

Induktive Beheizung von Spritzgießwerkzeugen - eine Übersicht

E. Burkard, W. Schinköthe

Tagungsbandbeitrag
zur

**SKZ-Fachtagung
Spritzgießen von Elastomeren**

8. - 9. März 2006
Würzburg

INDUKTIVE BEHEIZUNG VON SPRITZGIESSWERKZEUGEN – EINE ÜBERSICHT

Dipl.-Ing. E. Burkard¹ und Prof. Dr.-Ing. W. Schinköthe²

¹ IKFF, Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik der Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 9; 70550 Stuttgart
Tel.: + 49 (0) 711 685 6403, Fax: + 49 (0) 711 685 6356, email: spritzguss@ikff.uni-stuttgart.de

² IKFF, Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik der Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 9; 70550 Stuttgart
Tel.: + 49 (0) 711 685 6402, Fax: + 49 (0) 711 685 6356, email: schinkoethe@ikff.uni-stuttgart.de

Kurzfassung: Beim Spritzgießen von Thermoplasten, aber auch bei einigen anderen technischen Verfahren zur Formgebung von Kunststoffen werden zunehmend Ansprüche an die Temperatur der Werkzeuge gestellt, die sich wirtschaftlich nur mit einer sehr schnellen Aufheizung, kombiniert mit einer ebenso schnellen Kühlung erfüllen lassen.

Sehr hohe Aufheizgeschwindigkeiten lassen sich bei metallischen Formen durch Wärmeerzeugung nach dem induktiven Prinzip erreichen. Dabei kann eine induktive Beheizung extern oder integriert im Werkzeug erfolgen. Eine Übersicht soll die Möglichkeiten dazu verdeutlichen.

1 Motivation

Wenn im Zusammenhang mit Spritzgusswerkzeugen zur Verarbeitung thermoplastischer Formmassen von Temperierung die Rede ist, so ist damit in erster Linie die Kühlung gemeint, die von ganz seltenen Ausnahmen abgesehen bei allen diesen Spritzgusswerkzeugen notwendig ist. Die aufgeschmolzene Kunststoffmasse, die im Werkzeug ihre Wärme abgibt und erstarrt, bewirkt bei jedem Zyklus einen Wärmeeintrag, der abgeführt werden muss, um die Werkzeugtemperatur im Mittel konstant zu halten. Zunehmend werden aber an Spritzgusswerkzeuge Anforderungen gestellt, die eine variotherme Temperierung notwendig machen. Variotherm bedeutet, dass die Werkzeugtemperatur nicht mehr annähernd konstant gehalten, sondern gezielt ein Temperaturprofil gefahren wird, um die einzelnen Abschnitte der Teilebildung optimal zu unterstützen. In der Regel wird dabei zur Zeit des Einspritzens und der Formfüllung eine höhere Temperatur der Form angestrebt (bis hin zur Massetemperatur), während nach Abschluss der Formfüllung die Temperatur des Werkzeugs wieder rapide gesenkt wird, um eine schnelle Erstarrung der Masse zu gewährleisten.

Eine nahezu konstant gehaltene Werkzeugtemperatur ist bei der Verarbeitung von Thermoplasten immer ein Kompromiss zwischen den Ansprüchen einer fehlerfreien Füllung der Form und optimaler Oberflächenqualität des abgeformten Teils einerseits und wirtschaftlichen Überlegungen mit der Bedingung einer möglichst kurzen Kühlzeit andererseits. Variotherme Temperierung bietet sich immer dann an, wenn zur fehlerfreien Formfüllung eine deutlich höhere Formtemperatur notwendig oder wünschenswert wäre, als im Interesse einer kurzen Zykluszeit während der Erstarrung des Formteils annehmbar.

Typische Problemteile sind zum Beispiel:

- dünnwandige Teile mit langen Fließwegen (hohen Aspektverhältnissen) und Teile mit mikrostrukturierten Oberflächen
In beiden Fällen besteht das Problem darin, dass die Masse beim Kontakt mit der kalten Kavitätswand schnell über den gesamten Querschnitt erstarrt und keine plastische Seele verbleibt, durch die weitere Masse in weiter entfernte Bereiche gelangen könnte. Unterhalb einer gewissen Querschnittsfläche dringt der Kunststoff bei konventioneller Temperierung, also vergleichsweise „kaltem“ Werkzeug nicht mehr ein. Üblicherweise wird zum Beispiel angenommen, dass Spalte von weniger als 0,02 mm Breite an Auswerfern und Kavitätsfugen nicht gefüllt werden.
- dickwandige Teile mit hohen Anforderungen an die Oberflächenqualität

Hier sind die widersprüchlichen Anforderungen während der Formfüllung und der Kühlzeit am deutlichsten ausgeprägt. Um den beträchtlichen Wärmehalt des Teils zügig abführen zu können, muss die Kavitätswand nach Abschluss des Einspritzvorgangs eine möglichst niedrige Temperatur haben und halten. Dickwandige Teile können zwar auch bei sehr niedriger Formtem-

peratur abgeformt werden, die Oberflächenqualität leidet aber dabei. Daher kommt ein dauerhaft extrem niedriges Temperaturniveau nicht für Teile in Betracht, deren Funktion von der Oberflächenqualität bestimmt wird (zum Beispiel optische Systeme) oder bei denen ein hoher Wertigkeitseindruck angestrebt wird (hochwertige Verbrauchsgüter). Interessanterweise kann dieser Aspekt gerade auch bei sehr billigen Artikeln zum Tragen kommen.

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen diese Problematik beispielhaft bei der Abformung von mikrostrukturierten Oberflächen auf. Bei isothermer Temperierung füllt der Kunststoff die mikrostrukturierte Oberfläche des vergleichsweise „kalten“ Werkzeuges nicht mehr vollständig aus.

Schnelles Aufheizen und Abkühlen ist aber nicht nur für den Spritzguss von thermoplastischen Formmassen von Interesse, auch andere Verfahren zur Verarbeitung von Kunststoffen haben Bedarf an schnellen Temperaturwechseln, zum Beispiel das Heißprägen von Mikrostrukturen [8, 10].

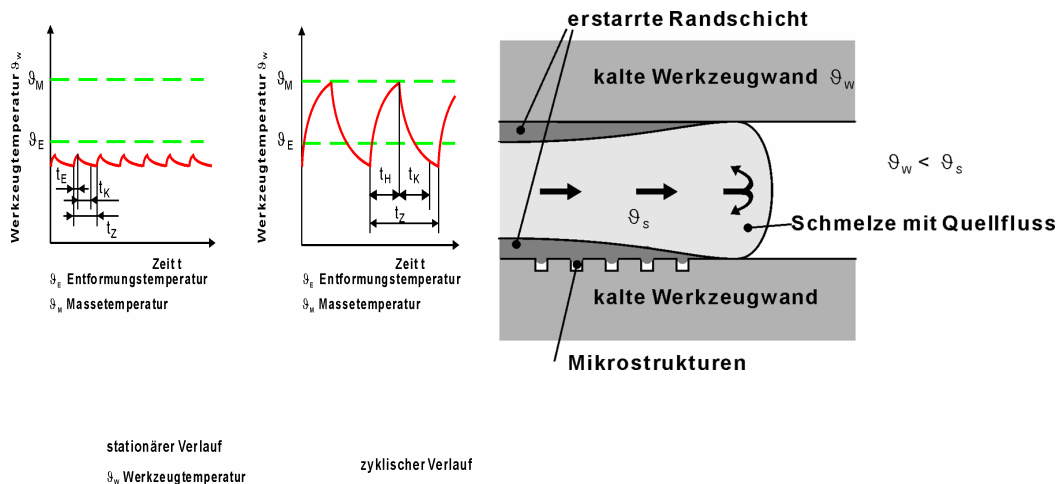


Abb. 1: Randschichterstarrung beim Spritzgießen mit isothermer Temperierung [4]

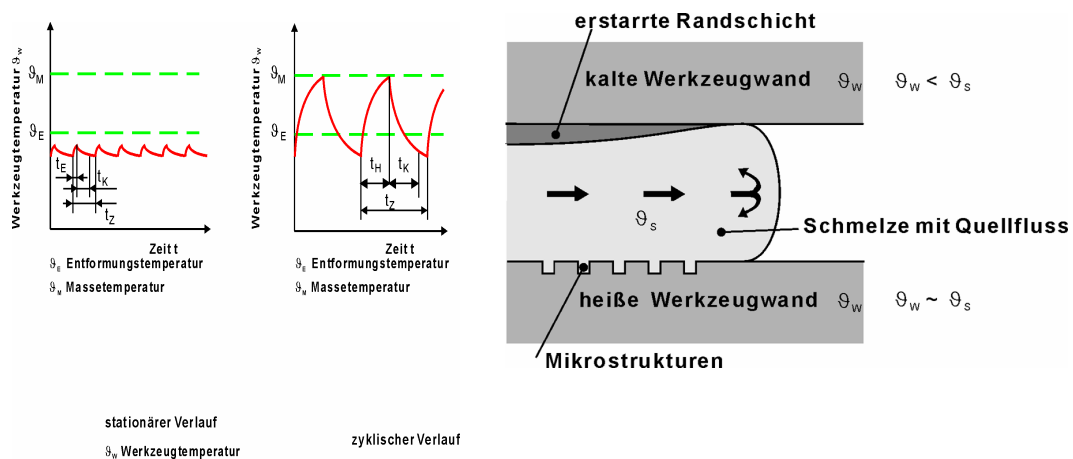


Abb. 2: Spritzgießen mit variothermer Prozessführung [4]

2 Einführung in die variotherme Prozessführung

Gängige Verfahren zur variothermen Temperierung verwenden zwei Flüssigkeitskreisläufe mit Medien auf unterschiedlichen Temperaturniveaus oder widerstandselektrische Heizelemente, gepaart mit Flüssigkeitskühlung. Schließlich ist auch eine induktive Heizung in verschiedensten Ausprägungen mit Flüssigkeitskühlung möglich.

Zunächst bietet sich eine öl-variotherme Prozessführung mittels zweier unterschiedlich temperierter Ölkreisläufe im Werkzeug an [2], Abb. 3. Der Werkzeugrahmen wird durch einen primären Ölkreislauf mit einem „kalten“ Temperiermedium durchströmt und so auf Entformungstemperatur gehalten. Im thermisch weitgehend isolierten Kavitätsbereich wird je nach Prozessphase zwischen einem heißen und einem kalten Temperiermedium umgeschaltet (Abb. 4), was die Erwärmung bzw. die sich an das Einspritzen anschließende Abkühlung der Kavität bewirkt. Aufgrund der hohen Wärmekapazität des Formeinsatzes und des nur mäßigen Wärmeüberganges ergeben sich lange Zykluszeiten im Bereich mehrerer Minuten. Der Temperaturwechsel ist vergleichsweise langsam, große Werkzeugbereiche werden geheizt bzw. wieder abgekühlt.

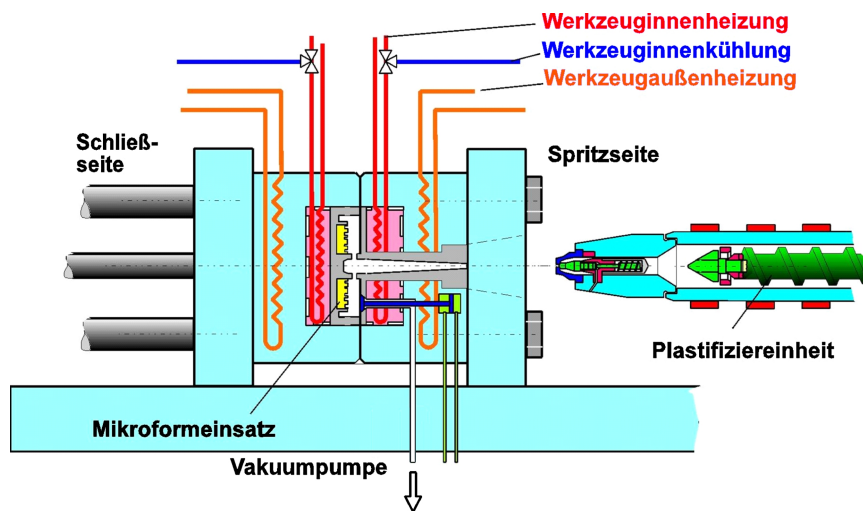


Abb. 3: Spritzgießwerkzeug für öl-variotherme Prozessführung [2]

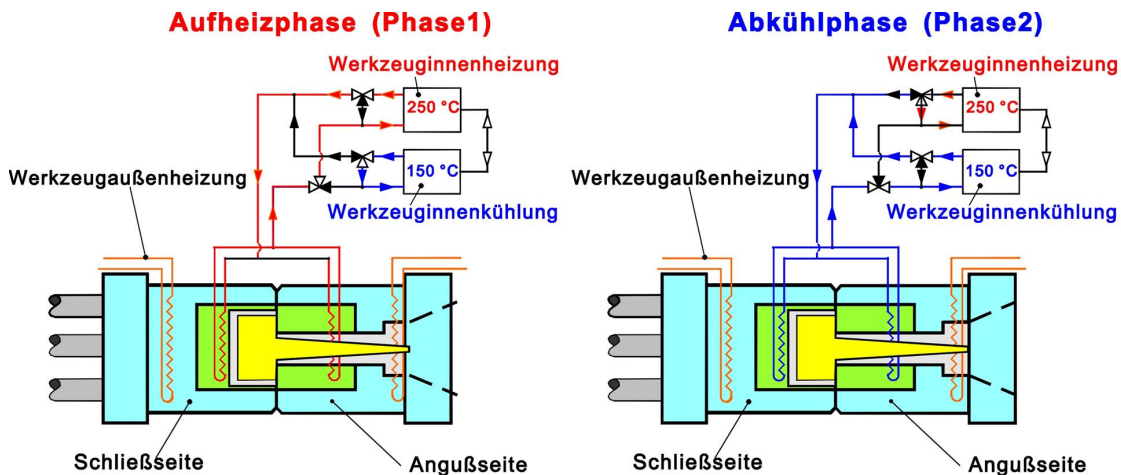


Abb. 4: Öl-variotherme Prozessführung [2]

Nahe liegend ist als zweite Methode die Zuhilfenahme von elektrischen Widerstands-Heizelementen [7]. Das Werkzeug wird wiederum zunächst mit einem flüssigen Temperiermedium auf konstanter Temperatur gehalten. Vor dem Einspritzen erwärmen gezielt platzierte Heizelemente die komplette Kavität oder nur bestimmte Bereiche der Kavität auf die gewünschte Temperatur. Vor allem bei niedrigen Temperaturen ist eine schnelle Aufheizung durch kavitätsnah platzierte Heizelemente möglich. Die Kühlung muss räumlich getrennt erfolgen.

Beide Methoden haben sich bereits etabliert und werden unter Produktionsbedingungen eingesetzt. Verbesserungsbedarf gibt es jedoch bei den erreichbaren Zykluszeiten, die diejenigen des Standard-

spritzgießens bis zum Zehnfachen übersteigen und durch die lange Verweildauer des Kunststoffes in der Schnecke zu thermischen Schädigungen der Formmasse führen können. Andererseits stoßen die Verfahren auch an Grenzen hinsichtlich des Temperatur-Offsets für Hochtemperaturkunststoffe. Am IKFF wird deshalb der Einsatz einer dritten Erwärmungsmethode untersucht, die auf dem **induktiven Erwärmungsprinzip** beruht [1 - 6].

3 Prinzip der induktiven Beheizung

3.1 Induktive Erwärmung

Im technischen Bereich kennt man die Wärmeerzeugung nach dem induktiven Prinzip hauptsächlich aus den Bereichen der Wärmebehandlung von Metallen und der Gießerei, sie wird aber auch noch für zahlreiche andere Anwendungen eingesetzt. Auch in Küchenherden wird das Verfahren schon länger genutzt. Am IKFF wird nun bereits seit geraumer Zeit daran gearbeitet, die beträchtlichen Vorteile, die der Einsatz der induktiven Beheizung zur variothermen Temperierung von Spritzgusswerkzeugen eröffnet, nutzbar zu machen [1 - 6].

Die induktive Wärmeerzeugung beruht auf dem Transformatorprinzip, Abb. 5. Ein von hochfrequentem (ca. 10 kHz bis 500 kHz) Wechselstrom hoher Stromstärke durchflossener Leiter, der Induktor, ist von einem elektromagnetischen Wechselfeld gleicher Frequenz umgeben. Wird ein leitfähiges Material in dieses Wechselfeld eingebracht, so werden in einer dünnen Oberflächenschicht wiederum kurzgeschlossene elektrische Ströme induziert. Durch die Verlustleistung dieser Ströme am ohmschen Widerstand des Materials entsteht Wärme. Um die Erwärmung des Induktors selbst beherrschbar zu halten, wird dieser meistens als Hohlleiter ausgeführt und mit Wasser durchströmt.

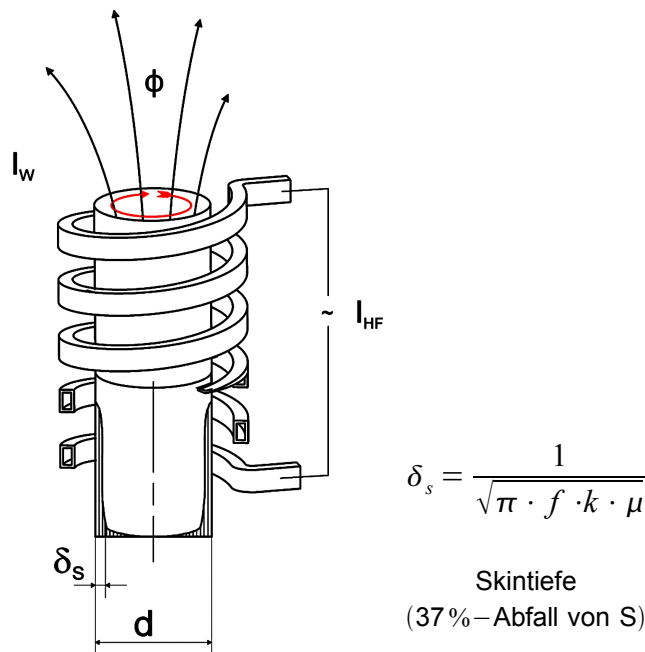


Abb. 5: Prinzip der Induktionserwärmung [4]

Vorteilhaft gegenüber anderen Methoden, Metalle zu erhitzen, ist vor allem die sehr hohe erzielbare Erwärmungsgeschwindigkeit. Dies beruht einerseits darauf, dass die Wärme direkt im Material des zu erwärmenden Gegenstands entsteht, andererseits aber insbesondere auch auf der sehr hohen Leistung, die durch eine gegebene Oberfläche eingebracht werden kann.

3.2 Impulskühlung

Die Wärmeabfuhr erfolgt bei Spritzgusswerkzeugen am häufigsten durch eine Flüssigkeitskühlung in Form einer konstanten Durchströmung der Werkzeuggrundplatten mit einem Medium, das dann außerhalb des Werkzeugs wieder zurückgekühlt wird. Teilweise werden zusätzlich, selten auch

ersatzweise Verfahren mit noch höherem abführbarem Wärmestrom eingesetzt, wie elektrothermische Verfahren (Peltier-Elemente), Wärmerohre oder die Expansion von flüssigem Kohlendioxid.

Da der Wärmeeintrag ins Werkzeug nicht kontinuierlich erfolgt, sondern zyklisch zwischen Null und einem Maximalwert pendelt, ist eine Kühlung mit nahezu konstanter Wärmeabfuhr zwar normalerweise ausreichend, aber für problematische Teile nicht optimal [10]. Impulskühlung heißt, dass die Wärmeabfuhr nur während der Zeiten erfolgt, in denen das durch den Wärmeeintrag erforderlich ist. Dies verhindert insbesondere bei hohen Kühlleistungen die Abkühlung des Werkzeugs auf zu niedrige Temperatur in Phasen geringen Wärmeeintrags und die damit verbundene schlechtere Teilequalität. Bei vollständig variothermem Betrieb – also mit Heizung und Kühlung im Wechsel – entsteht zwangsläufig eine Impulskühlung.

4 Umsetzung der induktive Werkzeugtemperierung

Die Umsetzung der induktiven Erwärmung ist vom Werkzeug abhängig. Sie kann extern erfolgen bei Abkühlung in den grundtemperierten Werkzeugrahmen, halb-intern mit Impulskühlung der Form oder vollständig integriert ebenfalls mit Impulskühlung realisiert werden, Abb. 6.

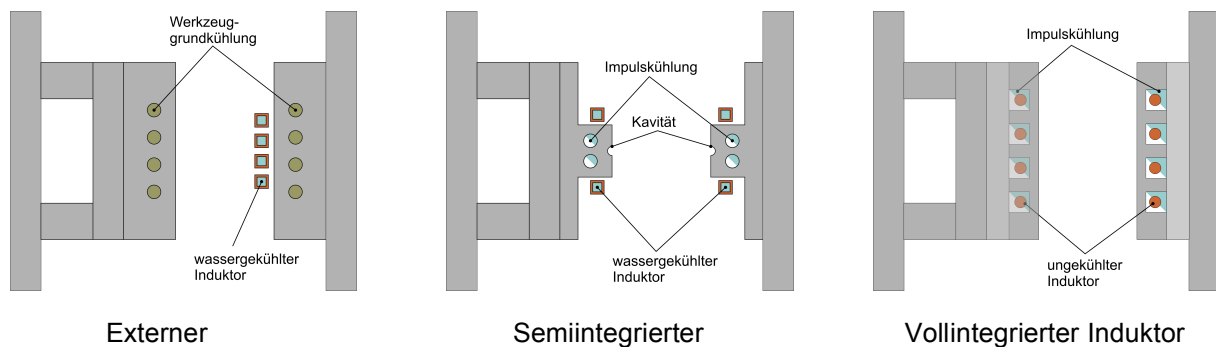


Abb. 6: Anordnungsvarianten eines Induktors für eine Induktionserwärmung

4.1 Externer Induktor

Bei annähernd planen Kavitäten und Teilen, die eine hohe Temperatur nur kurzzeitig beim Einspritzen benötigen, kann der Induktor ins geöffnete Werkzeug eingefahren werden und direkt die Trennebene aufheizen, Abb. 7, 8, 9. Die Abkühlung erfolgt ins Material hinein, wie zum Beispiel auch vom induktiven Härten bekannt. Der Werkzeuggrundkörper wird dazu konventionell temperiert. Da die Abkühlung der Formoberfläche bereits einsetzt, während das Werkzeug geschlossen wird, muss auf eine höhere Temperatur erwärmt werden, als eigentlich zum Einspritzzeitpunkt notwendig [1-4].

Kennzeichnend sind:

- konstruktiv einfacher Aufbau, aber Handlingsystem zum Einfahren des Induktors nötig
- bei geeigneter Kavitätsgeometrie oft ohne Neukonstruktion des Werkzeugs nachrüstbar
- schnellste Aufheizung, weil direkt die Kavitätsoberfläche erwärmt wird und schnellste Abkühlung durch geringste eingebrachte Wärmemenge.

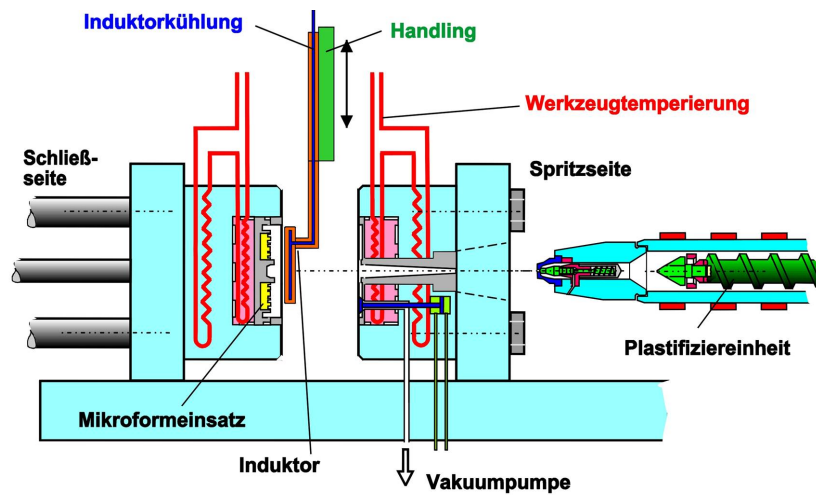


Abb. 7: Induktive Werkzeugtemperierung mit externem Induktor [2, 4]

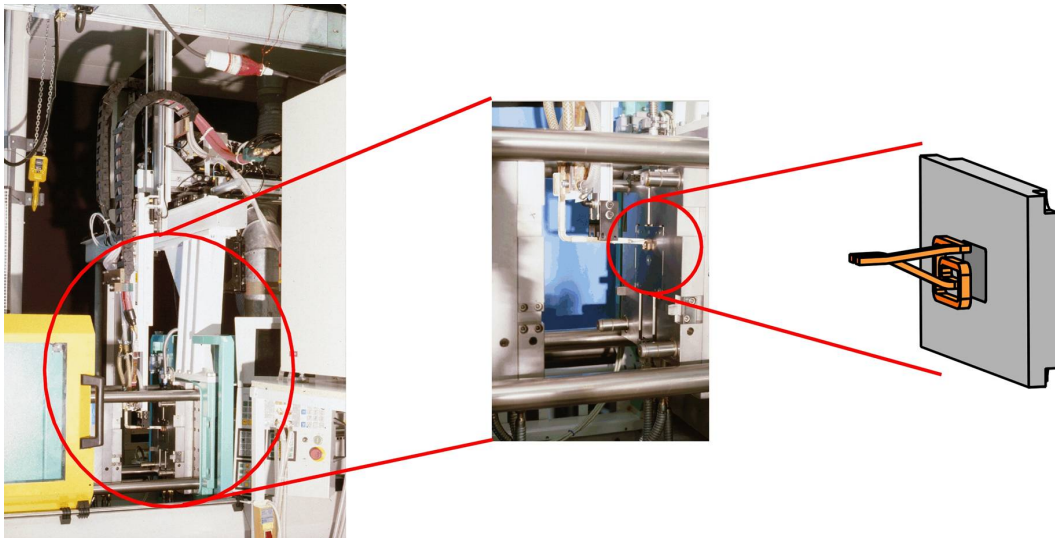


Abb. 8: Anordnung eines externen Induktors zur Abformung von Mikrostrukturen [4]

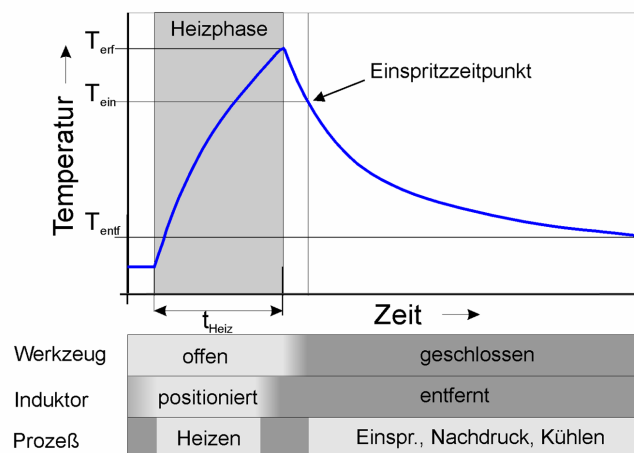


Abb. 9: Typischer Temperaturverlauf mit externem Induktor [4]

4.2 Integrierter Induktor

Da ein in das Werkzeug integrierter Induktor nicht mehr entfernt wird, kann während der Schließbewegung und bei geschlossenem Werkzeug weiter geheizt werden. In der Regel muss allerdings die Werkzeugkonstruktion bereits den Einsatz des Induktors vorsehen, ein nachträglicher Einbau ist kaum denkbar. Das den Induktor umgebende elektromagnetische Wechselfeld induziert Wirbelströme in allen leitfähigen Materialien in Induktornähe, so dass diese gegebenenfalls ebenfalls erwärmt werden. Um dies zu vermeiden, sind entweder ausreichende Luftspalte, Bereiche aus anderen Nichtleitern oder Abschirmungen vorzusehen. Als Abschirmung eignen sich nicht-ferromagnetische Metalle hoher Leitfähigkeit, da in diesen zwar Wirbelströme entstehen, aber aufgrund des geringen Widerstands die ohmsche Verlustleistung sehr viel geringer ist als in Eisenwerkstoffen. Damit erwärmen sich diese Materialien erheblich langsamer.

Kennzeichnend sind hier:

- Keine Bewegungen im Werkzeugraum nötig, vorteilhaft bei Einsatz eines Entnahmehandlings
- Temperaturmessung vergleichsweise einfach
- Temperatur kann geregelt und gehalten werden.

4.2.1 Semiintegrierter Induktor

Für stabförmige Kavitätsbereiche kann ein Aufbau gewählt werden, bei dem ein haarnadelförmiger Induktor einen langgestreckten Kavitätsbereich parallel zur Trennebene umschließt, während eine konventionelle oder auch Impulskühlung unterhalb der Kavität verläuft, Abb. 10. Der Werkzeugaufbau ist weitgehend konventionell, die induktive Erwärmung ist in einzelnen Fällen nachrüstbar.

In der Regel ist einer Impulskühlung der Vorzug zu geben, da die Kühlkanäle noch im Erwärmungsbereich der Heizung liegen, was bei kontinuierlicher Kühlung die Heizleistung reduzieren und das Kühlmittel unnötig erwärmen würde. Die Erwärmung kann gegebenenfalls auch zur Verdampfung des Kühlmediums führen. Um die Leistung der Heizung zu optimieren, sollte das Kühlmedium vor der Heizphase aus den Kühlkanälen ausgeblasen werden.

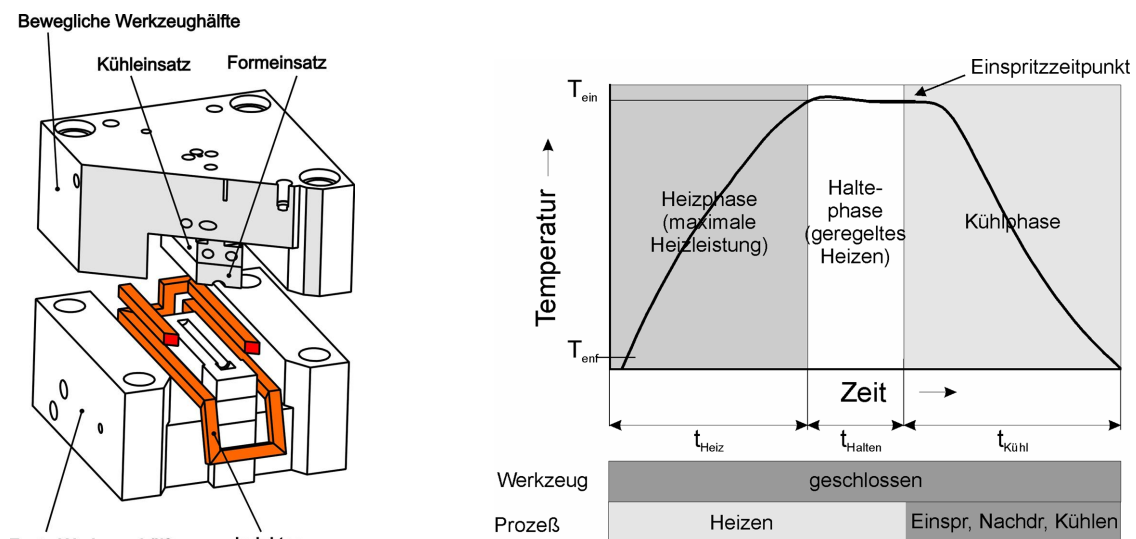


Abb. 10: Anordnung eines semiintegrierten Induktors und typischer Temperaturverlauf [4]

4.2.2 Vollintegrierter Induktor

Weitgehend universell einsetzbar wird die induktive Beheizung, wenn es gelingt, sie vollständig unterhalb der Kavität in einer Formplatte einzubauen, Abb. 11. Der Induktor wird dabei in einen Bereich verlegt, in dem auch eine konventionelle Temperierung, sei es mit flüssigen Medien oder widerstandselektrisch, angeordnet würde. Da die gleichen Kanäle sowohl den Induktor als auch das Kühlmedium führen, kann auf eine Innenkühlung des Induktors im Allgemeinen verzichtet werden.

Bei dieser Bauform wird der Impulsbetrieb der Kühlung obligatorisch, da die Kühlung auf die gleichen Oberflächen wirkt wie die Heizung und da an den direkt induktiv beheizten Oberflächen regelmäßig Temperaturen erreicht werden, die alle gängigen Temperiermedien zum Sieden oder gar zur Zersetzung bringen. Auch das Ausblasen des Kühlmediums vor Heizungsstart wird damit zwangsläufig erforderlich, da die Energie um die Kanäle „freizukochen“ schnell die zur eigentlichen Erwärmung der Form notwendige übersteigt. Ein Verzicht auf das Ausblasen wäre nicht nur Energieverschwendung, sondern würde natürlich auch die Heizzeit entsprechend in die Höhe treiben.

Kennzeichnend sind hier:

- Da der Induktor in der Regel ungekühlt betrieben werden kann, wird eine einfache Herstellung aus gebogenem Vollmaterial möglich.
- Vielfältige Kavitätsgeometrien sind beheizbar.

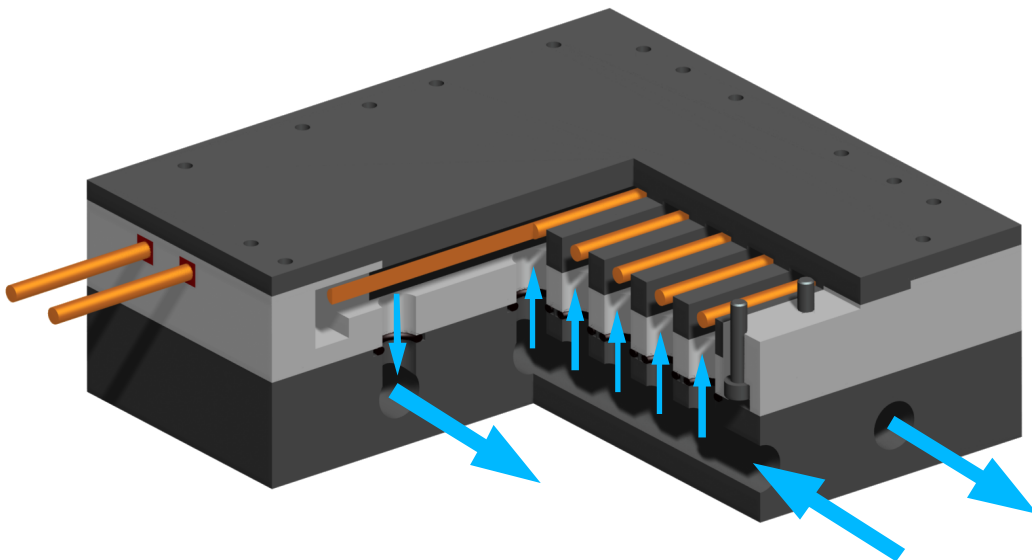


Abb. 11: Versuchsformplatte 156 mm × 156 mm mit vollständig integriertem Induktor, für Messzwecke ohne eigentliche Kavität ausgeführt; die Pfeile kennzeichnen den Kühlwasserfluss in der Kühlphase

Der Induktor ist in gefrästen Nuten auf der Unterseite der eigentlichen Kavitätsplatte verlegt, die zusammen mit einer abschließenden Unterplatte aus Aluminium auch die Kühlkanäle bilden. Das Kühlwasser wird durch eine dritte, noch tiefer liegende Platte zugeführt, fließt durch senkrechte Bohrungen zur Mitte der Kühlkanäle, von dort nach außen und wieder von der Kavitätsplatte weg. Damit wird ein Bereich um die Mitte der Kavitätsplatte nicht nur schnell aufgeheizt, sondern auch überaus schnell wieder abgekühlt.

Für die mit der beschriebenen Formplatte durchgeführten Versuche wurde ein Prozess angenommen, der eine Temperaturführung zwischen den Grenztemperaturen 240°C (als typischer Massetemperatur eines technischen Thermoplasts) und 60°C (als Entformungstemperatur) erfordert. Aufheizung und Abkühlung wurden unmittelbar aufeinander folgend zyklisch gefahren, um einen quasistationären, eingeschwungenen Zustand der äußeren Plattenbereiche zu erzielen, Abb. 12.

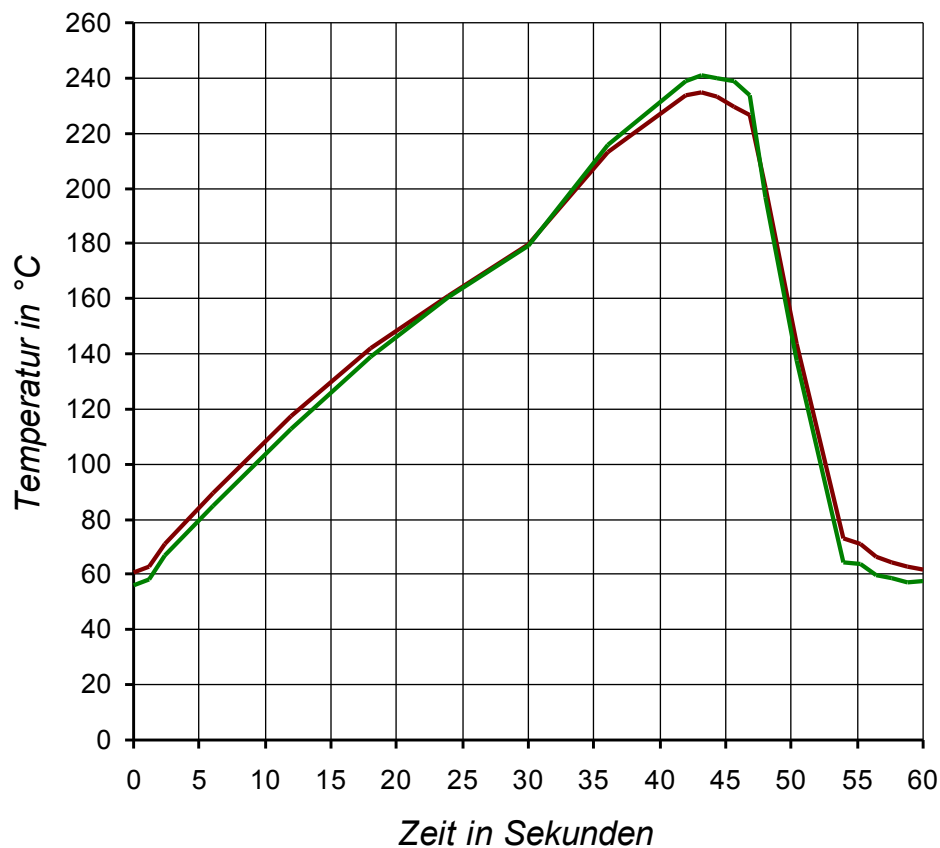


Abb. 12: Temperaturverlauf an zwei Punkten der fiktiven Kavität (siehe auch die Markierungen in Abb. 13); die Ungleichförmigkeit im Bereich 30 s/180°C ist vermutlich ein Artefakt der Messbereichsumschaltung des eingesetzten Thermografiesystems

Bei diesen Versuchen betrug die Leistungsaufnahme des Induktionsgenerators während der Heizphase konstant ca. 3,5 kW. Mit dieser Heizleistung wurde die obere Zieltemperatur von 240°C innerhalb von ca. 43 Sekunden erreicht. Daraufhin wurde die Heizung abgeschaltet und eine Sekunde später mit der Kühlung begonnen. Als Kühlmedium diente Leitungswasser mit ca. 15°C Temperatur im Zulauf. Kurz vor Erreichen der unteren Grenztemperatur von 60°C wurde die Wasserzufuhr wieder unterbrochen, und die Kühlkanäle wurden 5 Sekunden lang mit Druckluft ausgeblasen. Mit dieser Kühlung wurde die Ausgangstemperatur von 60°C in 17 Sekunden wieder erreicht, 60 Sekunden nach Beginn der Heizphase.

Wie eine Thermografie-Aufnahme in Abb. 13 zeigt, ergibt sich bei Erreichen der Zieltemperatur von 240°C an der heißesten Stelle der Oberfläche eine weitgehend gleichmäßige Temperaturverteilung in einem mittleren Bereich der Kavitätsplatte. Der Rand der Platte konnte der schnellen Erwärmung nicht folgen, dort stellt sich über mehrere gefahrene Zyklen eine nahezu konstante Temperatur von ca. 100 bis 120°C ein. Der Temperaturwechsel und damit auch die Energiezu- und -abfuhr beschränken sich also auf den Bereich der Kavität, während der Werkzeugrahmen kaum beteiligt ist.

Unten links sind in der Thermografie in Abb. 13 die Induktorzuleitungen zu sehen. Deren Temperatur bewegt sich zwischen ca. 80°C am Ende der Kühlphase und ca. 150°C am Ende der Heizphase. Die Impulskühlung der Induktorstränge im Inneren der Versuchsplatte reicht also aus, um durch Wärmeleitung auch den ungekühlten Zuleitungsbereich zwischen den gekühlten Anschlussklemmen des Generators und dem geheizten Bereich in einem sicheren Temperaturbereich zu halten.

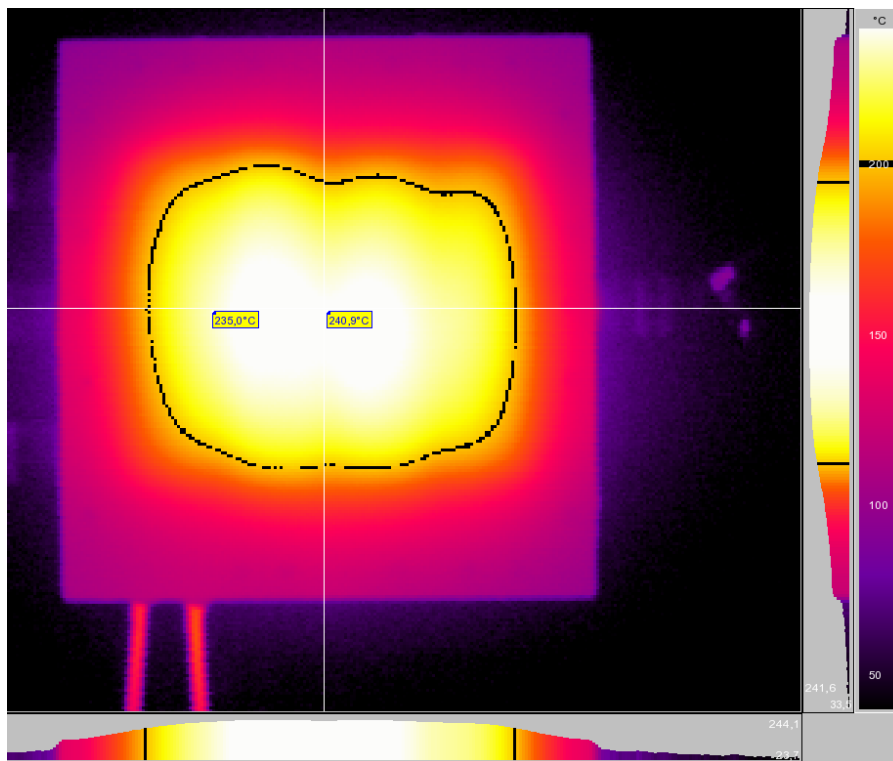


Abb. 13: Thermografie-Aufnahme nach ca. 43 s Erwärmungszeit mit Isotherme bei 200°C

5 Ergebnisse, Anwendungsgebiete

Zur Untersuchung des Potenzials der induktiven Werkzeugtemperierung wurden zusammen mit dem Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH (IMM) Induktionsanlagen mit externem Induktor in den Spritzgießprozess integriert und Abformversuche von Mikrostrukturen vorgenommen [2, 3, 4]. Die Formeinsätze wurden im LIGA-Verfahren hergestellt und beinhalten konzentrische Stege mit Wandstärken von 20, 15, 10, 5 und 2,5 μm und Keile verschiedener Spitzenradien mit Aspektverhältnissen von 5 bis 40, Abb. 14. Die Gestaltung erfolgte mit dem Ziel, die Leistungsgrenzen des Verfahrens zu ermitteln. Die Geometrie des Induktors wurde den äußeren Abmaßen des LIGA-Formeinsatzes angepasst. Über ein zwangläufiges Kniehebelgetriebe wurde die Induktorspule vor der Kavität positioniert.

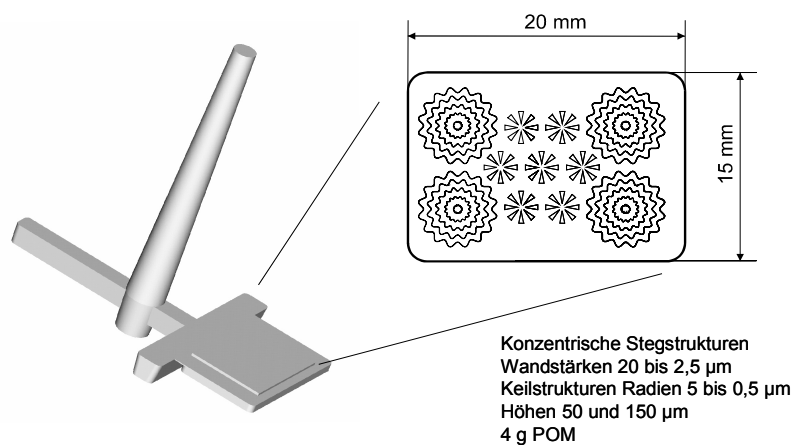


Abb. 14: Formteil mit konzentrischen Steg- und Keil-Mikrostrukturen [2]

In vorausgegangenen Erwärmungsversuchen an einem Versuchsstand konnte die Leistungsfähigkeit des Verfahrens im Vergleich zum öl-variothermen Verfahren unter Beweis gestellt werden, Abb. 15. Aufgeheizt wurde auf eine geforderte Werkzeugtemperatur von 200 °C. Die Heizzeit von 5 s beim induktiven Verfahren im Vergleich zu 180 s beim öl-variothermen Verfahren macht die Schnelligkeit der Induktionserwärmung deutlich (Gesamtzykluszeiten waren hier 25 s gegenüber 240 s). Gemessen wurde die Temperatur an zwei Stellen im Werkzeug, direkt an der Formoberfläche und 2 mm unter der Oberfläche. Während sich die Kurven im linken Bild fast überdecken ist im rechten Bild die Auswirkung der Induktionserwärmung zu sehen. Die Erwärmung findet primär in der Randschicht des Werkzeugs an der Oberfläche statt, der Wärmetransport in die tieferen Schichten erfolgt verzögert.

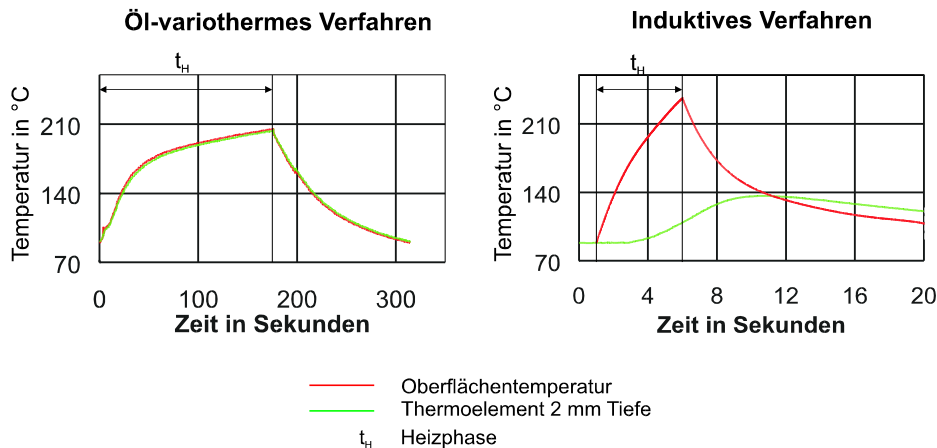
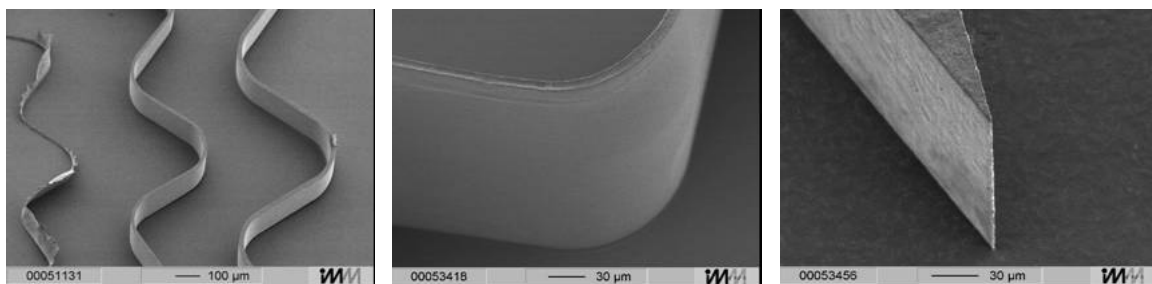


Abb. 15: Öl-variotherme und induktive Temperierung im Vergleich [4]

Das Versuchsbauteil mit den einseitig angeordneten Mikrostrukturen und einer Gesamtmasse von 4 g POM konnte mit einer Zykluszeit von 50 s gefertigt werden, wobei die Kavitätstemperatur zum Einspritzzeitpunkt ca. 190 °C betrug. Die Mikrostrukturen waren bei einer Wandstärke von 5 µm noch bis zu Strukturhöhen von 150 µm abformbar und entformbar, was einem Aspektverhältnis von 30 entspricht. Stege mit einer Wandstärke von 2,5 µm waren zwar abformbar, aber nicht mehr zu entformen. An den Keilstrukturen waren Keilradien bis 0,5 µm bei Strukturhöhen von 150 µm abform- und entformbar, was sogar Aspektverhältnissen von 150 entspricht, Abb. 16. In [2, 3, 4] sind weitere Abformungsbeispiele dargestellt, auf die hier aus Platzgründen nicht eingegangen werden kann.



Abriß 2,5 µm Steg, 150 µm hoch
Vollständige Füllung bei 5 µm Steg

Ausschnitt Stegstruktur 10 µm,
150 µm hoch

Ausschnitt Keilstruktur
Radius 0,5 µm, 150 µm hoch

Abb. 16: Details abgeformter Teststrukturen (DFG-Projekt mit IMM Mainz [2, 4, 5])

6 Zusammenfassung, Ausblick

Die induktive Werkzeugtemperierung eignet sich als schnelles variothermes Temperierverfahren für die Massenproduktion beispielsweise von mikrostrukturierten Bauteilen. Kurze Erwärmungszeiten und hohe Temperaturniveaus erlauben eine dynamische Werkzeugtemperierung für verschiedenartigste Anwendungsfälle mit kurzen Zykluszeiten. Die Erwärmung planarer Strukturen beispielsweise der Mikrotechnik ist ebenso möglich wie die Temperierung echter dreidimensionaler Strukturen durch eine Integration des Induktors in das Werkzeug. Eine schnelle, nur partielle Erwärmung von Teilbereichen der Kavität ermöglicht darüber hinaus den Einsatz zur Steigerung der Teilequalität in weiteren Bereichen. Einsatzgebiete sind neben dem Spritzgießen auch Heißpräge-Verfahren und Sonderverfahren (z.B. Transferpressen).

Bei integriertem Induktor ist ein geregelter Temperaturverlauf auch auf hohem Temperaturniveau für größere Kavitätsbereiche realisierbar. Probleme bei der Anwendung sind aber bei großflächigen Konturen bzw. großer Kavitätsanzahl bei Mehrfachwerkzeugen zu erwarten.

Die Arbeiten hierzu wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens "Einfließen von Polymer-schmelzen in kleine Kavitäten beim Spritzgießen mit induktiver Werkzeugtemperierung" durch die DFG unterstützt.

Literatur

- [1] Tewald, A.: Entwicklung und Untersuchung eines schnellen Verfahrens zur variothermen Werkzeugtemperierung mittels induktiver Erwärmung. Diss. Universität Stuttgart IKFF, Institutsbericht 13, 1997.
- [2] Schaumburg, C.: Mikrospritzgießen mit induktiver Werkzeugtemperierung. Diss. Universität Stuttgart IKFF, Institutsbericht 17, 2001.
- [3] Kemmann, O.: Untersuchungen zum Füllverhalten von mikrostrukturierten Formteilen beim Mikrospritzgießen von Polymerschmelzen. Diss. Universität Stuttgart IKFF, Institutsbericht 19, 2002.
- [4] Walther, T.: Geräte und Verfahrenstechnik zur induktiven Werkzeugtemperierung beim Mikrospritzgießen. Diss. Universität Stuttgart IKFF, Institutsbericht 20, 2003.
- [5] Ehrfeld, W.; Schinköthe, W.; Weber, L.: Einfließen von Polymerschmelzen in kleine Kavitäten beim Spritzgießen mit induktiver Werkzeugtemperierung. DFG-Bericht, 1999.
- [6] Schinköthe, W.; Walther, T.: Zykluszeiten verringern - Eine alternative Werkzeugtemperierung beim Mikrospritzgießen. Kunststoffe 90(2000)5, S. 62-68.
- [7] Michaeli, W.; Rogalla, A.; Ziegmann, C.: Mikrostrukturen in Serie fertigen. Kunststoffe 89(1999)9, S. 80-82.
- [8] Hecke, M.; Bacher, W.; Blum, H.; Müller, L.; Ünal, N.: Heißprägen von Mikrostrukturen als Fertigungsprozess. F&M 105(1997)9, S. 598-602.
- [9] Radke, R.; Dzuban, R.: Weniger ist mehr – Dynamische Temperiersysteme im Spritzgießprozess. Plastverarbeiter 55(2004)4.
- [10] Herzinger, S.: Hochpräzises Heißprägen. Kunststoffe 94(2004)10, 151–154.

Neue Telefon- und Telefaxnummer:

Telefon: +49 (0)711 685 – 6 6402

Telefax: +49 (0)711 685 – 6 6356

Neue E-Mail-Adressen:

ikff@ikff.uni-stuttgart.de

linearantriebe@ikff.uni-stuttgart.de

piezoantriebe@ikff.uni-stuttgart.de

spritzguss@ikff.uni-stuttgart.de

zuverlaessigkeit@ikff.uni-stuttgart.de