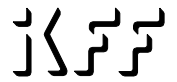


Veröffentlichungen am IKFF



## **Einsatzmöglichkeiten der induktiven Werkzeugtemperierung beim Spritzgießen**

T. Walther, W. Schinköthe (IKFF)

Beitrag zum

**17. Stuttgarter  
Kunststoff-Kolloquium**

14. - 15. März 2001

**Symposium 3    Kunststoffverarbeitung**

© 2001    Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik

## EINSATZMÖGLICHKEITEN DER INDUKTIVEN WERKZEUGTEMPERIERUNG BEIM SPRITZGIESSEN

T. Walther, W. Schinköthe

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

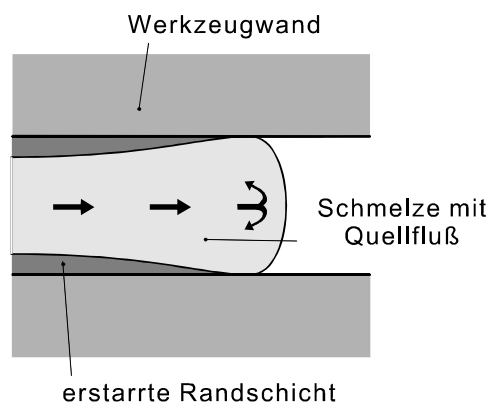
**Zusammenfassung:** Beim Spritzgießen müssen Werkzeuge bzw. Kavitäten temperiert werden. Eine Reihe von Bauteilen erfordern spezielle Temperaturgänge in der Kavität. Beispielsweise erstarren die Schmelzen in sehr kleinen Kavitäten z.T. vor deren vollständiger Ausfüllung. Beim klassischen Variothermverfahren sichern zwei verschieden temperierte Ölkreisläufe die geforderten Werkzeugtemperaturniveaus. Bei der induktiven Erwärmung wird die Energie transformatorisch auf das Werkstück übertragen. Die kurzen Erwärmungs- und Abkühlungsphasen erlauben eine dynamische Formtemperierung mit unterschiedlichen Temperaturprofilen für verschiedenste Anwendungen.

**Abstract:** In injection moulding, the temperatures of moulds and cavities have to be controlled. A number of parts require special temperature responses in the cavity. For example, melt sometimes solidifies in very small cavities before they are completely filled. In the classical Variotherm Process, two oil circuits at different temperatures provide the requisite mould temperature. In inductive heating, the energy is transferred to the work piece in the manner of a transformer. The short heating and cooling phases permit dynamic mould temperature control with different temperature profiles for the most diverse applications.

**Keywords:** Spritzgießen, dynamische Werkzeugtemperierung, induktive Erwärmung

### 1. Einleitung

Für einen reproduzierbaren Prozess müssen beim Spritzgießen die Werkzeuge bzw. Kavitäten temperiert werden. Im einfachsten Fall soll die Temperiereinrichtung die mit der Schmelze eingebrachten Wärmemenge abführen und konstante Prozessbedingungen beim Erstarren der Schmelze gewährleisten. Eine einfache Wasser- oder Öl-Temperierung bzw. Kühlung sichert die erforderliche schnelle Erstarrung des Spritzlings und führt zu reproduzierbaren Zykluszeiten bei konstanter Werkzeugtemperatur.



**Bild 1** Randschichterstarrung beim Spritzgießen

Eine Reihe von Bauteilen erfordern jedoch spezielle Temperaturgänge in der Kavität. Beispielsweise erstarren die Schmelzen in sehr kleinen Kavitäten u. U. vor deren vollständiger Ausfüllung [1]. Wünschenswert sind in anderen Fällen auch bestimmte Temperaturen des Formeinsatzes zum Einspritzzeitpunkt, um verbesserte Oberflächen zu realisieren oder um Rillen, Überwerfungen oder Schallplatteneffekte bei tiefen Werkzeugtemperaturen zu vermeiden. Auch Sonderverfahren,

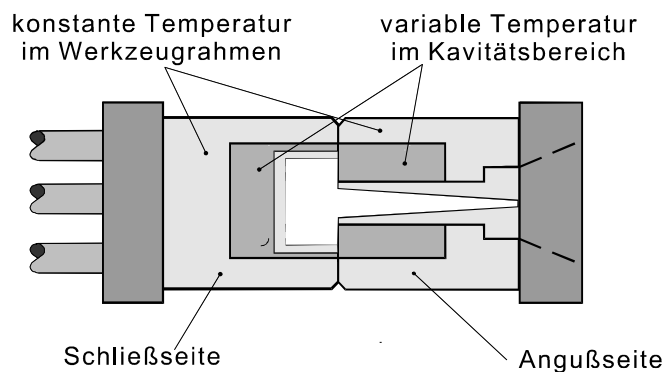
beispielsweise das Spritzprägen bei sehr hohen Werkzeugtemperaturen, verlangt nach speziellen Temperaturgängen in der Kavität [2]. Schließlich können auch Eigenspannungen, Bindenähte, die Oberflächenqualität oder bestimmte Funktionen, wie z.B. die Dauerelastizität bei Filmscharnieren [3], gezielt beeinflusst werden. Neben der genannten Kühlung ist dafür jedoch eine zusätzliche dynamische Temperierung nötig.

## 2. Dynamische Werkzeugtemperierung beim Spritzgießen

Bei der üblichen Art der konstanten Werkzeugtemperierung trifft die heiße Schmelze beim Einspritzen in die Kavität auf die verhältnismäßig kalte Werkzeugwand. Während die Seele der Schmelzefront fließfähig bleibt und der Kunststoff durch den Spritzdruck in der Kavität vorangetrieben wird, findet von der Werkzeugwand her eine Randschichterstarrung statt, Bild 1.

Bei zu großer Fließweglänge bzw. zu dünner Wandstärke kann dies das vollständige Füllen der Kavitäten beeinträchtigen und damit zu Qualitätseinbußen führen. Zur Abhilfe ist ein angepasster Temperaturgang erforderlich, die sogenannte variotherme Werkzeugtemperierung. Über geeignete Erwärmungsmethoden wird der Kavitätsbereich zum Einspritzzeitpunkt bis auf Höhe der Schmelztemperatur des Kunststoffs erwärmt und nach erfolgter Formfüllung auf Temperaturen deutlich unterhalb der Erstarrungstemperatur des Kunststoffs wieder abgekühlt. Aus Gründen der Produktivität sollten diese Temperaturwechsel möglichst schnell erfolgen.

Zur Realisierung dieser Temperaturwechsel sind verschiedene Methoden bekannt. Die wohl ursprüngliche Variante ist die variotherme Prozessführung mittels zweier unterschiedlich temperierter Ölkreisläufe [4]. Die Temperierkanäle im Werkzeug sind in verschiedene Kreisläufe aufgeteilt, Bild 2. Der Werkzeugrahmen wird mit einem konstant kalten Temperiermedium durchströmt. Im Kavitätsbereich wird je nach Prozessphase zwischen einem heißen und einem kalten Temperiermedium umgeschaltet, was die Erwärmung bzw. die sich an das Einspritzen anschließende Abkühlung der Kavität bewirkt.



**Bild 2** Grundprinzip einer dynamischen Werkzeugtemperierung

Die zweite häufig genutzte Methode ist die Zuhilfenahme von widerstandselektrischen Heizelementen [5]. Das Werkzeug wird 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.

Beide Methoden haben sich bereits etabliert und werden teilweise unter Produktionsbedingungen eingesetzt. Optimierungsbedarf gibt es jedoch einerseits bei den erreichbaren Zykluszeiten, die noch kürzer werden sollten. Andererseits stoßen die angesprochenen Verfahren an Grenzen hinsichtlich der benötigten Temperaturoffsets, insbesondere bei Verarbeitung von Hochtemperaturkunststoffen. Am IKFF wird deshalb seit längerer Zeit der Einsatz einer Erwärmungsmethode untersucht, die auf dem induktiven Erwärmungsprinzip beruht.

### 3. Induktive Werkzeugtemperierung

Bekannte Anwendungen der Induktionserwärmung aus dem technischen Bereich sind das Randschichthärten, Induktionsschmelzöfen oder Erwärmungsanlagen für Schmiedestücke; im Haushaltsbereich gibt es Induktions-Kochfelder. Die Energie wird transformatorisch, d.h. berührungslos auf das Werkstück übertragen. Eine an die zu erwärmende Fläche angepasste, meist wassergekühlte Spule wird von einem hochfrequenten Wechselstrom durchflossen und erzeugt ein elektromagnetisches Wechselfeld. Im Werkstück, welches elektrisch leitfähig sein muss, werden im Oberflächenbereich Wirbelströme generiert, die aufgrund des spezifischen elektrischen Widerstandes des Erwärmungsgutes eine Joulesche Erwärmung bewirken. Das Eindringverhalten lässt sich über die Skintiefe  $\delta_s$  beschreiben. Sie hängt ab von der elektrischen Leitfähigkeit  $\kappa$ , der Permeabilität  $\mu$  und der Arbeitsfrequenz  $f$  und ergibt sich zu

$$\delta_s = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \kappa \cdot \mu}} \quad (1)$$

Da sich während des Aufheizvorgangs  $\kappa$  und  $\mu$  ständig ändern, ist die Skintiefe nicht konstant, sie ändert sich mit zunehmender Temperatur. Bewusst beeinflussen lässt sich die Skintiefe durch die Variation der Arbeitsfrequenz des Wechselfeldes [6,7].

Für den Einsatz der induktiven Erwärmung zur variothermen Prozessführung beim Spritzgießen spricht die sehr schnelle Erwärmung des Werkstücks und die direkte Generierung der Wärme im Metall, d.h. in der Formeinsatzoberfläche. Der bei anderen Erwärmungsmethoden erforderliche Wärmeübergang und der zeitaufwendige Wärmetransport zur Kavität entfällt.

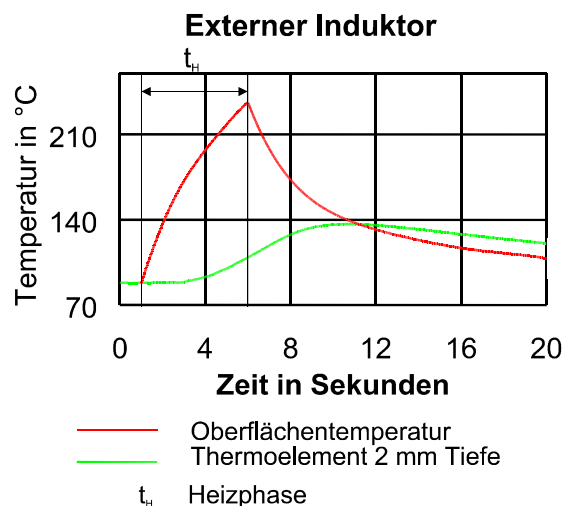
### 4. Anwendungsmöglichkeiten der induktiven Werkzeugtemperierung

Für die induktive Temperierung von Spritzgießwerkzeugen wurden zwei Varianten untersucht:

- o Die Kavität wird bei geöffnetem Zustand von einem externen Induktor erwärmt.
- o Der Induktor wird in des Werkzeug integriert.

#### 4.1 Externer Induktor

Eine der Kavitätsoberfläche angepasste Induktorspule wird mit Hilfe einer Handhabungseinrichtung bei geöffnetem Werkzeug vor die Kavität positioniert. Die Erwärmung findet primär in der Randschicht des Werkzeugs und damit an der Oberfläche statt. Der Wärmetransport in tiefere Schichten über die Wärmeleitung des Materials erfolgt verzögert.



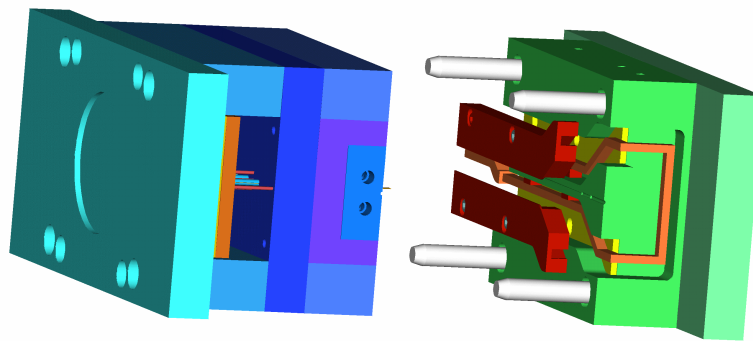
**Bild 3** Typischer Temperaturverlauf an der Kavitätsoberfläche bei externen Induktor

In Bild 3 ist ein typischer Temperaturverlauf dargestellt. Während die Temperatur an der Oberfläche sehr schnell ansteigt, wird der Bereich unter der Kavitätsoberfläche entsprechend der Wärmeleitfähigkeit des Materials zeitverzögert erwärmt. Nach Ende der Heizphase fällt die Temperatur an der Oberfläche sofort wieder ab. Ein Teil der Wärme fließt an die Umgebung ab, der Rest wird in tiefere Schichten abgeleitet.

Die externe Temperierung eignet sich für Anwendungen, bei denen nur bestimmte Teile der Kavität sehr schnell erwärmt werden müssen. Die Bereiche müssen in oder möglichst nahe der Trennebene liegen und insgesamt eher planar sein.

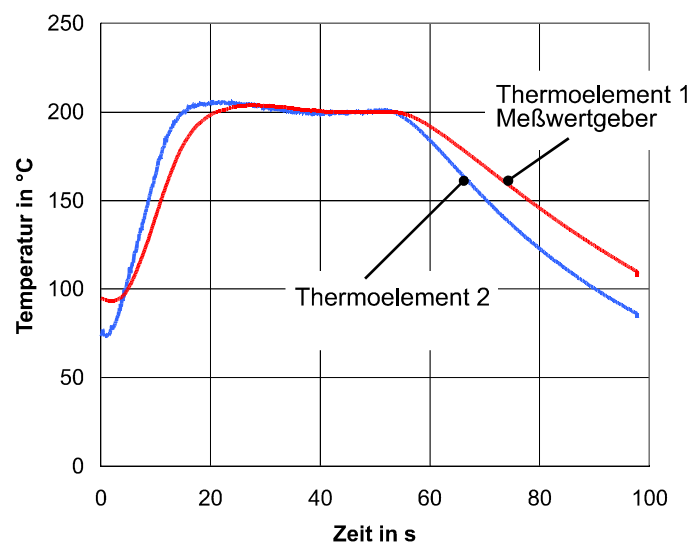
#### 4.2 Integrierter Induktor

Im Gegensatz zum Einsatz eines externen Induktors fordert die Integration der Induktors in das Werkzeug ein Umdenken bezüglich der Werkzeugkonstruktion. Das die Induktorspule umgebene Wechselfeld beeinflusst nicht nur die zur Erwärmung bestimmte Kavität, sondern wirkt sich auf alle elektrisch leitende Bestandteile des Werkzeugs aus, die sich in unmittelbare Nähe des Induktors befinden und erwärmt diese. Die gezielte Erwärmung von Teilbereichen der Kavität bedarf entsprechender Maßnahmen in Form von Abschirmmaterialien oder genügend breiten Luftspalten.



**Bild 4** Zeigerwerkzeug mit integriertem Induktor

Da die Wärme die Kavität wie bei konventionellen Erwärmungsmethoden indirekt erreicht, ist eine Erwärmung bei geschlossenem Werkzeug möglich. Bild 4 zeigt ein Beispiel für die Integration eines Induktors in ein Werkzeug.

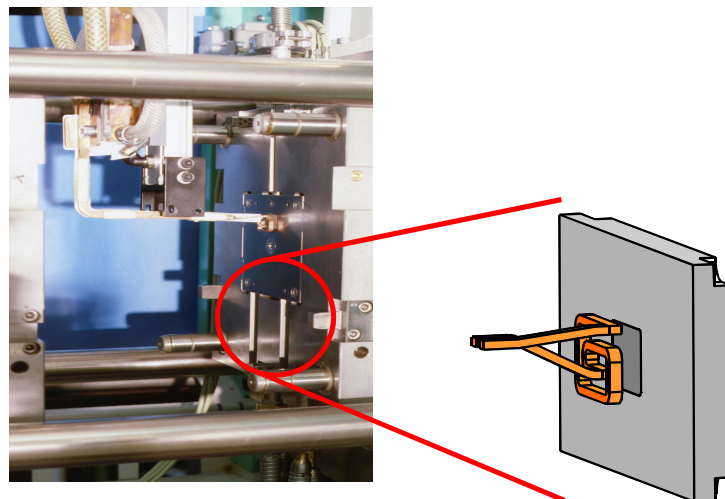


**Bild 5** Geregelter Temperaturverlauf bei Einsatz eines integrierten Induktors

Einen weiteren Vorteil stellt die Möglichkeit der Gestaltung eines geschlossenen Regelkreises durch den Einsatz kavitätstnaher Temperatursensoren dar. Bild 5 zeigt ein Beispiel eines geregelten Temperaturgangs. Bei diesem Versuch wurde eine Kavitätstemperatur von 200°C angestrebt und erreicht, es sind jedoch durchaus höhere Temperaturen möglich.

#### 4.3 Anwendungsbeispiel Abformen von Mikrostrukturen

Das Abformen von Mikrostrukturen stellt eine Reihe besonderer Anforderungen an den Spritzgießprozess [8]. Die in der Regel geringen Spritzgewichte erfordern eine kleine Plastifiziereinheit mit einer lagegeregelten Schnecke und einem entsprechend geregelten Spritzgießprozess. Die Kavitäten weisen Strukturen auf, die vom Prinzip her Sacklöcher darstellen. Für eine vollständige Füllung der Kavität muss diese vor dem Einspritzen evakuiert werden. Trotzdem erstarren die Schmelzen insbesondere bei hohen Aspektverhältnissen schon vor einer vollständigen Abformung, wenn die Kavität nicht während des Einspritzens eine Temperatur in Höhe der Schmelztemperatur des Kunststoffes aufweist. Zur dynamischen Werkzeugtemperierung wurde eine Induktionsanlage mit externem Induktor in den Spritzgießprozess integriert [9], Bild 6.



**Bild 6** Externer Induktor vor einer Mikrostruktur bei geöffnetem Werkzeug

Ein Versuchsbauteil mit einseitig angeordneten Mikrostrukturen und einer Gesamtmasse von 4 g konnte mit einer Zykluszeit von 50 s gefertigt werden, wobei die Kavitätstemperatur zum Einspritzzeitpunkt bei ca. 190 °C lag. Die Mikrostrukturen waren bei einer Wandstärke von 5 µm noch bis zu Strukturhöhen von 150 µm abformbar.

## 5. Zusammenfassung

Die induktive Werkzeugtemperierung eignet sich als schnelles Temperierverfahren für die Massenproduktion von mikrostrukturierten Bauteilen, aber auch für Sonderanforderungen im klassischen Spritzgießen. Die kurzen Erwärmungszeiten und die hohen Temperaturniveaus erlauben eine dynamische Werkzeugtemperierung mit unterschiedlichsten Temperaturprofilen für verschiedenartigste Anwendungsfälle. Die Erwärmung planarer Strukturen, wie in der Mikrotechnik oft

vorhanden, ist ebenso möglich wie die Temperierung großflächiger Kavitäten oder echter dreidimensionaler Strukturen durch die Integration des Induktors in das Spritzgießwerkzeug. Weitere interessante Einsatzfälle zeichnet sich bei Werkstoffen mit extrem hohen Schmelztemperaturen sowie für eine ölfreie Fertigung ab.

## **Literatur**

- [1] Tewald, A.; Laage, A.; Thissen, U.: Herstellung langer Kunststoffzeiger durch Spritzgießen. 5ème congrès chronometrie, Besancon, 18. B 19. Octobre 1994
- [2] Hecke, M.; Bacher, W.; Blum, H.; Müller, L.; Ünal, N.: Heißprägen von Mikrostrukturen als Fertigungsprozess. F&M 105(1997)9, S.598-602
- [3] Naundorf, I.: Morphologie und mechanisches Verhalten von Filmscharnieren aus Kunststoff. Dissertation, Universität Stuttgart, 1999
- [4] Delpy, U.: Einfluss variabler Formtemperatur auf die Eigenschaften von Spritzlingen aus amorphen Thermoplasten. Dissertation, Universität Stuttgart, 1971
- [5] Michaeli, W.; Rogalla, A.; Ziegmann, C.: Mikrostrukturen in Serie fertigen. Kunststoffe 89(1999)9, S.80-82
- [6] Tewald, A.: Entwicklung und Untersuchung eines schnellen Verfahrens zur variothermen Werkzeugtemperierung mittels induktiver Erwärmung. Dissertation, Universität Stuttgart, 1997
- [7] Tewald, A.; Walther, T.: Simulation der Induktionserwärmung beim Kunststoffspritzguss. 15. CAD-FEM Users Meeting, Fulda, 1997
- [8] Weber, L.; Ehrfeld, W.: Mikroabformung – Verfahren, Werkzeuge, Anwendungen. Kunststoffe 88(1998)10, S.1791-1802
- [9] Ehrfeld, W.; Schinköthe, W.; Weber, L.: Einfließen von Polymerschmelzen in kleine Kavitäten beim Spritzgießen mit induktiver Werkzeugtemperierung. Abschlußbericht DFG-Vorhaben, 1999

**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**