



Additiv erstellte Werkzeuge ermöglichen durch funktionalen Leichtbau die Herstellung filigraner Formteile mit anspruchsvollen Oberflächen bei stark reduziertem Energieverbrauch. Als Demonstrator dient hier ein Gehstockgriff mit (nicht sichtbarem) Einleger (© Hofmann)

Druckfrisch in die Zukunft der Partikelschaumverarbeitung

Leichter, schneller, effizienter – additive Fertigung eröffnet neue Dimension des Werkzeugbaus

Eine Gewichtseinsparung von 95 Prozent und eine erhebliche Reduktion des Dampfverbrauchs: Das leistet ein neues Werkzeugkonzept für die Partikelschaumverarbeitung, das drei Kooperationspartner in einem Forschungsprojekt entwickelt haben. Durch additive Fertigung entsteht ein optimiertes Werkzeug, das ohne Dampfchamber auskommt und die Herstellung komplexer Bauteile mit stark verkürzter Zykluszeit und signifikanter Energieeinsparung ermöglicht.

Traditionell erfolgt die Herstellung von Formteilen aus Partikelschaum meist in einem Aluminiumwerkzeug. Wasserdampf durchströmt eine mit Schaumperlen gefüllte Kavität, dadurch verschweißen die Perlen zu einem Formteil. Um das Werkzeug und das Formteil anschließend zu kühlen, wird die Kavitätenrückseite mit Wasser besprüht, bis die nötige Entformungstemperatur erreicht ist. Ak-

tuell besteht eine Werkzeughälfte, vereinfacht gesagt, aus einer Dampfchamber, auf der ein Formteileinsatz angeflanscht ist. Dieser Formteileinsatz enthält manuell eingebrachte Düsen, die ein Durchströmen der Kavität mit Wasserdampf ermöglichen. Die Dampfchamber dient bei diesem Aufbau als Raum für die Sprühkühlung und zum Verteilen des Dampfes.

Die einzelnen Werkzeugbestandteile werden üblicherweise spanend hergestellt, was deren geometrische Gestaltungsmöglichkeiten maßgeblich beeinflusst. Material wird nur an Stellen abgetragen, an denen es notwendig und auch wirtschaftlich ist. Als Folge daraus entstehen auf der Rückseite der Kavität für den Formteilprozess nachteilige Bereiche, wie durch Fräsradien bedingte Materialan-

häufungen, Nut- und Stegbreiten, die eingehalten werden müssen, sowie die für den Fräsprozess typische Oberflächenbeschaffenheit.

Durch solche Materialanhäufungen an der Kavitätenrückseite entstehen während des Formteilprozesses thermisch träge Bereiche mit einer inhomogenen Temperaturverteilung beim Erwärmen und Abkühlen. Kalte, d.h. nicht ausreichend erhitzte Stellen, führen beim Bedampfen wiederum zu Fehlstellen am Formteil, wie einer unzureichenden Verschweißung oder schlechten Oberflächenabformung. Zudem erlauben es breite Stege und unzugängliche Nuten in der Kavitätenwand ab einer gewissen Dimension nicht mehr, Dampfdufen einzubohren, was durch einen inhomogenen Energieeintrag in das Formteil ebenfalls zu Fehlstellen führen kann. Zwar kann die Oberfläche der Kavität durch Ätzen oder Laserabtrag nachträglich strukturiert werden, dies treibt jedoch die Werkzeugkosten in die Höhe, teilweise sogar auf das Doppelte.

Wechsel von subtraktiv auf additiv und von Aluminium auf Edelstahl

Eine Möglichkeit, diesen Herausforderungen zu begegnen, besteht darin, das Werkzeug nicht subtraktiv durch Fräsen, sondern additiv im SLM-Verfahren (Selective Laser Melting) herzustellen. Bei diesem Prozess wird Metallpulver Schicht für Schicht auf einer Bauplatte aufgetragen und mit einem Laserstrahl partiell verschmolzen. Nach Fertigstellung des kompletten Bauteils werden das lose umliegende Pulver und die ggf. nötigen Stützstrukturen entfernt und das Werkstück

von der Bauplatte getrennt. Zum heutigen Zeitpunkt können Bauteile in einer Baukammer der Größe 800 mm x 400 mm x 500 mm (Typ: X Line 2000R, Hersteller Concept Laser GmbH, Lichtenfels) additiv hergestellt werden.

Bei diesem werkzeuglosen Fertigungsverfahren ist der Haupteinflussfaktor für die Herstellkosten das aufzuschmelzende Materialvolumen und nicht, wie bei-

CAD erstellt und additiv aufgebaut werden. Zudem hat die fertigungsbedingte Oberflächenrauigkeit des SLM-Prozesses kaschierende, matte Oberflächen der EPP-Bauteile (aus expandiertem Polypropylen) zur Folge.

Mithilfe der additiven Fertigung haben drei Partner in einem Gemeinschaftsprojekt (LaEPPFo, Laseradditiv hergestelltes EPP-Formwerkzeug) ein neues Werk-

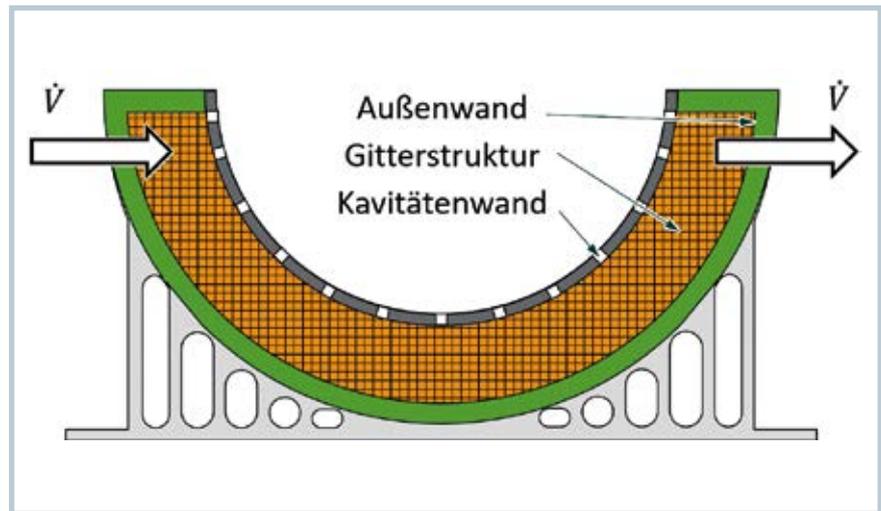


Bild 1. Der Aufbau des neuen Werkzeugkonzepts folgt dem Sandwichprinzip. Von innen nach außen: formgebende Kavitätenwand, Gitterstruktur, stützende Außenwand (© Hofmann)

spielsweise beim Fräsen, die Bauteilkomplexität. Das kommt dem Bestreben entgegen, nur die für den Formteilprozess notwendige Struktur aufzubauen. Daraus ergibt sich eine minimalistische und kraftflussgerechte Gestaltung – d.h. es wird Material nur an Stellen gefügt, an denen es die spätere Belastung oder eine Funktion erfordert. So können filigrane Strukturen und Hinterschnitte direkt im

zeugkonzept für die Partikelschaumverarbeitung entwickelt:

- die Werkzeugbau Siegfried Hofmann GmbH („Hofmann – Ihr Impulsgeber“), Lichtenfels,
- der Anwender WSVK Oederan GmbH aus Oederan und
- die Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien (IAPT) in Hamburg. »

Vorteile auf einen Blick

Für die Partikelschaumverarbeitung ergeben sich durch den Einsatz additiv hergestellter Werkzeuge eindeutige Vorteile:

- Aufgrund der stark reduzierten Werkzeugmasse verläuft die Formteilerfertigung mit einem Bruchteil der sonst nötigen Energie und nahezu halbierten Zykluszeiten.
- Die integrierten Düsenelemente bedürfen keiner handwerklichen Nacharbeit und können frei im CAD platziert werden.
- Die Verwendung von hochfestem Edelstahl erhöht die Verschleißfestigkeit während der Formteilerfertigung und gegenüber mechanischen Einflüssen.
- Die direkte Integration von Oberflächenstrukturen erlaubt das Kaschieren von Düsenabdrücken und verringert die Zahl der Fertigungsschritte.

Die Autoren

Johannes Schütz, M.Sc., wechselte im März 2018 vom Fraunhofer IAPT zur Werkzeugbau Siegfried Hofmann GmbH („Hofmann – Ihr Impulsgeber“) nach Lichtenfels; johannes.schuetz@hofmann-impulsgeber.de

Dipl.-Ing. Jonas Beck leitet die Forschung und Entwicklung bei Hofmann.

Dipl.-Ing. Marcus Schmiedeck ist Geschäftsführer der WSVK Oederan GmbH in Oederan.

Prof. Dr.-Ing. Claus Emmelmann ist Professor an der Technischen Universität Hamburg und Leiter der Fraunhofer-Einrichtung für additive Produktionstechnologien (IAPT) in Hamburg.

Dank

Das Forschungsprojekt „Laseradditiv hergestelltes EPP-Formwerkzeug“ (LaEPPFo) wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

Service

Digitalversion

- Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/6339461

English Version

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

In einem mehrstufigen Prozess wurden die für den Formteilprozess nötigen Werkzeugfunktionen analysiert und anschließend in eine Geometrie übersetzt, die die Gestaltungsfreiheiten der additiven Fertigung ausschöpft. Zusätzlich konnten durch einen Werkstoffwechsel von Aluminium auf hochfesten Edelstahl die einzelnen Bereiche filigran und kompakt ausgeführt werden. Im direkten Vergleich der beiden Werkstoffe bietet Edelstahl eine höhere Detailtreue im SLM-Verfahren, eine höhere Verschleißfestigkeit während der Formteilerfertigung und eine geringere thermische Kapazität, was den Dampfverbrauch im späteren Formteilprozess maßgeblich bestimmt.

Dreischichtiges Werkzeugkonzept

Das neue Werkzeugkonzept wurde im dreischichtigen Sandwich-Prinzip umgesetzt (**Bild 1**). Eine steifigkeits- und festigkeitsoptimierte Außenwand nimmt einen

Großteil der im Formteilprozess auftretenden Kräfte auf und bildet die Schnittstelle zur Formteilmaschine, was in diesem Falle die Zu- und Abfuhr der Prozessmedien Wasser, Dampf und Luft bedeutet. Zudem umschließt die Außenwand die mittlere Schicht, die aus einer Gitterstruktur gebildet wird. Die Geometrie dieser Gitterstruktur wurde spezifisch für die additive Fertigung entwickelt. Die wichtigsten zu optimierenden Parameter sind dabei eine möglichst isotrope Festigkeit und Steifigkeit, ein geringer Strömungswiderstand, ein geringes absorbierendes Verhalten für Wasser und die Datenmenge im CAD.

Die dritte Schicht bildet die bauteilformende Kavitätenwand, die den größten Einfluss auf die Formteilqualität hat. In der Sandwich-Bauweise kann die Wand mit einer Dicke von nur 1 mm aufgebaut werden (**Bild 2**). Bei vergleichbaren konventionell gefertigten Werkzeugen beträgt die Wanddicke ca. 10 bis 15 mm. Die ther-

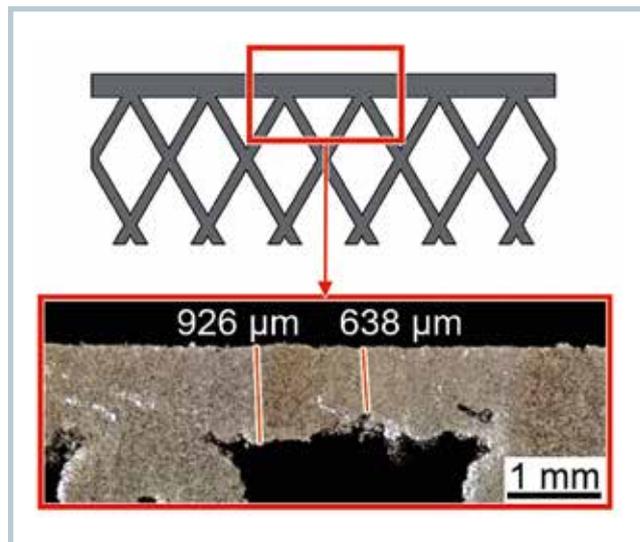


Bild 2. Das SLM-Verfahren ermöglicht neue gestalterische Freiheiten, wie den Verbund einer dünnen Kavitätenwand mit einer funktionsoptimierten Gitterstruktur
(© Fraunhofer IAPT)

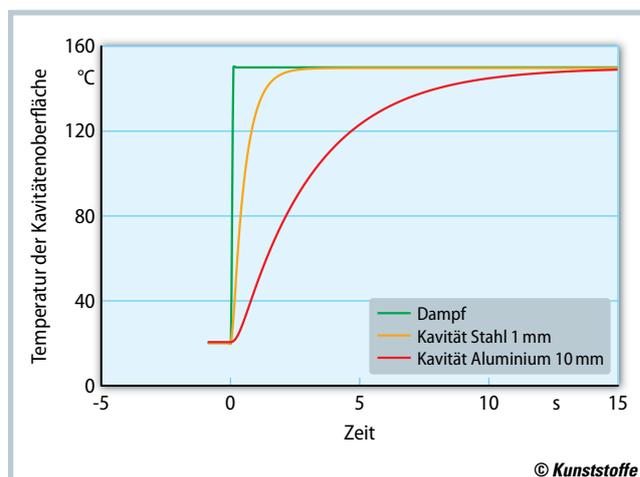


Bild 3. Im Vergleich zu den heute üblichen Aluminiumwerkzeugen ist die thermische Dynamik der optimierten Kavität aus Edelstahl bedeutend höher
(Quelle: Hofmann)

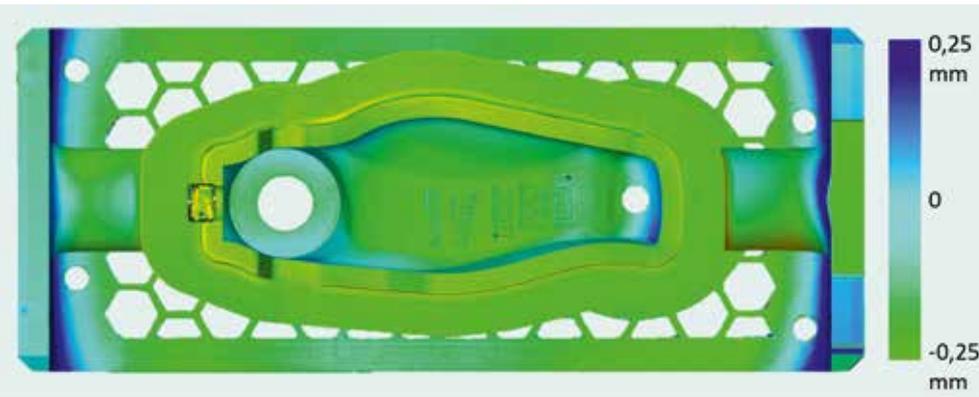


Bild 4. Die Genauigkeit der additiven Fertigung ist für die Anwendung in der Partikelschaumverarbeitung ausreichend und erfordert in der Kavität keine nachgelagerten Bearbeitungsschritte

(© Hofmann)

mische Dynamik während der Bedampfung dieses im Laserschmelzverfahren erzeugten Aufbaus im Vergleich zum Stand der Technik ermöglicht eine Zeitersparnis von ca. 10 s pro Zyklus (**Bild 3**).

Additive Fertigung integriert zusätzliche Funktionen ins Werkzeug

Da die Oberfläche der Kavität für den Formteilprozess nicht nachbearbeitet werden muss, lässt sich deren Strukturierung ebenfalls in den additiven Fertigungsprozess integrieren. Die Fertigungsgenauigkeit erlaubt es, Details in einer Größenordnung von etwa 0,2 mm abzubilden – gewünschte Strukturen können daher bereits im CAD definiert werden. Das sonst übliche aufwendige Vorgehen, die Struktur nachträglich einzubringen, und die damit verbundenen Fertigungsschritte entfallen somit.

Ebenso können die zur Bedampfung nötigen Düsenelemente im CAD gestaltet und mit dem SLM-Verfahren direkt in das Werkzeug eingebracht werden. Dabei kann der Konstrukteur die Düsen beliebig positionieren und in ihrer Geometrie frei gestalten; er kann sie also auch ohne Mehraufwand verstecken oder haptisch vorteilhaft in der Struktur platzieren. Auf Simulationen und empirischen Versuchen mit additiv erstellten Düsen aufbauend, kann eine effektive Bedampfung der Kavität bereits in der Konstruktion angelegt werden. Je nach Anforderung lassen sich lokal höhere oder geringere Mengen an Dampf einleiten, um z. B. die Schaumstoffpartikel wo nötig stärker aufzuschmelzen und so gradierte Bauteildichten bzw. -festigkeiten zu erzielen.

In dem beschriebenen dreischichtigen Aufbau entwickelten die Projektpartner im Rahmen des Projekts ein zweiteiliges Formteilwerkzeug, das auf einer additiven Fertigungsmaschine (Typ: M2 dual Laser, Hersteller: Concept Laser GmbH) ohne zusätzliche Stützstrukturen hergestellt wurde. Gestaltet wurde es unter Beachtung konstruktiver Richtlinien für die additive Fertigung und der bereits beschriebenen Einzelentwicklungen. Um bewerten zu können, wie der Formteilprozess in dem neuen Stahlwerkzeug mit der Gitterstruktur abläuft, wurde ein konventionelles Werkzeug (Dampfkammer aus Aluminium) für ein Formteil ähnlicher Dimension und Geometrie herangezogen. Als Vergleichsgeometrie wurde jeweils ein Gehstockgriff mit Einleger (zur Festigkeitssteigerung) gewählt, der bei „Hofmann – Ihr Möglichmacher“ designt wurde.

Werkzeuggewicht und Energiebedarf um über 90 % geringer

Das Werkzeug (**Titelbild**) weist nach der additiven Fertigung mit anschließendem Lösungsglügen eine Formabweichung von weniger als $\pm 0,25$ mm auf, was für die Partikelschaumverarbeitung innerhalb der nötigen Toleranz liegt (**Bild 4**). Die Formtrennung wurde im Rahmen dieses Projekts zwar mit einem Aufmaß versehen, jedoch stellte sich dies im Nachgang als nicht notwendig heraus. Eine spanende Nachbearbeitung ist für diese Geometrie somit nicht nötig.

Im Vergleich zum Stand der Technik konnte das Werkzeuggewicht hauptsächlich durch den Wegfall der konventionellen Dampfkammer um 95 % – von 130 auf

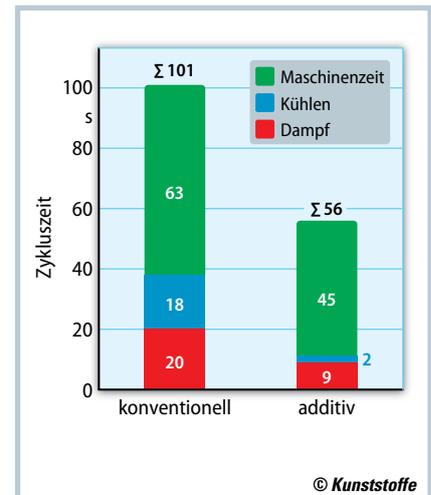


Bild 5. Sowohl der zur Prozessführung nötige Dampfbedarf als auch die resultierenden Zykluszeiten belegen das Einsparpotenzial des neuen Werkzeugkonzepts (Quelle: Hofmann)

6,7 kg – reduziert werden. Die geringere Masse, die in jedem Formteilzyklus erwärmt und abgekühlt werden muss, hat einen direkten Einfluss auf den Energiebedarf. Der rechnerische Dampfverbrauch sinkt mit diesem Konzept je Bauteil um 97 % von 4,1 kWh auf 0,1 kWh. In der realen Formteilherstellung gelang es, die Zykluszeit nahezu zu halbieren und den Dampfdruck gleichzeitig um 25 % von 3,3 auf 2,5 bar zu senken (**Bild 5**), um Bauteile vergleichbarer Qualität herzustellen.

Fazit

Die additive Fertigung ermöglicht komplett neue Ansätze für die Werkzeugtechnik der Partikelschaumverarbeitung. So können Werkzeugeinsätze oder auch komplette Werkzeuge ohne spanende Nachbearbeitung direkt aus dem CAD-Modell erstellt werden. Für Partikelschaumbauteile ergeben sich neue Gestaltungsmöglichkeiten, weil sich filigrane Bauteile mit tiefen Nuten oder hohe Rippen ohne fertigungsbedingte Mehrkosten der Werkzeuge herstellen lassen. Der Umstand, dass Oberflächenstrukturen und Düsenelemente ins CAD-Modell integriert werden können, verbessert auch die Effizienz des Werkzeugbaus. Der Wegfall der Dampfkammer und die geringere Werkzeugmasse ermöglichen eine hochdynamische Fertigung von Bauteilen mit hoher Qualität – bei stark reduziertem Energieverbrauch und kürzeren Zykluszeiten. ■