

Effekte des adiabatischen Trennens im Vergleich zum konventionellen Scherschneiden

Effects of adiabatic cutting in comparison to the conventional shear cutting process

*Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer
Dr.-Ing. Verena Kräusel
Dipl.-Ing. Patricia Weigel
Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, Chemnitz*

Abstrakt

In den vergangenen Jahren sind Anstrengungen unternommen worden, die Geschwindigkeit als wesentlichen Parameter auch für Schneid- und Trennprozesse zu nutzen. Das sogenannte Hochgeschwindigkeitsscherschneiden (HGSS) erfährt gegenwärtig und wohl auch in Zukunft einen Bedeutungszuwachs im Bereich der Blechbearbeitung. Bei dieser Technologie wird sich das frühzeitiges Scherversagen im Werkstoff durch die Erzeugung von Scherbändern zu Nutze gemacht, um eine besonders hohe Qualität der Trennflächen, d. h. gratarme, plane Trennschnitte, zu erzielen.

Abstract

A lot of activities were undertaken in the last few years to use the parameter velocity as another acting element also in shear cutting processes. In this regard the so-called High Speed Impact Cutting (HSIC) becomes nowadays and in the

future more and more importance in the field of sheet metal forming. This technology is based on the physical phenomenon of «shear band development» and is used in order to achieve a very high quality of the cutting surface, means burr-free and rectangular cuts.

Vortragshinweis

STAHL 2009, 12.11.2009, CongressCentrum Düsseldorf

Autorenangaben:

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Reimund Neugebauer -
Institutsleiter des Fraunhofer-IWU

Dr.-Ing. Verena Kräusel - Abteilungsleiterin Blechbearbeitung

Dipl.-Ing. Patricia Weigel - wiss. Mitarbeiterin, Abt. Blechbearbeitung

1 Einleitung und Motivation

Die Anwendung hoher Geschwindigkeiten in der Blechbearbeitung ist auf Grund der nachweisbaren, ressourcenrelevanten Effekte in der industriellen Praxis auf breites Interesse gestoßen, da jedes eingesparte Werkzeug-Aktivteil, jeder Millimeter an reduzierter Platinen- bzw. Stegbreite und jedes Gramm nicht benötigten Schmierstoffes zu Kosteneinsparungen führt und damit im Hinblick auf die derzeitige Marktsituation enorme Bedeutung erlangt.

Neben vielfältigen technischen Möglichkeiten der Erzeugung von Impulsenergie zur Beschleunigung der Werkzeugaktivteile ist es vor allem die Gestaltung der hoch dynamisch beanspruchten Schneidwerkzeuge selbst, die einen zügigen industriellen Durchbruch dieser Technologien noch verhindert - die erreichbaren Maß- und Formgenauigkeiten an geschnittenen Bauteilen haben bereits überzeugt.

1.1 Grundlagen

Auf dem Gebiet adiabatischer Verarbeitungsprozesse von metallischen Werkstoffen (Trennen, Umformen, Sintern) gibt es beispielsweise in Schweden langjährige Erfahrungen, die in den 1960er Jahren mit der Patentierung von Trennwerkzeugen für metallische Halbzeuge bekannt wurden.

Das grundlegende Wirkungsprinzip besteht darin, dass das bei hohen Geschwindigkeiten und Dehnraten veränderte Verformungs- und Versagensverhalten metallischer Werkstoffe auf eine Weise technologisch nutzbar gemacht werden soll, die eine qualitative Verbesserung des Schneidergebnisses ermöglicht.

Ein zu erwartendes Phänomen bei hohen Schnittgeschwindigkeiten ist die Entstehung zusätzlicher Spannungen im Werkstoff durch Trägheitseffekte [1]. Weiterhin kann das dehnratenabhängige Verfestigungsverhalten des Materials an Einfluss gewinnen, wenn beim Schneidprozess hinreichend hohe plastische Verformungen erreicht werden. Verformungslokalisierungen in Form von "adiabatischen Scherbändern" stellen bevorzugte Materialversagensorte dar und sind beispielsweise bei der Optimierung von Hochgeschwindigkeits-Schneidprozessen zu berücksichtigen [2].

In der Fachliteratur sind über den Geschwindigkeitsbereich, in dem beispielsweise die Bewegung des Schneidstempels beim Hochgeschwindigkeitsschneiden (HGSS) liegen sollte, keine eindeutigen Angaben zu finden. So wird beispielsweise bei SCHÜSSLER [3] der Beginn des Hochgeschwindigkeitsgebietes mit 0,8 m/s angegeben, während RÖTTGERS [4] als optimale Schergeschwindigkeit zur Erzielung hoher Schnittflächenqualitäten 8 m/s angibt. Eine präzise Eingrenzung ist anhand des Schrifttums nicht möglich.

1.2 Einflussgrößen

Als wesentliche Einflussgrößen in Hochgeschwindigkeitsprozessen können der zu bearbeitende Blechwerkstoff, das Werkzeug sowie die Prozessgeschwindigkeit identifiziert werden.

Werkstoff

Die in der Fachliteratur zum Hochgeschwindigkeitszerspanen beschriebenen experimentellen Untersuchungen ergaben, dass eine Scherbandbildung in reinen

Metallen wie beispielsweise Aluminium oder Kupfer nur schwer herbeigeführt werden kann [5]. Dagegen verstärken Legierungselemente den Drang zur Scherlokalisierung [6]. Für viele Metalle wurde ebenfalls ein Gefügeeinfluss nachgewiesen [5]. Bei Stahlwerkstoffen steigt die Neigung zum Scherversagen offenbar eindeutig mit zunehmender Werkstoffhärte.

BLÜMKE [6] dokumentiert den Einfluss des Auslagerungszustandes von Aluminiumlegierungen auf die Scherbandbildung. Während der unteralterte Auslagerungszustand praktisch immer Scherversagen zeigt, wird beim überalterten Zustand keine Scherneigung in den experimentellen Untersuchungen beobachtet.

Werkzeug

Wie beim konventionellen Scherschneiden hat auch beim HGSS, wenn es als indirekte Verfahrensvariante, d. h. unter Wirkung eines angetriebenen Stempels, betrieben wird, die Auslegung der Werkzeugaktivteile hinsichtlich der Schneidkanten­geometrie sowie des Schneidspaltes wesentlichen Einfluss auf das Schneid­ergebnis. Untersuchungen von SCHÜSSLER [3] und SCHMOECKEL [7] geben als optimale Schneidspalte in Abhängigkeit von den zu schneidenden Blechwerkstoffen 7 bis 9 % der Blechdicke an, während RÖTTGERS [4] und auch eigene Untersuchungen die Umsetzung kleinerer Schneidspalte bis 2 % der Blechdicke als vorteilhaft für das Schneid­ergebnis bestätigen. Dies führt nicht zwangsläufig zu höherem Werkzeugverschleiß, da beispielsweise in dem von der Fa. Adiapress® entwickelten Werkzeugkonzept der Schneidstempel nicht in die Matrize eindringt.

Energieerzeugung zur Erzielung der Prozessgeschwindigkeit

Innerhalb des FOSTA-Projektes [8] wurden Betrachtungen durchgeführt, welche Kriterien in Bezug auf die Energieerzeugung und Einbringung dieser in den Prozess für den Anwender als relevant zu definieren und zu bewerten sind. Als wichtigste Parameter konnten beispielsweise die erreichbaren Trenngeschwindigkeiten / Trennenergien, die Einstellbarkeit der Verfahrensparameter sowie die Herstellkosten der Energieerzeugung evaluiert werden, so dass nach Durchführung eines Paarvergleiches das Verfahren mit elektromagnetischer (induktiv) Energieerzeugung u. a. vor der pneumatischen Lösung favorisiert wurde. In Bezug auf die Bewertung der Verfahren zur Energieübertragung unter Berücksichtigung der Kriterien „geringe Taktzeit“ und „geringe Betriebskosten“ konnte der Druckspeicher als Vorzugsvariante ermittelt werden.

2 Werkzeuge und Anlagentechnik

Die Untersuchungen am Fraunhofer IWU werden auf der ADIA 7[®], einer Presse zum Hochgeschwindigkeitsscherschneiden der Fa. Adiapress[®], durchgeführt (Abb. 1). Diese Anlage verfügt über eine Hochgeschwindigkeitshydraulik, die eine maximale Energie von 7 kJ zur Verfügung stellt und damit Stempelgeschwindigkeiten bis 10 m/s ermöglicht.

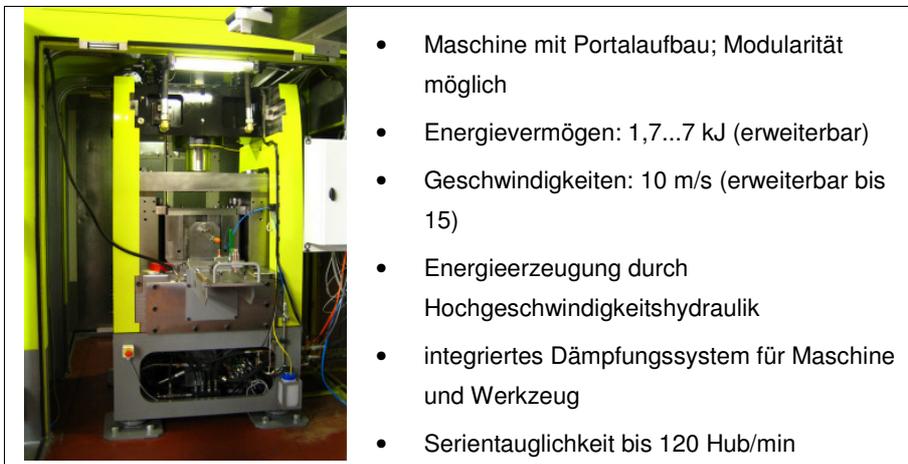


Abb. 1: Anlage ADIA 7[®] am Fraunhofer-IWU

Bei Anwendung des HGSS auf der ADIA 7[®] des Fraunhofer-IWU kommt das in Abb. 2 dargestellte Werkzeugprinzip zur Anwendung, das sich bis auf die Werkzeug-Aktivteile (Stempel, Matrize und Niederhalter) grundlegend vom Aufbau herkömmlicher Schneidwerkzeuge unterscheidet.

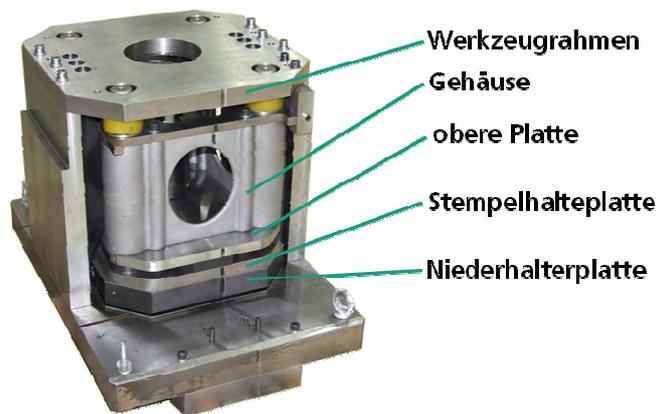


Abb. 2: Werkzeug zum Schneiden von Blechteilen

Als Herausforderungen an die Werkzeugentwicklung stehen hier:

- eine ausreichende Steifigkeit der Stempel führenden Platten bei Einwirkung des Schlagimpulses, um eine Plattendurchbiegung und damit eine Auslenkung der Schneidstempel zu vermeiden
- eine minimale Masse der zu bewegenden Werkzeugteile, um ein Optimum an Energie für die eigentliche Werkstücktrennung zur Verfügung zu haben sowie
- eine präzise Auswahl der Werkzeug-Werkstoffe für die Aktivteile, die hinsichtlich der zu ertragenden dynamischen Belastung ausreichend zäh genug sein müssen und auf Grund der in der Schneidzone auftretenden Reib- und Temperaturverhältnisse eine geringe Adhäsionsneigung aufweisen sollten.

Für das HGSS von Rohren und Stangenabschnitten kommt das in Abb. 3 dargestellte Werkzeug zum Einsatz.

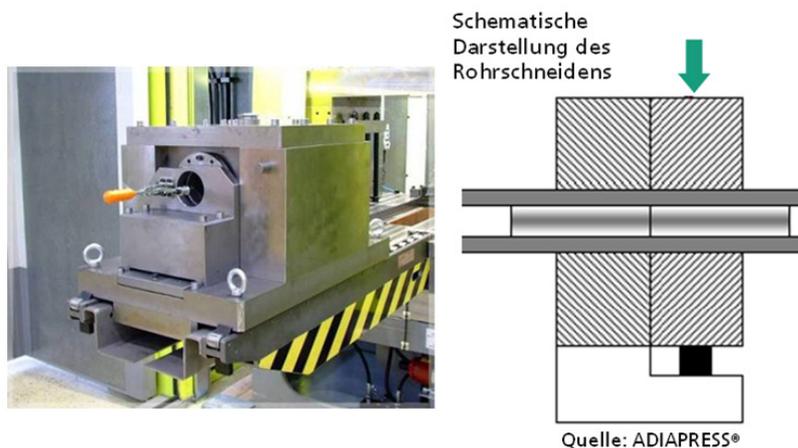


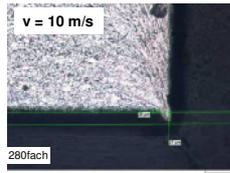
Abb. 3: Werkzeug zum Schneiden von Rohren und Profilen

Das Kernstück des Werkzeuges besteht hier aus einem feststehenden und einem beweglichen Aktivteil, die das Rohr oder Profil vollständig umschließen. Das Bauteil wird in beiden Werkzeugsegmenten durch einen Innendorn gestützt. Die Rissinitialisierung erfolgt durch Einwirkung des Schlagimpulses auf das bewegliche Aktivteil. Als Herausforderung an die Werkzeugentwicklung steht hier vordergründig die Schaffung eines alternativen Werkzeugkonzept der Innendornabstützung.

3 Ausgewählte Untersuchungsergebnisse

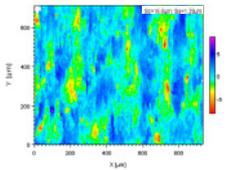
Gegenüber konventionellen Scher- und Genauschneidverfahren erlaubt das HGSS eine deutliche Verbesserung der Schnittqualität (Abb. 4). Die mittels HGSS erzeugten Trennflächen weisen keinen bzw. nur sehr geringen Schnittgrat auf, die Bruchzone eine besonders feinstrukturierte Oberfläche. Dies spiegelt sich auch in den ermittelten Rauheitswerten wider, d.h. die Rauheit der Bruchzone beim HGSS ist nahezu vergleichbar mit der Rauheit der Glattschnittzone beim Genauschneiden.

Hochgeschwindigkeitsscherschneiden



nahezu
gratfreier Schnitt

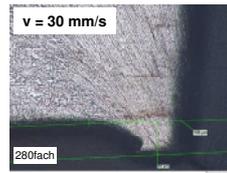
Schnittgrat
 $h_G = 21 \mu\text{m}$
 $b_G = 26 \mu\text{m}$



Mittlere Rautiefe
 $S_z = 17,1 \mu\text{m}$

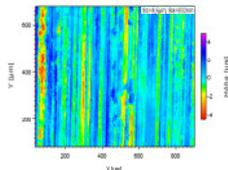
Arithmetischer
Mittenrauwert
 $S_a = 1,3 \mu\text{m}$

Genauschneiden



Feinkornbaustahl
SS00MC / 1.0684,
 $s_G = 10,0 \text{ mm}$

Schnittgrat
 $h_G = 58 \mu\text{m}$
 $b_G = 158 \mu\text{m}$



Mittlere Rautiefe
 $S_z = 11,0 \mu\text{m}$

Arithmetischer
Mittenrauwert
 $S_a = 1,0 \mu\text{m}$

Abb. 4: Vergleich der Schnittflächenqualität zwischen Hochgeschwindigkeits- und Feinschneiden

Der Nachweis der technischen Machbarkeit des Trennens von Rohren mittels HGSS konnte erbracht werden, d.h. die erzeugten Rohrabschnitte zeichnen sich durch eine hohe Maß- und Formgenauigkeit und gratfreie Trennflächen aus (Abb. 5, links). Einer industriellen Umsetzung steht bei gegenwärtigem Werkzeugkonzept noch das Erfordernis eines Innendorns entgegen. Darüber hinaus ist die Trenntechnologie für höchstfeste und gehärtete Blechwerkstoffe geeignet, wo herkömmlichen Verfahren bereits an ihre Grenzen stoßen. Exemplarisch ist rechts in Abb. 5 die Schnittflächenseitenansicht für ein Bauteil aus pressgehärtetem Stahl dargestellt, der mit circa 5 m/s getrennt wurde. Die Trennfläche ist nahezu rechtwinklig, gratfrei und weist nur einen sehr geringen Kanteneinzug auf.

Potenzial

- Schneiden von **Rohren** realisiert



- Schneiden von **pressgehärtetem Stahl** 22MnB5 / 1.5528

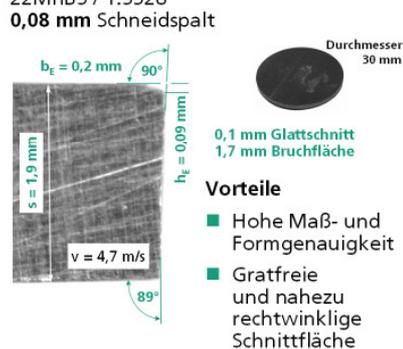
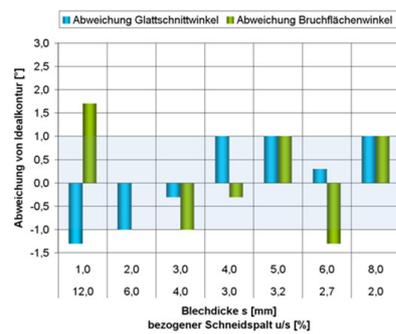
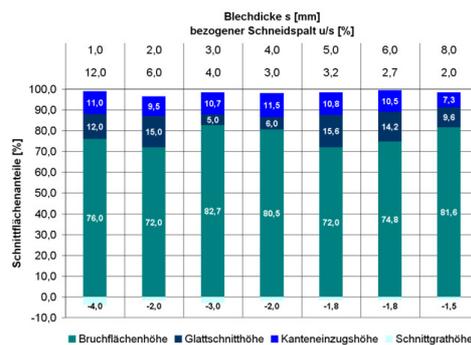


Abb. 5: Schnittqualität - HGSS von Rohren und Muster aus pressgehärtetem Stahl

Im Rahmen eines aktuellen, von der FOSTA unterstützten Forschungsprojektes [8] mit der Zielstellung, die Anwendungsfelder des HGSS auf flächige Bauteile und Rohre zu erweitern, wurden Grundlagenuntersuchungen durchgeführt. Analysiert wurden hierbei der rost- und säurebeständige Stahl X5CrNi18-10 (1.4301) sowie die Aluminiumlegierung EN AW-5082 (3.3345) mit Blechdicken von 1,0...10,0 mm in 1 mm-Abstufungen, wobei eine Rechteckkontur mit vier verschiedenen Radien (R5, R10, R15, R20) und einer Schnittlinienlänge von insgesamt 270 mm ausgeschnitten wurde. Die nachfolgende Abbildung (Abb. 6) zeigt ausgewählte Ergebnisse für den rost- und säurebeständige Stahl X5CrNi18-10.

Das linke Diagramm zeigt die Schnittflächenanteile (d. h. Kanteneinzugs-, Glattschnitt-, Bruchflächen- und Grathöhe bezogen auf die Blechdicke) in Abhängigkeit von Blechdicke und relativem Schneidspalt. Deutlich erkennbar ist, dass die Grathöhe mit steigender Blechdicke abnimmt, der Kanteneinzug sich nahezu konstant verhält und sich eine tendenzielle Zunahme des Bruchzonenanteils mit steigender Blechdicke erahnen lässt. Unabhängig von der Blechdicke weichen die erzeugten Trennflächen nur minimal von einer idealen rechtwinkligen Trennfläche ab.

Rost- und säurebeständiger Stahl X5CrNi18-10 / 1.4301
Blechkicken 1,0...8,0 mm



Abweichung von der Idealkontur $\alpha' = 90 - \alpha$ bzw. $\beta' = 90 - \beta$

Abb. 6: HGSS von Flachmaterial - erreichbare Qualität der Schnittfläche

Bei Schneidspalten zwischen 2...4 % der Blechdicke werden besonders gute Schnittergebnisse erzielt. Ein größerer Spalt wirkt sich negativ auf den Kanteneinzug und den Bruchflächenwinkel aus und verringert damit den Traganteil der Trennfläche.

4 Zusammenfassung

Die Anwendung hoher Geschwindigkeiten in Schneidoperationen ermöglicht gegenüber konventionellen Schneidprozessen werkstückseitig eine bessere Schnittflächenqualität und damit die Reduzierung von Nacharbeit, eine effektive Ausnutzung des Blechwerkstoffes durch extrem geringe Rand- und Stegbreiten sowie werkzeug- und anlagenseitig die Reduzierung der erforderlichen Prozesskräfte.

Geht bei konventionellen Trennverfahren die Verwendung eines kleinen Schneidspaltes zur Erreichung einer hohen Schnittqualität zu Lasten des Werkzeugverschleißes, ermöglichen Hochgeschwindigkeitstrennverfahren bedingt durch ein Nichteintauchen des Stempels in die Matrize eine hohe Trennflächenqualität trotz geringem Schneidspaltes ohne verschleißtechnische

Auswirkungen. Somit stellen diese Hochgeschwindigkeitstechnologien geringere Anforderungen an das tribologische System, auch durch die Möglichkeit, auf den Schmierstoff im Prozess vollständig verzichten zu können.

Literaturangaben

- [1] Halle, T.: *Zusammenhänge zwischen Spanvorgängen und dem mechanischen Werkstoffverhalten bei hohen Dehnungsgeschwindigkeiten*, Technische Universität Chemnitz, Diss., 2001
- [2] Krüger, L.: *Untersuchungen zum Festigkeits-, Verformungs- und Versagensverhalten der Legierung Ti-6-22-22S in Abhängigkeit von der Temperatur, der Dehnungsgeschwindigkeit und dem Spannungszustand*, Technische Universität Chemnitz, Diss., 2001
- [3] Schüßler, M.: *Hochgeschwindigkeits-Scherschneiden im geschlossenen Schnitt zur Verbesserung der Schnittteilequalität*, Dissertation, TH Darmstadt, 1990
- [4] Röttgers, R.: *Elektrodynamische Hochgeschwindigkeitspresse*, VDI-Bericht 272 (1976), S. 61 - 70
- [5] Landua, S.: *Einfluss von Gefüge und Schnittgeschwindigkeit auf die Mechanismen der Spanbildung und die Ermüdungseigenschaften von Leichtmetalllegierungen*, Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Diss., 2005
- [6] Blümke, R.: *Gefügeeinfluss auf die Spanbildung beim Hochgeschwindigkeitsfräsen*, Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Diss., 2001
- [7] Schmoeckel, D.; Gredy, P.: *Verbesserung der Schnittteilequalität durch Hochgeschwindigkeits-Scherschneiden HGSS*, EFB-Forschungsbericht (Nr.43) zum AiF-Forschungsvorhaben 8079, Hannover, 1992
- [8] *Entwurf zum Abschlussbericht: Ermittlung der Einsatzpotenziale und -grenzen des adiabatischen Trennens für Schneid- und Lochoperationen*, FOSTA P 774, 2009