



Einfacher Induktor zur Temperierung kleiner Schieberkavitäten. Durch eine orientierte Temperaturführung sowie die Beeinflussung der induzierten Wirbelströme lässt sich die Gestaltung der Induktoren vereinfachen

(© IKFF)

Weniger ist mehr

Die induktive Temperierung von Spritzgießwerkzeugen lässt sich durch gezielte Ausrichtung der Erwärmung optimieren

Beim variothermen Spritzgießen ist neben anderen Verfahren die induktive Temperierung eine der schnellsten und effizientesten Methoden. Allerdings wohnt auch dieser Variante ein großes Potenzial inne, die Effizienz zu steigern. Durch eine gezielte Temperaturführung und Erwärmung klar abgegrenzter Bereiche lässt sich wertvolle Zykluszeit einsparen.

Zur Herstellung anspruchsvoller thermoplastischer Spritzgussteile reicht häufig ein isothermer Spritzgießprozess nicht aus. Daher kommen in solchen Fällen variotherme Spritzgießprozesse zur Anwendung. Für die zyklische Erwärmung der Werkzeuge gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. Am Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik (IKFF) der Universität Stuttgart bildet die induktiv-variotherme Prozessführung seit Mitte der 1990er-Jahre einen zentralen Forschungsschwerpunkt. Hierbei gibt es unterschiedliche Anordnungs- sowie Gestaltungsvarianten, aber immer geht es darum, eine gezielte und somit schnelle sowie energieeffiziente Erwärmung der gewünschten Bereiche zu erreichen. Die Induktoren können je nach Anforderung extern, also vor der zu erwärmenden Fläche, oder intern, also un-

mittelbar unter der Werkzeugoberfläche, angeordnet werden (**Bild 1**).

Eine externe Anordnung erfordert zusätzlich eine Vorrichtung zum Ein- und Ausfahren des Induktors in die Werkzeugmitte. Ein solches Handlingsystem kann die Induktoren genau vor der zu erwärmenden Fläche platzieren, die deshalb die Heizenergie allerdings nur bei geöffnetem Werkzeug einbringen können. Da sich die Wärme bereits beim Schließen des Werkzeugs verteilt und die Kavität somit vor Beginn des Einspritzens wieder abkühlt, ist der Energiebedarf höher als der Prozess es eigentlich verlangt.

Im Gegensatz dazu werden bei der internen Anordnung die Induktoren so kavitätsnah wie möglich in die Werkzeugplatte integriert. Dadurch kann die Kavität unabhängig von Maschinenöffnung und Zyklusphase aufgeheizt werden. In die-

sem Fall muss eine kurze Wärmeleitstrecke bis zur Kavitätsoberfläche überbrückt werden. Während dieser Zeit verteilt sich die Wärme nicht nur in Richtung Kavität, sondern in alle Richtungen. Darum wird bei dieser Variante wertvolle Zykluszeit sowie Energie bis zum Erreichen der gewünschten Oberflächentemperatur verschwendet, weil Teile des Werkzeugs unnötig erwärmt werden.

Temperaturführung durch Luftspalte

Um bei der internen Anordnung die Wärme gezielter in die gewünschte Richtung leiten zu können, besteht die Möglichkeit, Spalte, bevorzugt dünne Luftspalte, in die Werkzeugplatten einzubringen. Diese Luftspalte „umrahmen“ den Bereich um den Induktor, sodass die Wärme nur in die vorgegebene Richtung abfließen kann »

(Bild 2). Eine Serie von Simulationen hat bestätigt, dass durch die Luftspalte die Wärme zwar rund um den Induktor erzeugt wird, aber gezwungenermaßen zunächst nur in Richtung Kavität abfließen kann. Erst nach Überwinden der Luftspalte verteilt sich die Wärme zunächst oberflächennah in alle Richtungen.

In realen Messungen eines Aufbaus mit Luftspalten zeigt sich dieser Vorteil sehr deutlich durch eine um mehr als 60% verkürzte Heizzeit gegenüber derselben Geometrie ohne Luftspalte. Außerdem verringert sich durch die geringere induzierte Wärmemenge bei einer solchen Anordnung auch die Kühlzeit um mehr als 60%.

Eine Kupferschicht dirigiert die induzierten Wirbelströme

Luftspalte können zwar die Wärme gezielt in Richtung Kavität führen, allerdings werden über die gesamte Länge des Induktors Wirbelströme in der Platte induziert, die zu einer Erwärmung führen. Sollen induktornah Bereiche von der Erwärmung ausgenommen werden, kann dies z.B. durch größere Abstände zwischen den Induktoren und den entsprechenden ferromagnetischen Teilen erreicht werden. Innerhalb der Induktorbohrungen ist dies nur möglich, wenn man die Bohrungsdurchmesser vergrößert. Allerdings gehen damit ein erhöhter Platzbedarf und eine zusätzliche Bauteilschwächung in Kavitätsnähe einher.

Um dies zu umgehen, lassen sich mit einer gut leitfähigen Oberflächenbe-

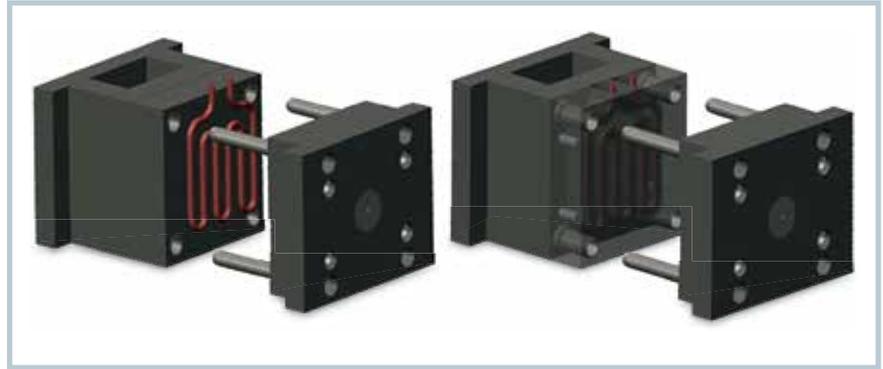


Bild 1. Je nach Anforderung empfiehlt sich eine externe (links) oder interne (rechts) Anordnung des Induktors (© IKFF)

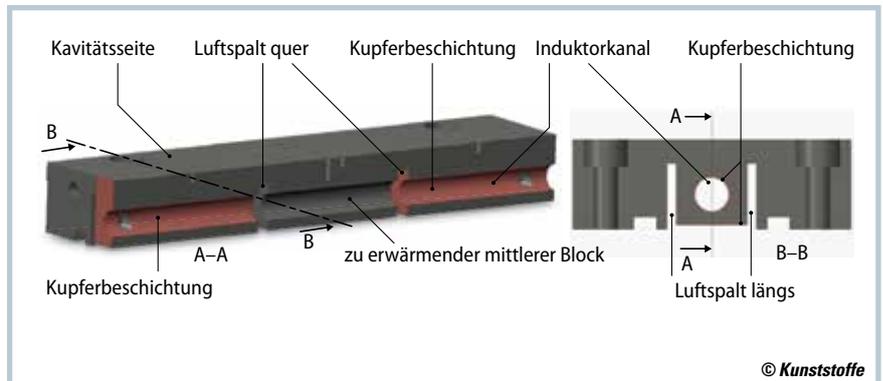


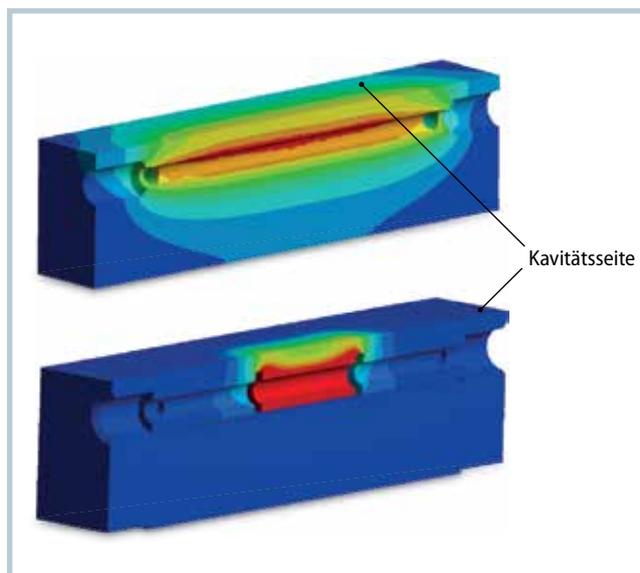
Bild 2. CAD-Modell eines Teils einer beschichteten Versuchsgometrie im Schnitt. Links: Längsschnitt, rechts: Querschnitt. Der Induktor im Induktorkanal ist nicht dargestellt (Quelle: IKFF)

schichtung die induzierten Wirbelströme verlustärmer in Bereiche leiten, in denen eine Erwärmung gewünscht ist. Bei der hier verwendeten Versuchsgometrie wird dafür Kupfer verwendet: Alle den Induktor umgebenden leitfähigen Teile, die nicht erwärmt werden sollen, werden mit dem Metall beschichtet.

Die induzierten Wirbelströme fließen aufgrund des Skin效ekts in den Randschichten der Kupferschicht, wo sie verlustarm fließen können. Sie sind in sich kurzgeschlossen und ihrer Ursache, dem Induktorstrom, entgegengerichtet (axial zum Induktor). Für das gezeigte Modell (Bild 2) bedeutet dies, dass sie sich, von der Kupferschicht ausgehend, über den mittleren zu erwärmenden Block sowie die Oberfläche (Trennebene) kurzschließen. In diesen beiden Bereichen ist eine Erwärmung erwünscht und daher die Kupferschicht unterbrochen, weshalb die Wirbelströme nun über ein Material mit höherem ohmschen Widerstand fließen. Als Folge steigen die ohmschen Verluste, sodass sich die Erwärmung in diesen Bereichen verstärkt.

Da die Wirbelströme frequenzabhängig bis auf eine bestimmte Skintiefe verdrängt werden, muss die Kupferschicht in den „kühlen“ Bereichen mindestens die Dicke dieser Skintiefe einnehmen. Ist die Kupferschicht zu dünn, können die Wirbelströme nicht vollständig in die Beschichtung verdrängt werden, sodass ein Anteil der Wirbelströme

Bild 3. Qualitativer Vergleich der thermischen Simulationen einer Vollmaterial-Leiste (oben) und einer mit Kupfer beschichteten Luftspaltleiste (unten). Letztere erwärmt sich nur im mittleren unbeschichteten Block (© IKFF)



mit hoher Stromdichte im ferromagnetischen Material fließt. In diesem Fall erwärmt sich auch der beschichtete Bereich [1].

Kombination der beiden Varianten

Der im Schnitt gezeigte Teil einer Versuchsgeometrie stellt die Kombination der beiden vorgestellten Varianten dar (**Bild 2**). Zum einen werden die induzierten Wirbelströme durch die Kupferbeschichtung geführt, sodass sie sich in der Mitte der Platte über den Stahl kurzschließen. Hierbei erwärmen die in diesen Bereich geführten Wirbelströme den mittleren nicht beschichteten Block. Zum anderen werden dadurch die Bereiche der Platte, in denen keine Erwärmung gewünscht ist, von den Wirbelstromverlusten „isoliert“. Ebenso werden Wirbelströme und somit thermische Energie direkt im nicht beschichteten Bereich induziert. Um die Ausbreitung der dabei entstehenden Wärme auf den mittleren Bereich zu orientieren, wurden längs zum Induktorkanal Luftspalte angeordnet.

Ein qualitativer Vergleich zweier Simulationen – einmal mit einer Leiste ohne Luftspalt und ohne Beschichtung, nachfolgend vereinfachend Vollmaterial genannt, und einmal mit der beschichteten Luftspaltleiste – verdeutlicht, dass letztere im mittleren unbeschichteten Block hohe ohmsche Verluste in Folge der induzierten Wirbelströme verzeichnet und sich dieser Bereich somit erwärmt. In den kupferbeschichteten Bereichen tritt in der Simulation keine Erwärmung auf. Die Wärmeleitung in die umgebenden Bereiche ist bei der unteren Geometrie im Vergleich zur oberen Vollmaterial-Geometrie durch die eingebrachten Luftspalte stark verringert (**Bild 3**).

Messungen am realen Aufbau

Im realen Aufbau der Versuchsgeometrie sind an der Oberfläche mehrere Bohrun-

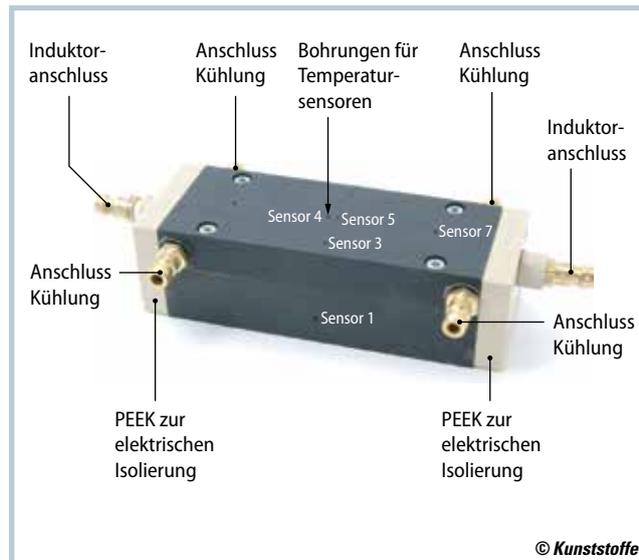


Bild 4. Realer Versuchsaufbau aus dem Werkzeugstahl 1.2312 (schwarz lackiert). In den Bohrungen lässt sich der Temperaturverlauf messen

(Quelle: IKFF)

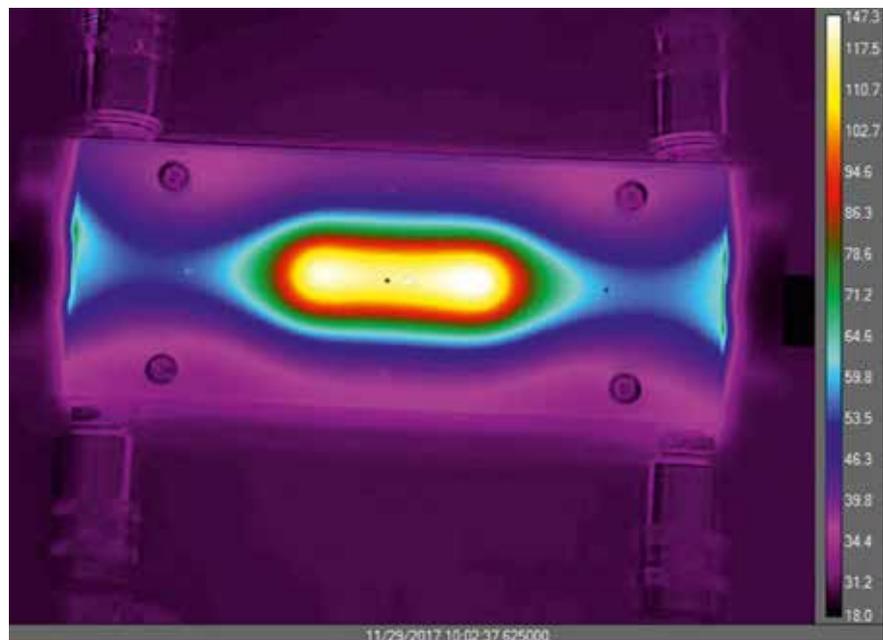


Bild 5. Thermografieaufnahme der beschichteten Versuchsgeometrie. Das Bild zeigt eine induktive Erwärmung des mittleren Bereichs einer beschichteten Luftspaltleiste (© IKFF)

gen angebracht, um die Temperaturverteilung an den relevanten Stellen messen zu können (**Bild 4**). Die Messergebnisse (**Bilder 5 und 6**) bestätigen die bereits erläuterten Erkenntnisse. An den Sensoren 4 und 5 lässt sich ablesen, dass der mittlere un-

beschichtete Bereich deutlich wärmer wird als die umliegenden Bereiche (**Bild 6**). Sensor 4 ist in der Nähe des Induktors angeordnet und Sensor 5 oberflächennah. Durch die um den Induktor angeordneten Luftspalte lässt sich die Wärme- »

ausbreitung in die senkrecht zur Stromrichtung gelegenen Randbereiche (Sensor 3) zunächst aufhalten. Erst mit Überwinden der Luftspalte verteilt sich die Wärme auch nach außen.

Sensor 7 zeigt die Temperatur an der Außenseite in axialer Richtung. Auch dort sammelt sich, im Vergleich zur Mitte, wesentlich weniger Wärme, weil die Wirbelströme in diesen Bereichen durch die Kupferbeschichtung verlustarm geführt werden. Die Erwärmung der Kupferschicht lässt sich nicht vollständig verhin-

Vorteile des Verfahrens

Für Bauteile mit besonderen Anforderungen wie z.B. hohen Aspektverhältnissen oder speziellen Oberflächen sind variotherme Spritzgießverfahren notwendig. Die elektromagnetische Induktion steht hierbei als schnelles und effizientes Verfahren zum Aufheizen der Kavität zur Verfügung. Dabei lässt sich durch gezielte Beeinflussung der Wärmeerzeugung und -verteilung mithilfe elektrisch leitfähiger Oberflächenbeschichtungen einerseits und den Einsatz dünner Luftspalte andererseits wertvolle Zykluszeit einsparen. Denn indem in den Prozess insgesamt weniger Energie eingebracht wird, verkürzt sich neben der Heizzeit auch die notwendige Kühlzeit.

➤ www.uni-stuttgart.de/ikff

Die Autoren

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

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe ist Institutsleiter des IKFF; schinkoethe@ikff.uni-stuttgart.de

Service

Literatur & Digitalversion

➤ Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/4972353

English Version

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

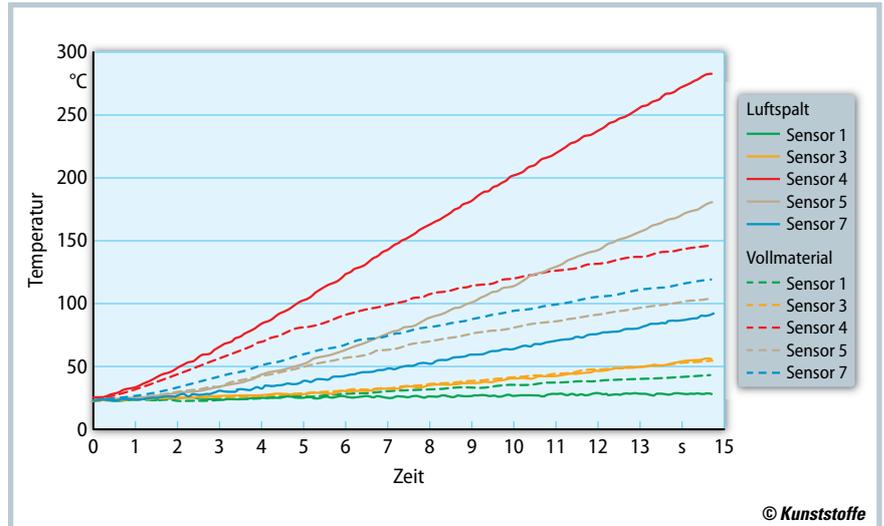


Bild 6. Verschiedene Messpunkte der induktiven Erwärmung der kupferbeschichteten Leiste mit Luftspalt im Vergleich zu einer sogenannten Vollmaterial-Leiste. Der Temperaturverlauf für Sensor 3 ist für beide Varianten deckungsgleich (Quelle: IKFF)

dern, da auch dort Verluste auftreten, sie ist bei ausreichender Schichtdicke jedoch sehr gering. Bei dieser Versuchsgeometrie war es aus prozesstechnischen Gründen nicht möglich, die Kupferschicht innerhalb der Induktorböhrungen in ausreichender Dicke aufzutragen; daher treten auch in diesem Bereich etwas höhere Verluste auf.

In der Grafik (**Bild 6**) ist zum Vergleich zusätzlich der Temperaturverlauf einer Versuchsgeometrie gleicher Abmaße ohne Luftspalte und Kupferbeschichtung dargestellt. Bei gleicher eingebrachter Leistung registrieren die Sensoren 4 und 5 in derselben Zeit eine deutlich geringere Erwärmung an der Oberfläche. Wohingegen beim Erreichen derselben Zieltemperatur die Sensoren in den äußeren Bereichen (1, 3 und 7) eine höhere Temperatur anzeigen, weil keine Führung der Temperatur vorhanden ist.

Schneller zum Ziel mit weniger Einsatz

Mithilfe isolierender Luftspalte um den Bereich des Induktorkanals kann die von der Kanalwandung ausgehende Erwärmung gezielt in Richtung Kavität geführt werden. Alle anderen Richtungen werden dadurch zunächst blockiert. Auf diese Weise lässt sich die notwendige Heizzeit zum Erwärmen der gewünschten Bereiche bei gleicher eingebrachter Leistung wesentlich verkürzen.

Werden nun zusätzlich Bereiche, die keiner Erwärmung bedürfen (z.B. Induk-

torzuleitungen oder nicht prozessrelevante Werkzeugbereiche), mit gut leitfähigen Oberflächen geeigneter Dicke beschichtet, lässt sich die eingebrachte Wärmeenergie zusätzlich fokussieren und damit reduzieren. Beide Maßnahmen haben schlussendlich neben einer verbesserten Energiebilanz einen großen Einfluss auf die notwendige Kühlzeit, weil insgesamt weniger thermische Energie benötigt wird. Dies befördert eine höhere Energieeffizienz des induktiven Verfahrens sowie insgesamt schnellere Zyklen. ■

HANSER

Nichts mehr verpassen!

www.kunststoffe.de/newsletter



Kunststoffe.de