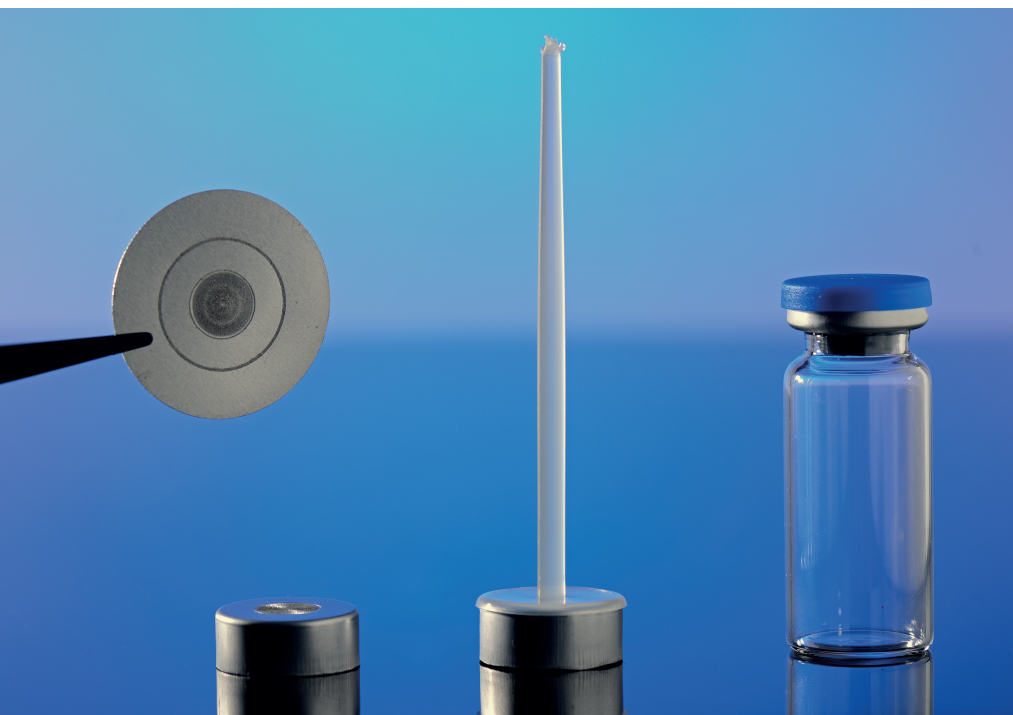


Kombinierter Tiefzieh- und Hinterspritzprozess mit mikroformschlüssigem Verbund

Prozesskette zur Herstellung hybrider Medizinprodukte

Pharmazeutische Bördelkappen bestehen in aller Regel aus einer Aluminiumdünnschicht- und einer Kunststoffkomponente und werden eingesetzt, um medizinische Ampullen zum Beispiel für Impfstoffe zu verschließen. Durch einen kombinierten Tiefzieh- und Hinterspritzprozess mit vorgeschalteter Inline-Laserbearbeitung des Aluminiumdünnschichts kann die Prozesskette deutlich verkürzt werden. Der mediendichte Verbund beider Materialien erfolgt dabei über einen Mikroformschluss.



Die Bördelkappe für Injektionsfläschchen wird in einem zweistufigen Prozess gefertigt. © Fraunhofer ILT

Medizinische Ampullen und Injektionsfläschchen werden häufig mit sogenannten Bördelkappen verschlossen. Diese bestehen aus einer Aluminiumkomponente, die einen dauerhaften Verschluss garantiert, und einer Kunststoffkomponente, die eine einfache Öffnung der Bördelkappe erlaubt. Derzeit werden beide Komponenten üblicherweise in getrennten Fertigungsprozessen hergestellt und anschließend verpresst, was eine hohe Anzahl an Handling- und Reinigungsschritten sowie einen hohen Maschinen- und

Werkzeugbedarf erfordert. Gleichzeitig wird das Potenzial der Einzelwerkstoffe und deren Zusammenspiel im Hybridbauteil nur begrenzt ausgenutzt.

Um den Fertigungsaufwand zu verringern und die Produktqualität zu verbessern, hat eine Gruppe aus mehreren Unternehmen und Forschungsinstituten (**Tabelle**) ein mikroformschlüssiges Fügeverfahren für den Verbund aus Kunststoff und Aluminiumdünnschicht entwickelt. Dabei werden durch Laserstrahlung in die Metallkomponente hinterschnittige Mikrostrukturen eingebracht, die beim

anschließenden Hinterspritzen als Formschlusselemente dienen. Der Verbund der beiden Komponenten soll in einem kombinierten Tiefzieh- und Hinterspritzprozess erfolgen, der ein hohes Automatisierungspotenzial bietet (**Bild 1**).

Dazu müssen zunächst geeignete Laserstrukturierungsparameter identifiziert werden, um hinterschnittige Mikrostrukturen in der 200 µm dicken Blechkomponente zu erzeugen. Zusätzlich muss nachgewiesen werden, dass ein Tiefziehen der strukturierten Bleche möglich ist, weil die Mikrostruktur das Blech aufgrund seiner geringen Dicke erheblich schwächen kann. Ziel ist es, den kombinierten Prozess vollautomatisiert in einer Pilotfertigungszelle umzusetzen.

Laserbearbeitung von Aluminiumdünnschichten

Die neuartige Füge-technik, die die Vorteile einer form- und stoffschlüssigen Verbindung kombiniert, bietet ein großes Potenzial für hochbelastbare Hybridwerkstoffe. Durch die formschlüssige Verbindung der beiden Werkstoffe kann auf Haftvermittler oder eine Vorbehandlung verzichtet werden, sodass die Wahl der Kunststoffkomponente und der Einsatz in der Medizintechnik nicht mehr eingeschränkt sind. Sind die Formschlusselemente ausreichend klein und in hoher Dichte auf der Oberfläche angeordnet, kann die Verbindung zwischen den Werkstoffen als quasi-vollflächig angenommen werden. Damit erfolgt die Krafteinleitung wie bei der

stoffschlüssigen Verbindung homogen über die Fügefläche. Die Lasermikrostrukturierung des Aluminiumdünnblechs soll ebensolch eine quasi-vollflächige mikroformschlüssige Verbindung ermöglichen.

Für die Mikrostrukturierung der Metalloberfläche mit Laserabtragverfahren werden aktuell sowohl kontinuierliche als auch gepulste Strahlquellen eingesetzt [1]. Bei hohen Intensitäten ($I \geq 10^8 \text{ W/cm}^2$) und Verwendung einer kontinuierlich emittierenden Strahlquelle erfolgt der Materialabtrag überwiegend durch Verdampfung. Bei einer Strukturierung in Form von Linien wird durch eine Wiederholung des Prozesses die Strukturgeometrie verändert. Durch die Geometrie der entstehenden Mikrostruktur sowie deren Anordnung entstehen Hinterschnitte [2], in die die Kunststoffschmelze hineinfließen kann. Die Festigkeit des Verbunds kann durch unterschiedliche Strukturordnungen beeinflusst werden [3,4]. Bisher wurde dieser Strukturierungsansatz nur für Materialdicken $> 0,7 \text{ mm}$ untersucht, sodass der Verzug der Metallkomponente durch den Strukturierungsprozess vernachlässigt werden konnte.

Kompromiss zwischen Verbundfestigkeit und Blechschädigung

Die Mikrostrukturen im Vorhaben erzeugt das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik (ILT), Aachen, mit einem Single-mode-Faserlaser (Rofin FL 020C, Hersteller: Coherent Inc.), in Kombination mit einem Scankopf intelliScan_{se} 20 (Hersteller: Scanlab GmbH). Der Laser verfügt über eine maximale Leistung von 2 kW, mit dem verwendeten optischen System

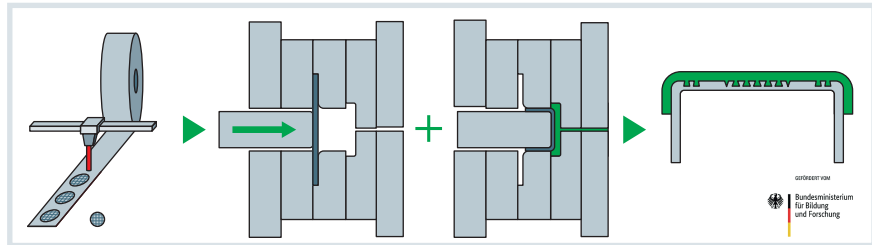


Bild 1. Prozessablauf zur Herstellung mikroformschlüssig gefügter Kunststoff/Aluminium-Bördelkappen: Ausschneiden und Strukturieren des Dünnblechs, Einlegen ins Werkzeug, Umformen, Hinterspritzen. Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

wird ein Strahlradius von etwa $20 \mu\text{m}$ erzeugt. Der Laserstrahl wird durch zwei Spiegel im Scankopf abgelenkt, wodurch beispielsweise Linien oder Kreise erzeugt werden können.

Durch eine Variation der Laserleistung P , der Scangeschwindigkeit v , der Anzahl an Überfahrten N , dem Strukturabstand SA und der Strukturorientierung lässt sich die Geometrie der Mikrostruktur beeinflussen. Als Blechwerkstoff wird eine AlFeSi-Legierung (EN AW-8011 H44, Hersteller: Aluminium Féron GmbH & Co. KG) eingesetzt. Eine Vergrößerung der Scangeschwindigkeit verkürzt die Wechselwirkungszeit zwischen Laserstrahl und Aluminiumoberfläche, der Anteil an verdampftem Material steigt entsprechend. Damit kann der Aufwurf an der Öffnung der Struktur reduziert werden und die Reproduzierbarkeit der Strukturform nimmt zu (Bild 2).

Aufgrund des reduzierten Materialabtrags werden für den Hinterschnitt vergleichsweise mehr Überfahrten benötigt. Das Ziel, eine Struktur mit Hinterschnitt bei einer Tiefe $< 100 \mu\text{m}$ zu generieren, konnte im Projekt erreicht werden. Diese Strukturtiefe stellt einen Kompromiss zwischen hoher Verbund-

festigkeit und minimaler Schädigung des Dünnblechs dar.

Außer der Mikrostrukturierung für den Verbund wird mit Laserstrahlung noch eine Vorschädigung eingebracht, um den Gummistopfen bei der Verwendung der medizinischen Ampulle freizulegen, sowie eine Dichtheitsstruktur. Außerdem schneidet der Laser die Ronde aus dem Aluminiumblech aus. »

Info

Text

Moritz Mascher, M.Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen; moritz.mascher@ikv.rwth-aachen.de

Dipl.-Wirt. Ing. Christoph Engelmann

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik (ILT), Aachen; christoph.engelmann@ilt.fraunhofer.de

Stefan Behrens, M.Sc., ist ebenfalls wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer ILT; stefan.behrens@ilt.fraunhofer.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann ist Inhaber des Lehrstuhls für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen und Leiter des IKV.

Dank

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03XP0291 gefördert.

Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter

www.kunststoffe.de/onlinearchiv

English Version

Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

Unternehmen	Aufgabe im Projekt	Internet-Adresse
Fraunhofer-Institut für Lasertechnik (ILT)	Entwicklung der Laserbearbeitungsprozesse	www.ilt.fraunhofer.de
KraussMaffei Technologies GmbH	Spritzgießmaschine mit Automation	www.kraussmaffei.com
Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen	Entwicklung des Tiefzieh- und Hinterspritzprozesses	www.ikv-aachen.de
Pulsar Photonics GmbH	Automatisierung des Laserprozesses und Prozesskontrolle	www.pulsar-photonics.de
Röchling Medical Solutions SE	Validierung der Bördelkappen	www.roechling.com
Siegfried Hofmann GmbH	Werkzeugentwicklung, Greifer- und Automationskonzept	www.hofmann-impulsgeber.de
SimpaTec GmbH	Simulation der Umformung und des Spritzgießprozesses	www.simpatec.com

Tabelle. Projektbeteiligte und deren Aufgabenbereich.

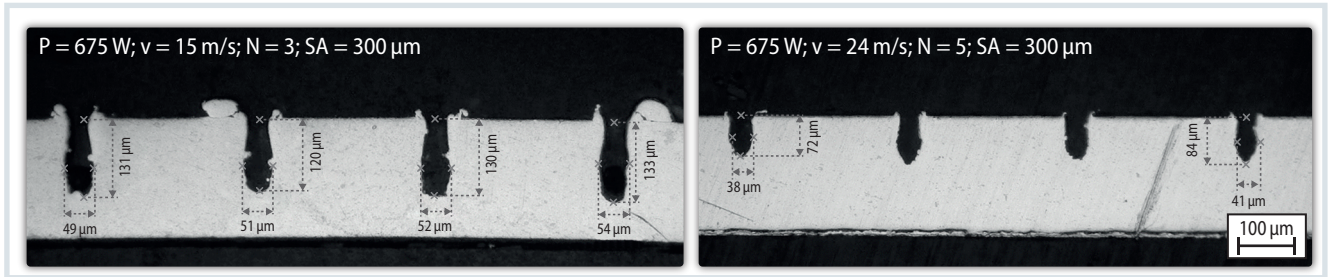


Bild 2. Optimierung der Strukturgeometrie für Aluminiumdünnblech: Durch die Scangeschwindigkeit (v) und die Anzahl der Überfahrten (N) wird die Strukturgeometrie eingestellt (SA: Strukturabstand). © Fraunhofer ILT

Der Laserprozess wird im Projekt von der Pulsar Photonics GmbH automatisiert. Pulsar integriert zusätzlich eine kamera-basierte Qualitätskontrolle in die Laserbearbeitungsanlage.

Tiefziehen strukturierter Dünnbleche

Für den angestrebten kombinierten Tiefzieh- und Hinterspritzprozess hat die Siegfried Hofmann GmbH ein Prototypen-Einfachwerkzeug entwickelt und gefertigt. Dieses wurde am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Aachen in Betrieb genommen. Die Werkzeugkomponenten Ziehstempel, Ziehring und Niederhalter wurden nach geltenden Normen ausgelegt. In Übereinstimmung mit DIN EN ISO 8362 wird für den Stempel des Tiefziehwerkzeugs für Bördelkappen der Nenngröße 20 ein Durchmesser von 20,3 mm gewählt [5]. Die circa 32 mm großen Blechronden werden im Werkzeug mittels Vakuum fixiert (**Bild 3**).

Anschließend wird die Niederhalterkraft über einen Kernzug aufgebracht und der Umformvorgang über die Bewegung des Ziehstempels ausgelöst.

Um das Tiefziehen der strukturierten Dünnbleche im Voraus zu beurteilen, simuliert die SimpaTec GmbH diesen Vorgang. Dabei wird insbesondere der Einfluss der Mikrostruktur und der Prozessparameter auf das Umformen analysiert, um zu vermeiden, dass gewählte Parameter zum Versagen der Struktur beim Tiefziehen führen. Außerdem wird untersucht, wie der Tiefziehprozess die Geometrie, zum Beispiel die Öffnungsweite der Mikrostruktur, verändert. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Mittelbereich mit einer Struktur-tiefe von circa 100 µm strukturierte Dünnbleche mit einer Dicke von 200 µm im Tiefziehprozess ohne negative Beeinflussung der Mikrostruktur umgeformt werden können. Dies stellt die Voraussetzung zum Hinterspritzen der Kappen

und damit zur Herstellung der mikroformschlüssig gefügten Kappen dar.

Hinterspritzen im Einfachwerkzeug

Im kombinierten Tiefzieh- und Spritzgießwerkzeug wird ein Schieberkonzept verwendet, um ein Hinterspritzen der tiefgezogenen Bleche zu ermöglichen und die Kavität gegen den Ziehspalt abzudichten. Dies ist notwendig, weil der verwendete Ziehspalt größer als die Dicke der Blechkomponente ist. Im Einfachwerkzeug wird ein Kaltkanal-Stangenanguss verwendet. Nach dem Tiefziehvorgang wird das Werkzeug geschlossen, wobei die Kavität durch die Schieber abgedichtet wird. Nach dem Einspritzen wird durch das Erstarren der Kunststoffkomponente, in diesem Fall des Copolymers PP PCGR40 (Hersteller: Sabic AG), in den Mikrostrukturen der Verbund mit der umgeformten Blechkomponente erzeugt (**Bild 1**).

Die Verbundfestigkeit wird zunächst in einem vertikalen Abzugsversuch geprüft. In ersten Versuchen wird die Verbundfestigkeit zwischen zwei sternförmig und einer kreisförmig angeordneten Mikrostruktur variiert (**Bild 4**). Bei den sternförmigen Mikrostrukturen beträgt der minimale Strukturabstand 100 µm bzw. 150 µm. Die kreisförmige Struktur-anordnung weist einen Strukturabstand von 150 µm auf. Für alle Prüfkörper liegt die Verbundfläche bei 78,5 mm².

Die sternförmige Struktur mit 100 µm Strukturabstand erzielt bei einer kumulierten Struktur-länge von 518 mm, also der Gesamtlänge der Mikrostrukturen im Verbundbereich, eine Abzugskraft von 23,4 ± 4,4 N. Durch eine Erhöhung des Strukturabstands auf 150 µm und der damit einhergehenden Verkürzung der kumulierten Struktur-länge auf 324 mm verringert sich die Abzugskraft auf

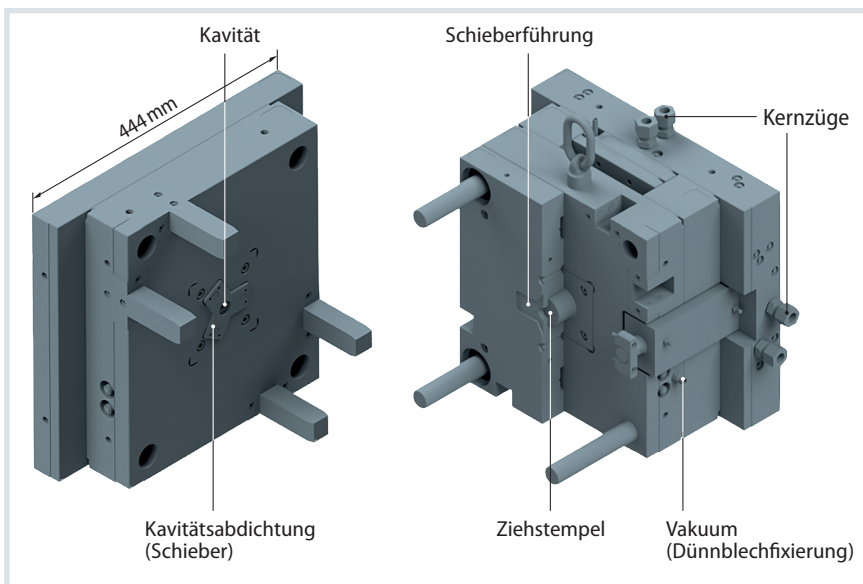


Bild 3. Werkzeugkonzept für den kombinierten Tiefzieh- und Hinterspritzprozess.

Quelle: Hofmann; Grafik: © Hanser

15,2 ± 6,9 N. Die kreisförmige Struktur (Strukturlänge von 429 mm) erreicht eine Abzugskraft von 27,3 ± 2,1 N.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei gleichem Strukturtyp die kumulierte Strukturlänge mit der Verbundfestigkeit korreliert, da bei höherer Strukturlänge mehr Verankerungspunkte in der Fügefläche vorliegen. Zusätzlich zeigt sich ein Einfluss der Strukturordnung bzw. des Umstands, wie die Struktur zur Belastungsrichtung orientiert ist. Wegen des thermischen Einflusses der Laserbearbeitung und der geringen Materialdicke zwischen den Strukturen lässt sich der minimale Strukturabstand nicht beliebig verringern [6]. Hier sind weitere Untersuchungen notwendig, um die Verbundfestigkeit zu steigern.

Ausblick

Die Machbarkeit der geplanten Prozessroute konnte mit dem Prototypenwerkzeug nachgewiesen werden. In nächsten Schritten soll der kombinierte Tiefzieh- und Hinterspritzprozess unter Leitung

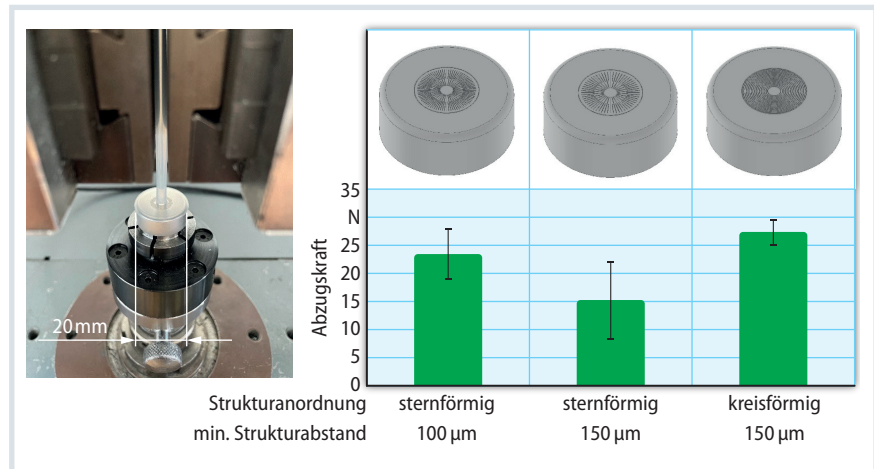


Bild 4. Prüfung der Verbundfestigkeit in einem vertikalen Abzugsversuch (links) und Ergebnis (rechts): Die vertikale Abzugskraft der Kunststoffkomponente hängt von der Strukturordnung ab.

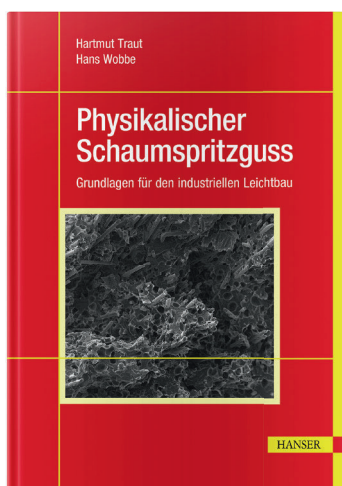
Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

der KraussMaffei Technologies GmbH weiter automatisiert und in einer Pilotfertigungszelle umgesetzt werden. Dabei wird der Prozess auf ein 4-Kavitäten-Werkzeug übertragen. Gleichzeitig soll die Abzugskraft der Kunststoffkomponente weiter gesteigert werden. Dazu

werden am IKV, in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ILT, weitere Variationen der Laserstrukturordnung und Prozessparameter des Spritzgießprozesses durchgeführt. Abschließend validiert die Röchling Medical Solutions SE die hergestellten Bördelkappen. ■

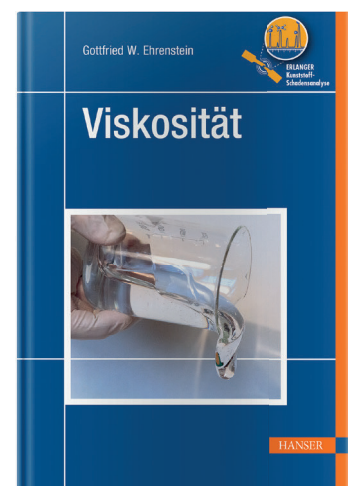
HANSER

Anwendung und Prüfung



In diesem Fachbuch werden die Potenziale des physikalischen Schaumspritzgießens als weiteres Standardverfahren erläutert.

Das Buch führt in die Grundlagen der Viskosität ein und zeigt wie man diese als Werkzeug zur Schadensanalyse eingesetzt werden kann.



Traut, Wobbe

Physikalischer Schaumspritzguss

€ 69,99 | ISBN 978-3-446-45406-4

Ehrenstein

Viskosität

€ 129,99 | ISBN 978-3-446-47272-3