

Gepulste elektromagnetische Felder schneiden hochfeste Bleche

Die Sächsische Aufbaubank unterstützt das Gemeinschaftsvorhaben von IWU und des VW-Konzerns zum Thema „Trennen und Fügen höchstfester Stähle“. Dabei soll der Nachweis der Anwendbarkeit elektromagnetischer Impulse für das Schneiden von hoch- und höchstfesten Blechwerkstoffen erbracht werden.

VERENA KRÄUSEL, RALPH SCHÄFER UND LARS ENGELBRECHT

Gepulste elektromagnetische Felder bieten bei hinreichender Feldstärke die Möglichkeit, metallische Bauteile gezielt umzuformen. Das Verfahren wird industriell zur Umformung von Rohren und Profilen durch Kompression oder Expansion herangezogen [2]. Der industrielle Hauptanwendungsbereich besteht jedoch im form- oder auch stoffschlüssigen Fügen von Profilen [4, 5]. Darüber hinaus ermöglicht die elektromagnetische Pulsformtechnologie (EMPT) auch das Umformen und Kalibrie-

ren flächiger Bauteile aus Blechhalbzeugen [3]. Aufgrund des hohen Verfahrenspotenzials zur Haupt- und Nebenformgebung sowie zur Kalibrierung von Karosserieteilen wird die EMPT am Fraunhofer-IWU neben der Gasgenerator- und dem adiabatischen Trennen als Technologie für das Umformen und Schneiden mit hohen Geschwindigkeiten erfolgreich angewandt und weiterentwickelt [1].

Hintergrund der Untersuchungen in dem von der Sächsischen Aufbaubank unterstütz-

ten Gemeinschaftsvorhaben „Trennen und Fügen höchstfester Stähle“ ist die Evaluierung alternativer Technologien zum Loch-

Dr.-Ing. Verena Kräusel, Leiterin der Abteilung Blechbearbeitung am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU) in Chemnitz, Dr.-Ing. Ralph Schäfer, Forschung und Entwicklung, PST Products GmbH in Alzenau und Dr. Lars Engelbrecht, Technologieplanung und -entwicklung, Volkswagen AG in Wolfsburg. Weitere Informationen: Dr.-Ing. Verena Kräusel, Tel. (03 71) 53 97-11 19, verena.kraeusel@iwu.fraunhofer.de



Am IWU in Chemnitz wurde mit Hilfe gepulster elektromagnetischer Felder das Schneiden von hoch- und höchstfesten Blechwerkstoffen praktisch nachgewiesen.

Bild: Fraunhofer IWU

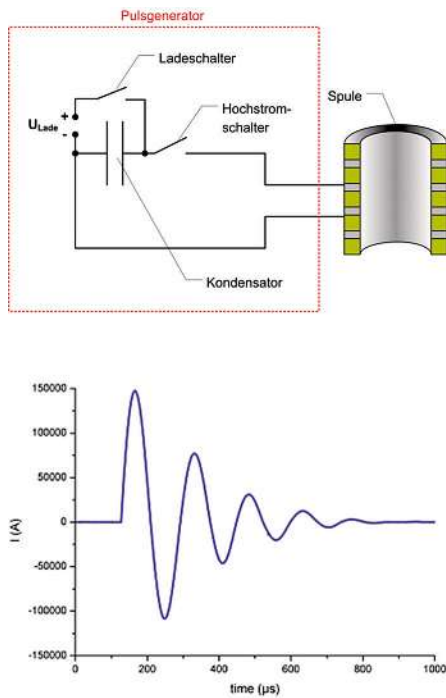


Bild 1: Schematischer Aufbau eines EMPT-Systems bestehend aus Pulsgenerator und Arbeitsspule.

und Beschneiden von Strukturbauteilen aus formgehärteten Blechen, wie sie beispielsweise im VW-Konzern aktuell für B-Säulen im Modell Passat verwendet werden. Bei Einsatz mechanischer Werkzeuge zum Hartbeschnitt lassen sich derzeit noch keine zufriedenstellenden Standmengen erzielen, so dass momentan das Laserschneiden praktiziert wird.

Mit dem magnetischen Druck werden die Bauteile beschnitten

Die elektromagnetischen Felder werden mit Hilfe einer geeigneten Spule gezielt auf den umzuformenden Werkstückbereich aufgebracht. Die hierzu notwendigen Ströme liegen im Bereich zwischen 100 und 2000 kA und werden von einem sogenannten Pulsgenerator aufgebracht [2, 4, 5]. Dieser besteht im Prinzip aus einer Kondensatorbatterie, einer Ladeeinrichtung und Hochstromschaltern. Diese als Pulsgenerator bezeichnete Komponentenkonstellation wird mit einer entsprechenden Last in Form einer Spule verbunden. Beim Schließen der Schalter entladen sich innerhalb weniger Mikrosekunden die Kondensatoren über diese Spule, so dass ein hoher, gepulster Strom fließt. Die Schalter schließen einen sogenannten elektrischen Schwingkreis. Die in den Kondensatoren gespeicherte Energie wird in der Spule in magnetische Energie gewandelt. Die Induktivität der Spule – das

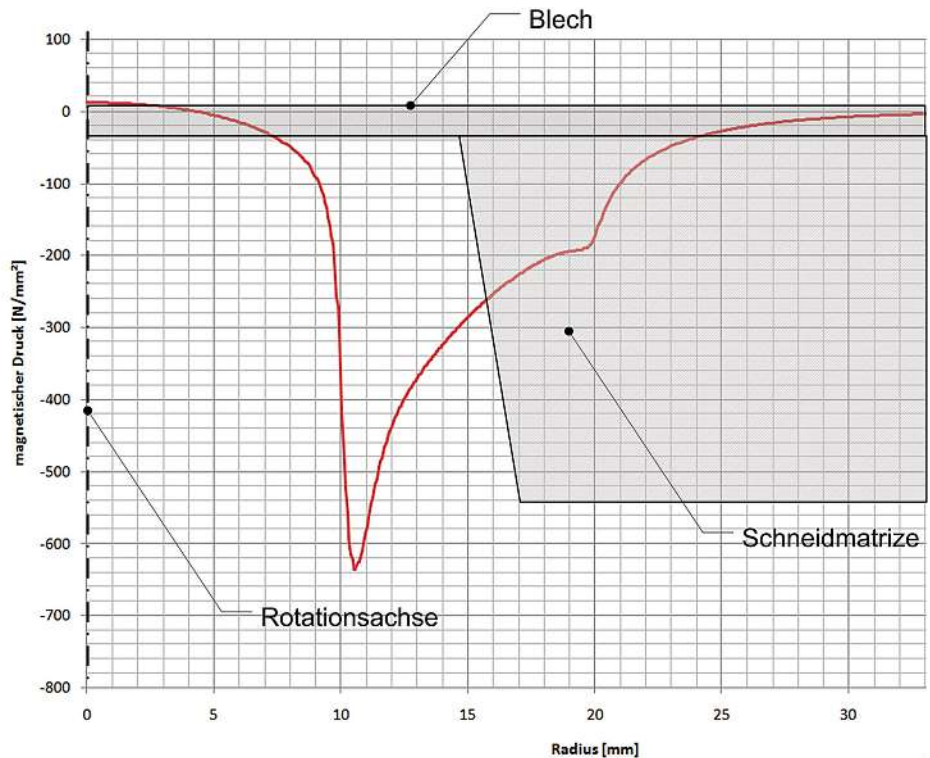


Bild 2: Auf das Werkstück wirkender magnetischer Druckverlauf.

mechanische Analogon wäre eine Massenträgheit – treibt den Entladestrom auch noch weiter, wenn die Kondensatorspannung auf Null gefallen ist. Somit wird der Kondensator mit umgekehrtem Vorzeichen wieder aufgeladen. Der beschriebene Vorgang führt zu einem sinusförmigen Stromfluss mit wechselndem Vorzeichen, der durch die ohmschen Widerstände des EMPT-Systems gedämpft wird [2]. Die Entladefrequenz liegt im Bereich einiger 10 kHz.

Das Aufladen der Kondensatoren geschieht typischerweise innerhalb eines Zeitraums von zirka 5 s [4, 5]. Die hierzu notwendigen Ströme sind recht gering und können von einem üblichen Netzanschluss mit 380V/32A aufgebracht werden [5]. Bild 1 zeigt schematisch den Aufbau eines EMPT-Systems bestehend aus Pulsgenerator und Spule, sowie einen Entladestromverlauf.

Die Arbeitsspule induziert in das Werkstück einen Stromfluss, der dem in der Spule gegenläufig ist. Da sich gegenläufige Ströme abstoßen, entsteht zwischen Spule und Werkstück ein magnetischer Druck, der im Bereich bis zu einigen 100 N/mm² liegen kann. Die Obergrenze des magnetischen Drucks ist durch den maximalen vom Pulsgenerator bereitgestellten Entladestrom, der Windungsanzahl der Spule sowie deren geometrischen Abmessungen abhängig. Die begrenzende Größe ist jedoch vor allem die Festigkeit der Spule, denn auf diese wirkt

eine Last, die mindestens dem auf das Werkstück aufgetragenen Druck entspricht.

Für den Vergleich der genannten Hochgeschwindigkeitsprozesse bezüglich der erreichbaren Schnittflächenqualität sowie der Umsetzbarkeit in der Serienfertigung erfolgte die Festlegung von Modellgeometrien zum Loch- und Ausschneiden sowie die Auswahl der Werkstoffe DP 600, TRIP 700 und 22MnB5 im Blechdickenbereich von zirka 2 mm. Speziell für die Erzeugung einer Lochgeometrie mit einem Durchmesser von 30 mm zeigte sich jedoch schon in der FE-Simulation, dass für den Blechwerkstoff 22MnB5 bereits bei einer Blechdicke von 1,5 mm ein magnetischer Druck von mehr als 500 MPa zu erzeugen ist.

Der erste erfolgreiche Versuch wurde mit einem 0,9 mm-Blech durchgeführt

Hinsichtlich der Auslegung der Versuchsspule für diese Aufgabe wurde deshalb auf die Erfahrungen der PST Products GmbH gesetzt. Als Randbedingungen für einen sicheren Schneidprozess wurde eine Ausgangsblechdicke von 0,9 mm definiert, so dass für das Schneiden ein direkt wirkender Druck von 350 MPa aufzubringen war, bei gleichzeitiger Gewährleistung einer ausreichenden Standzeit der Spule. Die Auslegung der Spule hinsichtlich elektromagnetischer Eigenschaften, des magnetischen Drucks sowie der mechanischen Festigkeit erfolgte

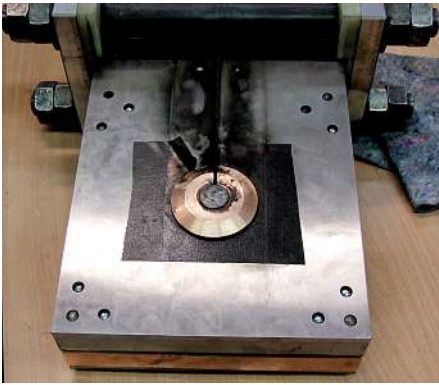
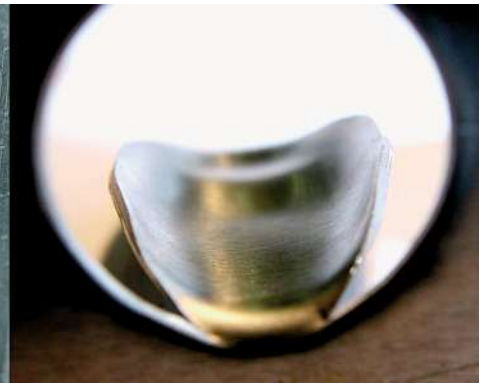


Bild 3: Schneidspule nach dem Einsatz.



Bild 4: Schnittteile aus Aluminium und DC 04.



zunächst auf numerischem Weg. Die Druckverläufe am Werkstück wurden hierbei so eingestellt, dass der maximale Schneiddruck im Bereich des Butzens aufgebracht wird, die Blechplatte aber auch durch einen hinreichenden großen magnetischen Druck niedergehalten wird. Bild 2 zeigt den Druckverlauf.

Das Werkstück wird zwischen Schneidspule und -matrize positioniert

Entsprechend dem konzipierten Spulenaufbau erfolgte die bauliche Umsetzung der Magnetspule. Zur Reduktion des aufzubringenden Stroms erfolgt der Spulenaufbau mehrwändig. Die ersten Erprobungen waren von Kurzschlüssen im Bereich des Schlitzes am Feldformer geprägt (Bild 3), so dass mehrere Optimierungsschleifen bezüglich der Isolierung sowie der Aufnahme des Stützkerns durchlaufen werden mussten.

Im Versuch wurde das Werkstück zwischen Schneidspule und Schneidmatrize positioniert. Der in Bild 2 dargestellte Druckverlauf presst das Blech gegen die Matrize und ermöglicht somit einen stempellosen Schneidvorgang.

Im Rahmen der ersten experimentellen Untersuchungen konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- ▶ Die Spule hält den Beanspruchungen stand (Standzeit mehr als 1000 Pulse).
- ▶ Die Lochgeometrie wurde zwar bei Aluminium vollständig geschnitten (Bild 4, links), bei Stahl trat jedoch aufgrund des geschlitzten Feldformers ein sogenannter Dosendeckeleffekt auf und es verblieb ein ungeschnittener Reststeg (Bild 4, rechts).
- ▶ USIBOR 1500 ließ sich in gehärtetem Zustand zunächst aufgrund des fehlenden Druckes nicht schneiden.

Zur weiteren Verbesserung der Schneidergebnisse wurde die Magnetspule nochmals dahingehend einer Optimierung unterzogen, dass die untere Spulenwindung durch eine neue, nicht armierte Windung ersetzt wurde. Diese Maßnahme bewirkte jedoch gleichzeitig ein Absinken der mechanischen Stabilität der Spule, das heißt, mittlere magnetische Drücke über 300 N/mm² waren damit nicht mehr zulässig.

Andererseits führten die neue untere Spulenwindung sowie eine optimal auf die Spule abgestimmte Anschlussstechnik zu einer Senkung der Induktivität um etwa 1/3 und gewährleisteten somit einen höheren Maximalstrom, der zuvor durch die hohe Induktivität der zu Beginn der Untersuchungen genutzten Spulenkonfiguration begrenzt war.

Somit konnte mit Hilfe von 10-kV-Pulsenergiegeneratoren der PST Products GmbH ein höherer Entladestrom erzielt und damit erfolgreich das Schneiden des 22MnB5 realisiert werden, wie in der nachfolgenden Abbildung (Bild 5) dargestellt. Die dafür im Spulenquerschnitt wirkende Energie betrug 19 000 J. Bild 6 zeigt im Schlibfbild die gemessenen Schnittflächenkennwerte, die prinzipiell denen der mittels Gasgenerator-technik (direktes Prinzip) erreichbaren gleichen, sich jedoch von den Ergebnissen der Schneidversuche mit einem angetriebenen Schneidstempel beim adiabatischen Trennen auf der ADIA 7 des Fraunhofer-IWU (indirektes Prinzip) grundlegend unterscheiden (Bild 7).

Die Vorteile elektromagnetischen Impulse ist der berührungslose Druck

Mittels EMPT geschnittene Bauteile weisen gegenüber stempelgebundenen Schneidprozessen einen recht hohen Kanteneinzug bei nahezu keinem Schnittgrat auf. Als Vorteil des Verfahrens ist vor allem die berührungslose Druckaufbringung zu nennen, das heißt, es entfällt der beim Schneiden hochfester Werkstoffe starken Beanspruchungen und Verschleiß unterliegende Schneidstempel.

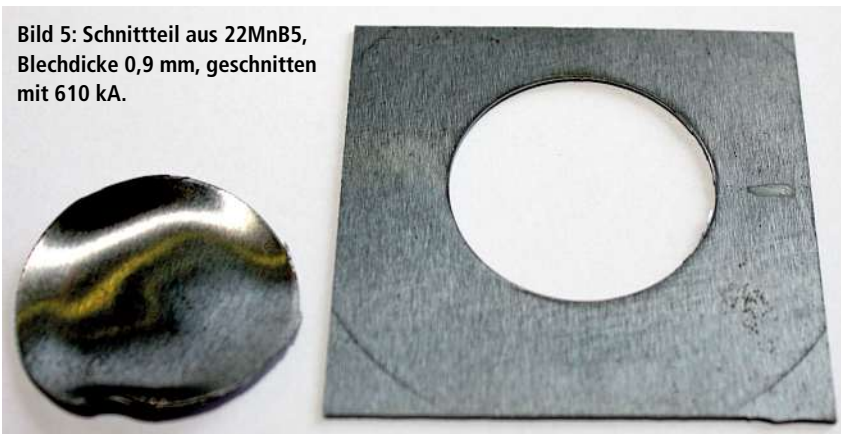


Bild 5: Schnittteil aus 22MnB5, Blechdicke 0,9 mm, geschnitten mit 610 kA.

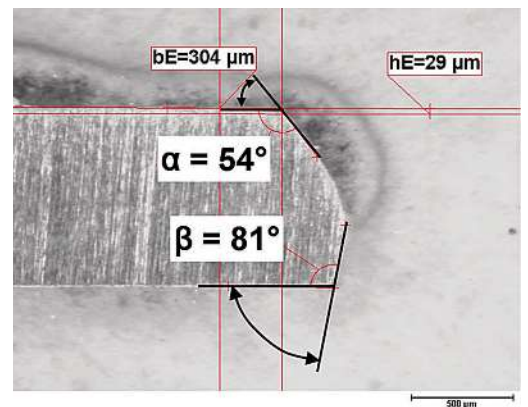


Bild 6: Schlibfbild der Probe aus 22MnB5.

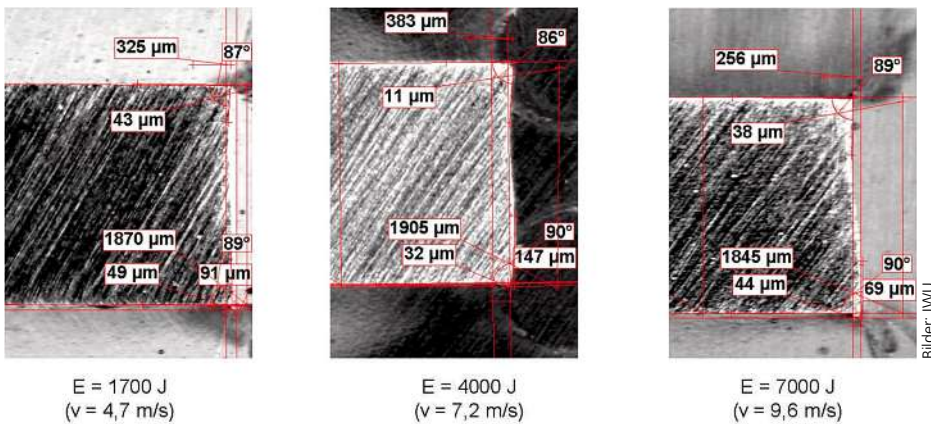


Bild 7: Schliffbild von Proben aus 22MnB5, $s_0 = 2$ mm, geschnitten auf der ADIA 7.

Mit Hilfe der elektromagnetischen Pulsformtechnologie (EMPT) ist es möglich, auch hochfeste Stähle des Typs 22MnB5 im pressgehärteten Zustand zu schneiden. Der Schneiddruck wird berührungslos durch die Schneidspule aufgebracht, die aufgebaute Versuchsspule erlaubt Standzeiten von mehr als 1000 Pulsen. Im industriellen Einsatz kann dies durch eine entsprechend großzügigere Dimensionierung jedoch noch signi-

fikant bis zu einer Lebensdauer der Spule von mehr als 2 000 000 Pulsen gesteigert werden.

Das Schneiden von höchstfesten Blechwerkstoffen ist nachgewiesen

Die Entscheidung für die Anwendung der elektromagnetischen Impulsformtechnologie für das Schneiden hoch- und höchstfester Blechwerkstoffe muss neben der Betrachtung

der Gesamtprozesskette und somit wirtschaftlichen Aspekten letztlich entsprechend der geforderten Bauteilfunktionalität getroffen werden. Die Anwendbarkeit dieser Technologie wurde im Rahmen des Vorhabens erfolgreich nachgewiesen. **MM**

Literatur

- [1] Neugebauer, R., Bränlich, H., Kräusel, V.: Umformen und Schneiden mit Hochgeschwindigkeit – Impuls für eine ressourceneffiziente Karosserieteilbearbeitung, 5. Chemnitzer Karosseriekolloquium CBC 2008, 11./12.11.2008, Berichte aus dem IWU 48, S. 205-214
- [2] Winkler, R.: Hochgeschwindigkeitsumformung. VEB Verlag Technik, Berlin, 1973
- [3] Daehn, G. S. et. Al: Opportunities in High-Velocity Forming of Sheet Metal. Metalforming magazine, January 1997
- [4] Schäfer, R., Pasquale, P.: Elektromagnetische Pulsformtechnologie im industriellen Einsatz. In Groche, P.: Tagungsband 10. Umformtechnisches Kolloquium Darmstadt. Verlag Meisenbach Bamberg, S. 143-150, 2009
- [5] Schäfer, R., Pasquale, P.: Elektromagnetische Pulsformtechnologie im industriellen Einsatz. Whitepaper PST Products Stand 08/2009, www.pstproducts.com