

Kunststoffe

WERKSTOFFE – VERARBEITUNG – ANWENDUNG

INTERVIEW

Stefan Engleder spricht über Krisenstimmung und Zuversicht

Seite 14

SPECIAL

Farbe & Design – attraktive Kunststoffprodukte gestalten

ab Seite 26

AUFBEREITUNG

Deinking: Entfärben als Schlüsselfaktor für hohe Recyclingquoten

Seite 56



Mit ENGEL Digital Solutions zur smart factory

ENGEL
be the first

engelglobal.com/inject-4-0

Kunststoff/Metall-Hybridbauteile durch Hinterspritzen von Lasermikrostrukturen herstellen

Hybrider Leichtbau schlüssig umgesetzt

Der Einsatz von Kunststoff/Metall-Hybridbauteilen in automobilen Anwendungen ermöglicht es, das Gewicht technischer Bauteile zu reduzieren und darin zugleich mehr Funktionen zu integrieren. Ein Ansatz zur Herstellung von Hybridbauteilen ist der Hinterspritzprozess, bei dem ein Verbund der artfremden Komponenten durch mikroformschlüssige Strukturen in der Metallkomponente erzeugt werden kann. Dabei kommt es darauf an, den Formschluss mit hoher Festigkeit und Mediendichtheit zu erzeugen.



Drei Stufen der Herstellung eines Scheinwerferreflektors. Von links nach rechts: druckgegossener Reflektorträger, hinterspritzter Hybrid-Reflektor, Reflektor nach PVD-Beschichtung. © IKV, Hella, Fraunhofer ILT

Die hohe Steifigkeit und Festigkeit von Metallen kann in einer hybriden Werkstoffverbindung mit dem geringen Gewicht, der Haltbarkeit und Formflexibilität von Kunststoffen kombiniert werden. Um leichtere Fahrzeuge entwickeln, den Kraftstoffverbrauch senken und die durch die Politik gesetzten Klimaziele erreichen zu können, sind Hybridbauteile besonders im Hinblick auf die steigenden Anforderungen im

Leichtbau relevant. Vor allem in der Automobilindustrie und der Luftfahrt ersetzen sie schwerere Metallkomponenten [1]. Die Herausforderung bei der Herstellung von Hybridbauteilen liegt im Werkstoffverbund. Häufig werden materialabhängige stoffschlüssige Verbindungsmechanismen eingesetzt, jedoch sind derzeit nicht für alle Kunststoff/Metall-Kombinationen Haftvermittlersysteme verfügbar bzw. zugelassen [2, 3].

Um einen hybriden Werkstoffverbund zu erzeugen, wurde im öffentlich geförderten Forschungsvorhaben *Form-Light* eine Fügestrategie entwickelt, die auf einer hinterschnittigen Lasermikrostrukturierung basiert. Das Einbringen der Laserstrukturen in die Leichtmetallkomponente ermöglicht es, die Kunststoffschmelze in einem Hinterspritzprozess gezielt formschlüssig zu verankern. Die quasi-flächige Strukturierung bewirkt

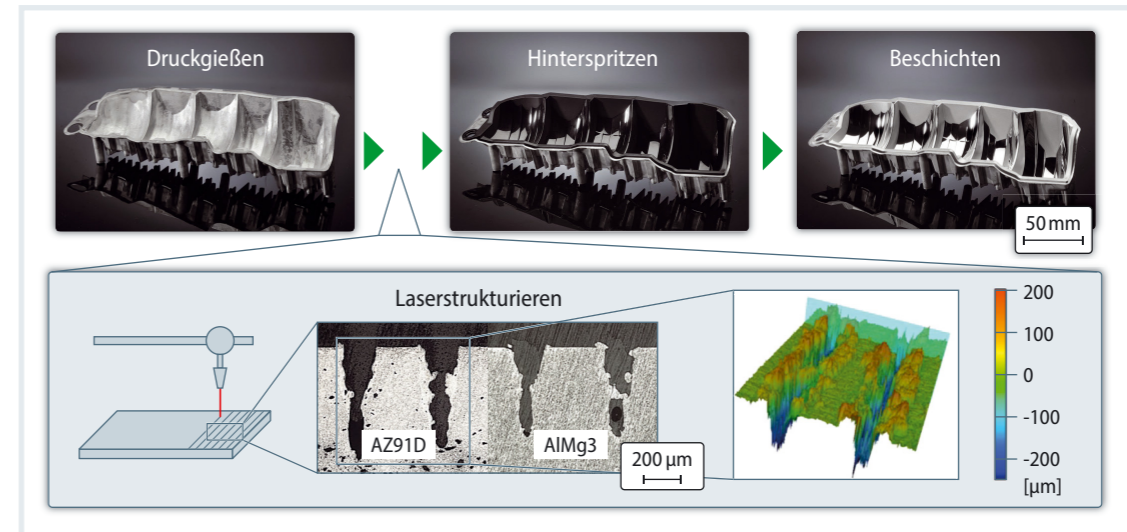


Bild 1. Vom Laserstrukturieren des Druckgussteils bis zur PVD-Beschichtung: Prozesskette zur Herstellung von mikroformschlüssig verbundenen hybriden Leichtbau-Komponenten am Beispiel eines Reflektors. © IKV, Hella, Fraunhofer ILT

homogenere Spannungsverhältnisse im Abkühl- und Belastungsfall.

Die Prozessroute entwickelte das Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik (ILT) und den Industriepartnern Hella und Jubo Technologies.

Anwendungsnahe Forschung an Demonstratoren

Um die Anforderungen an einen Hybridwerkstoffverbund zu ermitteln, wählten die Projektpartner exemplarisch zwei Demonstratoren aus der Automobil-Lichttechnik aus, die aufgrund ihrer unterschiedlichen Komplexitäten und Eigenschaften aus verschiedenen Materialkombinationen gefertigt wurden. Auf Basis der Funktionsanforderungen – hohe Verbundfestigkeit, Mediendichtheit, hohe Oberflächengüte – entschied man sich für zwei Leichtmetalllegierungen,

- die Magnesiumdruckgusslegierung AZ91D (Mg) und
 - die Aluminiumknetlegierung AlMg3 (Al),
- sowie zwei Polycarbonattypen:
- Makrolon 2205 (PC, unverstärkt) und
 - Makrolon DS801 (PC-MD40, 40% Mineralfüllung; Hersteller jeweils: Covestro).

Der Einsatz von Mineralfüllstoffen reduziert die Schwindung und damit einhergehend die Spannungen im Hybridbauteil nach dem Spritzgießen. Zusätzlich wird die Temperaturwechselbeständigkeit des Verbunds verbessert, da Mineralfüllstoffe die Differenz der Wärmeaus-

dehnungskoeffizienten reduzieren. Die Analysen zum Temperaturwechselverhalten des Verbunds wurden vorwiegend beim Projektpartner Hella durchgeführt.

Die Prozessroute ist exemplarisch am Hybrid-Reflektor-Demonstrator dargestellt (Bild 1). Der Magnesiumeinleger wird druckgegossen und anschließend durch den Projektpartner Fraunhofer ILT laserstrukturiert. Die Strukturen werden durch einen Ytterbium-Faserlaser (Typ: Rofin FL 020 C; Hersteller: Rofin-Sinar Laser GmbH) erzeugt. Das Lasersystem hat einen Strahldurchmesser von 40 µm und eine Nennleistung von bis zu 2 kW. Mithilfe eines Spiegellenssystems lassen sich unterschiedliche Strukturordnungen erzeugen. Die Halbzeug-Einleger werden im nächsten Prozessschritt durch den Partner Jubo chemisch gereinigt und passiviert. Danach werden sie bei

Hella mit der Kunststoffkomponente hinterspritzt, sodass gleichzeitig der Verbund beider Komponenten erzeugt und die Kunststoffkomponente urchgeformt wird (In-Mold Assembly). Anschließend wird der Reflektor, ebenfalls bei Hella, mithilfe eines PVD-Verfahrens (Physical Vapour Deposition) beschichtet (Titelbild).

Die für die verschiedenen Untersuchungen herangezogenen Prüfkörper wurden am IKV auf einer vollelektrischen Spritzgießmaschine (Typ: IntElect2 100/470-250; Hersteller: Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery) hergestellt. Für die Analyse der mechanischen und morphologischen Eigenschaften sowie der Mediendichtheit des Materialverbundes kommen gemäß ISO 19095 [4] standardisierte Prüfkörper zum Einsatz. Um eine anwendungsnahe Belastung für

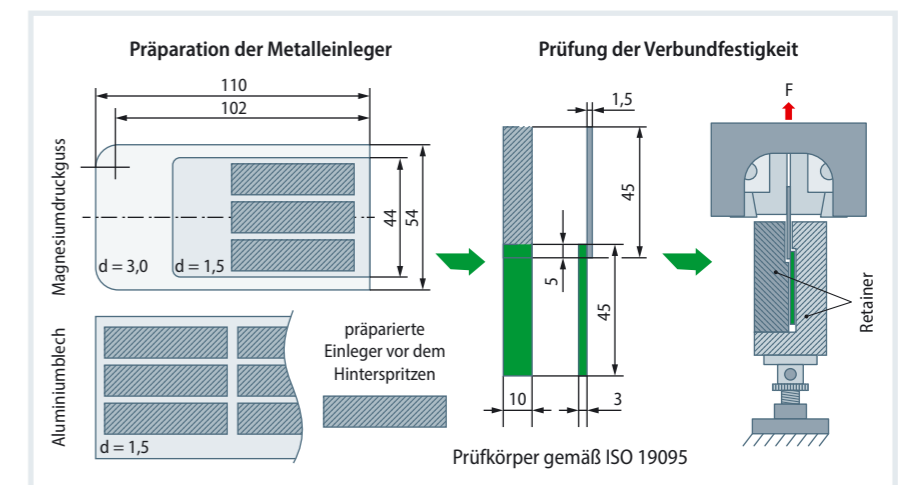


Bild 2. Zur Bewertung der Verbundfestigkeit wurden hybride Zugscherprüfkörper mithilfe von zuvor präparierten Metalleinlegern gemäß ISO 19095 hergestellt und geprüft.

Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

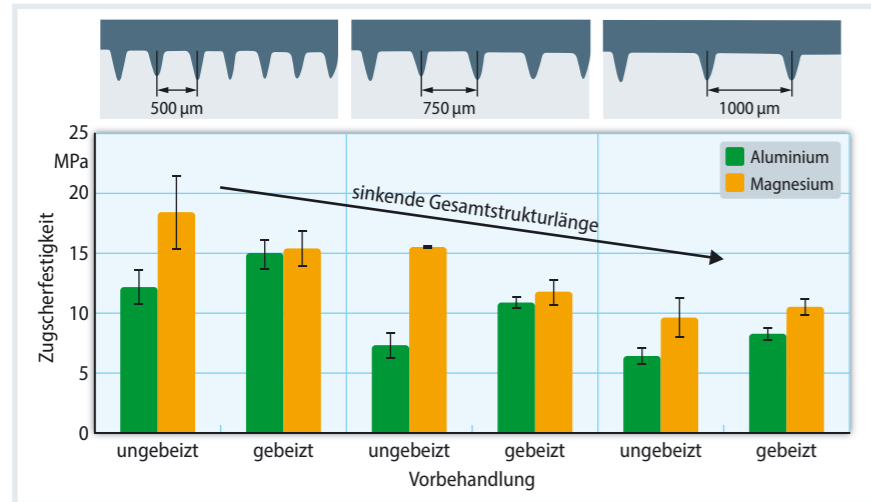


Bild 3. Die erreichten Zugscherfestigkeiten des Hybridverbunds sind abhängig vom verwendeten Leichtmetall, dem Strukturabstand und der Beizvorbehandlung. Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

den eingesetzten Zugscherprüfkörper nachzubilden, wird ein querspannungsreduzierender Retainer eingesetzt (Bild 2).

Entwicklung einer (vollständig zu füllenden) Lasermikrostruktur

Entscheidendes Kriterium beim Einsatz von Lasermikrostrukturen ist das Verhältnis aus Strukturöffnungsweite, Strukturtiefe und Hinterschnitt. Die Strukturen müssen eine Mindestöffnungsweite vorweisen, um im Hinterspritzprozess mit Schmelze gefüllt zu werden. Aufwürfe und Verschlüsse der Laserstrukturen erschweren den Füllvorgang [5]. Bei zu tiefen Strukturen lässt sich auch mit einer gezielt optimierten Spritzgießpro-

zessführung keine vollständige Strukturfüllung erreichen.

Um eine spezifische Strukturgeometrie zu erreichen, können im Strukturierungsprozess drei Parameter variiert werden: die Lasergeschwindigkeit, Laserleistung und die Anzahl der Überfahrten. Für Aluminium und Magnesium ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften, wie Wärmeleitung, Reflektionsverhalten und Schmelzpunkt, verschiedene Parametereinstellungen, die in vergleichbaren hinterschnittigen Strukturen resultieren (Bild 1). Abgesehen von der Geometrie der Einzelstrukturen ist der Verbund abhängig von der Strukturordnung sowie dem Strukturabstand. Da ein verringerter Strukturabstand eine größe-

re Verankerungsfläche bedeutet, kann die Verbundfestigkeit durch eine gezielte Auswahl des Strukturabstands beeinflusst werden (Bild 3). Für beide Leichtmetalle führt eine Abstandsreduktion zu einer höheren erreichbaren Zugscherfestigkeit.

Weiterführende Versuche haben diese Ergebnisse auch für mineralgefüllte PC-Formmassen bestätigt. Die Hybridprüfkörper wurden aufgrund der Anforderungen in der Praxis zusätzlich unter Temperaturwechselbelastungen beansprucht. Die Ergebnisse zeigen das Potenzial der formschlüssigen Verbindung für den Einsatz in automobilen Anwendungen unter wechselnden Umgebungs- und Einsatzbedingungen.

Verbesserte Bauteilfüllung durch Beizvorbehandlung

Verschlüsse, Defekte und Verengungen, die im Laserstrukturierungsprozess entstehen, können die vollständige Füllung verhindern (Bild 4 oben). Deshalb wurde mit dem Projektpartner Jubo die chemische Optimierung der Strukturen in Form einer Beizbehandlung für beide Metallwerkstoffe untersucht. Eine Analyse mittels Konfokalmikroskopie (Typ: VK-9700, Hersteller: Keyence) erlaubt es, den Einfluss verschiedener Beizen und Beizdauern auf die resultierenden Strukturen zu bewerten. Die drei exemplarisch dargestellten Strukturaufnahmen der Magnesiumdruckgusslegierung (Bild 4 unten) zeigen, dass die Beizbehandlung Aufwürfe und Verschlüsse entfernt und

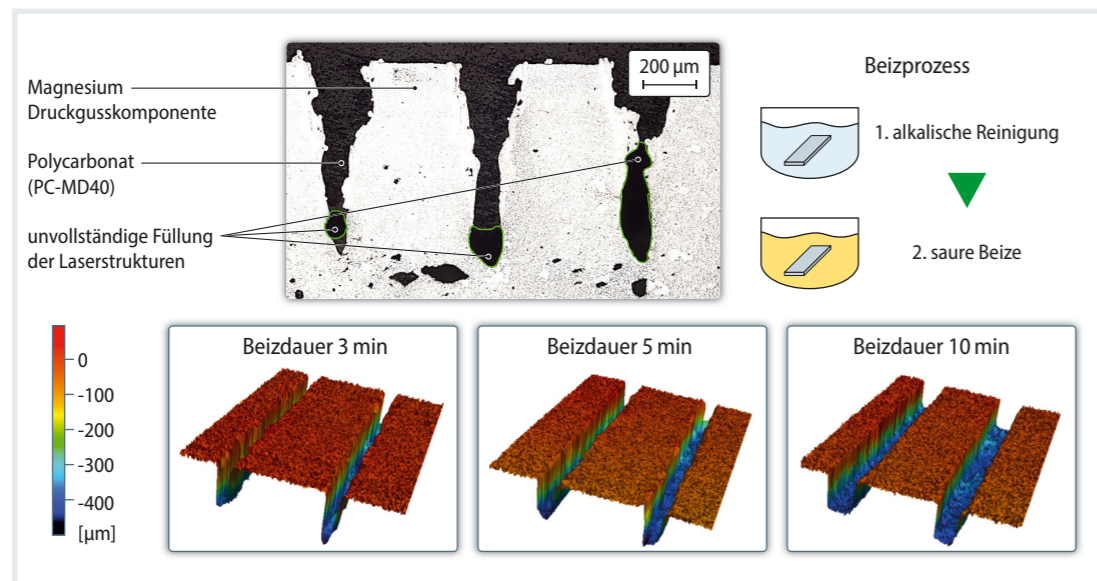


Bild 4. Die Beizbehandlung öffnet die Lasermikrostrukturen und entfernt Aufwürfe, sodass besonders in den tieferen Bereichen der Strukturen eine Füllung durch Schmelze ermöglicht wird. © IKV

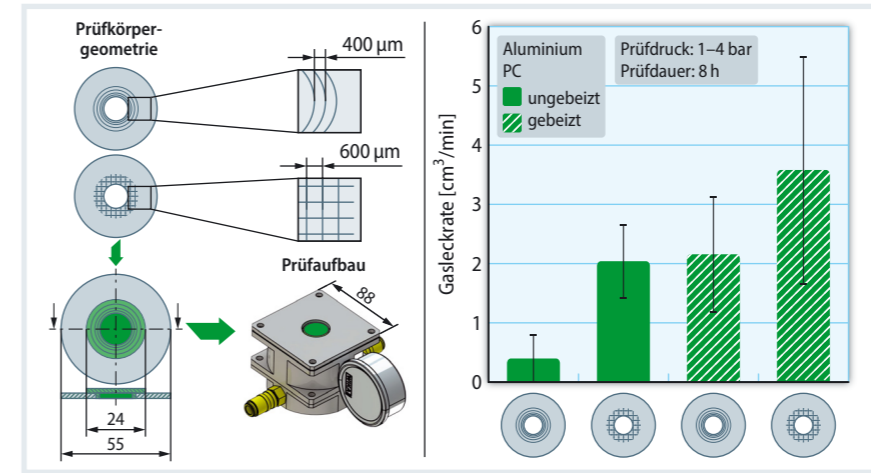


Bild 5. Nach Einlegen des hinterspritzten Ringprüfkörpers in die Prüfvorrichtung kann entsprechend DIN EN 13184 die Bewertung der Mediendichtheit anhand einer Druckabfallprüfung erfolgen. Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

die Metalloberfläche glättet. Dies verbessert die Strukturfüllung im Hinterspritzprozess, sodass die erzielten Strukturen vollständig gefüllt werden können und daraus eine höhere Verbundfestigkeit entsteht (Bild 3 Aluminium).

Der spezifische Beizprozess muss aufgrund des unterschiedlichen chemischen Reaktionsverhaltens der Metallwerkstoffe materialabhängig gewählt werden, jedoch führt für beide Werkstoffe die Kombination aus einer alkalischen Reinigung und einer sauren Beize zu reproduzierbaren Ergebnissen und einer optimalen Strukturöffnung. Ein zu starkes Beizen reduziert die formschlüssigen Verankerungsmöglichkeiten so stark, dass sich als Folge die Verbundfestigkeit verringert (Bild 3 Magnesium).

Nachweis der hybriden Mediendichtheit

Um die Funktionssicherheit von elektrischen Komponenten zum Beispiel in Scheinwerfern zu gewährleisten, ist die Dichtheit der Verbindung zwischen Kunststoff und Metall eine notwendige Voraussetzung zum Schutz vor (aggressiven) Medien, die zu Kurzschlüssen und Korrosion führen können [6]. Gemäß industriellen Standards sollte eine Gasdurchlässigkeit von 12 cm³/min nicht überschritten werden, da man von ihr auf eine Wasserdichtheit des Verbunds schließen kann [6, 7]. Die Bewertung der Mediendichtheit kann anhand einer Druckabfallprüfung (DIN EN 13184) erfolgen, bei der ein Prüfobjekt einem

inneren Überdruck ausgesetzt und das Absinken des Innendrucks über der Zeit gemessen wird, das sich in eine Leckrate umrechnen lässt [8]. Die Untersuchungen wurden für verschiedene Drücke (1–4 bar) durchgeführt.

Mithilfe einer konkreten Prüfvorrichtung (Bild 5) lässt sich ein signifikanter Einfluss der Strukturordnung auf die Mediendurchlässigkeit nachweisen. Dabei zeigen die Ergebnisse die durchschnittliche Leckrate über die unterschiedlichen Prüfdrücke. Zusätzlich zu linear angeordneten Strukturen hat sich in Vorversuchen eine hohe Verbundfestigkeit gekreuzter Strukturen bestätigt. Allerdings bedingt bei Kreuzanordnungen die Orientierung einzelner Strukturen in Strömungsrichtung eine Kapillarkapillarwirkung, die sich negativ auf die Dichtheit auswirkt. Weiterhin hat die Beizbehandlung tendenziell einen negativen Einfluss auf die Mediendichtheit. Die hohen Standardabweichungen sind auf einzelne Ausreißer zurückzuführen, weil eine Unregelmäßigkeit in der Laserstruktur direkt einen vollständigen Druckabfall auslösen kann.

Fazit

Durch eine integrierte Prozesskette konnten im Rahmen des Forschungsvorhabens FormLight hochfeste, temperaturwechselbeständige und mediendichte Hybridbauteile aus verschiedenen Materialkombinationen hergestellt werden. Für eine industrielle Umsetzung der entwickelten Demonstratoren in einer

Serienfertigung müssen die erzielten Ergebnisse um eine Simulation des Verzugs- und Füllverhaltens sowie um thermo-mechanische Vorhersagen ergänzt werden. Diese sind für eine wirtschaftliche Risikominimierung notwendig, konnten in der Projektlaufzeit allerdings nicht vollumfänglich abgedeckt werden. Bei Reflektoranwendungen muss ein Augenmerk auf die Verbesserung der lichttechnischen Abbildungsgenauigkeit, die temperaturabhängige Verzugssimulation und damit einhergehend die Lichtsimulation des Reflektors gelegt werden. ■

Info

Text

- Pia Wagner, M.Sc. RWTH**, ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich In-Mold-Technologien der Abteilung Spritzgießen am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen; pia.wagner@ikv.rwth-aachen.de
- Dr.-Ing. Thomas Wiese** ist Spezialist für Formgebungstechnologien für Metallkomponenten in der Prozessentwicklung bei der Hella GmbH & Co. KGaA, Lippstadt.
- Dipl.-Ing. Michael Lakenbrink** ist Spezialist für Thermoplaste und Spritzgießprozesse in der Prozessentwicklung bei Hella.
- Friederike Brackmann, M.Sc. RWTH**, ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich Fügen von Kunststoffen und transparenten Materialien am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik (ILT), Aachen.
- Dr. rer. nat. Ulrich Jüptner** ist Geschäftsführer der Jubo Technologies GmbH, Wuppertal.
- Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann** ist Leiter des IKV und Inhaber des Lehrstuhls für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen.

Dank

Das Projekt „Entwicklung eines mikroformschlüssigen Kunststoff/Leichtmetall-Hybridwerkstoffverbundes mit Class-A-Oberfläche – FormLight“ wurde von Juni 2019 bis September 2022 vom Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert. Die Autoren danken allen Institutionen für ihre Unterstützung und die Förderung.

Literatur

Das Literaturverzeichnis finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

Laborextruder**Brabender® GmbH & Co. KG**
www.brabender.com**Laborkneter****Brabender® GmbH & Co. KG**
www.brabender.com**Labormaschinen****Servitec GmbH** 14641 Wustermark
Tel.: 033234/86010, Fax: /86011
www.servitecberlin.de**Laborpressen****SERVITEC GmbH** 14641 Wustermark**Laborwalzwerke****SERVITEC GmbH** 14641 Wustermark**Mess-, Steuer- und Regelgeräte****Ihne & Tesch GmbH**
PF 1863 58468 Lüdenscheid
Tel. 02351/666-0 Fax /66624
info@itlmail.de
www.elektroaermetechtechnik.de**Keller, Ihne & Tesch KG** PF 5164
68623 Lampertheim
Tel. 06241/98808-0 Fax /80056
info@kitmail.de
www.elektroaermetechtechnik.de**SIKORA AG**
Bruchweide 2, 28307 Bremen
Tel. 0421/48900-0, Fax /48900-90
sales@sikora.net, www.sikora.net**WEMA GmbH**
Kalver Str. 28, 58515 Lüdenscheid
Tel. 02351/9395-0,
info@wema.de; www.wema.de**Messgeräte für Dicke****SIKORA AG**, www.sikora.net**Messgeräte für Farbe****ColorLite GmbH**
www.Colorlite.de**Messgeräte für Temperatur****SIKORA AG**, www.sikora.net**Prüfgeräte für rheologische Eigenschaften****Brabender® GmbH & Co. KG**
www.brabender.com**Prüftinten für Oberflächenspannung****arcotest GmbH** Postfach 1142
Rotweg 25, D-71297 Mönstheim
Tel. 07044/902270, Fax /902269
e-mail: info@arcotest.info
www.arcotest.info**Wärme- und Trockenschränke****Keller, Ihne & Tesch KG** PF 5164
68623 Lampertheim
Tel. 06241/98808-0 Fax /80056
info@kitmail.de
www.elektroaermetechtechnik.de

IMPRESSUM

Kunststoffe

Organ deutscher Kunststoff-Fachverbände

ORGANSCHAFTEN

PlasticsEurope Deutschland e.V., Gesamtverband Kunststoffverarbeitende Industrie e.V. (GKV), VDI-GME Fachbereich Kunststofftechnik, Normenausschuss Kunststoffe im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., AVK Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe

BEIRAT

Ingemar Bühler, Dr. Guiscard Glück, Dipl.-Ing. Stefan Hofmann, Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann, DI Dr. Johannes Kilian, Thorsten Kühmann, Prof. Dr.-Ing. Thomas Seul, Dr. Marco Wacker, Dipl.-Ing. Michael Weigelt

REDAKTIONSusanne Schröder (Chefredakteurin, V.i.S.d.P.), Dr. Clemens Doriat, Melanie Ehrhardt B.Sc., Jutta Graf M.A., Florian Streifinger M.A., Susanne Thyrauer M.A.
Tel. +49 89 99830-0, kunststoffe@hanser.de**MEDIA**

Jeanette Rober, jeanette.rober@hanser.de

LESERSERVICE / ABONNENTENBETREUUNGHanser Kundencenter-Team, Tel.: +49 89 99830-111,
Fax: +49 89 99830-157, kundencenter@hanser.de**ABONNEMENTS UND ANGEBOTE****Kennenlern-Angebot: Digital-Monats-Abo**
(alle Inhalte auf kunststoffe.de + aktuelle Ausgabe als E-Paper)
4 Wochen kostenlos testen, weitere Informationen und Bestellung:
kunststoffe.de/testen.
Digital-Jahres-Abo (Zugang zu allen Inhalten auf Kunststoffe.de + E-Paper)
€ 319,00, Digital-Jahres-Abo Premium (Zugang zu allen Inhalten auf
Kunststoffe.de und Kunststoffe-international.com + E-Paper) € 394, Kombi-
Jahres-Abo (12 Ausgaben Print + Zugang zu allen Inhalten auf Kunststoffe.de
+ E-Paper) € 418,90, Kombi-Jahres-Abo Premium (12 Ausgaben Print +
Zugang zu allen Inhalten auf Kunststoffe.de und Kunststoffe-international.com
+ E-Paper (deutsch) € 518,90, E-Paper-Jahres-Abo (12 Ausgaben als
E-Paper) € 269,00, Print-Jahres-Abo (12 Ausgaben Print) € 292,90
Weitere Informationen, aktuelle Angebote, Vorzugspreise und Bestellung:
kunststoffe.de/abo.**VERLAG**Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, Kolbergerstraße 22, 81679 München,
Tel.: +49 89 99830-0, info@hanser.de, www.hanser.de**GESCHÄFTSFÜHRUNG**

Jo Lendle, Oliver Rohloff

LAYOUT UND HERSTELLUNGJasmin Wimmer-Turgut (verantwortlich), Grazyna Lada
Dieter Bruning (Herstellungsleitung)**DRUCK**L.N. Schaffrath GmbH & Co. KG DruckMedien,
Marktweg 42-50, 47608 Geldern. Printed in Germany**AUFLAGENMELDUNG**Mitglied der Informationsgemeinschaft zur Feststellung der Verbreitung von Werbeträgern e.V. (IVW), Berlin
Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Kein Teil dieser Publikation darf ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des Verlags in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Für unverlangt eingesandte Manuskripte kann keine Haftung übernommen werden. Die Rechte für die Nutzung von Artikeln für elektronische Pressespiegel oder Online-Presseschauen erhalten Sie über die PMG Presse-Monitor GmbH, Tel. +49 30 28493-0 oder www.presse-monitor.de.
Warennamen werden ohne Gewährleistung einer freien Verwendung benutzt.
ISSN 0023-5563**HANSER**

© Carl Hanser Verlag, München 2023

Presse mit drehzahlvariablem Pumpenantrieb

Wirtschaftlicher Allrounder für die Kunststoffumformung



Die neue TailoredPress mit einem Power-on-Demand-Konzept sorgt dafür, dass beim Rüsten oder während der Wartung deutlich weniger Energie verbraucht wird.

© Dieffenbacher

Dieffenbacher präsentiert mit seiner Baureihe TailoredPress einen wirtschaftlichen Allrounder für die Metall- und Kunststoffumformung mit Pressen von 1000 bis 10000 kN. „Bei der Entwicklung der Baureihe haben wir besonderes Augenmerk auf die Energieeffizienz gelegt“, berichtet Georg Obermaier, Leiter der Business Unit Forming bei Dieffenbacher in Eppingen. „Deshalb kommen drehzahlvariable Pumpenantriebe zum Einsatz, die dafür sorgen, dass Anlagenbetreiber Energie und damit auch Betriebskosten sparen.“

Viele Pressen laufen permanent mit voller Leistung. Obermaier: „In den Pausen, die zum Beispiel beim Be- und Entladen, beim Einrichten oder in der Wartung entstehen und selbst in vielen Phasen des normalen Presszyklus befindet sich das hydraulische Antriebssystem oft nur im Teillastbetrieb oder im sogenannten drucklosen Umlauf. Der Antrieb fördert also das Hydrauliköl, ohne dass es tatsächlich genutzt wird. Zudem arbeitet das gesamte System in einem Lastbereich in dem es nicht effizient ist. Beides verbraucht überdurchschnittlich viel unnötige Energie.“

Mithilfe drehzahlvariabler Pumpenantriebe lässt sich dieser unnötige Energieverbrauch minimieren, da diese mit dynamisch anpassbaren Drehzahlen betrieben werden. Die Regelung erfolgt dabei vollautomatisch. Der Bediener stellt wie gewohnt Kräfte, Wege und Stoßparameter ein und im Hintergrund wird die jeweils nötige Drehzahl automatisch berechnet und eingestellt. So wird die Pumpe stets optimal betrieben und arbeitet daher besonders energieeffizient. Im Stillstand verbraucht die Presse so nahezu keine Energie.

„Mit diesem Power-on-Demand-Konzept können je nach Anwendungsfall, zum Beispiel bei Metallumformungen mit kurzen Zykluszeiten, bis zu 70 % Energie eingespart werden“, so Obermaier, „und auch bei der Kunststoffumformung mit vergleichsweise langen Zykluszeiten ergeben sich signifikante Einsparungen.“ Ein zusätzlicher Vorteil für das Bedienpersonal: Statt des konstant hohen Geräuschpegels, den ein ständig mit Maximaldrehzahl betriebener Pumpenantrieb verursacht, ist die wechselnde Frequenz drehzahlvariabler Pumpenantriebe deutlich angenehmer für das menschliche Ohr.

www.dieffenbacher.de

Kunststoffe.de

Das Portal der Kunststoffindustrie!

