

# Selektives Laserschmelzen

## Bietet die generative Fertigung einen neuen Weg zum Bau von Extrusionswerkzeugen?

Generative Fertigungsverfahren eröffnen immer neue Anwendungsmöglichkeiten. Bisher ist der Bau von Extrusionswerkzeugen absolutes Neuland, obwohl sich gerade hier zahlreiche neue Möglichkeiten bei der Gestaltung erschließen könnten.

Die schnelle Herstellung von komplexen Anschauungsmustern und Prototypen mittels generativer Verfahren war noch vor einigen Jahren bekannt, um vorrangig Teile aus thermoplastischen oder auch duromeren Kunststoffen zu produzieren. Inzwischen ist man aber auch in der Lage, komplexe Muster aus den unterschiedlichsten metallischen Legierungen schnell und quasi abfallfrei generativ herzustellen. Auch beschränken sich die generativen Verfahren nicht mehr alleine darauf, einzelne Prototypen herzustellen, sondern es wird intensiv daran gearbeitet, auch Serienteile zu fertigen. Es sind allerdings sowohl auf Seiten der Fertigungsanlagen als auch im Bereich der potenziellen Anwendungsgebiete noch zahlreiche Hürden aus dem Weg zu räumen, um die generativen Verfahren als allgemein anerkannte Fertigungsverfahren neben den bestehenden und bewährten konventionellen, meist spanabhebenden Fertigungsverfahren etablieren zu können [1, 2].

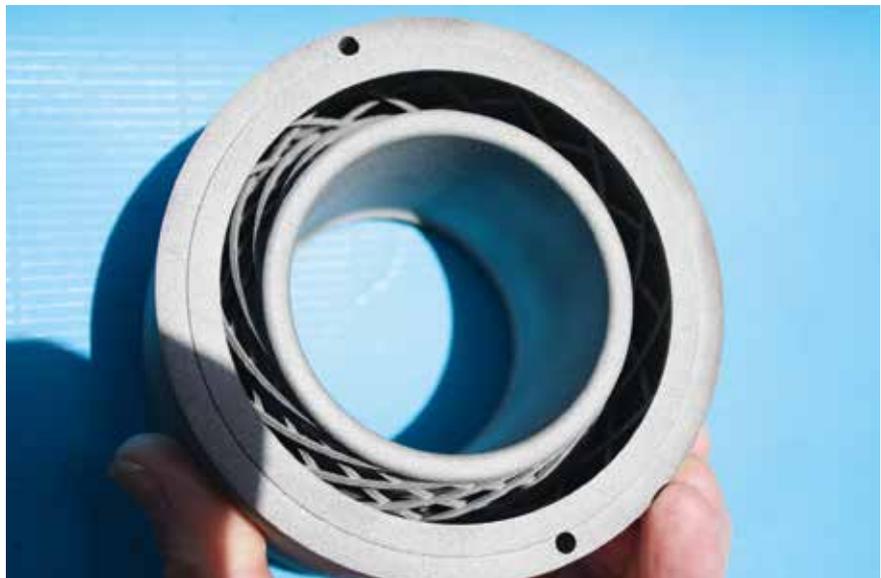
### Potenzielle Einsatzgebiete in der Kunststoffverarbeitung

In aktuellen Fachartikeln zum selektiven Laserschmelzen (SLM) findet sich im Bereich der Kunststoffverarbeitung sehr häufig das Anwendungsbeispiel von konturnahen Kühlkanälen, die sich durch dieses generative Fertigungsverfahren einfach und effektiv für Spritzgießwerkzeuge realisieren lassen. Auch Formen zum Gießen von Silikonteilen, die sich sehr schnell und kostengünstig fertigen lassen, werden häufiger erwähnt. Bisher nicht oder eher selten sind Überlegungen zu finden, das Laserschmelzverfahren

einzusetzen, um vorteilhafte Extrusionswerkzeuge zu fertigen, obwohl gerade durch eine generative Fertigung zahlreiche neue Möglichkeiten bei der Gestaltung von Extrusionswerkzeugen eröffnet werden könnten.

Die Gründe dafür sind sicherlich vielfältig: Schon der Konstrukteur von Extrusionswerkzeugen muss vertraute Kons-

CAD-Programme, die im Allgemeinen verwendet werden, sind selten ideal, um komplexe 3D-Geometrien zu erzeugen, die notwendig sind, um die Vorteile eines generativen Herstellverfahrens voll ausschöpfen zu können. Am Ende bleiben auch noch berechtigte Zweifel, ob die bisher verwendeten, wichtigen mechanischen Werkstoffkennwerte auch



**Bild 1.** Einstückig im Laserschmelzverfahren hergestellter neuartiger Mischer (Bild: Groß Kunststoff-Verfahrenstechnik)

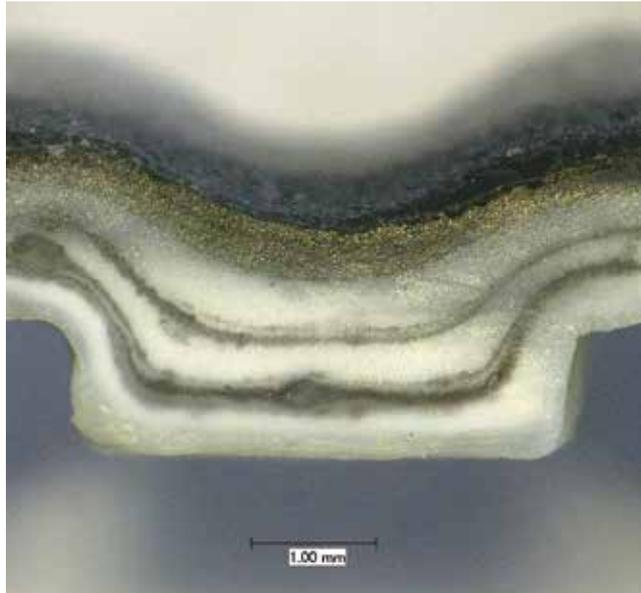
truktionsprinzipien verlassen und neue für ihn unbekannte und ungewohnte Wege gehen. Die Grundregeln einer fertigungsgerechten Konstruktion gelten nicht mehr, sodass der Konstrukteur bereit sein muss, sich intensiv mit den Besonderheiten des SLM auseinanderzusetzen und sich neue Kenntnisse und Vorgehensweisen anzueignen. Auch die

bei einem Werkzeug angewendet werden können, das über das Laserschmelzverfahren hergestellt worden ist.

Stellt man allerdings diesen Hindernissen die neuen Gestaltungsmöglichkeiten gegenüber, die durch das SLM für Extrusionswerkzeuge eröffnet werden, so erscheint es sinnvoll, die bestehenden Hürden zu überwinden. Es können »

**Bild 2.** Der Querschnitt durch die Bauteilwand zeigt keine konkrete Bindaht mehr, sondern im Inneren der Bauteilwand einzelne schwarze Schichten, die vom Mischer dorthin umgelenkt wurden

(Bild: MPA/IFW, TU Darmstadt)



nämlich erst einmal rein theoretisch Extrusionswerkzeuge gebaut werden, die den konventionell hergestellten in vielen Belangen überlegen sind, da entscheidende Restriktionen, die bei der Auslegung eines Extrusionswerkzeugs bisher im Wege standen, bei einer generativen Fertigung nicht mehr existieren. Nachfolgend eine stichwortartige Aufzählung von Vorteilen, die bei einer generativen Fertigung realisierbar sind:

- geringeres Gewicht,
- weniger Einzelteile und Trennebenen durch die Integration mehrerer Funktionen in ein einziges Bauteil,
- geringere Störanfälligkeit und verminderter Wartungsaufwand,
- kürzere Aufheizzeiten, geringerer Energieverbrauch durch geringere Baugrößen,
- kürzere Verweilzeiten und engeres Verweilzeitenspektrum der Schmelze im Extrusionswerkzeug,
- komplexe Einbauten wie beispielsweise Mischelemente in Fließkanälen sind möglich,
- Mischelemente oder Siebe können gleichzeitig als Stegdornhalter fungieren,
- Homogenisierung der Schmelze in der Düse möglich,
- Aufweiten des Fließkanals bei Breitschlitzwerkzeugen aufgrund des Schmelzdrucks kann verhindert werden.

Natürlich gibt es keine Technologie, die nur Vorteile besitzt, was auch für das Laserschmelzen gilt. Nachfolgend einige kritische Aspekte, die mit dem SLM verbunden sind:

- Das lasergeschmolzene Werkzeug kann nur noch pyrolytisch gereinigt werden
  - Es sind keine Konstruktionserfahrungen vorhanden
  - Unsichere oder nicht vorhandene mechanische Werkstoffkennwerte
  - Nachträgliche Korrekturen der Fließkanalgestaltung im Inneren des Werkzeugs sind meist nicht möglich
  - Keine Praxiserfahrungen bzw. Langzeiterfahrungen in der Produktion vorhanden
  - Die Werkzeugwände besitzen eine Oberflächenrauheit (zurzeit minimal erreichbarer Wert:  $r_a = 50 \mu\text{m}$ )
  - Es können keine polierten Fließkanaloberflächen direkt erzeugt werden
  - Unsicherheit, mit welcher Präzision wichtige geometrische Vorgaben erreicht werden können
  - Innere Werkzeugabmessungen können nur mit großem Aufwand (z. B. MRT) überprüft werden
- Obwohl beide Listen bereits relativ lang sind, wird nicht der Anspruch erhoben, dass sie vollständig sind. Es gibt sicherlich noch weitere Aspekte, die berücksichtigt werden könnten.

### **Erste für das Laserschmelzverfahren konzipierte Extrusionskomponenten**

Die Perspektiven, die das generative Fertigungsverfahren für den Bau von Extrusionswerkzeugen bietet, waren so überzeugend, dass es lohnenswert erschien, erste Schritte zur Erprobung laserge-

schmolzener Extrusionskomponenten zu unternehmen. In einem ersten Anlauf wurde der Vorteil, extrem komplexe Strukturen in einem Stück realisieren zu können, genutzt, um einen neuartigen statischen Schmelzemischer zu konzipieren. Der Mischer sollte in einem Speicherkopf einer Extrusionsblasformmaschine integriert werden, um hinter dem Verteilerkanalsystem die Homogenität der Schmelze zu verbessern und um bei Verwendung eines einfachen Pinolenvertellers einen bindenahtfreien Vorformling aus einer möglichst homogenen Schmelze aus der Düse austragen zu können.

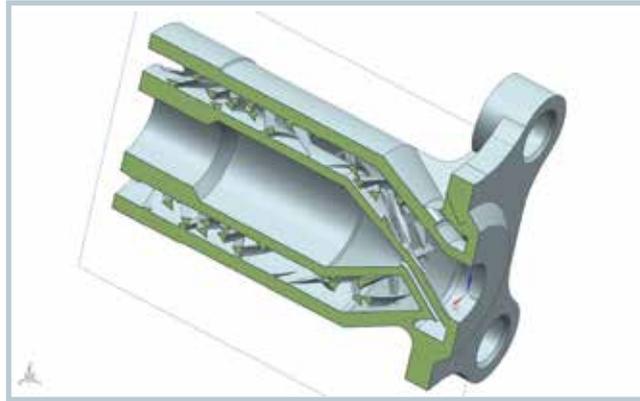
**Bild 1** zeigt den Mischer mit spiralförmigen Mischerstegen, die den Schmelzestrom in zahlreiche kleinvolumige Schmelzeströme aufteilen. Gleichzeitig wird die Schmelze aber auch durch das enge Netz aus gegenläufigen, spiralförmig verlaufenden Mischerstegen einerseits in Umfangsrichtung des Fließkanals, andererseits aber auch von der Fließkanalwand ins Innere des Kanals und vom Inneren wieder zur Wand umgelenkt. Die Innenwand ist bei dem neuartigen lasergeschmolzenen Mischer ausschließlich über die Mischerstege an dem Außengehäuse befestigt. Der Mischer hat in den Versuchen bei üblichen Extrusionsbedingungen (z. B. 300 bar, allerdings gemessen vor der Schneckenspitze des Extruders) problemlos standgehalten.

Die Wirksamkeit des Mischers wurde auf einer Produktionsanlage über Farbwechselversuche überprüft. Schwarz eingefärbte Formmasse wurde mit naturfarbener herausgespült. Zu einem relativ späten Zeitpunkt zeigte sich vorrangig nur noch auf der Außenoberfläche ein schwarzer Streifen. Er befand sich auf einem Stromfaden, der dem Bindenahtbereich der im Kopf vorhandenen Verteilerpinole zuzuordnen war. **Bild 2** zeigt eine Mikroskopaufnahme des Querschnitts der Formteilwand, die parallel zur Bindaht ausgeführt wurde. Es ist deutlich zu erkennen, dass die noch auf der Außenoberfläche vorhandene schwarz eingefärbte Formmasse durch den Mischer in mehrere Schichten aufgeteilt wurde, die dann ins Innere der Formteilwand umgelenkt wurden, sodass keine konkrete Bindaht mehr vorhanden ist.

Das erzielte Ergebnis gab Anlass, sich unter nun geänderten Ausgangsbedingungen wieder intensiver mit Stegdornhalterlösungen für Runddüsen zu be-

schäftigen. Stegdornhalterwerkzeuge haben bei Rundwerkzeugen immer noch den Vorzug, dass mit ihnen kürzere Verweilzeiten realisiert werden können als mit irgendeiner anderen konkurrierenden technischen Lösung. Gäbe es nicht das Problem, dass die Stege störende Bindenähte erzeugen dann wären Stegdornhalterwerkzeuge sicherlich nicht nur bei PVC-Werkzeugen sondern beispielsweise auch beim Blasformen viel häufiger erste Wahl. Dies umso mehr, als Stegdornhalterwerkzeuge kostengünstiger herzustellen sind als beispielsweise Pinolen-, Herzkurven- oder Wendelverteilerwerkzeuge.

Der Makel der Bindenahtbildung, den konventionell gefertigte Stegdornhalterwerkzeuge besitzen, lässt sich mithilfe des selektiven Laserschmelzens sogar in einen Vorteil umwandeln, da es damit möglich ist, den Dorn eines Schlauch- oder Rohrwerkzeugs an einer Vielzahl von sehr feinen, speziellen Mischerelementen aufzuhängen. Dann wird nämlich die zwischen dem Dorn und der Düse strömende Schmelze nicht mehr von wenigen Stegen aufge-



**Bild 3.** Querschnittsansicht eines speziell für die Herstellung im Laserschmelzverfahren konstruierten Stegdornhalterwerkzeugs (Bild: Groß Kunststoff-Verfahrenstechnik)

teilt und in größeren Fließkanalabschnitten partiell entmischt, sondern sie wird intensiv durchmischt, sodass aufgrund der Vielzahl der Einzelströme und der in unterschiedlichsten Raumrichtungen verlaufenden Trennstege oder Trennwände keine detektierbaren Bindenähte mehr im extrudierten Endprodukt vorhanden sind.

**Bild 3** zeigt ein Stegdornhalterwerkzeug, bei dem der Dorn an den Mischerelementen befestigt ist. Es unterscheidet sich

schon rein äußerlich von konventionellen Rundwerkzeugen, da es konsequent entsprechend der Möglichkeiten und der Anforderungen, die durch die vorgesehene Fertigung im Laserschmelzverfahren bedingt sind, gestaltet wurde. Neben den bereits angesprochenen verfahrenstechnischen Vorteilen ist dieses Werkzeug auch trotz des immer noch relativ teuren Laserschmelzverfahrens kostengünstiger herzustellen als bisher verwendete Runddüsen. Es kann in einem »

## Der Autor

**Dr.-Ing. Heinz Groß** ist Geschäftsführer der Groß Kunststoff-Verfahrenstechnik, Roßdorf; heinz-gross@t-online.de

## Service

### Literatur & Digitalversion

» Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/1099330](http://www.kunststoffe.de/1099330)

Tag geschmolzen werden, besitzt durch die viel geringere Masse auch ein geringeres Gewicht und benötigt deshalb im Betrieb natürlich auch weniger Energie. Es lässt sich folglich in viel kürzerer Zeit auf Betriebstemperatur aufheizen. Natürlich ergeben sich bei einer generativen Fertigung auch neue Möglichkeiten für die Einleitung der Luft ins Innere des Dorns, die zum Druckausgleich oder auch als Stützluft oder zur Innenkühlung benötigt wird. Im gezeigten Beispiel wurde dafür noch ein separater Luftkanal verwendet. Die störende Aufteilung der Schmelze durch diesen Luftkanal und die dadurch erzeugte Bindenaht werden durch die sich anschließenden Mischerstege wieder eliminiert. Prinzipiell lassen sich

aber auch kleine Luftkanäle ins Innere der Mischerstege verlegen, die dann über einen im Außengehäuse befindlichen Sammelkanal mit einer Luftzufuhr verbunden werden können, wobei dieser Sammelkanal einen für das im Einzelfall erforderliche Luftvolumen geeigneten Querschnitt besitzt.

Parallel zur Produktion der Mischerstegdornhalterwerkzeuge auf der Laserschmelzanlage wird momentan ein komplexes Dreikanalwerkzeug konstruiert, mit dem in einem Extrusionsvorgang gleichzeitig eine coextrudierte Platte und ein Rohr hergestellt werden soll. Wenn nicht gefordert wäre, dass mit dem Werkzeug Platten und Rohre mit unterschiedlichen Endabmessungen hergestellt werden müssen, würde das betriebsfertige Werkzeug nur noch aus einem einzigen Teil bestehen und etwa 20% des zurzeit verwendeten konventionell gefertigten Werkzeugs wiegen, bei dem allerdings noch keine Coextrusion realisiert ist. Da aber in der Produktion schnell und mit geringem Aufwand von einer Geometrie zur nächsten umgestellt werden soll, wird das Werkzeug aus einer Einspeiseeinheit bestehen, die mit den Extrudern fest verbunden ist und in der auch die drei notwendigen Verteilerkanalsysteme untergebracht sind. Am Ende dieser Einspeiseeinheit soll sich jeweils ein eigener stan-

dardisierter Übergabekanal für die drei Masseströme befinden. Daran werden dann unterschiedliche Düsenvorsätze angeschraubt, die an ihrem Eingang ebenfalls die gleiche standardisierte Übergabegometrie besitzen. In den einzelnen Düsenvorsätzen werden die Schmelzen zu der jeweils für die schließlich unterschiedlichen Produkte benötigten Geometrie am Düsenende umgeformt.

## Fazit

Die generative Fertigung von Extrusionskomponenten steckt zwar noch in den Kinderschuhen, aber sie eröffnet fantastische neue gestalterische Möglichkeiten, mittels derer bestehende, störende Restriktionen in der Extrusionstechnik überwunden werden können. Es kann davon ausgegangen werden, dass es künftig gelingen wird, mithilfe des SLM optimierte Extrusionswerkzeuge zu geringeren Kosten zu fertigen, und dass es damit möglich wird, mit den Werkzeugen verbesserte Produktqualitäten bei reduzierten Fertigungskosten zu produzieren. Dafür ist aber im gesamten Umfeld noch viel Entwicklungsarbeit zu leisten, sodass es voraussichtlich Jahrzehnte dauern wird, bis sich generativ hergestellte Werkzeuge in der Extrusion etabliert haben werden. ■