

## Verbesserung der Bauteilqualität mittels positions- und kraftgeregelter Folgeverbundprozessen

# Folgeverbundwerkzeug für Linearhybridpresse

A. Müller, D. Schmiele, R. Krimm

**ZUSAMMENFASSUNG** Bei der Herstellung von Bauteilen in mehreren Umformoperationen auf Folgeverbundwerkzeugen wird nicht jeder Umformprozess mit optimalen Prozessparametern durchgeführt, weshalb auch die Qualität der produzierten Werkstücke nicht immer optimal ist. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Auslegung und Konstruktion eines Folgeverbundwerkzeuges, speziell angepasst für ein hybrides Antriebssystem mit Positions- und Kraftregelung. In experimentellen Versuchen wird die erreichbare Bauteilqualität mit derjenigen verglichen, welche mit einer herkömmlichen Exzenterpresse erreichbar ist.

### STICHWÖRTER

Folgeverbundwerkzeug, Konstruktion, Umformtechnik

**Progressive die for linear hybrid press – Improvement of component quality by means of position- and force-controlled progressive die processes**

**ABSTRACT** When manufacturing metal sheet components with multiple forming operations in progressive dies, not every forming process is performed with optimal process parameters, which may negatively affect the quality of the components. This work focuses on the design and construction of a progressive die, specifically adapted to a hybrid drive system with position and force control. In experimental trials, the component quality is compared with that achieved using a conventional eccentric press.

## 1 Einführung

In der Umformtechnik gewinnen flexibel einsetzbare und dynamische Pressenantriebe zunehmend an Bedeutung, vor allem bei Anwendungen zur Herstellung von komplexen Blechbauteilen. Ein besonders herausforderndes Einsatzfeld stellt der Betrieb von Folgeverbundwerkzeugen dar, bei dem mehrere Umformprozesse innerhalb eines einzigen Stößelhubs durchgeführt werden.

Diese Prozesse erfordern unterschiedliche Stößeltrajektorien mit angepassten Stößelendlagen (UT) für ein optimales Ergebnis, die mit konventionellen Antriebssystemen (wie Kurbelgetriebe, Schwungradpressen) nur eingeschränkt oder gar nicht realisiert werden können. Mechanische Exzenterpressen erreichen zwar hohe Hubzahlen, jedoch ist die mit ihnen erreichbare Fertigungspräzision begrenzt. Aufgrund von Lagerspielen und Elastizitäten können sich die maximalen unteren und oberen Stößelpositionen (UT, OT) nach der Einrichtung mit zunehmender Betriebsdauer und veränderlichen Temperaturen verändern und damit beispielsweise während eines Prägeprozesses für inkonstante Prägetiefen sorgen. Eine gleichbleibende Fertigungsqualität ist dann nicht gegeben.

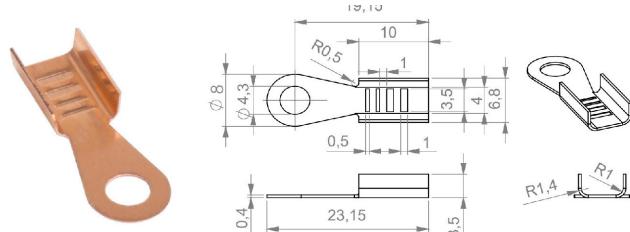
Ziel dieser Arbeit ist der potenzielle Nachweis der Steigerung der Fertigungsqualität hochwertiger Prägeteile mittels magnetlinearaktorischer Hybridantriebe gegenüber weggebundenen Pressen. Gleichzeitig wird die Frage beantwortet, ob mit solchen Antrieben für Folgeverbundprozesse eine höhere Prozessstabilität erreicht werden kann. Als Qualitätsmerkmal dient eine Prägetiefe bei der Fertigung eines Ringkabelschuhs.

## 2 Stand der Technik

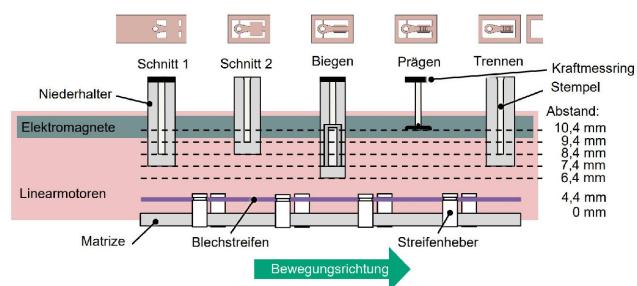
### 2.1 Folgeverbundwerkzeuge

Verbundwerkzeuge erlauben eine kostengünstige Herstellung von kleinen bis mittelgroßen Blechbauteilen mit komplexen Formen, indem verschiedene Umformprozesse wie Schneiden, Biegen und Prägen in einem einzigen Werkzeug kombiniert werden [1]. Solche Bauteile werden in der Automobilindustrie [2], in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Elektroindustrie [3] in großen Stückzahlen mit Folgeverbundwerkzeugen produziert. Das zu bearbeitende Werkstück wird dabei von einem Bandvorschubgerät durch das Werkzeug geschoben beziehungsweise gezogen und bleibt bis zum letzten Bearbeitungsschritt mit dem Blechstreifen verbunden [4]. Die Anzahl der Umformstufen beeinflusst dabei nicht die Ausbringungsmenge, sondern hat lediglich Auswirkungen auf die Werkzeugkosten.

Mit einer höheren Anzahl an Stufen lässt sich die Komplexität der einzelnen Prozesse reduzieren. Die Teilung eines komplexen Umformprozesses in mehrere einfache Prozesse erhöht dabei die Prozesssicherheit. Dennoch treten an Präzisionsbauteilen schwankende Maße an Funktionselementen aufgrund nicht konstanter Prozessgrößen weggebundener Pressen auf. In [5] konnte bereits in mehreren auf Messdaten basierenden Simulationen gezeigt werden, dass eine Close-Loop-Regelung der Prozesskraft an hydraulischen Pressenantrieben zu einer Verbesserung der Bauteilqualität führen kann.



**Bild 1** Demonstratorbauteil (links) und technische Zeichnung mit Bemaßung in mm (rechts). *Grafik: IFUM*



**Bild 2** Schematischer Aufbau des Folgeverbundwerkzeugs mit den Stufen-eingriffshöhen. *Grafik: IFUM*

## 2.2 Magnet-linearaktorischer Hybridantrieb

Direkt angetriebene Pressen mit Linearmotoren benötigen keine mechanischen Übertragungsglieder und werden in [6] exemplarisch an der Presse „Stanzrapid“ vorgestellt. In [7] wird eine Presse mit Linearmotor anhand ihrer dynamischen Eigenschaften und Kräfte analysiert. Im Gegensatz zu etablierten Pressen besitzen Linearmotorpressen eine verhältnismäßig kleine Umformkraft.

Am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) wurde zur Reduzierung des oben genannten Maschinen-einflusses auf den Umformprozess ein Pressendemonstrator

erforscht, der mit einem Linearmotor zur präzisen dynamischen Positionierung und einem elektromagnetischen Aktuator zur gezielten Aufbringung von Zusatzkräften im unteren Umkehrpunkt ausgestattet ist [8]. Durch diese Antriebskombination erfolgt eine zonenspezifische Steuerung von Kraft und Weg, wodurch prozessoptimierte Umformgeschwindigkeiten abhängig von der Stößelposition während des Abwärthubes individuell eingestellt werden können und zusätzlich eine präzise Kraftregelung nahe der Endlage möglich ist. Die Linearmotoren liefern über den gesamten Hub eine Kraft von bis zu 20 kN. Die Anordnung der Elektromagnete wurde so gewählt, dass ihr Wirkungsbereich 1,5 mm vor dem unteren Umkehrpunkt der Presse beginnt. Bei einem Luftspalt von 0,5 mm erreichen die Elektromagneten eine maximale Kraft von bis zu 100 kN [9]. Mit den Linearmotoren kann sowohl eine Positions- als auch eine Kraftregelung realisiert werden, wohingegen sich die Elektromagneten nur für eine Kraftregelung einsetzen lassen.

Neben den Aktoren sind zusätzlich zwei Messsysteme in der Presse und in dem Werkzeug appliziert. Über Positionsgeber in den Führungswagen der Pressenführung wird die aktuelle Position und Geschwindigkeit ermittelt. Für eine genaue Kraftregelung mit den Elektromagneten werden zusätzlich Kraftmessringe in Prozessnähe benötigt.

## 3 Werkzeugauslegung und Konstruktion

### 3.1 Demonstratorbauteil

Zur Untersuchung der mit verschiedenen Pressenantrieben erreichbaren Werkstückqualität wurde ein Ringkabelschuh als Demonstratorbauteil ausgelegt (**Bild 1**, links).

Zu dessen Herstellung sind die Umformprozesse Schneiden, Biegen und Prägen erforderlich. Zunächst wird die Kontur des Kabelschuhs geschnitten und anschließend seitlich zwei Flanken aufgestellt. Mithilfe dieser Flanken kann der Kabelschuh später mittels Crimpens fest mit einem Elektrokabel verbunden werden. Zusätzlich befindet sich auf der Innenseite des Kabelschuhs ein geprägter Bereich mit einer Tiefe von 0,1 mm, der die Gefahr des

**Tabelle.** Berechnete Prozesskräfte je Stufe und Gesamtwerkzeug zu Hubposition.

Hubposition in mm	Prozesskraft in N						Gesamt
	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5		
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	3,6	0	0	0	3,6
4	3,6	0	4,8	0	0	3,6	12
5	4,8	3,6	6	0	0	4,8	19,2
6	6	4,8	7,2	0	0	6	24
7	7,2	6	905,2	3,6	0	7,2	929,2
8	16164,2	7,2	427,2	4,8	0	3269,2	19872,6
9	3757,2	15024,2	637,2	6	0	1057,2	20481,8
10	4507,2	3757,2	847,2	42007,2	0	1267,2	52386

Herausrutschens des Kabels verringert. Die Abmaße sind in Bild 1, rechts, dargestellt.

Bei der Auslegung mussten die Randbedingungen, welche konstruktions- und antriebsbedingt durch den Pressendemonstrator gegeben sind, eingehalten werden. Der Einbauraum ist mit einer Höhe von 280 mm, einer Breite von 500 mm und einer Tiefe von 350 mm begrenzt und die maximale Hubhöhe wird durch die Linearmotoren auf 28 mm limitiert. Ebenfalls stehen für die Umformprozesse hubhöhenabhängig nur begrenzte Antriebskräfte zu Verfügung, wodurch die einzelnen Werkzeugstufen aufeinander abgestimmt sein müssen. Als Ausgangsmaterial wird ein Kupferblech vom Coil mit einer Blechbreite von 25 mm und einer Blechdicke von 0,4 mm verwendet.

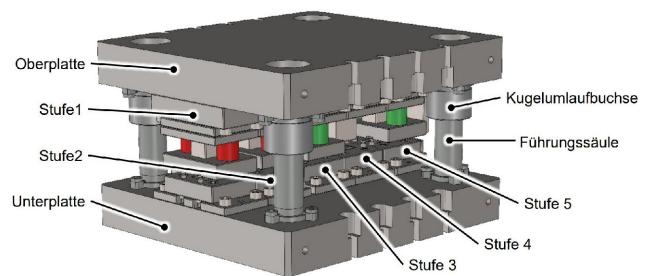
### 3.2 Prozessauslegung

Anhand der pressenseitig vorgegebenen Randbedingungen wurde zunächst die Aufteilung der Stufen des Folgeverbundwerkzeuges festgelegt und im Anschluss eine erste Berechnung der Prozesskräfte in den einzelnen Stufen durchgeführt. Damit insbesondere die Kraftregelung der Prägung möglichst exakt umgesetzt werden kann, sind die Fertigungsprozesse Schneiden, Biegen und Prägen jeweils in einzelnen Stufen ausgeführt. Bei der Berechnung der Schneidkraft hat sich herausgestellt, dass die Kontur des Ringkabelschuhs nicht in einer einzelnen Stufe realisiert werden kann, da die Schneidkraft die Maximalkraft der Linearmotoren überschreiten würde. Insgesamt wurde das Folgeverbundwerkzeug in fünf Stufen ausgelegt (**Bild 2**).

Die unterteilten Schneidprozesse der Kontur finden in den ersten beiden Stufen statt. Die Biege- und Prägeprozesse folgen in der dritten und vierten Stufe. In der letzten Stufe wird das fertige Bauteil aus dem Blechstreifen herausgetrennt und das verbleibende Kupferblech in kleine Reste zerschnitten.

Neben Schneid-, Biege- und Prägekräften müssen die Niederhalterkräfte in den Schneid- und Biegestufen mitberücksichtigt werden. Obwohl ein Umformprozess in einer Stufe abgeschlossen ist, wirken seine Niederhalterkräfte weiterhin proportional zur Eintauchtiefe. Entsprechend wurden die Eingriffshöhen der Stempel und Niederhalter gemäß Bild 2 gewählt. Die Eingriffshöhe ist definiert als der Abstand zwischen Stempel und Matrize während der Stößel sich im oberen Umkehrpunkt befindet. Dabei ist die Matrize in allen Stufen als identische Nulllinie referenziert. Die Oberseite des Blechstreifens wurde auf eine Höhe von 4,4 mm festgelegt, um das Bauteil im Blechstreifen trotz heruntergebogenen Flanken zur nächsten Stufe transportieren zu können. Der Blechstreifen wird dabei von federgelagerten Streifenhebern geführt.

Mit Herabsenken des Pressenstößels verringert sich auch der Abstand zwischen Stempel und Matrize. Die Biegestufe besitzt die geringste Eingriffshöhe und trifft als erste Werkzeugstufe auf das Kupferblech. Fortlaufend wird der Blechstreifen nach unten auf die Matrize gedrückt und dort über einen Zentrierstift im Niederhalter zentriert. Im weiteren Hubverlauf findet nach dem Biegen der erste Schnitt und das Trennen sowie anschließend der zweite Schnitt der Kontur statt. Zuletzt erfolgt die Prägung der Gravur im unteren Umkehrpunkt der Presse und im Wirkungsbereich der Elektromagneten. Die berechneten Prozesskräfte für jede Stufe zu den einzelnen Hubpositionen bei einer Hubhöhe von 10 mm sind in der **Tabelle** dargestellt.



**Bild 3** CAD-Konstruktion des Folgeverbundwerkzeuges. Grafik: IFUM

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass der Pressendemonstrator rechnerisch zu jeder Hubposition ausreichend Antriebskraft für die Prozesse in dem Folgeverbundwerkzeug aufbringen kann. Die minimale Hubhöhe von 10 mm muss zwingend eingehalten werden, da ansonsten der Blechstreifen von dem Zentrierstift am Weitertransport gehindert werden kann.

### 3.3 Konstruktion des Folgeverbundwerkzeuges

Auf Basis der Prozessauslegung erfolgt die Konstruktion des Folgeverbundwerkzeuges. Der Gesamtaufbau besteht aus einem Säulengestell mit Unter- und Oberplatte, an welchen die einzelnen Stufen verschraubt und verstiftet werden (**Bild 3**). Somit können einzelne Stufen nach der Einrichtung des Schneidspaltes ein- beziehungsweise ausgebaut werden, ohne die Einrichtung erneut durchführen zu müssen.

## 4 Experimenteller Versuchsbetrieb

Zum Vergleich der erreichbaren Fertigungsqualität wurde das Folgeverbundwerkzeug neben der in Kapitel 2.2 beschriebenen Presse (Hybridpresse) in eine am IFUM vorhandene Exzenterpresse vom Typ „Haulick & Roos RSH 630“ montiert und betrieben. Anschließend wurden die produzierten Werkstücke anhand von Oberflächenmessungen verglichen. Die Versuche wurden auf beiden Pressen mit einer Hubzahl von 30 Hüben pro Minute und einer Hubhöhe von 12 mm durchgeführt.

### 4.1 Versuche mit der Exzenterpresse

Die Exzenterpresse wird von einem Elektromotor in Kombination mit einem Schwungrad angetrieben. Mit der manuellen Stößellageverstelleinrichtung kann der untere Umkehrpunkt mit einer Genauigkeit von 10 µm auf die gewünschte Prägetiefe von 0,1 mm eingerichtet werden. Der gesamte Versuchsaufbau mit der Exzenterpresse ist in **Bild 4** abgebildet.

Die Exzenterpresse ist mit einem Bandvorschubgerät ausgestattet. Sowohl die Hubhöhe als auch die Hubzahl können über das Bedienfeld angepasst werden. Zur messtechnischen Erfassung der Prozessgrößen sind zahlreiche Messsysteme im Versuchsaufbau implementiert, um die Temperatur, die Stößelposition sowie die Prägekraft zu messen. Für eine repräsentative Messung der Maschinentemperatur wurde der Temperatursensor direkt an dem Einlassventil des Ölumlaufkreislaufes vor der Ölwanne der Exzenterpresse installiert. Die Stößelposition wurde über ein inkrementelles Längenmesssystem „LS 176“ von Heidenhain erfasst. Über eine Gesamtmeßdauer von 8 Stunden wurden die



Bild 4 Vorversuchsaufbau der Exzenterpresse. Foto: IFUM

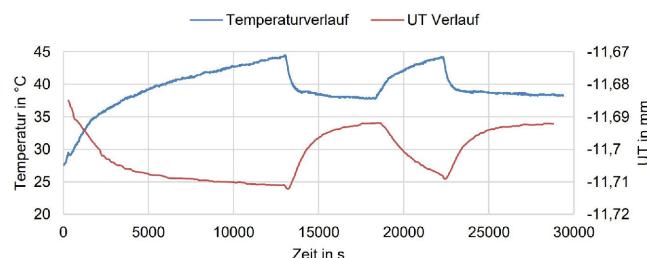


Bild 5 Verlauf der Temperatur und des unteren Umkehrpunktes der Exzenterpresse. Grafik: IFUM



Bild 6 Versuchsaufbau der linearen Hybridpresse. Foto: IFUM

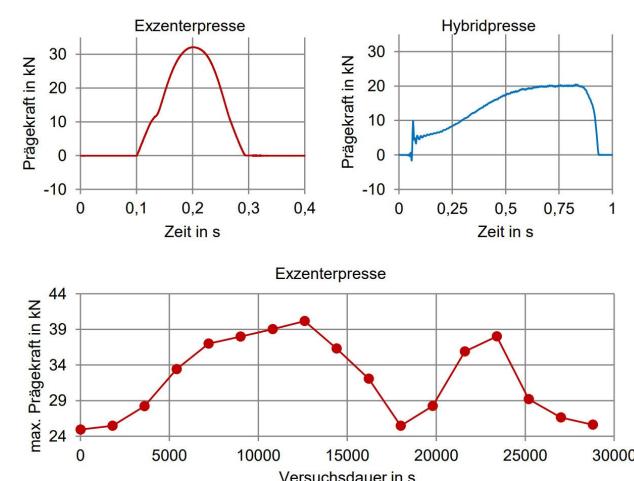


Bild 7 Vergleich der Prägekraft zwischen Exzenter- und Hybridpresse (oben) und Verlauf der maximalen Prägekraft in der Exzenterpresse in Abhängigkeit der Versuchsdauer in s (unten). Grafik: IFUM

Temperatur (Bild 5, blau) und die Position des Stößels aufzeichnet.

Für die Ermittlung der Tiefpunktlage wurde der Positionsverlauf nach globalen Minima durchsucht (Bild 5, rot). Der Temperaturverlauf zeigt zu Beginn eine Warmlaufphase, in der die Presse von Raumtemperatur auf Betriebstemperatur erwärmt wird. Nachdem das Öl bei einer Versuchsdauer von 3:40 h eine Temperatur von 44 °C erreicht hat, schaltet sich die Kühlung des Ölumlaufkreislaufes ein und die Temperatur der Presse sinkt. Unter einer Ölttemperatur von 38 °C wird die Kühlung wieder abgeschaltet. Die Veränderung der Temperatur hat dabei deutlichen Einfluss auf die untere Stößellage. Die Erwärmung der mechanischen Kraftübertragungskette sorgt dafür, dass sich unter anderem der Pleuel ausdehnt. Dies hat zur Folge, dass die Position des unteren Umkehrpunktes um bis zu 0,03 mm variiert.

#### 4.2 Versuche in der Hybridpresse

Nach dem Referenzversuch in der Exzenterpresse wurde das Folgeverbundwerkzeug in die in Kapitel 2.2 beschriebene Presse eingebaut, wobei identische Rahmenbedingungen wie im Referenzversuch in der Hybridpressensteuerung konfiguriert wurden. Als Stößeltrajektorie wurde ein cosinusförmiger Verlauf für die Auf- und Abwärtsbewegung sowie für die Kraftregelung ein Sollwert von 20 kN projektiert. Das Kraftsignal des Kraftmessringes in der Prägestufe wird direkt aus den Ladungsverstärkern in die Antriebssteuerung für die Elektromagnete zurückgeführt. Der gesamte Versuchsaufbau mit den verwendeten Messsystemen ist in Bild 6 dargestellt.

Äquivalent zu dem Versuchsaufbau in der Exzenterpresse wird der Blechstreifen durch das Folgeverbundwerkzeug geschoben. Da im Pressentisch keine Aussparung für die herausfallenden Schnittreste und das fertige Bauteil vorgesehen ist, befindet sich das Folgeverbundwerkzeug auf einer Erhöhung, sodass die Kupferreste und Kabelschuhe auf einer darunter befindlichen Förderrutsche getrennt und abtransportiert werden können.

### 5 Vergleich der Bauteilqualität im Gravurbereich

#### 5.1 Prägekraft

Zu geringe Prägekräfte deuten auf eine unvollständige Prägung hin, während eine zu große Kraft zu Materialüberdehnung, Gradbildung an den Kanten und erhöhtem Werkzeugverschleiß führen kann. Für beide Pressen ist die Prägekraft in Abhängigkeit von der Zeit in Bild 7 oben dargestellt.

Der Kraftverlauf für die Exzenterpresse zeigt eine maximale Prägekraft von 32 kN. Diese verändert sich während des gesamten Versuchsdurchlaufes abhängig von der unteren Stößellage und damit auch von der Temperatur (Bild 7 unten). Die maximale Prägekraft bei den Versuchen auf der Exzenterpresse schwankt zwischen 25 kN bei den niedrigen und 40 kN bei den hohen Temperaturen.

Anders verläuft die Kraft in der Hybridpresse bei aktiver Kraftregelung. Zunächst ist ein impulsartiger Kraftanstieg mit dem Auftreffen des Prägestempels auf das Kupferblech nach dem Blechabriß in den vorherigen Schneidstufen zu erkennen. Diese Schnittschlagenergie wird daraufhin von den Elektromagneten weiterverwendet, welche die Prägekraft exakt auf die projektierte Sollkraft von 20 kN regeln. Abschließend werden die Elektro-

magnete deaktiviert. Obwohl die Exzenterpresse während der Versuche eine höhere Prätekraft erzeugt, erreicht die Hybridpresse die erforderliche Prägetiefe, weil die Prätekraft kontrolliert über einen längeren Zeitraum in das Werkstück überführt werden kann.

## 5.2 Oberflächenvermessung und Prägetiefe

Die in den Versuchen produzierten Ringkabelschuhe wurden im Bereich der Prägestelle vermessen. Hierfür wurde das berührungslos arbeitende Flächen-Profilmessgerät „VR-3200“ von Keyence mit einer Höhenmessgenauigkeit von  $3\text{ }\mu\text{m}$  verwendet. Der Bildausschnitt wurde dabei auf Gravur 1 (G1), Gravur 2 (G2), Gravur 3 (G3) und Gravur 4 (G4) fokussiert. Das Profilometer generiert über eine Streifenlichtprojektion eine dreidimensionale Punktwolke, wodurch Höhenprofile oder Profilschnitte abgeleitet werden können.

Zum Vergleich der Prägetiefen wurden während der Versuchsserien im Abstand von 30 Minuten Werkstücke entnommen und mit dem Profilmessgerät vermessen. Ein Oberflächenprofil eines in der Hybridpresse gefertigten Bauteiles ist in **Bild 8** abgebildet.

Entlang der dort eingezeichneten Geraden wurde mittig durch alle vier Gravuren ein Profilschnitt erstellt. In **Bild 9** sind die Profilschnitte aller vermessenen Bauteile aus der Hybridpresse übereinander dargestellt.

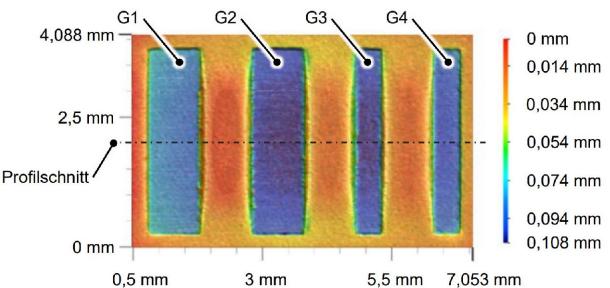
Das Bauteil zeigt entlang des Profilschnittes eine leichte Durchbiegung nach unten. Im Prägeprozess wird das Kupfer von dem Stempel in das Bauteil gedrückt, sodass sich überschüssiges Material an der gegenüberliegenden Seite sammelt. Diese Biegung zeigt sich auf mit beiden Pressen gefertigten Werkstücken und ist abhängig von der Prätekraft. Kleinere Kräfte bedeuten zwar eine geringere Durchbiegung, aber auch eine geringere Prägetiefe. Die gewünschte Prägetiefe von  $0,1\text{ mm}$  wird in den experimentellen Versuchen schon bei Kräften ab  $38\text{ kN}$  erreicht, sodass die in der Auslegung berechnete Prätekraft von  $42\text{ kN}$  nicht notwendig ist und eher zu einer stärkeren Durchbiegung führt.

Für jede Gravur in dem Profilschnitt wurden mittlere Prägetiefen ermittelt, welche für alle Bauteile aus beiden Pressen in **Bild 10** gegenübergestellt sind.

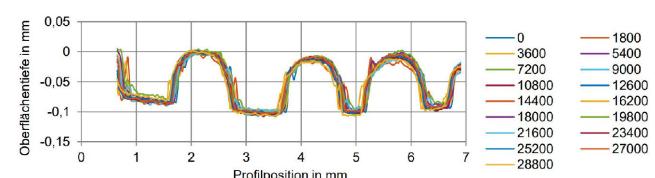
Der Vergleich zeigt dabei deutlich, dass die Prägetiefe bei den Bauteilen, welche in der mechanischen Presse gefertigt wurden, wesentlich von der Temperatur abhängt. Die Prägetiefe variiert um bis zu  $0,03\text{ mm}$ . In der Produktion wären jene Bauteile Ausschluss, die während der Warmlaufphase oder bei der Abkühlung produziert wurden. Um eine konstante Prägetiefe zu erreichen, wäre eine manuelle Justierung mithilfe der Stößellageverstelleinrichtung nötig. Die mit der linearen Hybridpresse im kraftge Regelten Betrieb produzierten Bauteile weisen eine deutlich konstantere Prägetiefe bei gleichzeitig erhöhter Prozessstabilität auf. Durch die geschlossene Positionsregelung mit den Linearmotoren wird eine konstante Stößeltrajektorie, selbst bei variierenden Umwelteinflüssen, erreicht. Die Kraftregelung mit den Elektromagneten gewährleistet zudem eine Schwankung der Prägetiefe um maximal  $0,008\text{ mm}$  und somit eine Reduzierung der Prägetiefenschwankung gegenüber der Exzenterpresse um  $73\%$ .

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

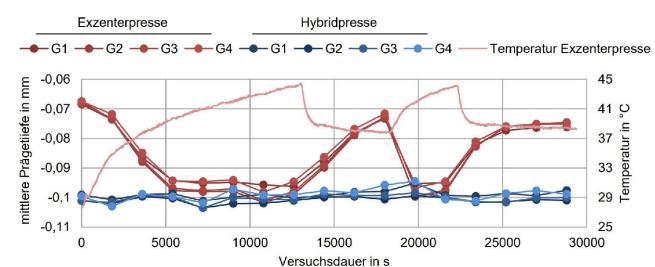
In diesem Beitrag wurde ein Folgeverbundwerkzeug für eine Hybridpresse ausgelegt, hergestellt und dessen Fertigungsqualität



**Bild 8** Oberflächenprofil der Prägestruktur eines Bauteiles aus der Hybridpresse. Grafik: IFUM



**Bild 9** Profilschnitt der Prägung mit linearer Hybridpresse. Grafik: IFUM



**Bild 10** Vergleich der mittleren Prägetiefen. Grafik: IFUM

im Betrieb auf unterschiedlichen Pressen erforscht. In dem fünfstufigen Werkzeug sind die Fertigungsprozesse Schneiden, Biegen und Prägen für die Herstellung eines Ringkabelschuhs untergebracht. Die verschiedenen Umformstufen wurden mittels unterschiedlicher Stempel eingriffshöhen an die zonsenspezifisch aktiven Antriebskomponenten angepasst, wodurch eine Prätekraftregelung im unteren Umkehrpunkt ermöglicht wird.

In experimentellen Versuchen konnte gezeigt werden, dass bei schwungradbetriebenen Exzenterpressen der untere Umkehrpunkt aufgrund von Temperaturänderungen schwankt und dies zu korrelierend schwankenden Bauteileigenschaften führt. Durch die Verwendung des in Kapitel 2.2 beschriebenen Pressenantriebs konnte die Fertigungsqualität und Prozessstabilität deutlich verbessert werden. Anders als bei weggebundenen Pressen ist im Dauerbetrieb dann keine manuelle Einrichtung oder Kalibrierung vor und während des Betriebs erforderlich, wodurch Zeit und Kosten eingespart werden können.

Zur weiteren Hebung der Fertigungsqualität und Verbreiterung des produzierbaren Bauteilspektrums sind weitere Arbeiten an der Hybridpressensteuerung geplant, indem die Linearmotoren mit in die Kraftregelung integriert werden und damit der Übergang zwischen Positions- und Kraftregelung verbessert wird. Ebenfalls ist die Auswirkung des hybriden Antriebskonzepts auf den Verschleiß des Werkzeuges von Interesse. Abschließend ist

nicht nur die thermisch bedingte Geometrieschwankung in der Presse interessant, auch das Folgeverbundwerkzeug selbst kann sich aufgrund der Prozessenergie erwärmen und ausdehnen. Über weitere Messungen mit Temperatursensoren am Werkzeug könnte der Einfluss auf die Umformqualität und das Verhalten des Werkzeugs bei unterschiedlichen Prozessparametern weiter untersucht werden.

## FÖRDERHINWEIS

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG),  
Projekt-Nummer: 239414277

## LITERATUR

- [1] Birkert, A.; Haage, S.; Straub, M.: Umformtechnische Herstellung komplexer Karosserieteile. Heidelberg: Springer 2013
- [2] Moghaddam, M. J.; Soleymani, M. R.; Farsi, M. A.: Sequence planning for stamping operations in progressive dies. Journal of Intelligent Manufacturing 26 (2015) 2, pp. 347–357
- [3] Xu, Z.; Li, Z.; Zhang, R. et al.: Fabrication of micro channels for titanium PEMFC bipolar plates by multistage forming process. International Journal of Hydrogen Energy 46 (2021) 19, pp. 11092–11103
- [4] Kolbe, M.; Hellwig, W.: Spanlose Fertigung Stanzen. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2015
- [5] Havinga, J.; van den Boogaard, T.; Dallinger, F. et al.: Feedforward control of sheet bending based on force measurements. Journal of Manufacturing Processes 31 (2018), pp. 260–272
- [6] Schepp, F.: Linearmotorgetriebene Pressen für die Stanztechnik. Aachen: Shaker Verlag 2002
- [7] Gao, J.; Zhao, S.; Li, J. et al.: Study on dynamic characteristic and forging capacity of the direct drive press with symmetrical toggle booster mechanism driven by TPMLM. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture 235 (2021) 11, pp. 1800–1809
- [8] Krimm, R.; Behrens, B.-A.; Reich, D.: Hybridaktorischer Pressenantrieb. wt Werkstatttechnik online 105 (2015) 10, S. 747–752, doi.org/10.37544/1436-4980-2015-10. Internet: www.werkstatttechnik.de. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag
- [9] Krimm, R.; Behrens, B.-A.; Reich, D.: Concept of a Linear Hybrid Press Drive. Konferenzbeitrag zum Symposium on Automated Systems and Technologies (2016), pp. 67–71

Alexander Müller, M. Sc.   
a.mueller@ifum.uni-hannover.de

Dennis Schmiele, M. Sc. 

Dr.-Ing. Richard Krimm   
Leibniz Universität Hannover   
Institut für Umformtechnik  
und Umformmaschinen (IFUM)  
An der Universität 2, 30823 Garbsen  
www.ifum.uni-hannover.de

## LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)