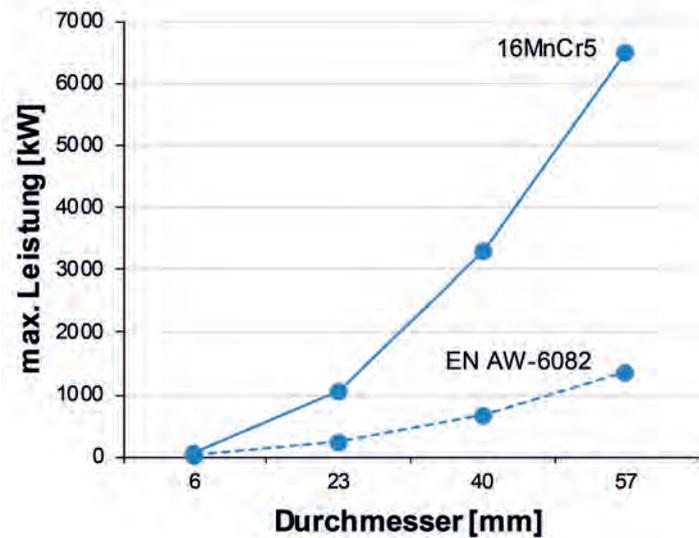
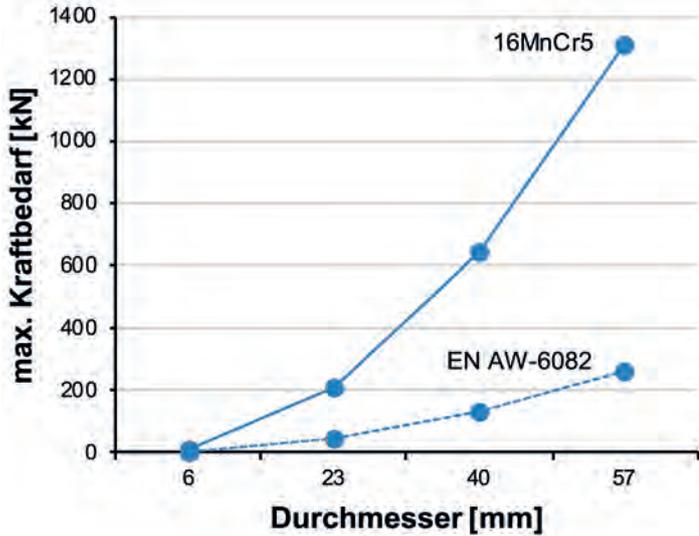


Bild 5: Numerisch berechnete prozessbezogene Ergebnisgrößen Kraftbedarf (oben) und Leistung (unten) für eine Schneidgeschwindigkeit von 5 m/s

Zur Erweiterung der experimentellen Ergebnisgrößen auf Stangendurchmesser im Bereich von 6 mm bis 57 mm wurden Rechnungen nach einem vollfaktoriellen numerischen Versuchsplan mit einer Schergeschwindigkeit von 5 m/s durchgeführt. Bild 4 stellt den ermittelten Einfluss des Stangendurchmessers auf die bezogene Bruchfläche repräsentativ dar. Die auf die Gesamtfläche bezogene Bruchfläche zeigt für eine geringe Kantenverrundung (Radius der Schneidkante) einen nahezu konstanten Verlauf. Bei einer stark ausgeprägten Kantenverrundung von 150 µm ist eine starke Abhängigkeit vom Stangendurchmesser zu erkennen. Der bezogene Bruchflächenanteil ist bei dem kleinen Durchmesser $d = 6$ mm deutlich geringer ausgeprägt als bei größeren Durchmessern. Mit einem größer werdenden Schneidspalt sinkt der Anteil der Bruchfläche, wodurch größere Deformationen und eine höhere Verfestigung der Schnittfläche entstehen. Dementsprechend wurden eine geringe Kantenverrundung und ein geringer Schneidspalt für HGSS-Prozesse als vorteilhaft identifiziert. Die in Bild 4 dargestellten Diagramme ermöglichen eine Prognose der Bauteilqualität für HGSS-Prozesse mit großem Stangendurchmesser. Da die Bauteilqualität keine signifikante Variation bei Durchmessern größer 23 mm aufweist, ist die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse von kleinen auf größere Durchmesser gegeben.

Damit die für einen HGSS-Prozess benötigte Kraft und Leistung für große Durchmesser ebenfalls bestimmt werden können, wurden die Diagramme in Bild 5 erstellt. Der Kraftbedarf weist einen quadratischen Verlauf auf, was einem linearen Anstieg zur Stangenquerschnittsfläche entspricht. Der Energiebedarf zeigt eine kubische Proportionalität zum Stangendurchmesser. Für alle untersuchten Parameter wie Kantenverrundung und Schneidspalt wurden annähernd identische Ergebnisse ermittelt, weshalb diese in Bild 5 nicht gesondert dargestellt sind.

FAZIT

Die Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Scherflächenqualitäten auf einen nachfolgenden Umformprozess verdeutlicht eindrucksvoll die Relevanz einer möglichst geringen verfestigten und ebenen Stirnfläche. Die mittels HGSS getrennten Stangenabschnitte weisen dabei eine mit gesägten Abschnitten vergleichbare Scherflächenqualität auf. Damit die Prozessparameter eines HGSS-Vorgangs möglichst produktionsnah gewählt werden können, wurden Arbeitsdiagramme zur Einstellung von konstruktiv geeigneten Maschinen- und

Werkzeuggeometrieparametern erstellt. Mittels dieser Diagramme kann unter anderem die benötigte Leistung der HGSS-Anlage in Abhängigkeit von dem zu trennenden Durchmesser bestimmt werden. Diese Diagramme ermöglichen es auch, bei der Neukonstruktion von HGSS-Trennanlagen das erforderliche Leistungsvermögen der Maschine zu berechnen. Somit können aufwendige Erprobungszyklen zur Dimensionierung und Auslegung von HGSS-Prozessen oder HGSS-Werkzeugen entfallen, und die Serienreife der mittels HGSS getrennten Abschnitte ist preisgünstiger und schneller zu erreichen.



[1] Johnson, G.R.; Cook, W.H.: A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rate, and temperatures, in: International Symposium on Ballistics, The Hague, The Netherlands, 1983, pp. 1 – 7

[2] Bao, Y.; Wierzbicki, T.: On Fracture Locus in the Equivalent Strain and Stress Triaxiality Space. International Journal of Mechanical Sciences, 2004, 46, S. 81 – 98



Das IGF-Vorhaben Nr. 19217 N der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Stahlverformung e. V. wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (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 Abschlussberichtes kann bei der FSV, Goldene Pforte 1, 58093 Hagen, angefordert werden.

Gefördert durch:



**Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie**

IGF
Industrielle
Gemeinschaftsforschung

aufgrund eines Beschlusses
des deutschen Bundestages