

Stents im Spritzgießen

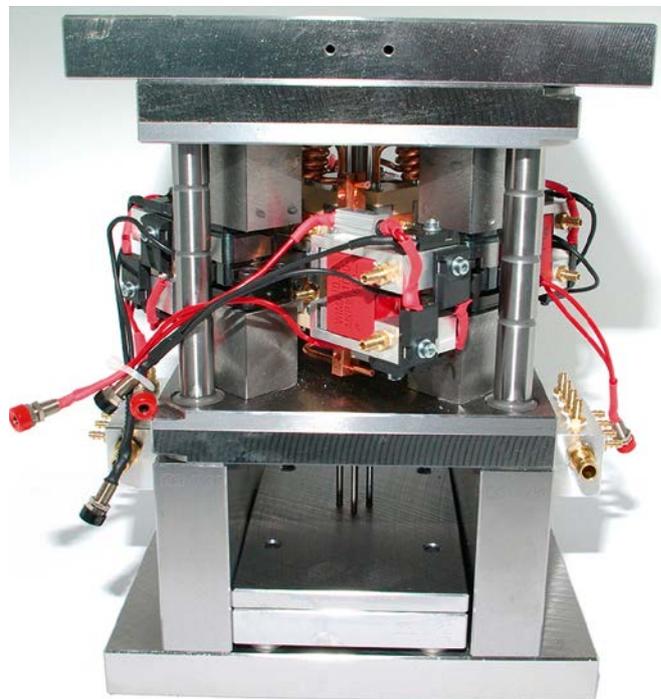
Mithilfe einer energieeffizienten elektromagnetischen Induktion zum kompakten Werkzeug

Mit der elektromagnetischen Induktion lassen sich in einem dynamisch temperierten Spritzgießprozess Teile mit hohen Aspektverhältnissen wie z. B. Stentstrukturen herstellen. Durch geeignete Anpassungen an den Kavitätspalten können dabei sowohl die Induktorformen vereinfacht als auch die notwendige Energieeinbringung verringert werden – daraus resultiert insgesamt eine kompaktere Werkzeugkonstruktion.

Beim thermoplastischen Kunststoffspritzgießen können besondere Bauteilanforderungen nur mit einer dynamischen Wechseltemperierung erfüllt werden. Diese Technik ist auch als variothermer Spritzgießprozess bekannt. Mithilfe angepasster Temperaturprofile ist es u. a. möglich, Oberflächendefekte wie Binde-nahtprobleme zu eliminieren. Durch die für das variotherme Verfahren typische höhere Werkzeugtemperatur lassen sich auch dünnwandige Bauteile mit hohen Aspektverhältnissen wie z. B. Stentstrukturen herstellen, weil der Kunststoff länger fließfähig bleibt. Am Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik (IKFF) der Universität Stuttgart wird der variotherme Spritzgießprozess mit elektromagnetischer Induktion als einer der Forschungsschwerpunkte behandelt.

Bei der elektromagnetischen Induktion handelt es sich um ein sehr effizientes Verfahren, weil die Wärme schnell und gezielt im gewünschten Bereich erzeugt wird. Je nach Anforderung werden hierzu mit hochfrequentem Wechselstrom durchflossene Leiter, sogenannte Induktoren, entweder extern, also vor der zu beheizenden Kavität, oder intern, also unmittelbar hinter der Kavität, platziert. Beide Varianten haben Vor- und Nachteile, die je nach Bauteilgeometrie bewertet werden müssen.

Die interne Anordnung mit dem im Spritzgießwerkzeug eingebauten Induktor bietet u. a. den Vorteil, dass zyklusunabhängig geheizt werden kann. Allerdings muss die Wärme in diesem Fall eine kurze Wärmeleitstrecke bis zur Kavitätsoberfläche zurücklegen. Während dieser



Kompaktes induktiv beheiztes und dynamisch temperiertes Spritzgießwerkzeug zur Herstellung stentartiger Strukturen

(© IKFF)

Zeit verteilt sich die Wärme in alle Richtungen über das gesamte Werkzeug und somit auch in Bereiche, wo sie nicht benötigt wird. Dadurch muss zur Erwärmung der Oberfläche mehr Energie als nötig eingebracht und anschließend dem System in der Kühlphase auch wieder entzogen werden.

Konturnahe Beeinflussung der Wärmeleitung

Für die Kontur strategisch gut angeordnete Luftspalte, wie sie bereits anhand einfacher Versuchsgeometrien untersucht und geschildert wurden [1], können die Richtung der Wärmeleitung beeinflussen.

Praktische Anwendung findet dieses Prinzip im hier vorliegenden Fall in einer Kavitätspalte, um damit stentartige Strukturen aus Kunststoff herzustellen. Exemplarisch für die Konstruktion steht hier eine von insgesamt vier Kavitätspalten, bei denen ein Luftspalt U-förmig um den Induktor angeordnet ist (Bild 1). Die rund um den Induktor entstehende Wärme kann wegen des isolierenden Spalts nur in Richtung Kavität abfließen. Durch die Dreiecksstruktur dieser Kavitätspalte wird der gesamte Kavitätsbereich schnell erwärmt. Erst nach Überwinden des Luftspalts verteilt sich die Wärme über die restliche Plattenfläche (Bild 1 rechts) und damit auch in dahinterliegende Strukturen.

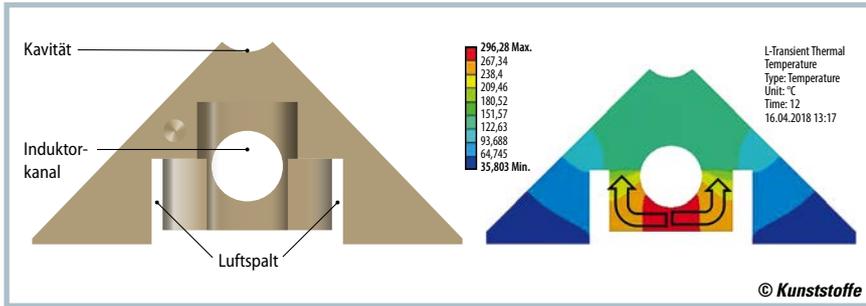


Bild 1. Induktiv beheizte Kavitätsplatte: Der Luftspalt beeinflusst die Wärmeleitung (Quelle: IKFF)

Um die Festigkeit der Konstruktion zu steigern, können die Luftspalte mit thermisch stabilen Materialien, z.B. Keramikwerkstoffen, gefüllt werden. Abhängig vom Material kann dies jedoch wieder einen erhöhten Wärmeübergang bedeuten. Durch diese konstruktive Anpassung kann die Aufheiz- und Abkühlphase erheblich verkürzt werden, wie vorangegangene Versuche bestätigt haben [1]. Bei den Versuchen gelang es, bei gleicher Leistungsregelung des Generators eine einfache Versuchsgeometrie mit Luftspalt im Vergleich zu einer identischen Geometrie ohne Luftspalt um ca. 60% schneller zu erwärmen und abzukühlen. Das bedeutet, es muss insgesamt weniger Energie bis zum Erreichen der Zieltemperatur eingebracht werden – dadurch verkürzt sich wiederum die Kühlzeit, weil auch weniger Energie abgeführt werden muss.

Minimieren der Verluste in Zuleitungsbereichen

Allerdings werden alle Werkzeugbereiche in Induktornähe durch das elektromagnetische Feld rund um die Induktoren ebenfalls erwärmt. Um somit eine Erwärmung unerwünschter Bereiche zu reduzieren und die Wärme auf den gewünschten Bereich zu fokussieren, lassen sich mit Oberflächenbeschichtungen aus elektrisch gut leitfähigen Materialien die induzierten Wirbelströme „auffangen“ und verlustarm in jene Bereiche leiten, in denen eine Erwärmung erwünscht ist. Durch den Skineneffekt fließen die Wirbelströme, bei ausreichender Schichtdicke, innerhalb der Oberflächenschichten und schirmen somit die dahinterliegenden Bereiche ab. Unterschreitet die Schichtdicke allerdings die Skintiefe, fließt ein Teil der Wirbelströme im Material mit dem höheren ohmschen Widerstand, also dem Werkzeugstahl, sodass die Verlustrate steigt.

Dies führt wiederum dazu, dass sich die beschichteten Bereiche erwärmen.

Die Beschichtungen müssen daher so gestaltet werden, dass die Wirbelströme entlang der leitfähigen Schichten verlustarm in den Zielbereich geleitet werden können. Durch eine Unterbrechung der Beschichtung schließen sie sich über ein Material mit höherem ohmschem Widerstand kurz. Dadurch ergibt sich eine zusätzliche Erwärmung im gewünschten Bereich [1, 2]. Im Fall des am IKFF gebauten Spritzgießwerkzeugs für die stentartigen Strukturen aus thermoplastischem Kunststoff ist eine Zwischenplatte, die die Kavitätsplatte aufnimmt, im mittleren Bereich rund herum beschichtet (**Bild 2**). Somit können die durch den nahe an der Zwischenplatte vorbeigeführten Induktor induzierten Wirbelströme verlustarm fließen und sich in Richtung Kavität kurzschließen.

Die Zwischenplatte dient zudem dazu, diese Anordnung an einen Schieber anzubringen, der zum Entformen der sich ergebenden Hinterschnitte bei einer

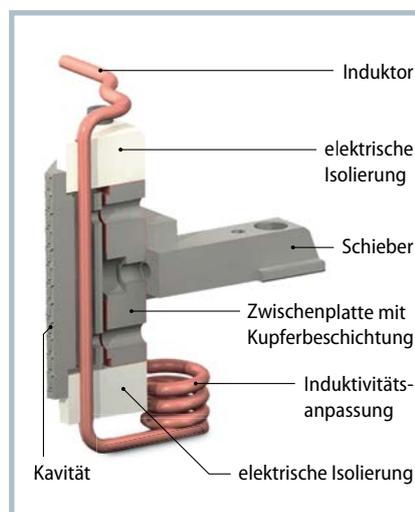


Bild 3. Gesamtaufbau eines Schiebers im Längsschnitt (© IKFF)

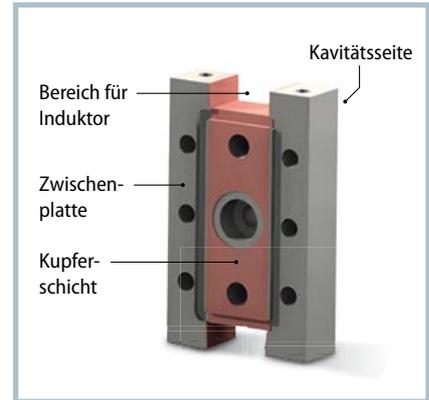


Bild 2. Zwischenplatte mit Kupferbeschichtung: Dadurch wird eine verlustarme Führung der induzierten Wirbelströme erreicht (© IKFF)

stentartigen Struktur notwendig ist. Eine Darstellung im Längsschnitt erklärt den Gesamtaufbau einer solchen induktiv beheizten Schieberanordnung (**Bild 3**). Dabei ist der Schieber mit der kupferbeschichteten Zwischenplatte verbunden. Diese nimmt wiederum die Kavitätsplatte auf, die mit einem U-förmigen Luftspalt versehen ist, um die thermische Energie in Richtung Kavität zu leiten (**Bild 1**).

Durch geeignete Beschichtungen lassen sich also die Erwärmungsbereiche im Detail beeinflussen, sodass sich bei der Gestaltung der Induktoren mehr Freiheiten ergeben. In diesem Fall dient die Beschichtung dazu, das Werkzeug kompakter zu machen. Die Induktoren sollen so nah wie möglich ober- und unterhalb der Kavitätsplatte gebogen werden, ohne dass diese Bereiche sich erwärmen. Zum Aufheizen der Kavitätsseite dient lediglich der mittlere gerade Teil des Induktors. Die im unteren Teil dargestellte Spule ist bei diesem Aufbau nur zur Anpassung des R-L-C-Schwingkreises notwendig.

Elektromagnetische Simulationen der Kavitätsplatte mit Zwischenplatte (**Bild 4**) zeigen, dass im Vergleich zu einem unbeschichteten Modell deutlich weniger ohmsche Verluste in den hinteren Bereichen auftreten. Dadurch lässt sich die Erwärmung gezielter auf den gewünschten Kavitätsbereich fokussieren und so die insgesamt eingebrachte Energie verringern.

Um die Kavität zu erwärmen, müssen die Induktoren mit den entsprechenden Schwingkreisen elektrisch verbunden werden. Üblicherweise geschieht dies über wassergekühlte Zuleitungen. Aufgrund der Schieberstrukturen bei diesem Werkzeug ist es nur schwer möglich, solche »

Zuleitungen an die Induktoren in den Kavitätsplatten anzuschließen, da die hohen auf die Schieberelemente wirkenden Zugkräfte eine zuverlässige Positionierung der Schieber verhindern würden. Durch die energiereduzierenden Maßnahmen ist es allerdings möglich, die Kavitätsplatten mithilfe angepasster miniaturisierter Induktionsgeneratoren zu beheizen.

Kompaktes Werkzeug mit miniaturisierten Induktionsgeneratoren

Daher werden die vier zur sauberen Entformung der stentartigen Struktur notwendigen Schieberelemente je mit einem eigenen Miniaturgenerator beheizt (**Bild 5**). Dies bringt den Vorteil, dass die Genera-

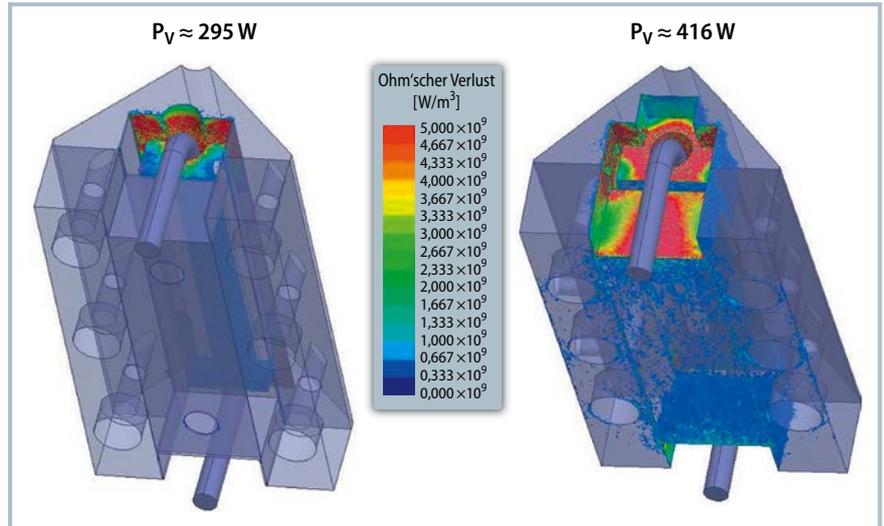


Bild 4. Vergleich der ohmschen Verluste einer Kavitätsanordnung mit (links) und ohne (rechts) Kupferbeschichtung (gleiche Skalierung). Hier der Blick auf die Rückseite (© IKFF)

Die Autoren

Dipl.-Ing. Andreas Maucher ist seit 2013 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik (IKFF) der Universität Stuttgart im Bereich der Induktion für variotherme Spritzgießprozesse tätig; maucher@ikff.uni-stuttgart.de

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe ist ehemaliger Leiter des IKFF.

Vorteile des Verfahrens

Für Bauteile mit hohen Aspektverhältnissen wie z. B. bei stentartigen Strukturen sind variotherme Spritzgießverfahren notwendig. Die elektromagnetische Induktion steht hierbei als schnelles und effizientes Verfahren zur Verfügung. Durch die gezielte Beeinflussung der Wärmeerzeugung und -verteilung mithilfe elektrisch gut leitfähiger Oberflächenbeschichtungen sowie den Einsatz dünner Luftspalte lassen sich aber auch hierbei noch wertvolle Zykluszeit sowie Energie einsparen. Die insgesamt weniger aufzuwendende Energie bietet die Möglichkeit, die notwendigen Induktionsgeneratoren zu verkleinern und so das Werkzeug kompakter zu konstruieren.

» www.uni-stuttgart.de/ikff

Service

Literatur & Digitalversion

» Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/7597066

toren jeweils im Werkzeug an der Kavitätsplatte angebracht werden können. Somit entfallen schwere und verlustbehaftete Induktor-Zuleitungen. Die Generatoren werden einzeln angesteuert, sodass alle Kavitätsplatten auf dieselbe

Temperatur gebracht werden können. Mit dieser Anordnung werden Heizraten von ca. 5 K/s erreicht. Für die anschließend notwendige Kühlung wird eine Wasserkühlung verwendet. Dabei werden Kühlraten von ebenfalls ca. 5 K/s erreicht.

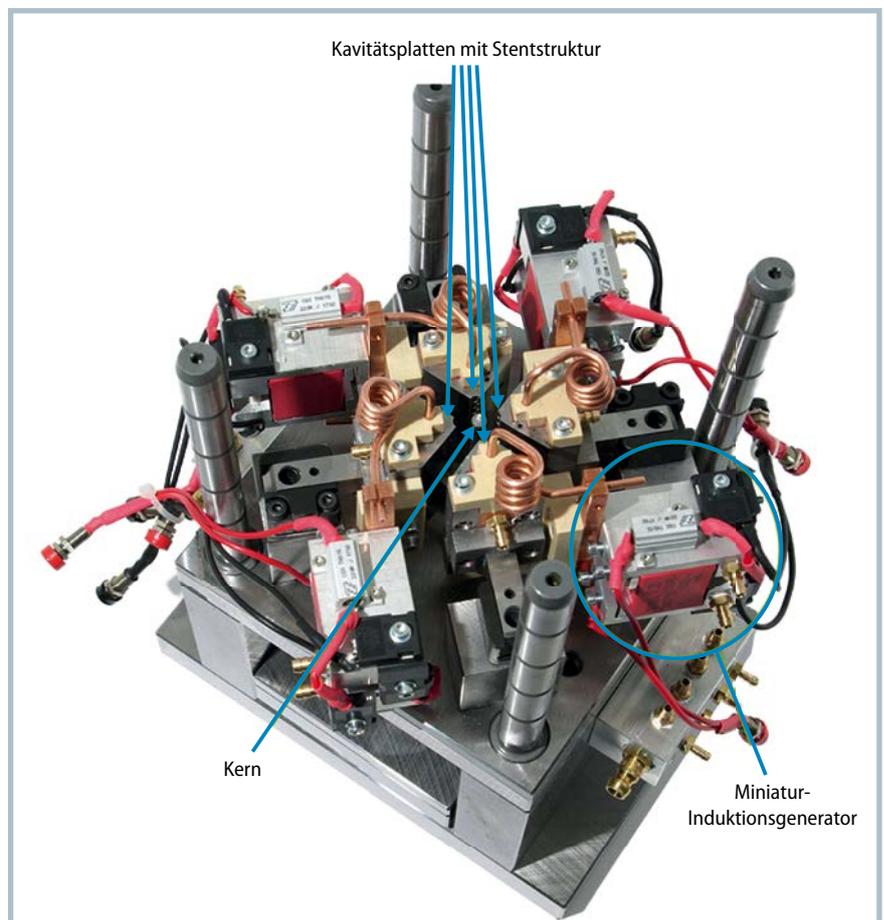


Bild 5. Auswerferseite des Spritzgießwerkzeugs zur Herstellung stentartiger Strukturen (© IKFF)

Das mit diesem Werkzeug gespritzte Bauteil, eine stentartige Struktur, hat eine außen verrundete Geometrie mit einem Radius von 0,3 mm und einem in das Strukturinnere verlaufenden Öffnungswinkel von 60°. Am Kern ist die Struktur flach ausgeführt. Für eine innen ebenfalls verrundete Struktur müsste ein Einfallkern verwendet werden, um die inneren Hinterschnitte zu entformen. Einfallkerne sind aber nicht mehr mit dem hier verwendeten Durchmesser von 5 mm erhältlich, weshalb die Struktur innen flach ausgeführt wurde. Die Tiefe der Kanäle und somit die Wanddicke der Stentstruktur beträgt 0,5 mm. Diese wird zur Berechnung des folgend angegebenen Aspektverhältnisses herangezogen.

Isotherm, also mit konstanter Werkzeugtemperatur, ist bei dieser Wanddicke und dem sich daraus ergebenden Aspektverhältnis keine ausreichende Formfüllung möglich. Zur Abformung dieser stentartigen Strukturen (**Bild 6**) wurde in diesem Fall handelsübliches Polyoxymethylen (POM) verwendet, ebenso kann eine



Bild 6. Vergleich der Formfüllung ohne (oben $T_{Wz} \approx 90^\circ\text{C}$) und mit (unten $T_{Wz} \approx 230^\circ\text{C}$) variothermer Werkzeugbeheizung
(© IKFF)

Vielzahl anderer thermoplastischer Kunststoffe verwendet werden. Im Bild ist oben ein Versuch bei einer konstanten Werkzeugtemperatur von ca. 90°C, einem Einspritzdruck von 850 bar sowie einem Einspritzvolumenstrom von 52 cm³/s zu sehen. Dabei konnten nur der Angusskegel sowie die Ansätze der Stentstruktur, bis zu einem Aspektverhältnis von ca. 13:1, gefüllt werden. Hingegen zeigt sich im unteren Bildteil die Formfüllung bei einer Werkzeugtemperatur von ca. 230°C. Durch die höhere Werkzeugtemperatur konnte die Fließweglänge bei sonst gleichen Einspritzparametern auf ein Aspektverhältnis von 100:1 verlängert werden.

Das Ziel im Blick

Durch geeignete konstruktive Maßnahmen, wie isolierende Luftspalte sowie Wirbelstromführungen mit leitfähig beschichteten Oberflächen, lassen sich Werkzeugbereiche fokussiert induktiv erwärmen. Daraus ergeben sich mehr Freiheiten bei der Induktorgestaltung sowie eine kompakte Bauweise. Kleine präzise Bauteile wie z.B. Stentstrukturen mit hohen Ansprüchen an den Spritzgießprozess können so in einem kompakten und durch angepasste Generatoren verhältnismäßig kostengünstigen induktiv beheizten Werkzeug hergestellt werden. ■