

Einsatz und Nutzen keramischer Aktivelemente für die industrielle Stanztechnik

Leonhardt, M. (1); Donhauser, C. (1); Menzl, M. (2)

Die Anforderungen und Ansprüche an die Stanztechnik, für nahezu jede produktspezifische und fertigungstechnische Aufgabenstellung individuelle Lösungen insbesondere hinsichtlich Verbesserung und Erhöhung der Standzeit anzubieten, nehmen stetig zu.

In den verschiedenen Industriezweigen ist daher ein eindeutiger Trend zu immer hochwertigeren Aktivelementen bzw. Schneidstoffen erkennbar. Der vorliegende Beitrag befasst sich in diesem Zusammenhang mit der spanlosen Stanz-Bearbeitung von tribologisch anspruchsvollen Kupferlegierungen. So lagern sich beispielsweise bei der Bearbeitung dieser Werkstoffe harte Legierungsbestandteile wie Eisen (Fe) oder Silizium (Si) an den Korngrenzen ab, was zum erhöhten Verschleiß beim Stanzprozess führt. Die einhergehende Verkürzung der Werkzeugstandzeit bedeutet bei dem derzeitigen Stand der Technik zu hohe und nicht tragbare Fertigungskosten. Der Einsatz von verschleißfesten Aktivelementen aus Keramik soll hierbei im Vergleich zur Anwendung von üblichen Standardmaterialien, wie z.B. Hartmetall, entscheidende Vorteile einspielen.

Stand der Technik

Der Stanzprozess definiert sich durch einen wiederkehrenden zyklischen Arbeitsablauf, bei dem ein Blech ge- bzw. beschnitten wird. [1] Die in einem Werkzeug montierten Aktivelemente, welche aus Stempel und Matrize bestehen, sind hierbei die relevanten Funktionselemente. Diese zeigen, je nach gesetzten Prozessparametern, mehr oder weniger starkes Verschleißverhalten. So wurde in vorangegangenen Arbeiten der Einfluss von Schneidspaltbreite, Niederhalterkraft, Schneidkantenverrundung, Pressengeschwindigkeit und Stempelaufhängung auf den auftretenden Verschleiß aufgezeigt. [2–12]

Der entstehende Verschleiß wird demnach durch eine Kombination aus adhäsiven,

abrasiven und tribochemischen Mechanismen hervorgerufen und zeigt sich an der Schnittkante in Form von Mantelflächen-, Stirnflächen und Kolkverschleiß. Messbar ist auch hier eine Kombination aus diesen drei Erscheinungsformen. [13–16]

Die Abhängigkeit relevanter Prozessfaktoren vom Verschleißverhalten ist auch in der Schnittflächenaufteilung zu erkennen. Quantifizierbare Faktoren wie die Grathöhe, der Schneid- und Reißanteil, sowie der Einzugsradius sind im Prozessverlauf Veränderungen unterworfen, die signifikant vom dabei zunehmenden Verschleiß abhängen. [2, 6, 7, 14, 15, 17–20]

Frühere Arbeiten zeigten eine eingeschränkte Prozesssicherheit bei der Kombination von keramischen Aktivelementen und höherfesten Bandmaterialien mit Blechdicken von mindestens 1 mm. Eine weichere, aber dennoch anspruchsvolle, weil abrasive Kupfer-Legierung wurde bislang nicht untersucht. [17, 21, 22]

Weitere Untersuchungen wiesen auf die Bedeutung einer verrundeten Schnittkante der Aktivelemente hin. [23] Hierdurch können Mikroausbrüche reduziert und Standzeiten der Aktivelemente erhöht werden. Das Verrunden der Kante kann einfach und reproduzierbar mittels Mikrostrahlen erfolgen. Bei diesem Verfahren wird ein abrasives Pulver in Verbindung mit einem Pulver mit vorgegebener Kugelgeometrie mittels definiertem Druck auf die Schnittkante eingestrahlt, wobei ein minimaler und gut reproduzierbarer Oberflächenabtrag erzeugt wird. Die erhaltenen Kantenradien liegen im Bereich von 5 µm bis 25 µm. Als alternatives Verfahren kann aber ebenso auch das Schleppscheifen angewandt werden. [5, 14, 23]

Je nach Anforderungen und gegebenem Kostenrahmen werden als Aktivelementwerkstoffe aktuell hauptsächlich Werkzeugstähle, PM-Stähle und Hartmetalle eingesetzt. [24] Keramiken bilden auf Grund ihrer Härte, Verschleißfestigkeit und chemischen Beständigkeit allerdings eine innovative und attraktive Alternative in der Verwendung als Schneidstoffe. Im Drehprozess erreichte man durch deren Einsatz z.B. eine deutliche Steigerung der Standzeit. Neueste Entwicklungen ermöglichen auch unterbrochene Schnitte. Dieses Verhalten lässt sich auch auf den Stanzprozess übertragen. [25–28] Allerdings müssen auch die geringe Bruchzähigkeit von keramischen Werkstoffen und die relativ geringe Zugfestigkeit bzw. die hieraus ableitbare hohe Empfindlichkeit gegen auftretende Biegemomente als Schwächen dieser Materialgruppe berücksichtigt werden.

Keramiken werden aus einer pulverförmigen, mit diversen funktionellen Zusatzstoffen aufbereiteten Rohmasse geformt und verdichtet, um über einen anschließenden definierten Sinterprozess die gewünschten und typischen Werkstoffeigenschaften zu erhalten. Je nach keramischem Material und angewandtem pulvertechnologischen Prozess können sich hierbei unterschiedliche Gefügeausprägungen ausbilden, die maßgeblich das mechanische und tribologische Eigenschaftsprofil bestimmen.

In Hinblick auf wirtschaftliche Herstellverfahren ist in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen, dass Keramiken in der Regel nach dem Sintern eine sehr hohe Härte und Verschleißfestigkeit zeigen. Daher sind keramische Werkstoffe wirtschaftlich nur direkt nach dem Formgebungsprozess bzw. im angesinterten Zustand bearbeitbar. Nach dem Sinterprozess ist lediglich eine teure und aufwändige Hartbearbeitung mittels Diamantwerkzeug zielführend.

Ziel der Untersuchungen

Ziel der Versuche ist es, das Verschleißverhalten diverser keramischer Materialien im Stanzprozess zu untersuchen und zu beurteilen.

Frühere Arbeiten beschränkten sich auf Siliziumnitrid und Zirkondioxid. Weiterentwicklungen der keramischen Werkstoffe zeigt die Notwendigkeit ein erneutes Werkstoffscreening durchzuführen und in Frage kommende Keramiken im Stanzprozess auf deren Verschleißverhalten zu testen. Die diesem Projekt zu Grunde liegen-

Material Aktivelemente	4 Keramiken 1 Referenzmaterial (Hartmetall)	Schneidstempel
Anzahl Stempel im Werkzeug	3	
Versuchsgeometrie	Kreisgeometrie Ø6 mm	
Schneidkantenradius	$15 \mu\text{m} < r < 25 \mu\text{m}$	
Oberflächenrauigkeit	$0,1 \mu\text{m} < R_a < 0,5 \mu\text{m}$	
Bandmaterial	Kupferlegierung CuSiNi	Bandmaterial
Zugfestigkeit des Bandes	$R_m = 600 \text{ N/mm}^2$	
Niederhaltekraft	30 % der max. Schneidkraft	Werkzeug- und Anlagenparameter
Schneidspalt	5 % der Banddicke	
Eintauchtiefe	2 x Banddicke	
Hubzahl	250/min	
Beölung	trocken	

Tabelle 1: Versuchsmatrix

de Versuchsmatrix zeigt sich in zwei Versuchsmaterialien erweitert. Das SiAlON zeichnet sich durch besondere Eigenschaften wie einen Gradientenverlauf der Härte über den Querschnitt in Verbindung mit einer besonders hohen Oberflächenhärte aus. Die Mischkeramik lässt sich mittels Drahterodieren bearbeiten, was besonders der Nachbearbeitung im Werkzeugbau Rechnung trägt. Die Berücksichtigung aktueller Anforderungen an das Aktivelementmaterial sowie aktuelle innovative Materialien grenzt dieses Forschungsvorhaben von den bisher durchgeführten ab.

Versuchsdurchführung

Im Vorfeld der Versuche wird mittels einer softwarebasierten Materialdatenbank eine systematische Werkstoffauswahl geeigneter keramischer Materialien unter Anwendung des Auswahlkonzeptes nach Ashby durchgeführt. [29, 30]

Hierbei wurde im Kern folgendes Eigenschaftsprofil angesetzt:

W 4-Punkt Biegefestigkeit > 800 MPa,

W Bruchzähigkeit > 5 MPa·m^{1/2},

W Härte HV10 > 1.100.

Der Mindestanforderung für Festigkeit und Härte liegen einschlägige Literaturangaben zu Grunde [21], bei der Bruchzähigkeit wird sich am untersten Wertebereich von Hartmetallen orientiert.

Als Ergebnis können vier keramische Werkstoffgruppen als vielversprechendes alternatives Aktivmaterial identifiziert werden: Siliziumnitrid, umwandlungsverstärktes Zirkonidoxid, SiAlON, sowie eine leitende Mischkeramik, welche durch Drahterodieren bearbeitet werden kann. Letztere ist im besonderem wegen der

Möglichkeit zur wirtschaftlichen Oberflächenbehandlung von großem Interesse. Als Referenzmaterial wird eine korrosionsbeständige Hartmetallsorte mit 12% Binderanteil gewählt (H40S).

Für die Versuche wird ein dreifach-fallendes Versuchswerkzeug auf der Presse einer Bihler GRM80E montiert. Die Anlage wird mit einer Hubzahl von 250 Hub/min betrieben.

Die Versuchsmatrix wird wie in Tabelle 1 dargestellt festgelegt.

Alle Aktivelemente durchlaufen eine Versuchsdauer von 400.000 Prozesszyklen. Zur Erhöhung der statistischen Sicherheit

werden pro Versuchslauf drei Stempel aus jeweils identischem Material verbaut.

Messgrößen

Für die Aufnahme und Bewertung der Messgrößen wird ein 3D-Laserscanning Mikroskop (Fa. Keyence, VK-X100) verwendet.

Im Rahmen jeder Versuchsreihe wird zunächst der jeweilige Ausgangszustand der Aktivelemente dokumentiert. Relevante Messgrößen sind dabei die Schnittkantenverrundung, die Oberflächenrauigkeit im Eintauchbereich und der Oberflächenprofilverlauf im Kantenumfang der Aktivelemente. Diese Untersuchungen werden alle 50.000 Hub wiederholt, wobei der Stanzvorgang unterbrochen, die Aktivelemente entnommen und vermessen werden.

Durch die Aufnahme des im Prozessverlauf durch tribologischen Abtrag verursachten rückschreitenden Oberflächenprofils im Kantenbereich der Aktivelemente lassen sich zusätzlich gut quantifizierbare Verschleißgrößen wie die 45° Verschleißlänge in Abhängigkeit zunehmender Hubzahlen detektieren. In Abbildung 1 ist diese Messgröße veranschaulicht. [31]

Neben der Verschleißbeurteilung der Aktivelemente werden im Prozessverlauf ebenso Untersuchungen am Stanzteil durchgeführt. Im Fokus stehen dabei Grat-

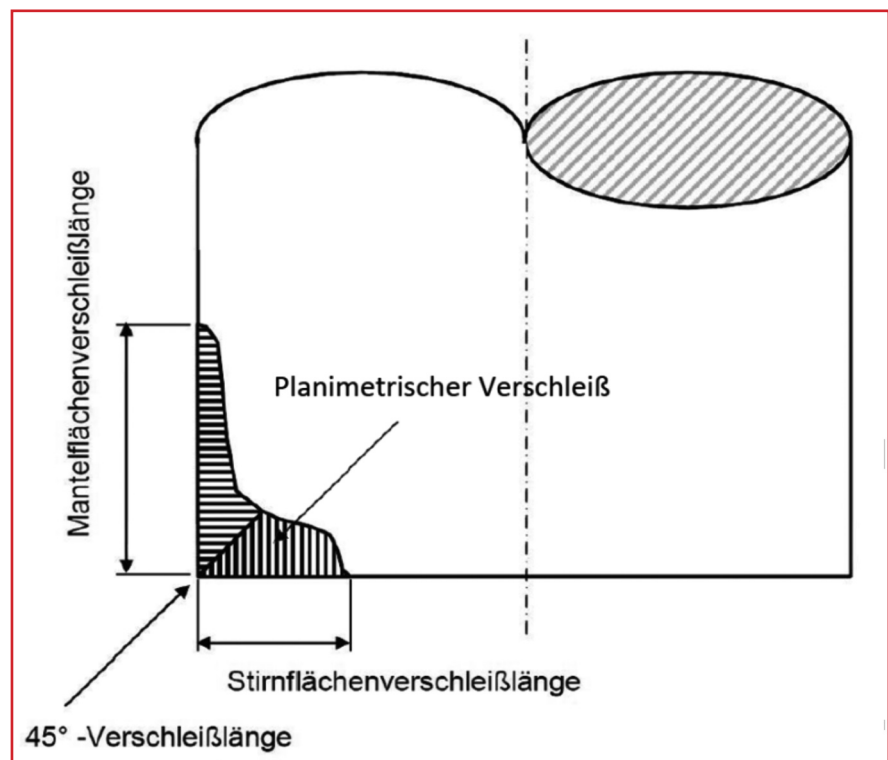


Bild 1: 1 Verschleißkenngrößen [31]

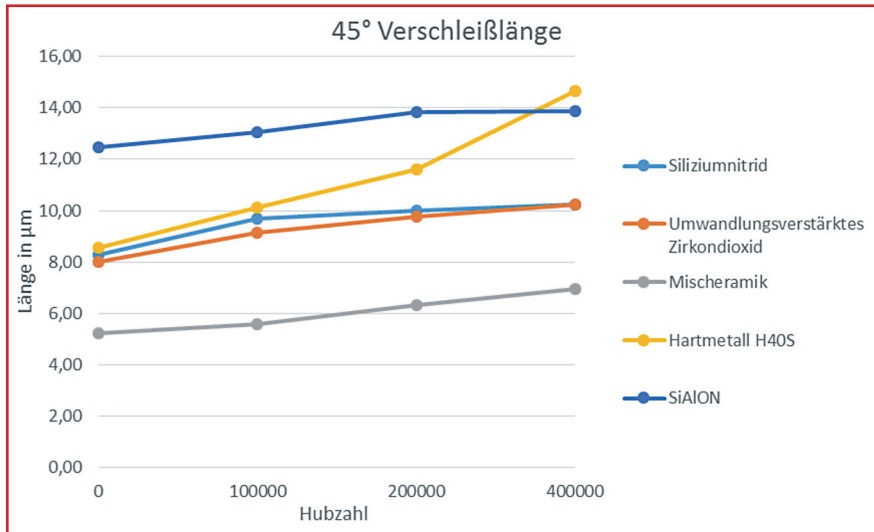


Bild 2: Verlauf der absoluten Werte der 45° Verschleißlänge

höhe, Reiß- und Schneidanteil, sowie der Kanteneinzug.

Ergebnisse und Bewertung

Bis 400.000 Hub kann an den untersuchten Stanzteilen bei keiner der Versuchsreihen mit Einsatz keramischer Aktivelemente eine nennenswerte Verschleißentwicklung festgestellt werden. Dieses positive Ergebnis beweist die hohe Prozesssicherheit, welche durch den Einsatz von Keramiken gewährleistet wird.

Der Fokus der Auswertungen wird daher auf die tribologische Beurteilung der Aktivelemente gelegt. Der Ausgangszustand der Schnittkante wird mittels Mikrostrahlen erzeugt. Der Radius wird auf einheitlich 20 µm eingestellt.

Eine Betrachtung der jeweiligen Schnittkanten nach 400.000 Stanzzyklen zeigt einen deutlichen Unterschied im Ver-

schleißverhalten der keramischen Werkstoffgruppen und des Referenzmaterials Hartmetall. In Abbildung 3 sind zur Veranschaulichung die Verläufe der 45° Verschleißlänge dargestellt.

Unter den Keramiken zeigt SiAlON den geringsten Verschleiß. Einzig die leitfähige Mischeramik, welche mittels Drahterodieren bearbeitet werden kann, zeigt ein ähnlich gutes Verschleißverhalten. Der auftretende Verschleiß dieser Materialien ist um den Faktor 2,5 niedriger als beim Referenzmaterial Hartmetall.

Die bereits in vorhergegangenen Arbeiten getesteten Keramiken Siliziumnitrid und das umwandlungsverstärkte Zirkondioxid zeigen aber auch gegenüber dem Referenzmaterial Hartmetall einen signifikant geringeren Verschleißanstieg.

Weiterführende Aussagen lassen auch die gemittelten Steigungen der einzelnen Kurvenverläufe zu, welche den Verschleiß-

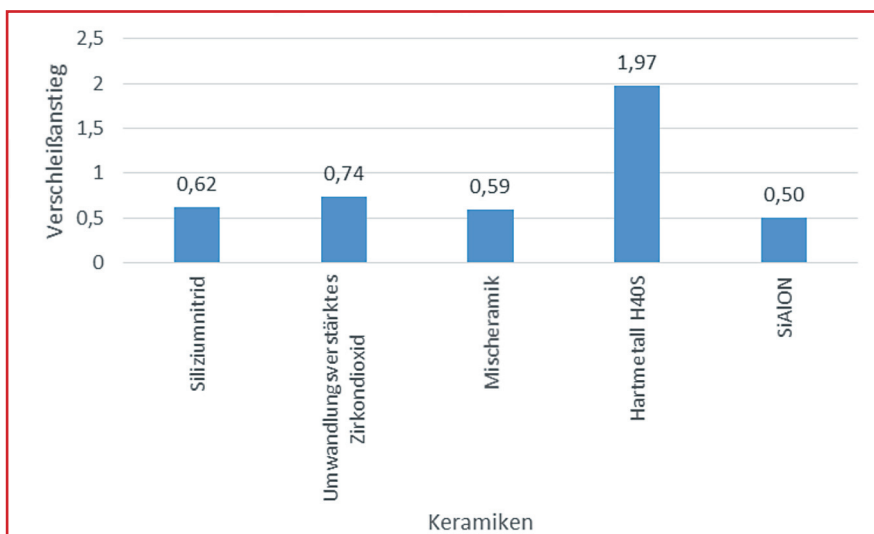


Bild 3: Steigung der ermittelten Verschleißgrößen

fortschritt im Prozessverlauf repräsentieren (siehe Bild 3). Hervorzuheben ist der besonders geringe Verschleißanstieg des SiAlON, der auch gegenüber der erodierbaren Mischkeramik deutlich niedriger liegt. Dabei zeigen alle Keramiken im Vergleich zum Referenzmaterial Hartmetall eine signifikant höhere Verschleißstabilität.

Fazit

Keramische Aktivelemente gewährleisten bei Stanzprozessen mit Bändern aus tribologisch anspruchsvollen Kupferlegierungen eine hohe Prozesssicherheit und -stabilität. Dabei ist der beobachtbare Verschleiß der keramischen Materialien signifikant geringer als bei vergleichbaren Standardmaterialien wie z.B. Hartmetall. Die Stanzqualität der applizierten fordernden Kupferbänder ist somit deutlich verbessert, wobei gleichzeitig die Standzeiten der Aktivelemente durch den Einsatz von keramischen Werkstoffen erheblich erhöht werden kann. In Summe können sich hieraus deutliche Einsparungspotentiale in der industriellen Fertigung ergeben, welche den Einsatz von Keramiken im Stanzprozess in Zukunft äußerst attraktiv erscheinen lässt.

Literatur

- [1] Manufacturing processes - Terms and definitions, division, DIN 8580, 2001-002.
- [2] Hisham Hamid, Process Monitoring of Blanking Coarse Grained and Ultra-fine Grained Aluminium Sheets: Using Force-Displacement Characteristics and Acoustic Emission Technique, 2010.
- [3] Emad Al-Momani, Ibrahim Rawabdeh, "An Application of Finite Element Method and Design of Experiments in the Optimization of Sheet Metal Blanking Process," Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, vol. 2008, no. Volume 2, pp. 53-63, 2008.
- [4] S. Maiti, A. Ambekar, U. Singh, P. Date, and K. Narasimhan, "Assessment of influence of some process parameters on sheet metal blanking," Journal of Materials Processing Technology, vol. 102, no. 1-3, pp. 249-256, 2000.
- [5] R. Hambli, "Design of Experiment Based Analysis for Sheet Metal Blanking Processes Optimisation," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 19, no. 6, pp. 403-410, 2002.
- [6] R. Hambli, S. Richir, P. Crubleau, and B. Taravel, "Prediction of optimum clearance in sheet metal blanking processes," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 22, no. 1-2, pp. 20-25, 2003.
- [7] C. Husson, J.P.M. Correia, L. Daridon, and S. Ahzi, "Finite elements simulations of thin copper sheets blanking: Study of blanking parameters on sheared edge quality," Journal of Materials Processing Technology, vol. 199, pp. 74-83, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013607007261>, 2008.
- [8] G. Fang, P. Zeng, and L. Lou, "Finite element simulation of the effect of clearance on the forming quality in the blanking process,"

