

Extrusion of Discontinuously Reinforced Semi-Finished Products for the Forging Process

Due to the growing significance of innovative lightweight design strategies in forging, hybrid material concepts are increasingly becoming the focus of research. Depending on the application, the combination of different materials in a component offers not only weight-specific advantages compared to the mono-materials used to date, but also results in improved mechanical behaviour under load. Fundamental investigations on combination of high-strength steel and aluminium materials lend themselves well to applications in the automotive industry.

Strangpressen diskontinuierlich verstärkter Halbzeuge für den Schmiedeprozess

Christoph Dahnke M.Sc.,
Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Matthias Haase und
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. A. Erman Tekkaya,
Dortmund

Mit dem nachstehenden Beitrag ermöglicht das SchmiedeJOURNAL den Autoren, einen Beitrag aus der Grundlagenforschung vorzustellen. Diese hier angedachten Überlegungen bedürfen bis zu einem späteren industriellen Einsatz noch einer umfangreichen Behandlung und Weiterentwicklung sowie einer Validierung bei Industriepartnern.

Aufgrund der stetig wachsenden Bedeutung innovativer Leichtbaustrategien in der Massivumformung, rücken hybride Werkstoffkonzepte mehr und mehr in den Fokus der Forschung. In Abhängigkeit des jeweiligen Anwendungsfalls bietet die Kombination unterschiedlicher Werkstoffe in einem Bauteil gegenüber bisher überwiegend eingesetzten Monowerkstoffen nicht nur gewichtsspezifische Vorteile, sondern führt gleichzeitig zu einem verbesserten mechanischen Verhalten unter Lasteinwirkung. Im Automobilbereich bieten sich hierbei Grundlagenuntersuchungen zur Kombination hochfester Stahl- und Aluminiumwerkstoffe an.

Einleitung

Durch Verbundschmieden hybrider Stahl-Aluminium-Bauteile können beispielsweise Komponenten mit einem hochfesten und damit verschleißbeständigen Hüllwerkstoff aus Stahl und einem leichten Kernwerk-

stoff aus Aluminium gefertigt werden [1]. Die Herstellung des Halbzeugs erfolgt hier durch Einsetzen des Aluminiumkerns in einen Hohlzylinder aus Stahl. Für andere industrielle Einsatzzwecke sind hingegen ein

weicher Hüllwerkstoff und ein hochfester Kernwerkstoff erforderlich. Eine mögliche Anwendung für ein solches Hybridbauteil ist beispielsweise die Fertigung eines Pleuls aus Aluminium, bei dem die Pleulaugen

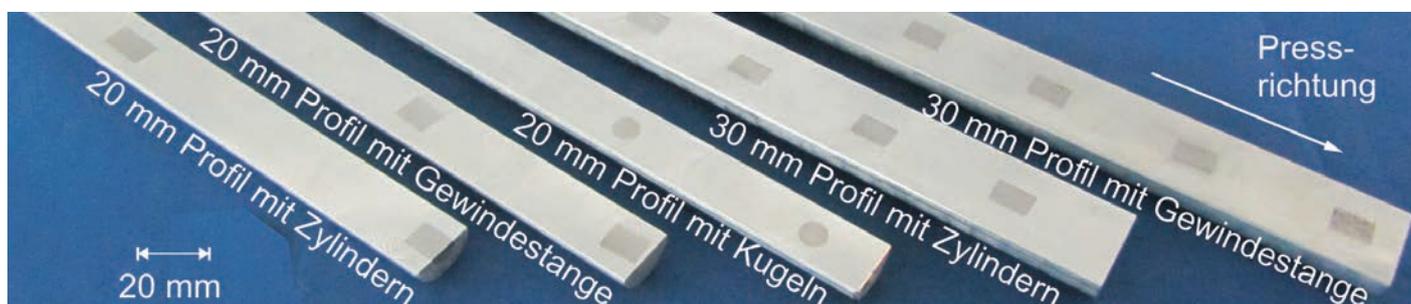


Bild 1: Partiiell verstärkte Verbundprofile [3].

durch einen zweiten, hochfesten Werkstoff ausgeführt werden. Aus diesem Grund wird im Rahmen eines Kooperationsprojekts des Instituts für Umformtechnik und Leichtbau (IUL) der Technischen Universität Dortmund sowie des Instituts für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover die Prozesskette „Verbundstrangpressen und anschließendes Schmieden“ zur Herstellung von hybriden Bauteilen untersucht.

Diskontinuierliches Verbundstrangpressen und Schmieden

Das diskontinuierliche oder partielle Verbundstrangpressen bietet die Möglichkeit stahlverstärkte Halbzeuge aus Aluminium mit konventionellen Strangpressmatrizen herzustellen [2]. Die gefertigten Halbzeuge

bestehen in diesem Fall aus einem hochfesten Stahlkern, eingebettet in eine Aluminiummatrix. Innerhalb der Prozesskette lassen sich aus diesen Halbzeugen durch umformtechnische Weiterverarbeitung im Anschluss belastungsangepasste Bauteile für unterschiedliche Einsatzzwecke fertigen. Für die Herstellung der Halbzeuge werden konventionelle Aluminiumblöcke vor dem Strangpressprozess zentrisch oder exzentrisch gebohrt und mit Verstärkungselementen aus Stahl gefüllt. Die Bohrungen werden mit Verschlussstücken aus Aluminium geschlossen. Anschließend erfolgt das Strangpressen der präparierten Blöcke im direkten Strangpressverfahren, wobei der formgebende Durchbruch der Matrize die Geometrie des Halbzeugs definiert. In vorangegangenen Untersuchungen konnte ge-

zeigt werden, dass Verstärkungselemente unterschiedlicher geometrischer Formen (Bild1) mit Hilfe dieses Verfahrens vollständig in die Aluminiummatrix einbettet werden können [3]. Für nachgelagerte Umformprozesse ist die genaue Kenntnis der axialen und radialen Lage der Verstärkungselemente innerhalb des gefertigten Halbzeugs von wesentlicher Bedeutung. Aus diesem Grund wurde in vorangegangenen Untersuchungen der Einfluss von Temperatur, Pressgeschwindigkeit und Profilgeometrie auf die Position der Verstärkungselemente analysiert [4]. Die sich ergebenden Abstände der einzelnen Verstärkungselemente im gefertigten Profil können aus dem Pressverhältnis sowie der ursprünglichen Position innerhalb des Pressblocks berechnet werden [5]. Als Matrixwerkstoff wurden die Alu-

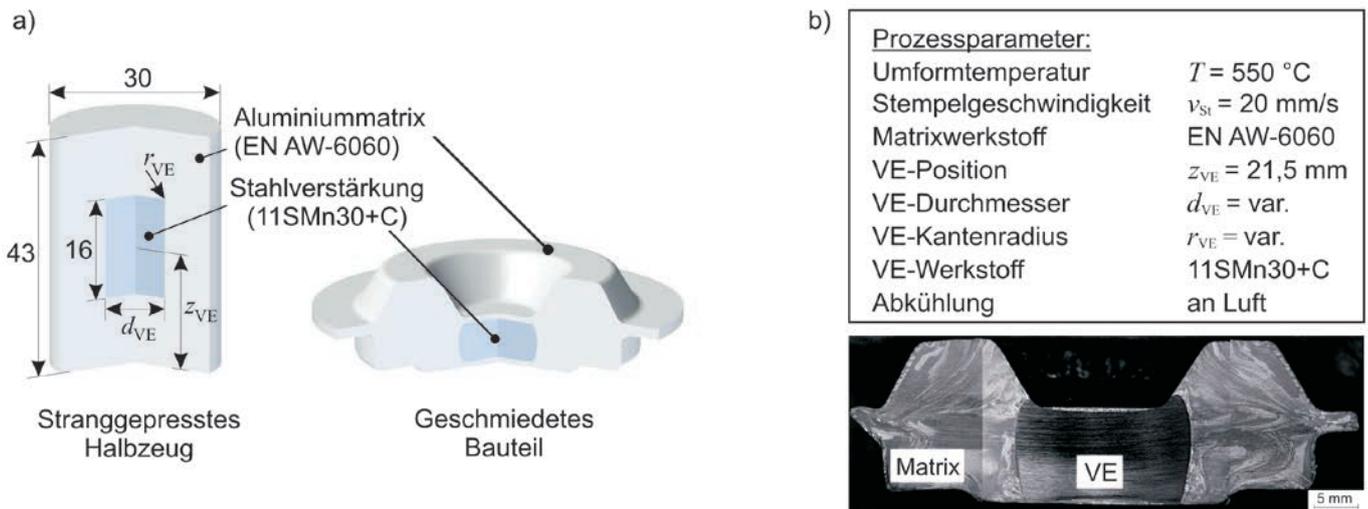


Bild 2: a) Stranggepresstes Halbzeug und geschmiedetes Bauteil (schematisch) [7]; b) umgeformtes Hybridbauteil (Querschnitt) [7].

miniumlegierungen EN AW-6060 und EN AW-6082 eingesetzt. Auf Seite der Verstärkungselemente kamen bislang die Werkstoffe S235 JRG1, S235 JRG2, 100Cr6 und 11SMn30+C zum Einsatz.

Bild 2a) zeigt schematisch das für den nachgelagerten Schmiedeprozess verwendete Verbundhalbzeug. Zur Untersuchung der Mikrostruktur des Aluminiums sowie der Grenzfläche der beiden Verbundpartner, wurde das geschmiedete Bauteil im Querschnitt aufgetrennt und metallografisch analysiert. Bild 2b) zeigt das Ergebnis im Querschnitt sowie die zugehörigen Parameter des Schmiedeprozesses. Hierbei konnte sowohl eine formschlüssige als auch eine stoffschlüssige Verbindung zwischen beiden Verbundpartnern nachgewiesen werden. Weitere experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass mit zunehmender Umformtemperatur und zunehmendem Durchmesser des Verstärkungselements eine Verbesserung der Anbindung in der Grenzfläche erreicht werden kann. [6]

Experimentelle Untersuchungen zum Verbundstrangpressen

Grundsätzlich lässt sich eine Vielzahl von unterschiedlichen Geometrien der Verstärkungselemente für den diskontinuierlichen Verbundstrangpressprozess nutzen. Die Form der eingesetzten Elemente beeinflusst den Werkstofffluss während des Prozesses dabei maßgeblich. Bislang wurden allerdings meist rotations-symmetrische Verstärkungselemente verwendet, bei denen die Hauptachse koaxial zur Strangpressrichtung orientiert ist. Die Rotations-symmetrie der Elemente sowie die Koaxialität zwischen Element und Pressblock begünstigen hierbei eine fehlerfreie Einbettung innerhalb der Aluminiummatrix. Eine Erweiterung der Elementgeometrie um

nicht-rotationssymmetrische beziehungsweise nicht-koaxiale Verstärkungselemente kann in Abhängigkeit des späteren Anwendungsfalls zu einer deutlichen Steigerung der Verfahrensflexibilität führen. Aus diesem Grund wird in aktuellen Untersuchungen die Einbettung von quaderförmigen Elementen unterschiedlicher Dicken, Breiten und Höhen sowie quer zur Pressrichtung orientierter (liegender) Zylinder mit ebenfalls variablen Abmessungen untersucht. Im Rahmen der Blockpräparation sind dabei, im Gegensatz zu den kugelförmigen oder zylinderförmigen Elementen, rechteckige Durchbrüche in den Strangpressblöcken nötig, welche durch Drahterodieren eingebracht werden.

Für die ersten grundlegenden Untersuchungen hinsichtlich der Einbettung liegender Zylinder, wurde eine Versuchsreihe mit insgesamt 13 Pressungen durchgeführt. Die eingesetzten Verstärkungselemente unterscheiden sich dabei geometrisch in ihrer Höhe ($h_{VE} = 5$ bis 20 mm) sowie in ihrem Durchmesser ($d_{VE} = 5$ bis 20 mm), sodass sich insgesamt 11 verschiedene Kombinationen ergeben. Darüber hinaus wurden die Elemente sowohl in ein Profil mit einem Durchmesser $d_{p1} = 20 \text{ mm}$ als auch in ein Profil mit einem Durchmesser $d_{p2} = 30 \text{ mm}$ einbettet. Als Matrixwerkstoff wurde die Aluminiumlegierung EN AW-6060 verwendet. Die eingesetzten Elemente wurden aus dem Automatenstahl 11SMn30+C gefertigt. Die Durchführung der Strangpressversuche erfolgte mit einer Stempelgeschwindigkeit von 3 mm/s bei einer Blockeinsatztemperatur von $500 \text{ } ^\circ\text{C}$ und einer Werkzeugtemperatur von $450 \text{ } ^\circ\text{C}$. Aus dem anfänglichen Blockdurchmesser $d_0 = 62 \text{ mm}$ und den Profildurchmessern d_{p1} und d_{p2} ergibt sich in der Versuchsreihe ein Pressverhältnis von $R_1 = 10,4$ sowie $R_2 = 4,8$. Bild 3a) zeigt die

Ergebnisse der Untersuchungen an einigen aufgefrästen Profilen. Analog zum Prozessfenster für Profile mit zentrisch positionierten, zylinderförmigen Verstärkungselementen [5] konnte nach Auswertung der Versuche hier ebenfalls ein erstes Prozessfenster aufgestellt werden (Bild 3b)).

Da unterschiedliche Profildurchmesser sowie Verstärkungselementdurchmesser verwendet werden, ist für eine allgemeine Übertragbarkeit der Ergebnisse im dargestellten Prozessfenster das Querschnittsflächenverhältnis A_{VE}/A_p , zwischen dem Querschnitt der Verstärkungselemente und dem Querschnitt des Profils über das Aspektverhältnis d_{VE}/h_{VE} dargestellt. Das Aspektverhältnis als bezogene Größe stellt die Beziehung zwischen dem Durchmesser und der Höhe der Verstärkungselemente dar. Bei der Analyse der durchgeführten Versuche traten durch eine Rotation sowie der Bildung eines Hohlraums vor den Elementen innerhalb des Profils zwei Prozessfehler auf. Die eingebetteten Elemente wirken innerhalb der Strangpressmatrize wie ein Dorn bei der Herstellung von Hohlprofilen. Passieren die Elemente den formgebenden Durchbruch der Matrize, tritt eine lokale Reduktion des Pressverhältnisses und damit eine Zunahme der Fließgeschwindigkeit des Aluminiums auf. Der durch den „Dorneffekt“ hervorgerufene Anstieg der Fließgeschwindigkeit führt in der Folge zur Bildung des Hohlraums, wenn sich das Aluminium an dieser Stelle vom Verstärkungselement löst. Die Rotation während des Prozesses führt dazu, dass die Elemente nicht mehr exakt orthogonal zur Strangpressrichtung eingebettet werden. Das Prozessfenster in Bild 3b) zeigt, dass sowohl das Aspektverhältnis d_{VE}/h_{VE} als auch das Querschnittsflächenverhältnis A_{VE}/A_p einen Einfluss auf die Rotation haben. Dabei wird das Querschnitts-

flächenverhältnis bei der Verwendung von liegenden Zylindern idealisiert mit $A_{VE} = d_{VE} \times h_{VE}$ berechnet. Es lässt sich erkennen, dass eine Rotation insbesondere bei langen und dünnen Verstärkungselementen unterhalb einem Aspektverhältnis von $d_{VE}/h_{VE} = 1$ auftritt, da hier die Angriffsfläche und der Drehwiderstand der Elemente gering sind.

Die durchgeführten experimentellen Untersuchungen zeigen zudem, dass auch die Einbettung von quaderförmigen Elementen grundsätzlich realisiert werden kann (Bild

4). Analog zur Einbettung liegender Zylinder, wurden auch hier Elemente mit unterschiedlichen Abmessungen verwendet. Anhand der dargestellten Ergebnisse lässt sich, in Abhängigkeit der geometrischen Abmessungen, bei einigen Elementen eine Rotation erkennen. Zudem tritt bei der Einbettung langer und dünner Verstärkungselemente ein Hohlraum vor dem Element auf. Das Aluminium wird beim Eintritt in die Umformzone stark beschleunigt, das Element hingegen wird aufgrund der verhältnismäßig großen Länge im hinteren

Teil zurückgehalten. In der Folge löst sich das Aluminium vom Element und der zu erkennende Hohlraum bildet sich aus. In Abhängigkeit der Abmessungen zeigen die erzielten Ergebnisse eine große Ähnlichkeit zur Einbettung zentrisch positionierten, zylinderförmigen Verstärkungselementen [5]. Es kann daher von einem ähnlichen Prozessfenster ausgegangen werden. Für die Identifikation eines finalen Prozessfensters sind jedoch weitere umfangreiche Versuchsreihen geplant.

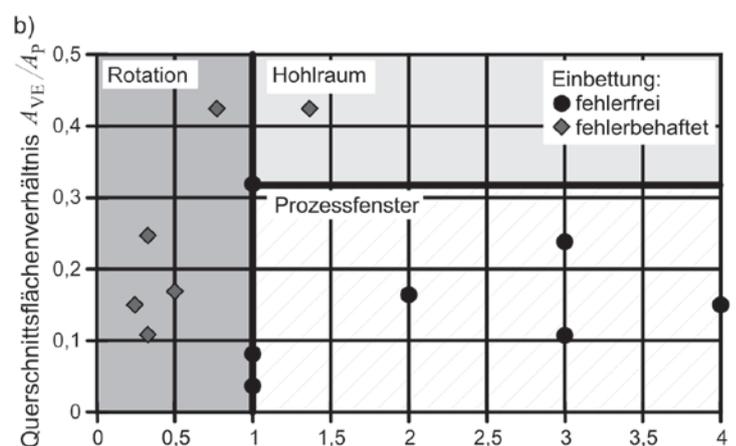
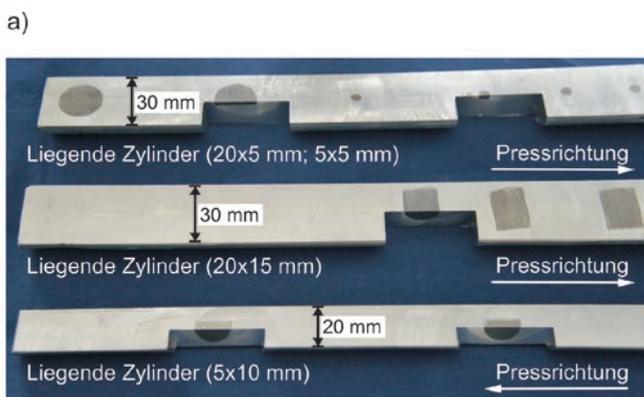


Bild 3: a) Eingebettete „liegende Zylinder“ ($h_{VE} \times d_{VE}$); b) Prozessfenster für „liegende Zylinder“.

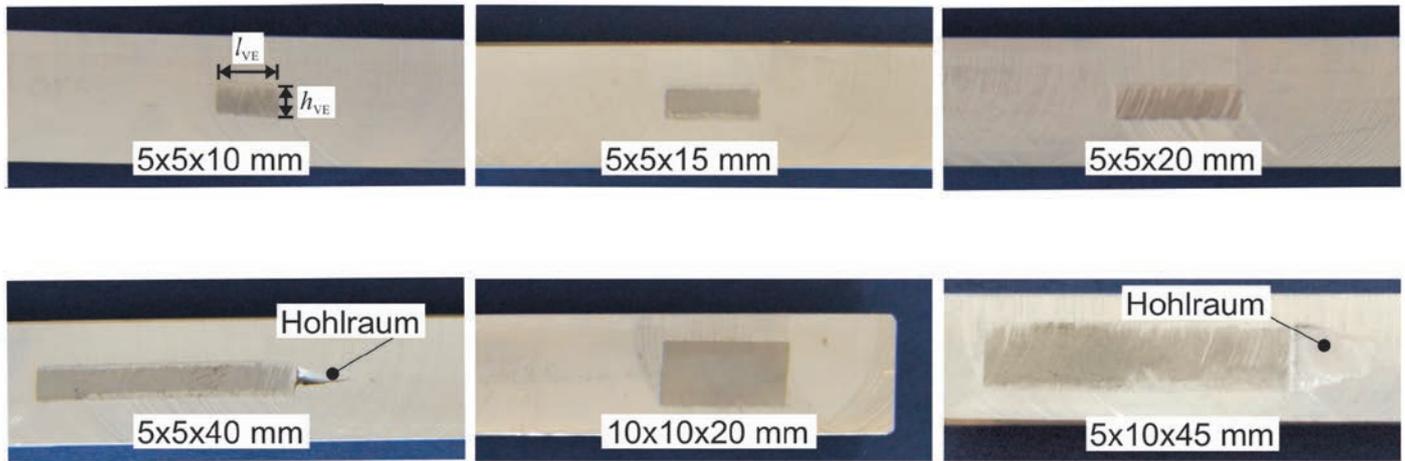


Bild 4: Eingebettete quadratische Verstärkungselemente unterschiedlicher geometrischer Abmessungen ($b_{VE} \times h_{VE} \times l_{VE}$).

Bilder: Autoren

Zusammenfassung und Ausblick

Die Prozesskette „Verbundstrangpressen und anschließendes Schmieden“ dient zur Herstellung von hybriden Bauteilen. Bei der Herstellung der Verbundhalbzeuge durch Strangpressen wurde bislang hauptsächlich die zentrische oder exzentrische Einbettung von rotationssymmetrischen Elementen untersucht. Im Rahmen der aktuell durchgeführten Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass darüber hinaus sowohl die

fehlerfreie Einbettung von nicht-rotationssymmetrischen Verstärkungselementen, wie beispielsweise quaderförmigen Elementen und quer zur Strangpressrichtung liegenden Zylindern, realisiert werden kann. Hinsichtlich einer potenziellen Nutzbarkeit der Prozesskette im industriellen Umfeld führt dies zu einer signifikanten Steigerung der Flexibilität. Für die Einbettung liegender Zylinder konnte bereits ein Prozessfenster ermittelt werden. Ein solches Prozessfenster

soll im Rahmen weiterführender Untersuchungen auch für quaderförmige Elemente identifiziert werden. Darüber hinaus ist im Rahmen des Projekts die numerisch gestützte Fertigung eines anwendungsnahen Demonstratorbauteils geplant. An dem gefertigten Demonstrator soll im Anschluss die Bauteilqualität durch mechanische Prüfverfahren sowie Untersuchungen der Fügezonen und der Gefügestruktur analysiert werden. ■



Christoph Dahnke



Dr. Matthias Haase



Prof. Dr. Dr. E.h.
A. Erman Tekkaya

Förderhinweis

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung des Forschungsprojekts „Bauteiloptimierung durch Schmieden von verbundstranggepressten Aluminiumhalbzeugen“ (DFG, Projektnummer TE 508/17-2).

Literatur

[1] Behrens, B.-A.; Kosch, K.-G.: „Herstellung lokal anforderungsoptimierter Hybridbauteile durch Verbundschmieden“, SchmiedeJOURNAL, 03/2013, S. 60-63, 2013.

[2] Foydl, A.; Haase, M.; Pietzka, D.; Jäger, A.; Tekkaya, A. E.: „Experimentelle Untersuchungen zur Herstellung von diskontinuierlich verstärkten Strangpressprofilen“, International Aluminium Journal, Vol. 87, Nr. 12, S. 61-65, 2011.

[3] Foydl, A.; Pfeiffer, I.; Kammler, M.; Pietzka, D.; Matthias, T.; Jäger, A.; Tekkaya, A. E.; Behrens, B. A.: „Manufacturing of

Steel-Reinforced Aluminum Products by Combining Hot Extrusion and Closed-Die Forging“, Key Engineering Materials, Vol. 504-506, pp. 481-486, 2012.

[4] Foydl, A.; Turan, E.; Jäger, A.; Tekkaya, A. E.: „Influence of steel reinforcement geometry on position and embedding quality in discontinuously-reinforced, coextruded aluminum profiles“, In: Proceedings of the Tenth International Aluminium Extrusion Technology Seminar ET'12, Miami, USA, pp. 665-674, 2012.

[5] Ben Khalifa, N.; Foydl, A.; Pietzka, D.; Jäger, A.; Tekkaya, A. E.: „Extrusion of Multi-Material Components“,

In: Proceedings of the ASME 2014 International Manufacturing Science and Engineering Conference MSEC2014, Detroit, Michigan, USA, 2014.

[6] Behrens, B.-A.; Tekkaya, A. E.; Kosch, K.-G.; Foydl, A.; Kammler, M.; Jäger, A.: „Manufacturing of steelreinforced aluminum parts by coextrusion and subsequent forging“, Key Engineering Materials, Vol. 585, pp. 149-156, 2013.

[7] Kosch, K.-G.; Pfeiffer, I.; Foydl, A.; Behrens, B.-A.; Tekkaya, A. E.: „Schmieden von partiell stahlverstärkten Aluminiumhalbzeugen“, UTF Science, Meisenbach Verlag Bamberg, S. 1-9, 2012.