

Universität Stuttgart

Jahresbericht IKFF 2000

Institut für Konstruktion und
Fertigung in der Feinwerktechnik



Herausgeber und Verlag:

Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik
Pfaffenwaldring 9

70550 Stuttgart

Tel.: 0711 / 685 64 02

Fax: 0711 / 685 63 56

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe

Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, Februar 2001

1 DAS INSTITUT

- 1.1 Mitarbeiter
- 1.2 Jahresrückblick
- 1.3 Wissenschaftliche Arbeitsgebiete

2 LEHRVERANSTALTUNGEN

- 2.1 Vorlesungen und Übungen für das Vordiplom
 - 2.1.1 Konstruktionslehre III (Feinwerktechnik)
 - 2.1.2 Konstruktionslehre IV (Feinwerktechnik)
- 2.2 Vorlesungen und Übungen für das Hauptdiplom
 - 2.2.1 Grundlagen der Feinwerktechnik, Konstruktion und Fertigung
 - 2.2.2 Aktorik in der Feinwerktechnik - Berechnung, Konstruktion und Anwendung
- 2.3 Prüfungen
- 2.4 Praktika
 - 2.4.1 Praktikum Feinwerktechnik
 - 2.4.2 Allgemeines Praktikum Maschinenbau (APMB)
- 2.5 Seminar Feinwerktechnik

3 WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN, STUDIEN- UND DIPLOMARBEITEN

- 3.1 Dissertationen
- 3.2 Diplomarbeiten am IKFF
- 3.3 Studienarbeiten am IKFF

4 ARBEITSGEBIETE DER MITARBEITER

- 4.1 Aktorik
- 4.2 Spritzgießen
- 4.3 Sonstige Arbeiten

5 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

- 5.1 Veröffentlichungen
- 5.2 Gremienarbeit
- 5.3 Tag der offenen Tür
- 5.4 Institutsbesichtigungen

6 TEILNAHME AN KONGRESSSEN, TAGUNGEN UND MESSEN

7 WERKSTATTBERICHT

8 ANHANG - wesentliche Veröffentlichungen

1 DAS INSTITUT

1.1 Mitarbeiter

Institutsleitung:

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe

Emeritus:

Prof. Dipl.-Ing. Artur Jung

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. h.c. Heinrich Stabe †

Sekretariat:

Margit Reinhardt

Herma Stängle

Unbefristeter wissenschaftlicher Mitarbeiter:

Akademischer Oberrat: Dr.-Ing. Peter Lindenmüller

Befristete wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. Eberhard Burkard

Dipl.-Ing. Bernd Gundelsweiler

Dipl.-Ing. Jens Haug

Dipl.-Ing. Rainer Pröger-Mühleck

Dipl.-Ing. Thomas Walther

Dipl.-Ing. Andreas Weber

Dipl.-Ing. Christian Welk

Technischer Angestellter:

Dipl.-Ing. (FH) Peter Bauer

Modellbau und Versuchswerkstatt:

Ralf Berwanger

Georg Diem

Stefan Schneider

Wissenschaftliche Hilfskräfte:

Abel, Jörg	Kummer, Stephan
Anetseder, Werner	Kurz, Hariolf
Barthelmeh, Jens-Timo	Marojevic, Zeljko
Becker, Gisa	Müller, Alexander
Beyer, Martin	Negele, Tilmann
Brendle, Matthias	Nowak, Peter
Bubeck, Conrad	Pöhler, Axel
Göttsche, Thorsten	Rupanovic, Christian
Grotz, Andreas	Scheuer, Frederik
Henninger, Peter	Schütze, Thomas
Hippel, Holger	Spieth, Axel
Kienle, Ulrich	Vasilev, Asen
Kraus, Martin	Welti, Stefan
Kujumjian, Alek	

1.2 Jahresrückblick**Personalien**

Professor Stabe verstorben. Heinrich Stabe, o. Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing .h.c., emeritierter Ordinarius für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, ist am 27.11.2000, wenige Monate vor seinem 93. Geburtstag, in Bad Homburg verstorben. Prof. Stabe gehörte zu der Generation von Hochschullehrern in Deutschland, die für eine eigenständige, konstruktiv-orientierte Feinwerktechnik mit Optik und Elektromechanik eintrat und die mit den Namen Hildebrandt, Kuhlenkamp, Brader, Unterberger, Bischoff und Hansen verbunden ist.

Heinrich Stabe war bereits während seiner Ausbildung bestrebt, konstruktiv tätig zu werden. Bei Siemens in Königsberg, bei Siemens Halske in Berlin und bei Zeiss Ikon in Dresden sammelte er Kenntnisse und Erfahrungen. 1934 legte er das Diplomexamen in Dresden ab und trat kurz darauf als Konstrukteur für Meß- und Regelgeräte in die Firma Hartmann und Braun in Frankfurt/M. ein. Mit einer Inauguraldissertation promovierte er neben seiner beruflichen Tätigkeit 1952 bei Prof. Vieweg an der TH Darmstadt. 1964 wurde ihm bei Hartmann und Braun die Leitung der zentralen Konstruktionsabteilung übertragen, die er bis zu seiner Berufung 1967 an die damalige TH Stuttgart innehatte. Dort gründete er 1967 das Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik und leitete es bis zu seiner Emeritierung 1976.

1975 wurde ihm von der Universität Lund die Ehrendoktorwürde für seine Leistungen als „verdienter Fachmann der feinwerktechnischen Konstruktion“ verliehen. Seine Mitarbeit in Gremien des VDI führte 1975 zur Auszeichnung mit dem goldenen Ehrenzeichen des VDI. Die Würdigung von Herrn Stabe wäre unvollständig, würde man nicht seine humanitäre Lebenseinstellung und seine vielseitigen Interessen erwähnen. Er war Mitglied im physikalischen Verein in Frankfurt/M. und besuchte dort regelmäßig die Vorträge, um sich auf dem Stand physikalischer Erkenntnisse zu halten.

1992 konnten wir ihn und seine Frau anlässlich des 25jährigen Institutsjubiläums als unsere Ehrengäste am Institut begrüßen. Seine Arbeit in Stuttgart war davon geprägt, jungen Menschen die Weite und Vielseitigkeit konstruktiver Tätigkeit näher zu bringen. Wir denken in Dankbarkeit an die Hilfsbereitschaft und Güte, die Heinrich Stabe praktizierte. Unsere herzliche Anteilnahme wendet sich den Angehörigen zu.

70. Geburtstag von Professor Jung. Anlässlich des 70. Geburtstages von Prof. Jung veranstaltete das Institut ein Kolloquium mit anschließendem gemütlichem Beisammensein und Treffen mit Ehemaligen. Zum Kolloquium stellten die wissenschaftlichen Mitarbeiter den Stand Ihrer Forschungsarbeiten vor.

Weitere Personalien. Zum 1. Januar des Jahres 2000 wurde Herr Weber als wissenschaftlicher Mitarbeiter auf dem Gebiet des Präzisions-spritzgusses eingestellt. Im Drittmittelbereich gelang zudem die erfolgreiche Zwischenverteidigung eines laufenden Themas und somit die Verlängerung des entsprechenden Arbeitsvertrages von Herrn Welk. Herr Walther wechselte planmäßig in die Industrie. In der Werkstatt trat Herr Diem in den Vorruhestand ein. Für seine Aufgaben konnten wir Herrn Schneider gewinnen.

Aktivitäten in der Lehre

Die Anfängerzahlen im Maschinenbau im weiteren Sinne zeigen insgesamt wieder eine deutlich steigende Tendenz, allerdings resultiert dies im Wesentlichen aus neu hinzu gekommenen Studiengängen. Im Studiengang Maschinenwesen selbst ist der Anstieg nicht so stark. Im Hauptdiplom nehmen die Studentenzahlen insgesamt immer noch deutlich ab, im Hauptfach Feinwerktechnik verzeichnen wir jedoch derzeit eine gegenläufige Entwicklung.

Die Vordiplom-Lehrveranstaltungen konzentrierten sich nach der Umstrukturierung in der Konstruktionslehre-Ausbildung auf die Konstruktionslehre Feinwerktechnik III und IV im dritten und vierten Semester. Erstmals wurde im Jahre 1999 mit dem dritten Semester gestartet, ohne zuvor das erste und zweite Semester zu betreuen. Im Jahre 2000 gingen die Hörerzahl im Vergleich zu 1999 jedoch erheblich zurück, offensichtlich beeinflusst die Gestaltung der ersten beiden Semester ganz entscheidend das Wahlverhalten für das dritte und vierte Semester.

Die Lehrveranstaltungen des Hauptdiploms konzentrieren sich auf die beiden Schwerpunkte Gerätekonstruktion als methodisch orientierte Linie und feinwerktechnische Aktorik als konkret forschungs- und entwicklungsorientierte Linie. Vorlesungen, Übungen und zugehörige Praktika wurden angepaßt angeboten und entsprechende Skripte als Lehrmaterialien erstellt und jährlich aktualisiert.

Die Vorlesung „Grundlagen der Feinwerktechnik - Konstruktion und Fertigung“ behandelt Grundlagen der Entwicklung und Konstruktion feinwerktechnischer Systeme bzw. Geräte und betont dabei insbesondere den engen Zusammenhang zwischen konstruktiver Gestaltung und zugehöriger Fertigungstechnologie. Den Schwerpunkt bilden Themenkreise, wie methodische Ansätze zur kreativen Lösungsfindung, zuverlässigkeits- und sicherheitsgerechte Konstruktion, Genauigkeit und Fehlerverhalten in Geräten, Schwingungsdämpfung und Lärminderung in der Feinwerktechnik, Beziehungen zwischen Gerät und Umwelt sowie die Kunststofftechnologie und -anwendung in der Feinwerktechnik (Werkstoff, Verfahren, Konstruktion, Werkzeugkonstruktion).

Die Vorlesung „Aktorik in der Feinwerktechnik - Berechnung, Konstruktion und Anwendung“ beleuchtet dagegen feinwerktechnische Antriebssysteme (Aktorik) unterschiedlichster Wirkprinzipien. Den Schwerpunkt bilden piezoelektrische und magnetostriktive Stelltechnik, elektromagnetische und elektrodynamische Stelltechnik, Magnettechnik und -technologie sowie Beispiele zur Realisierung feinwerktechnischer Antriebssysteme.

Die Hauptfachpraktika Ultraschallantriebe, Lineardirektantriebe, Koordinatenmeßtechnik, FEM-Berechnungen mit ANSYS und Spritzgießen sind in die Lehrveranstaltungen einbezogen.

Die Lehrinhalte zur Aktorik konnten in zwei Buchbeiträgen für das „Handbuch Elektrische Kleinantriebe“ (Erscheinungstermin 2001) und für das Lehrbuch „Gerätekonstruktion in Feinwerktechnik und Elektronik“ (bereits erschienen) einer größeren Verbreitung zugeführt werden.

Die Vermittlung von Absolventen verlief auch 2000 problemlos, es herrscht eine sehr große, nicht zu befriedigende Nachfrage nach Absolventen.

Aktivitäten in der Forschung

Die Entwicklung alternativer Antriebssysteme für die Feinwerktechnik auf der Basis elektrodynamischer Kraftwirkung bzw. von Festkörpereffekten (Elektrodynamische Linearmotoren, Piezowanderwellenmotoren) steht im Mittelpunkt des Arbeitsgebietes **Aktorik**. Als Schwerpunkt in der Nutzung elektrodynamischer Antriebsprinzipien werden derzeit die am Institut entwickelten verschiedenen Motoren auf der Basis bewegter Magnete als Läufer mit zusätzlich integrierter Wegsignalerfassung hinsichtlich der Genauigkeit und der Wechselwirkungen mit dem Motorstrom tiefergehend analysiert sowie ein DFG-Projekt und verschiedene Industrieprojekte dazu bearbeitet. Das Prinzip der integrierten Wegsignalerzeugung findet nach wie vor außerordentliches Interesse. Die Forschungen zur Realisierung von Direktantrieben nach dem Prinzip des Wanderwellenmotors wurden 1999 weitergeführt.

Das Thema **Spritzgießtechnologie** in der Feinwerktechnik stellte auch 2000 einen wichtigen Stützfeiler des Instituts dar, der sich in Forschungsaktivitäten und intensiven Firmenkontakten niederschlägt.

Das DFG-Projekt zur variothermen Prozeßführung mit Induktionserwärmung wurde erfolgreich abgeschlossen und diese Technologie auf größere Bauteile ausgeweitet und übertragen. Ziel dieses Forschungsvorhabens ist nun die Anwendung der induktiven Werkzeugtemperierung für die Abformung auch konventioneller Strukturen, die sehr hohe Werkzeugtemperaturen erfordern oder besondere Anforderungen an den Temperaturgang stellen.

In einem weiteren Projekt werden am IKFF die Entformungskräfte beim Spritzgießen in Abhängigkeit von Oberflächenrauheit und Beschichtung sowie vom eingesetzten Kunststoff untersucht und spezielle Werkstoffe und Beschichtungen für Firmen getestet. Hier gibt es immer wieder Anfragen aus der Industrie zur Untersuchung spezieller Werkstoffe.

Zahlreiche Veröffentlichungen (siehe Abschnitte 5 und 8) in Zeitschriften und Büchern sowie Tagungsbeiträge zeugen von den in der Forschung erzielten Ergebnissen. Viele der Veröffentlichungen wurden im Volltext auf der Homepage des Institutes zugänglich gemacht. Auch im Jahre 2000 fand ein zweitägiger Weiterbildungslehrgang an der TA Esslingen zum Themengebiet „Antriebssysteme der Feinwerktechnik“ unter Leitung von Prof. Schinköthe statt, wobei unter maßgeblicher Beteiligung des Institutes die ganze Antriebspalette vom rotatorischen Standardantrieb bis zu Lineardirektantrieben und unkonventioneller Aktorik einschließlich folgemechanischen Baugruppen angeboten wurde.

Im Rahmen der Forschungsprojekte wurde eine Reihe von Drittmittelaufträgen aus der Industrie eingeworben. Im Jahre 2000 fand auch die Begutachtung des SFB zur Zuverlässigkeitsermittlung in frühen Entwicklungsphasen statt, in dem das Institut mit zwei Teilprojekten vertreten war. Der SFB wurde sehr positiv begutachtet, wurde jedoch aus finanziellen Gründen trotzdem nicht genehmigt. Das Thema soll nun in kleinerer Form weiter vorangetrieben werden.

1.3 Wissenschaftliche Arbeitsgebiete

Am Institut werden vier Forschungsschwerpunkte bearbeitet:

Im Arbeitsgebiet **Aktorik** stehen feinwerktechnische Direktantriebe vorzugsweise für lineare Antriebsbewegungen im Mittelpunkt. Neben elektrodynamischen Systemen bilden piezoelektrische Wanderwellenmotoren einen Arbeitsschwerpunkt.

Im Arbeitsgebiet **Präzisionsspritzguß** steht die Abformung von Präzisionsbauteilen mit sehr feinen, genauen Strukturen durch Spritzgießen im Vordergrund. Dabei wird neben der Bauteilkonstruktion und dem Formenbau insbesondere der Formfüllvorgang sowohl theoretisch simuliert als auch praktisch an drei Spritzgießautomaten untersucht. Maßnahmen zur Verbesserung des Füllvorganges, wie die variotherme Prozeßführung durch induktive Formtemperierung sowie die Erfassung von Entformungskräften gehören ebenfalls zu diesem Schwerpunkt.

Im Arbeitsgebiet **optische und mechanische Sensorik** werden ausgewählte Sensoren, beispielsweise zur Abstandsmessung, zur Oberflächenerfassung und zur Erfassung des Fahrbahnzustandes untersucht.

Übergreifend bildet produktbezogene **Konstruktionsmethodik** in der Feinwerktechnik ein viertes Arbeitsgebiet. Schwerpunkte sind hier die konstruktive Gestaltung, die Berechnung von Systemen und die Simulation mit FEM.

Im Detail werden folgende Inhalte bearbeitet:

Feinwerktechnische Aktorik

- Entwicklung alternativer Antriebssysteme für die Feinwerktechnik auf der Basis elektrodynamischer Kraftwirkung bzw. von Festkörpereffekten (Elektrodynamische Linearmotoren, Piezowanderwellenmotoren).
- Berechnung derartiger Antriebe, Simulation ihres dynamischen Verhaltens.
- Erarbeitung geeigneter Unterstützungsmittel und Methoden zur Entwicklung alternativer Antriebssysteme.
- Entwicklung ein- und mehrphasiger elektrodynamischer Lineardirektantriebe mit integrierten Wegmeßsystemen.
- Entwicklung geeigneter elektronischer Ansteuerungen unter Ausnutzung der integrierten Meßsysteme.
- Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten poröser Materialien für aerostatische Lagerungen von Linearantrieben. Ermittlung von Bearbeitungsparametern zur Luftlagerherstellung und Dimensionierung der Luftlager.

Präzisions-Spritzgießtechnologie

- Herstellung von Präzisionsbauteilen und feinen Strukturen bis hin zur Verbindung mit mikromechanischen Bauelementen.
- Dynamische Formtemperierung zur Verbesserung des Formfüllverhaltens, insbesondere in Hinblick auf die Abformung mikrotechnischer Strukturen.
- Optimierung von Bauteilen zur Materialeinsparung mittels FE-Analysen.
- Ermittlung von Entformungskräften.

Meßtechnik und Sensorik

Mit dem Ziel, vorhandene Sensoren zu verbessern oder bekannte Meßprinzipien technisch zu realisieren, wurden bzw. werden folgende Aufgaben bearbeitet:

- Sensoren zur vorausschauenden Messung von Wasserschichtdicken auf der Straße.
- Optische Sensoren zur Abstandsmessung auf der Basis des Triangulationsverfahrens.
- Faseroptische Sensoren für die energetische Abstandsmessung.

- Entwicklung luftgelagerter Miniatur-Linearachsen zur Profil- und Oberflächenanalyse, zur Mikro-Universalhärteprüfung sowie als Stoßantrieb zur Impulspositionierung.
- Entwicklung von integrierten Messsystemen zur Läuferpositionsbestimmung in ein- und mehrphasigen elektrodynamischen Lineardirektantrieben sowie in Induktions- und Asynchronlinearmotoren.

Theorie des Konstruktionsprozesses

- Produktbezogene Konstruktionsmethoden in der Feinwerktechnik.
- Konstruktive Gestaltung unter Nutzung von 2D- und 3D-CAD.
- Simulation mit FEM, beispielsweise des Formfüllvorganges beim Spritzgießen.
- gekoppelte Feldberechnungen, beispielsweise elektromagnetisch, elektromagnetisch-thermisch, piezoelektrisch-dynamisch.

2 LEHRVERANSTALTUNGEN

2.1 Vorlesungen und Übungen für das Vordiplom

2.1.1 Konstruktionslehre III (Feinwerktechnik)

(Schinköthe/Lindenmüller)

Wintersemester 1999/2000: 91 Studenten

Wintersemester 2000/2001: 29 Studenten

16 Vorlesungen (à 2 SWS)

15 Vorlesungen (à 1 SWS)

15 Übungen (à 3 SWS)

Betreuer: Burkard, Gundelsweiler, Haug, Lindenmüller, Pröger-Mühleck, Weber, Welk

2.1.2 Konstruktionslehre IV (Feinwerktechnik)

(Schinköthe/Lindenmüller)

Sommersemester 2000: 91 Studenten

13 Vorlesungen (à 2 SWS)

12 Vorlesungen (à 1 SWS)

12 Übungen (à 2 SWS)

Betreuer: Burkard, Gundelsweiler, Haug, Lindenmüller, Pröger-Mühleck, Walther, Weber, Welk

2.2 Vorlesungen und Übungen für das Hauptdiplom

2.2.1 Grundlagen der Feinwerktechnik, Konstruktion und Fertigung

(Schinköthe/Lindenmüller)

Wintersemester 1999/2000: 13 Studenten

Wintersemester 2000/2001: 30 Studenten

16 Vorlesungen (à 2 SWS)

13 Übungen (à 2 SWS)

2.2.2 Aktorik in der Feinwerktechnik - Berechnung, Konstruktion und Anwendung

(Schinköthe/Beisse/Gundelsweiler/Haug)

gemeinsam mit: Konstruktion elektrischer Maschinen und Geräte
(Inst. für elektr. Maschinen und Antriebe, Dr. Beisse)

Wintersemester 1999/2000: 10 Studenten

Wintersemester 2000/2001: 15 Studenten

15 Vorlesungen (à 2 SWS)

Sommersemester 2000: 10 Studenten

5 Vorlesungen (à 2 SWS)

8 Übungen (à 2 SWS)

2.3 Prüfungen

Fach	Termin	Kandidaten
KL III + IV (FWT)	F 2000	16
	H 2000	79
Grundlagen der Feinwerktechnik, Konstruktion und Fertigung (Pflichtfach, schriftlich)	F 2000	0
	H 2000	2
Grundlagen der Feinwerktechnik, Konstruktion und Fertigung (Kernfach, mündlich)	F 2000	0
	H 2000	11
Aktorik in der Feinwerktechnik - Berechnung, Konstruktion und Anwendung (Kernfach, mündlich)	F 2000	5
	H 2000	2

2.4 Praktika

2.4.1 Praktikum Feinwerktechnik

(Für Studierende des Hauptfaches Feinwerktechnik)

Wintersemester 1999/2000

Versuch 1: „Koordinatenmeßtechnik“
 18 Teilnehmer 3 Termine
 Betreuer: Lindenmüller

Versuch 2: „FEM-Kurs ANSYS“
 15 Teilnehmer 5 Termine
 Betreuer: Gundelsweiler, Haug, Pröger-Mühleck, Walther, Weber

Versuch 3: „Spritzgießen“
 15 Teilnehmer 3 Termine
 Betreuer: Walther

Sommersemester 2000

Versuch 3: „Piezoantriebe“
 10 Teilnehmer 1 Termine
 Betreuer: Haug

Versuch 4: „Lineardirektantriebe“
 10 Teilnehmer 1 Termin
 Betreuer: Gundelsweiler

2.4.2 Allgemeines Praktikum Maschinenbau (APMB)

(Für Studierende im zweiten Studienabschnitt Maschinenbau)

Sommersemester 1999

Versuch 1: „Rasterelektronenmikroskopie“
 6 Teilnehmer 1 Termin
 Betreuer: Bauer

2.5 Seminar Feinwerktechnik

Göttsche, Thorsten	Konstruktion eines mehrphasigen Dreh-Schubmotors
Rejman, Marcin	Morphologische Untersuchungen an Kunststoffen
Hamed, Abdul Rasak	Simulation der induktiven Erwärmung von Spritzgießwerkzeugen mit Mikroformeinsätzen
Stolzenburg, Christian	Konstruktion einer linearen Positionierachse mit Wanderwellenmotor
Dürr, Stephan	Untersuchung der Kraftübertragung zwischen zwei Körpern
Rupanovic, Christian	FEM-Berechnung luftgelagerter Antriebe
Klauk, Dietrich	Grundlegende Untersuchungen einer geregelten, induktiven Werkzeugtemperierung mit prozessoptimierter Kühlung
Wagner, Daniel	Lineardirektantrieb mit optischer Positionserfassung
Anetseder, Werner	Theoretische Ermittlung des Schwindverhaltens beim Spritzgießen von Kunststoffhülsen

3 WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN, STUDIEN- UND DIPLOMARBEITEN

3.1 Dissertationen

Im Jahre 2000 wurden zwei Dissertation abgeschlossen und eingereicht, die Prüfung findet erst 2001 statt. Diese beiden Titel werden deshalb erst im nächsten Jahresbericht erscheinen. Zwei weitere Mitarbeiter sind in der Endphase des Zusammenschreibens.

3.2 Diplomarbeiten am IKFF

04/2000	Henninger, Peter	Aufbau einer Versuchseinrichtung und Entwicklung einer geregelten, induktiven Werkzeugtemperierung beim Spritzgießen Standort: 15.1.300
12/2000	Grotz, Andreas	Elektrodynamische Lineardirektantriebe in Flachläuferbauweise Standort: 15.1.301

3.3 Studienarbeiten am IKFF

01/2000	Göttsche, Thorsten	Konstruktion eines mehrphasigen Dreh-Schubmotors Standort: 15.2.899
01/2000	Rejman, Marcin	Morphologische Untersuchungen an Kunststoffen Standort: 15.2.900
02/2000	Hamed, Abdul Rasak	Simulation der induktiven Erwärmung von Spritzgießwerkzeugen mit Mikroform-einsätzen Standort 15.2.901

05/2000	Stolzenburg, Christian	Konstruktion einer linearen Positionierachse mit Wanderwellenmotor Standort: 15.2.902
05/2000	Rupanovic, Christian	FEM-Berechnung luftgelagerter Antriebe Standort: 15.2.903
05/2000	Dürr, Stephan	Untersuchung der Kraftübertragung zwischen zwei Körpern Standort: 15.2.904
05/2000	Pozsgai, Peter	Entwicklung und Vergleich numerischer Verfahren zur Berechnung der Verfügbarkeit technischer Produkte Standort: 15.2.905
06/2000	Klauk, Dietrich	Grundlegende Untersuchungen einer geregelten, induktiven Werkzeugtemperierung mit prozessoptimierter Kühlung Standort: 15.2.906
06/2000	Wagner, Daniel	Lineardirektantrieb mit optischer Positionserfassung Standort: 15.2.907
10/2000	Anetseder, Werner	Theoretische Ermittlung des Schwindverhaltens beim Spritzgießen von Kunststoffhülsen Standort: 15.2.908

4 ARBEITSGEBIETE DER MITARBEITER

4.1 Aktorik

Gundelsweiler, B. Lehre:

Erstellung und Korrektur von Prüfungsaufgaben in KL 3/4
Betreuung der Vordiplomsübungen in KL 3/4: Vortrags- und
Gruppenübungen

FEM-Praktikum „Elektromagnetische Berechnung eines
Lineardirektantriebes“

Durchführung der Hauptfachübungen und des Praktikums
„Lineare Direktantriebe“

Betreuung von Studien- und Diplomarbeiten

Elektrodynamische Lineardirektantriebe:

Motorentwicklung: Konstruktion, FEM-Simulation, Aufbau,
Montage, Justage und Inbetriebnahme von elektrodynami-
schen Lineardirektantrieben. Ermittlung der Motorparameter
und Optimierung der Antriebe. Implementierung und Anpas-
sung von Wegerfassungs- und Führungssystemen

Industrieprojekte 1 + 2

Entwicklung von elektrodynamischen Lineardirektantrieben
verschiedener Ausführung nach Lastenheftforderungen

Dimensionierung von Antrieben, überschlägige Berechnungen,
FEM-Analysen

Motoroptimierungen, Motorkonstruktionen und Aufbau der
Antriebe

PC-Administration:

Soft- und Hardwarebeschaffung

Installation und Wartung der PC und Programme

Virusschutz und Sicherheitsrichtlinien der PC

- Haug, J. Betreuung der Vordiplomsübungen KL 3/4, Vortrags- und Gruppenübungen, Ausarbeitung von Aufgabenstellungen und Musterlösungen für Übungsaufgaben, Korrektur von Übungsaufgaben. Betreuung der Hauptdiplomsvorlesung Aktorik, Vortragsübungen, Hauptfachpraktikum Ultraschallantriebe. Hard- und Softwarewartung UNIX-Netzwerk, Entwurf eines Sicherheitskonzepts für das Netzwerk, Beschaffung und Inbetriebnahme einer Firewall und eines Switches. Entwicklung einer Regelelektronik für einen linearen Wanderwellenmotor auf Mikrokontroller-Basis und Weiterentwicklung der Leistungsendstufe. Industrieprojekt (hochgenaue resonante Führung): systematische Variantensuche und -bewertung, Simulation und konstruktiver Entwurf. Aufbau eines Prüfstands für Linearmotoren.
- Pröger-Mühleck, R. Mitbetreuung der Übungen Konstruktionslehre III/IV (Übungsvorträge, Sprechstunde, Erstellung von Prüfungs- und Übungsaufgaben, Musterlösungen und Manuskripten). Entwicklung, Berechnung und Bau elektrodynamischer Lineardirektantriebe sowie von zylindrischen aerostatischen Lagerungen. Erprobung dieser Komponenten in verschiedenen Anwendungen. Bearbeitung des DFG-Themas „Automatisierte Justage mit aerostatisch gelagertem Impulsantrieb für die Feinwerk- und Mikrotechnik“. FEM-Praktikum, Bereiche „Theorie“ und „Statik“, Überarbeitung des Manuskripts. Industrieprojekt (Federvorgespannte Reibkupplung): Aufbau eines luftgelagerten Prüfstandes, Durchführung von Messungen. Industrieprojekt (hochdynamischer Lineardirektantrieb): FEM-Berechnungen, Lagerproblematik, Energieversorgung. Erstellung eines Dokumentationsfilmes zum Konstruktionswettbewerb.

- Welk, C. Bearbeitung des DFG Forschungsprojekts „Lineardirektantriebe mit integriertem Wegmeßsystem“.
 Entwicklung von Elektronik Hard- und Software. Untersuchungen an Prototypen.
 Bearbeitung und Abschluss des Industrieauftrags „Messung und Vergleich von rotatorischen Gleichstrommotoren“.
 Bearbeitung eines Industrieauftrags zur Entwicklung eines hochdynamischen Lineardirektantriebs mit Ansteuerung und Sensorik.
 Entwicklung und Prototypaufbau eines zur integrierten Wegmessung geeigneten Induktionsmotors.
 Hard- und Softwarewartung PC-Netzwerk.
 Patent- und Gebrauchsmusterrecherchen.
 Unterstützung der Berufungskommission Technische Optik.
 Betreuung von Elektroniklabor und Ätzraum.
 Betreuung von Studentengruppen im Rahmen des Konstruktionswettbewerbes; Betreuung von Testatgruppen.

4.2 Spritzgießen

- Burkard, E. Betreuung der Vordiplomsvorlesung Konstruktionslehre (Feinwerktechnik) III/IV.
 Untersuchung des Einflusses von Werkzeugbeschichtungen auf die Entformungskraft bei Spritzgußbauteilen aus Thermoplastwerkstoffen.
 Bearbeitung von Industrieaufträgen zur Entformung von Spritzgußteilen.
 Organisation und Betreuung des Konstruktionslehrewettbewerbs.
 Administration und Wartung der UNIX-Workstations.

- Walther, Th. FEM-Praktikum „Temperaturfelder“ im StutCAD, Hauptfachpraktikum „Spritzgießen“.
Bearbeitung und Abschluß des DFG-Projekts EPOK (Einfließen von Polymerschmelzen in kleine Kavitäten beim Spritzgießen mit induktiver Temperierung). Weiterentwicklung der induktiven Werkzeugtemperierung, Bearbeitung von Industrieaufträgen zur Werkzeugtemperierung.
Administration und Wartung der UNIX-Workstations.
- Weber, A. Betreuung der Vordiplomsübungen KL 3/4, Vortrags- und Gruppenübungen, Ausarbeitung von Aufgabenstellungen und Musterlösungen für Übungsaufgaben, Korrektur von Übungsaufgaben.
FEM-Praktikum „Temperaturfelder“ im StutCAD
Weiterentwicklung der induktiven Werkzeugtemperierung, Bearbeitung von Industrieaufträgen zur Erwärmung durch Induktion.
Administration und Wartung der UNIX-Workstations und der Firewall.

4.3 Sonstige Arbeiten

- Bauer, P. Untersuchungen von Proben mit dem Rasterelektronenmikroskop. Arbeiten zur Verbesserung und Erhaltung der Arbeitssicherheit am Institut. Reparatur und Pflegearbeiten an Geräten und Einrichtungen im Institut.
- Berwanger, R.; Diem, G.; Schneider, S.
Fertigung von Spritzguß-Formen und Formeinsätzen sowie Bauteile und Baugruppen für Versuche, wie Luftlager, Fasersensoren und Linearmotorprüfstände.

5 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

5.1 Veröffentlichungen

Burkard, E.:

Einfluß von Werkzeugbeschichtungen auf das Entformungsverhalten beim Spritzgießen. Institutskolloquium zum 70. Geburtstag von Prof. Jung, 11.05.2000.

Burkard, E.; Schinköthe, W.:

Einfluss von Werkzeugbeschichtungen auf das Entformungsverhalten beim Spritzgießen. Postervortrag 17. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 14./15.3.2001.

Gundelsweiler, B.:

Elektrodynamische Lineardirektantriebe. Institutskolloquium zum 70. Geburtstag von Prof. Jung, 11.05.2000.

Hartramph, R.; Schinköthe, W.:

Electromagnetic drive system with integrated path signal generation. US-Patent US 6 037 739. Erteilt 14.03.2000.

Haug, J.:

Ansätze und Konzepte zur Verbesserung des linearen Wanderwellenmotors. Institutskolloquium zum 70. Geburtstag von Prof. Jung, 11.05.2000.

Pröger-Mühleck, R.:

Geschwindigkeitsgeregelte luftgelagerte Lineardirektantriebe für die Impulspositionierung. Institutskolloquium zum 70. Geburtstag von Prof. Jung, 11.05.2000.

Schinköthe, W.:

in Krause, W.: Gerätekonstruktion in Feinwerktechnik und Elektronik, 3. stark bearbeitete Auflage. München, Wien: Carl Hanser Verlag 2000. Abschnitt 6.2. Elektromechanische Funktionsgruppen - Gerätetechnische Aktorik.

Schinköthe, W.:

in Kallenbach, E.; Stölting, H.- D.: Handbuch Elektrische Kleinantriebe. Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag 2000. Abschnitt 4.2. Elektrodynamische Linear- und Mehrkoordinatenantriebe (erscheint 2001).

Schinköthe, W.; Walther, T.:

Zykluszeiten verringern - Eine alternative Werkzeugtemperierung beim Spritzgießen. Kunststoffe 90(2000)5, S. 62-68.

Schinköthe, W.; Walther, T.:

Reducing Cycle Times - Alternative Mould Temperature Control for Microinjection Moulding. Kunststoffe plast europe 90(2000)5, S. 17-19.

Schinköthe, W.; Welk, C.:

Verfahren zur integrierten Wegsignalerzeugung in Asynchronearmotoren. Patentanmeldung, Aktenzeichen 100 25 885.9, 25.05.2000.

Schinköthe, W.; Welk, C.:

Verfahren zur integrierten Wegsignalerzeugung in Induktionslinearmotoren nach Elihu Thomson. Patentanmeldung, Aktenzeichen 100 36 260.5, 26.07.2000.

Walther, T.:

Induktive Werkzeugtemperierung - Eine Alternative beim Spritzgießen. Institutskolloquium zum 70. Geburtstag von Prof. Jung, 11.05.2000.

Walther, T.; Schinköthe, W.:

Einsatzmöglichkeiten der induktiven Werkzeugtemperierung beim Spritzgießen. Vortrag 17. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 14./15.3.2001.

Welk, C.:

Integrierte Wegmeßsysteme in Lineardirektantrieben. Institutskolloquium zum 70. Geburtstag von Prof. Jung, 11.05.2000.

Neue Skripte:

Skript zur Vorlesung Konstruktionslehre Feinwerktechnik III (87 Seiten). Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, Stuttgart 2000.

Skript zur Vorlesung Konstruktionslehre Feinwerktechnik IV (63 Seiten). Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, Stuttgart 2000.

5.2 Gremienarbeit

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe:

Dekan, jetzt Prodekan der Fakultät Konstruktions- und Fertigungstechnik

Mitglied des Senats der Universität Stuttgart

Mitglied des großen Senats der Universität Stuttgart

Mitglied des Senatsausschusses Struktur

Mitglied der Fachkommission Landesgraduiertenförderung

Mitglied der Auswahlkommission „Preise“

VDI/VDE-Fachausschuß 2.3 „Elektrische Geräte- und Stellantriebe“

VDI/VDE-Arbeitskreis „Universitätsprofessoren der Mikro- und Feinwerktechnik“

Vorsitzender der Berufungskommission „Nachfolge Prof. Tiziani“

Mitarbeit in der Berufungskommission Nachfolge Schilling Ilmenau

5.3 Tag der offenen Tür

Die guten in's Töpfchen ... Märchenhaftes Sortieren im Studium

Der nun schon zum achten Mal durchgeführte Konstruktionswettbewerb des Instituts für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik (IKFF) der Universität Stuttgart zeigt durch seine hohe Teilnehmer- und Besucherzahl, daß auch im teilweise trockenen Lehrstoff des Vordiploms attraktive Bereiche stecken.

Dieses Jahr sollten die MaschinenbaustudentInnen der Vorlesung Konstruktionslehre IV (Feinwerktechnik) eine Maschine konstruieren und bauen, die aus den auf einer großen Tischplatte stehenden Gegenständen die richtigen aufammelt. Aus einer Menge von Pappröhren, Kunststoffteilen, Schrauben und Konservendosen durften nur die Schrauben und Konservendosen mitgenommen werden. Als weitere Schwierigkeit mussten die Maschinen die Aufgabe ohne Eingriff eines Bedieners abarbeiten. Auch die restlichen Randbedingungen, wie u. a. Einschränkung der Energieversorgung, Größenbeschränkung beim Start, Zeitlimit, u.s.w. forderten von den Teilnehmergruppen einiges an Kreativität.

Die Lösungen der StudentInnen reichten vom Sammelfahrzeug, das von einer Kurvenscheibe mechanisch gesteuert einen optimalen Sammelweg abfährt, über Maschinen, die sich nach dem Start entfalten, um mit einem Schwenk alle Teile durch Haftmagnete zu erfassen, und Sammelmaschinen, die Satellitenfahrzeuge über die Platte schicken, bis zum programmierten Sammelroboter.

In der Endrunde der besten sechs Sammelmaschinen siegte mit nur knappem Vorsprung der Einsatz moderner Computertechnik über rein elektromechanische Lösungen.

Der Wettbewerb zeigte auch dieses Jahr wieder, daß eine attraktive Aufgabe die StudentInnen trotz zeitnah anstehender Klausuren motivieren kann. So wurden einige der Maschinen erst in den Morgenstunden des Wettkampftags fertig. Der Wettkampf selbst fand erstmals in einem großen Hörsaal statt, doch auch dieser war bis auf den letzten Platz gefüllt. Der Wettkampf entwickelte sich zu einer Attraktion des Tages der offenen Tür und erreichte eine neue Qualität.

5.4 Institutsbesichtigung

Um den Studenten und Studentinnen nach dem ersten Studienabschnitt eine Hilfestellung bei der Wahl der Fächer im Hauptdiplom zu geben, wurde eine Institutsbesichtigung durchgeführt. Zunächst stellten einzelne Mitarbeiter kurz ihre Arbeitsgebiete vor, anschließend erfolgte im kleinen Kreis in Anwesenheit des Institutsleiters und von Mitarbeitern eine Diskussion über Studienfragen, Wirtschaftsentwicklung und Entwicklung der Feinwerktechnik.

6 TEILNAHME AN KONGRESSEN, TAGUNGEN UND MESSEN

Prof. Schinköthe, W.:

- VDI/VDE Arbeitskreis „Stellantriebe“ Dresden, 28.04.2000
- Lehrgang an der TAE Esslingen: Antriebssysteme der Feinwerktechnik. TA Esslingen, 13.-14.03.2000

Bauer, P.:

- Brandschutzhelferausbildung, Bad Urach, 30.10.2000

Berwanger, R.:

- Messe „AMB“, Stuttgart-Killesberg, 12.9.2000

Burkard, E.:

- Hausmesse der Firma ARBURG, Loßburg, 31.03.2000
- Messe „FAKUMA“, Friedrichshafen, 20.10.2000
- Messe „EUROMOLD“, Frankfurt, 01.12.2000
- Lehrgang an der TA Esslingen: Polyurethane - Grundlagen und Anwendungen, Nellingen, 11./12.12.2000

Gundelsweiler, B.:

- Messe ASA (Antreiben, Steuern, Automatisieren) in Stuttgart
- Messe SPS, IPC, DRIVES in Nürnberg
- TAE-Lehrgang - Technische Magnetwerkstoffe
- VDI Mechatronik Seminar

Pröger-Mühleck, R.:

- Messe ASA, Fachmesse für Antreiben Steuern Automatisieren, Stuttgart, 15.02.2000
- TAE-Lehrgang „Luftlagerungen“, Techn. Akademie Esslingen, 16.-18.02.2000
- TAE-Lehrgang „Dauermagnete“ Techn. Akademie Esslingen, 21.02.2000

Schneider, S.:

- Messe „AMB“, Stuttgart-Killesberg, 12.9.2000

Walther, T.

- Hausmesse der Firma ARBURG, Loßburg, 31.03.2000

Weber, A.

- Hausmesse der Firma ARBURG, Loßburg, 31.03.2000
- GfS Seminar Mess- und Automatisierungstechnik, Stuttgart, 12.10.2000
- Messe „EUROMOLD“, Frankfurt, 01.12.2000

Welk, Ch.

- Lehrgang „Technische Dauermagnete“, TAE Esslingen, 21.02.2000
- Messe SPS/IPC/DRIVES 2000, Nürnberg, 29.11.2000

7 WERKSTATTBERICHT

Durch die Fertigung von Modellen und Vorrichtungen im Rahmen von praktischen Studienarbeiten, Diplomarbeiten und Dissertationen war die Institutswerkstatt im Berichtsjahr vollständig ausgelastet.

Im Jahr 2000 konnte endlich die seit langem dringend benötigte neue Bandsäge beschafft werden. Des weiteren wurde ein Bandschleifgerät erworben.

Da die Anfertigung von Drehteilen stark zugenommen hat, speziell für den Tätigkeitsbereich Aktorik, besteht nun vorrangig Bedarf an einer zweiten Drehmaschine.

8 ANHANG - wesentliche Veröffentlichungen

In diesem Jahr exemplarisch einige Veröffentlichungen aus dem Bereich Spritzgießen:

Einfluss von Werkzeugbeschichtungen auf das Entformungsverhalten beim Spritzgießen

Postervortrag 17. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 14./15.3.01.

Zykluszeiten verringern - Eine alternative Werkzeugtemperierung beim Mikrospritzgießen

Kunststoffe 90(2000)5, S. 62-68

Reducing Cycle Times - Alternative Mould Temperature Control for Microinjection Moulding

Kunststoffe plast europe 90(2000)5, S. 17-19.

Einfluß von Werkzeugbeschichtungen auf das Entformungsverhalten beim Spritzgießen

E. Burkard, W. Schinköthe

Zusammenfassung

Am IKFF wurde in Zusammenarbeit mit den Firmen Balzers und Hasco ein Projekt gestartet, bei dem die Auswirkung von Beschichtungen bei Spritzgießwerkzeugen auf das Entformungsverhalten untersucht werden. Mit dem im Rahmen dieses Projekts aufgebauten Versuchswerkzeug können mit geringem Aufwand verschiedene Werkzeugbeschichtung-Kunststoff-Paarungen untersucht werden.

Durch die Vielzahl der beim Entformen wirksamen Parameter können aber zur Zeit nur für spezielle Werkzeugbeschichtung-Kunststoff-Paarungen Aussagen über die Entformungskraft gemacht werden. Eine allgemeingültige Regel für das Beschichten von Spritzgießwerkzeugen kann bisher nicht aufgestellt werden. Weitere Versuchsreihen zur Untersuchung der entformungsbeeinflussenden Parameter sind vorgesehen.

Abstract

In cooperation with Balzers and HASCO the IKFF started a project to test the influence of mold wall coating while demolding of the part. With the injection mold build for this project it is possible to test the influence between mould coatings and injection moulding compounds without a lot of effort.

While demolding there are a lot of parameters influencing the ejector force. At this time it is only possible to give rules for special combinations of mold coating and injection moulding compounds. So far it is not possible to give a universal rule for coating an injection mold.

The IKFF intends to perform more tests analysing the parameters while demolding injection molded parts.

Einführung

Die Produktion von Kunststoffspritzgußteilen wird in den letzten Jahren von steigenden Ansprüchen geprägt. Nicht nur der Kostendruck, sondern auch der Einsatz von neuen hochtechnischen Formmassen und die Komplexität der Teile

führen zu extremeren Verarbeitungsbedingungen und damit auch steigenden Ansprüchen an das Formwerkzeug. Zunahme von Verschleiß und Belagbildung sowie ein schlechteres Entformungsverhalten sind oft die Folge.

Ein Ansatz diese Probleme zu lösen, ist der Einsatz von Oberflächenbeschichtungen im Formwerkzeug. Bisherige Veröffentlichungen beruhen aber meistens nur auf den Erfahrungen, die bei einer bestimmten industriellen Problemstellung gemacht wurden.

Das Entformungsverhalten des Spritzteils wird von verschiedenen Faktoren bestimmt (vgl. Bild 1). Um diese Einflüsse zu untersuchen, wurde am IKFF ein Werkzeug entwickelt und aufgebaut, mit dem es möglich ist, verschiedene Werkzeugoberflächenrauheiten, Werkzeugbeschichtungen und Werkzeugwerkstoffe bei sonst gleichbleibenden Randbedingungen zu untersuchen (vgl. Bild 3).

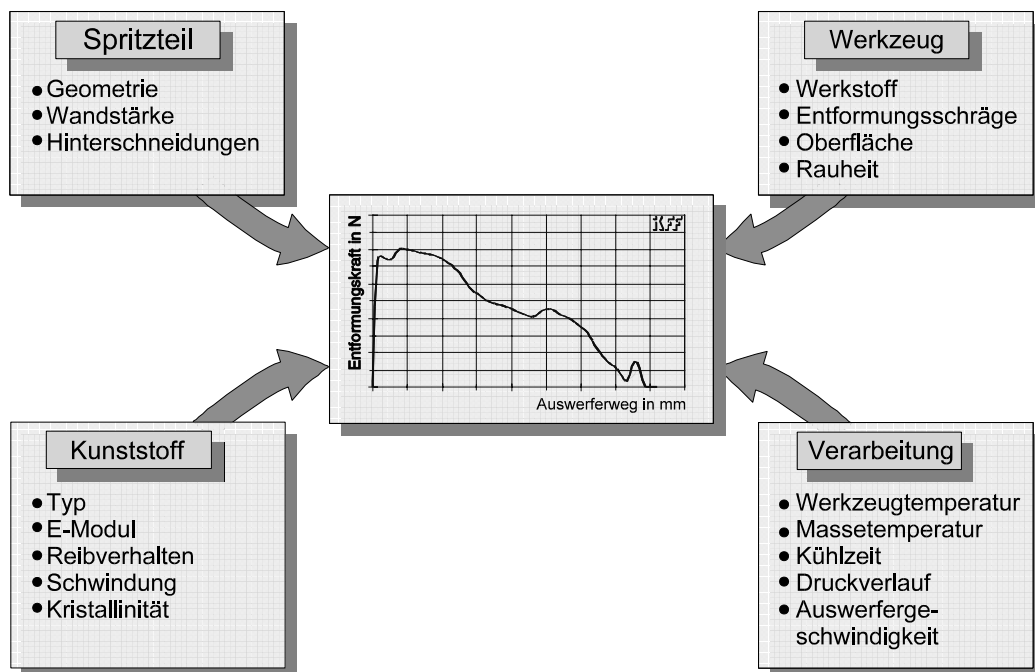


Bild 1 Einflussfaktoren auf die Entformung [1]

2. Versuchsaufbau

Um möglichst allgemeingültige Ergebnisse zu erhalten, wurde als Probekörper eine zylindrische Hülse mit 20 mm Innendurchmesser und einer Länge von 40 mm mit Schirmguß gewählt (vgl. Bild 2 und 3). Die Hülse schrumpft während der Kühlzeit auf den Kern auf und löst sich dadurch von der angußseitigen Formhälfte. Das Abstreifen vom Kern erfolgt mit Hilfe eines Ringauswerfers.

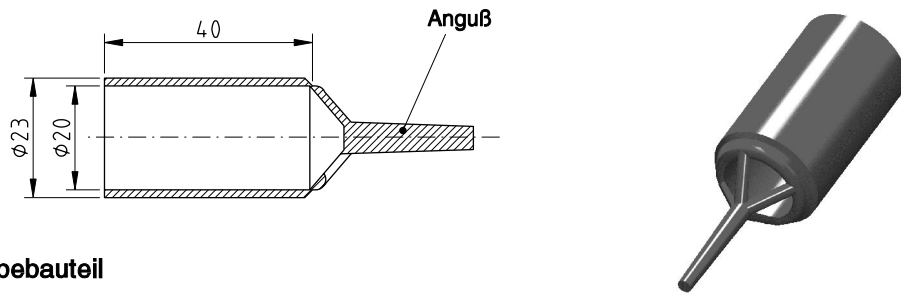


Bild 2 Probebauteil

Beim Auswerfen des Teils wird die Entformungskraft mit Hilfe einer Kraftmeßdose in der Auswerfermechanik und der Auswerferweg mit einem Wegaufnehmer gemessen. Durch den Aufbau des Werkzeugs ist ein einfacher Austausch der Kerne und somit die Auswahl von unterschiedlichen Werkstoffen, Werkzeugbeschichtungen und Oberflächenrautiefen möglich.

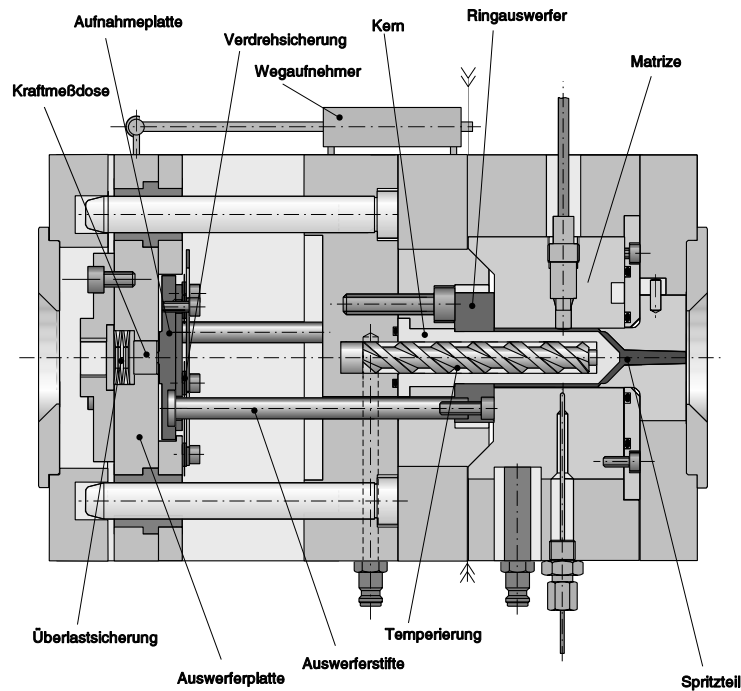


Bild 3 Versuchswerkzeug

Am IKFF sind zur Zeit Kerne mit verschiedenen Verschleißschutz- und Gleitschichten (z. B. TiN, TiAlN, CrN, WC/C) sowie mit unterschiedlichen Oberflächenrautiefen im Einsatz. Es sind auch Kerne mit reibungsarmen Materialien (z. B. AMPCO-Metalle) und verschiedenen Oberflächenbearbeitungen vorhanden und es wird die Möglichkeit untersucht, inwieweit solche Kerne in die Entformungskraftmessungen aufgenommen werden können.

3. Meßtechnik

Die von den einzelnen Sensoren kommenden Signale werden verstärkt, mit einer Analog-Digitalwandlerkarte in digitale Signale umgewandelt und dann mit einem PC weiter ausgewertet. Protokolliert werden u. a. Auswerferkraft, Auswerferweg und Auswerfarbeit (vgl. Bild 4)

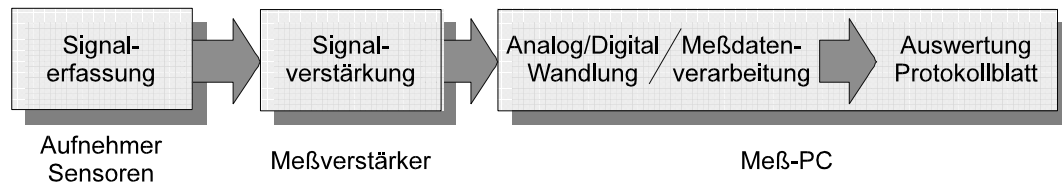


Bild 4 Meßkette

4. Einflüsse einzelner Parameter auf die Entformungskraft

4.1 Einflüsse des Kunststoffes

Bei der Vielzahl der zur Zeit auf dem Markt befindlichen Kunststoffe beschränken sich die Untersuchungen zuerst auf eine Auswahl an Standardtypen. Folgende Kunststoffe wurden für die Versuchsreihen ausgewählt:

folgt:

- ABS Terluran 967K (BASF)
- PA Ultramid A3W (BASF)
- PC Makrolon 2800 (Bayer)
- POM Ultraform N2320 (BASF)
- PP Inspire C715-12N HP (Dow Plastics)

Zusätzlich werden aber auch spezielle Kunststoffe auf Kundenanfrage untersucht (vgl. Bild 8 und 9).

Da die Kunststoffe unterschiedliche Verarbeitungsbedingungen erfordern, können die notwendigen Entformungskräfte nicht direkt miteinander verglichen werden. Amorphe und teilkristalline Kunststoffe weisen jedoch jeweils in sich ähnliche Kraft-Weg-Verläufe auf.

4.2 Einflüsse der Geometriefehler des Kerns

Bei den bisherigen Untersuchungen hat sich gezeigt, daß auch kleine Fehler in der Geometrie des umspritzten Kerns sich stark auf den Entformungskraftverlauf auswirken. Gerade beim manuellen Polieren der Kerne entstehen deutliche Ab-

weichungen von der idealgeometrischen Zylinderform (vgl. Bild 6). Schon kleine Einschnürungen des Durchmessers von wenigen μm wirken sich aber stark auf die Entformungskraft aus, wie der Entformungskraftverlauf in Bild 5 zeigt. Dieser Kraftverlauf kann auch in Simulationsrechnungen im Ansatz verifiziert werden. Der qualitative Verlauf ist vergleichbar, aber die Höhe der durch die Formfehler zusätzlich erforderlichen Kraft ist in den bisherigen Simulationen nicht ermittelbar (vgl. Bild 7). Gerade bei sehr steifen Kunststoffen können diese Geometriefehler zu Kräften führen, die deutlich über der Losbrechkraft des eigentlichen Entformungsvorgangs liegen.

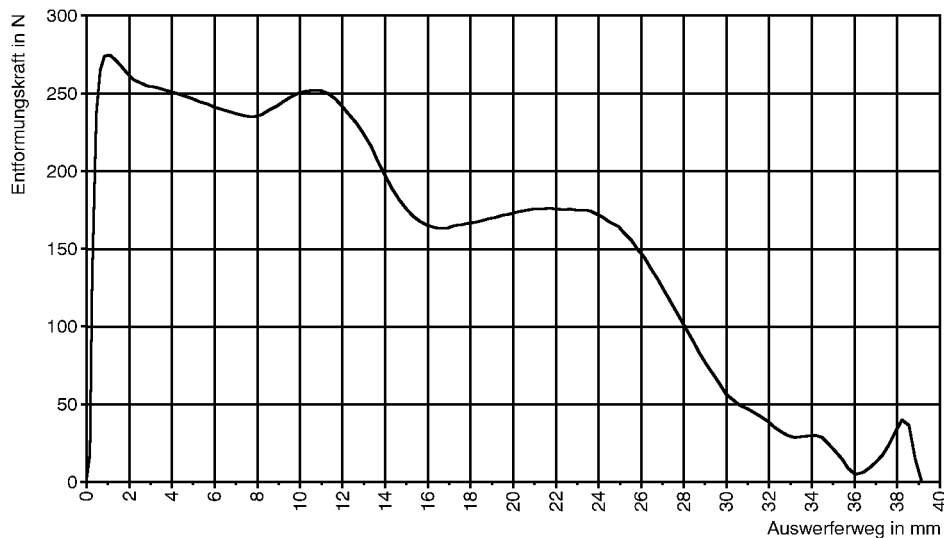


Bild 5 Gemessene Entformungskraft bei ABS (polierter Kern ohne Beschichtung)

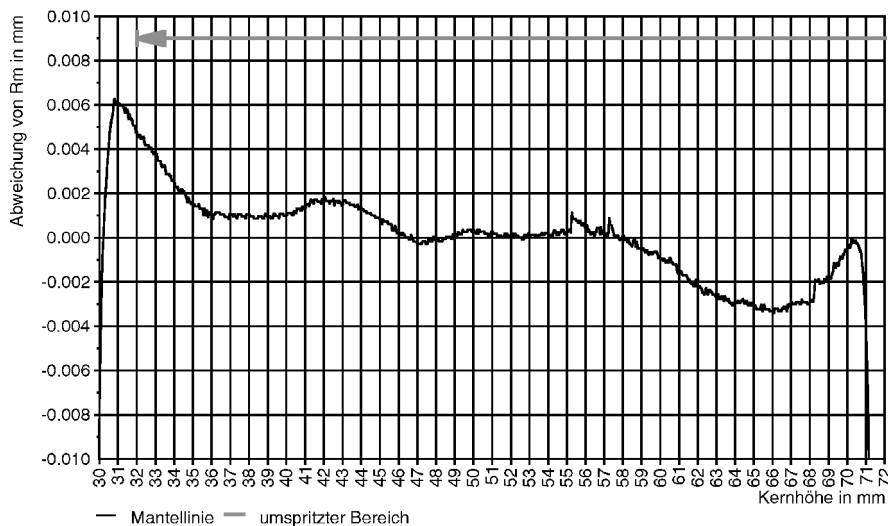


Bild 6 Abweichung des Kerns von der idealen Mantellinie

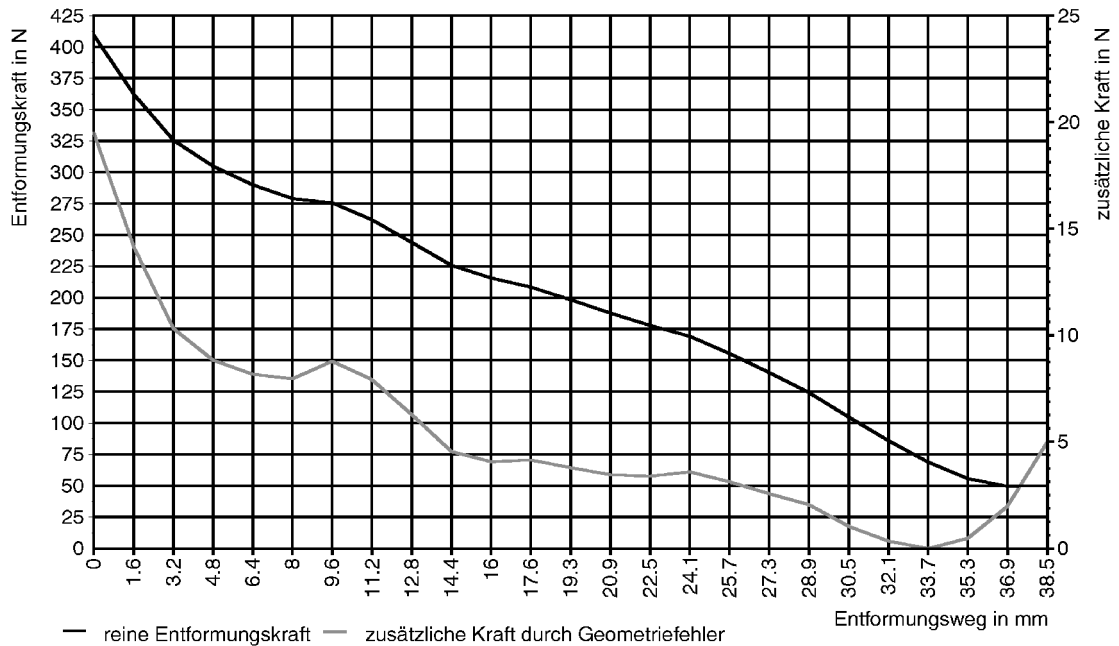


Bild 7 Simulation der reinen Entformungskraft und der durch Geometriefehler bedingten Kraft [2]

4.3 Einflüsse der Beschichtung

Die bisherigen Untersuchungsergebnisse zeigen eine starke Abhängigkeit der notwendigen Entformungskraft von der Kombination aus Kunststoff und Beschichtung. Eine allgemeingültige Empfehlung für das Beschichten von Spritzgießwerkzeugen kann daher zum aktuellen Zeitpunkt der Untersuchungen nicht gegeben werden.

Der Einsatz von Verschleißschutzschichten, die für den Einsatz bei abrasivem und chemischem Verschleiß empfohlen werden, kann auch unerwünschte Nebeneffekte haben. Die Entformungskraft kann durch den Einsatz einer Werkzeugbeschichtung auch höher werden. Der Vorteil der höheren Werkzeugstandzeit durch die Hartstoffbeschichtung ist dann gegenüber dem Nachteil der erhöhten Entformungskraft abzuwägen.

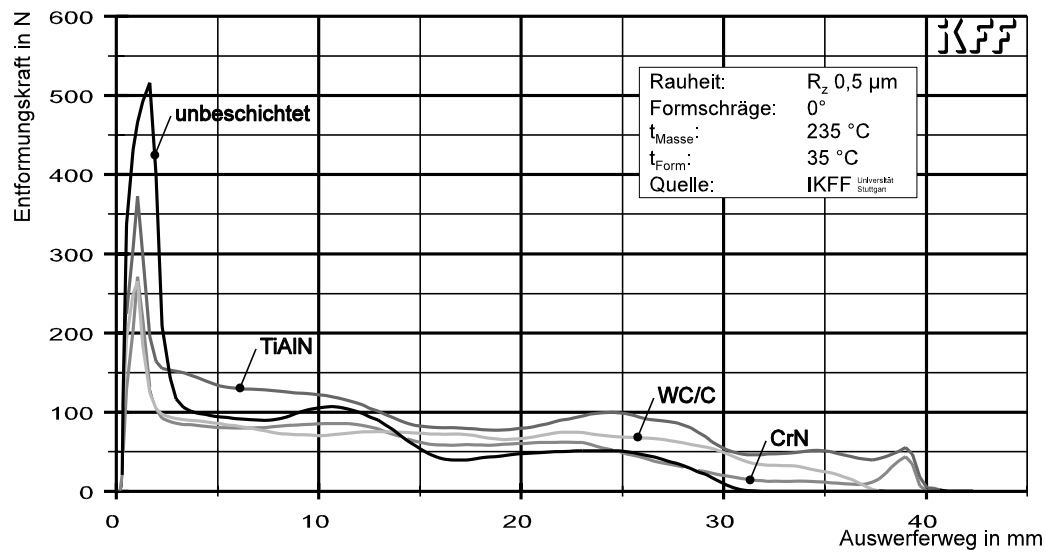


Bild 8 Einfluß von verschiedenen Werkzeugbeschichtungen bei LDPE (Lupolen 1840H)

Anhand der beiden aufgeführten Beispiele in Bild 8 und 9 ist zu erkennen, daß mit einer geeigneten Werkzeugbeschichtung die Entformungskraft deutlich verringert werden kann.

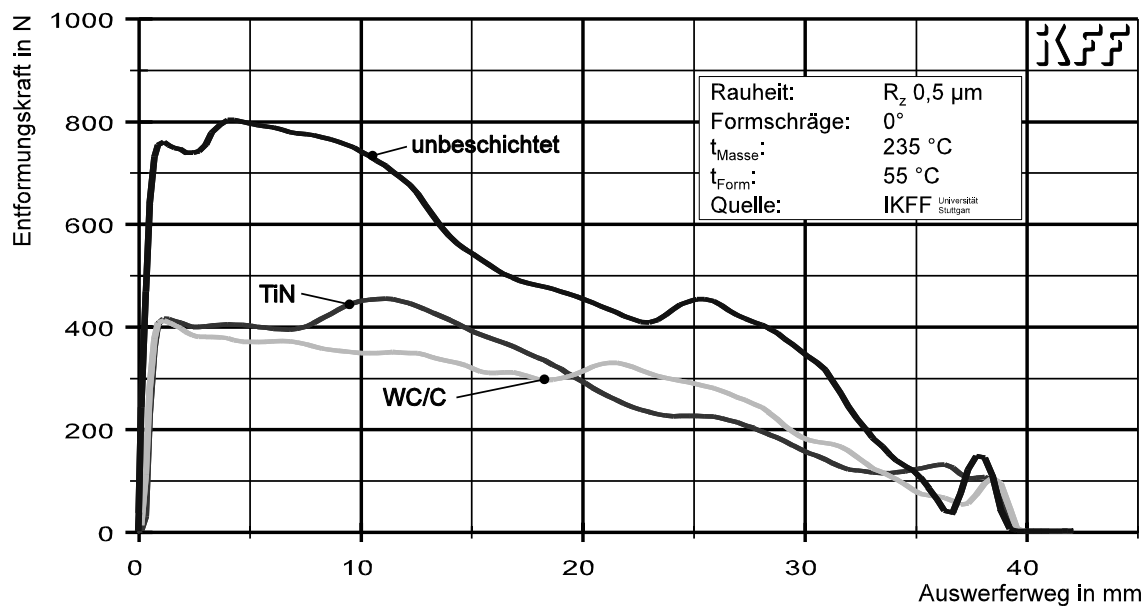


Bild 9 Einfluß von verschiedenen Werkzeugbeschichtungen bei PP (Hostalen PPU 1080 S1)

Schlußfolgerung

Das Beschichten von Spritzgießwerkzeugen hat einen direkten Einfluß auf die Entformungskraft der Spritzlinge. Dabei kann durch eine geeignete Wahl der Werkzeugbeschichtung das Entformungsverhalten verbessert werden.

Leider ist es aber zur Zeit nicht möglich, eine allgemeingültige Regel für das Beschichten von Werkzeugen zur Reduzierung der Entformungskraft aufzustellen. Bei der Beschichtung aus anderen Gründen (Verschleißschutz, Belagreduzierung, ...) muß dies bedacht werden und gegebenenfalls eine Abwägung der Vor- und Nachteile erfolgen.

Literaturverzeichnis

- [1] Walther, T.: Einfluß von Verschleißschuttschichten auf die Entformungskraft beim Spritzgießen, Diplomarbeit, IKFF Universität Stuttgart, 1996
- [2] Anetseder, A.: Theoretische Ermittlung des Schwindverhaltens beim Spritzgießen von Kunststoffhülsen, Studienarbeit, IKFF Universität Stuttgart, 1999

Danksagung

Die Autoren danken den Firmen BASF, Balzers, BAYER, Dow Plastics, Dr. BOY und HASCO für die Unterstützung durch Kunststoffe, Beschichtungen, Spritzgießmaschine, Werkzeuge, Normalien und auch für die finanzielle Förderung der Untersuchungen.

Zykluszeiten verringern - Eine alternative Werkzeugtemperierung beim Mikrospritzgießen

Wolfgang Schinköthe, Thomas Walther, Stuttgart

Zusammenfassung

Das Abformen von Mikrostrukturen durch Spritzgießen erfordert für eine vollständige Formfüllung eine dynamische Werkzeugtemperierung.

Variothermverfahren mit unterschiedlich temperierten Ölkreisläufen ermöglichen solche Prozessführungen, die Zykluszeiten liegen jedoch im Minutenbereich. Eine Alternative bietet die induktive Werkzeugtemperierung. Dieses Verfahren ist nicht nur für Mikrostrukturen geeignet, es lässt sich auch auf Anwendungen beim Spritzgießen feinwerktechnischer Strukturen übertragen.

Abstract

For a the complete filling of a cavity the injection moulding process of microstructures demands a dynamical variation of the mould temperature. Variotherm processes with different tempered oil circuits offer such a process control but the cycle times are in the range of several minutes. An alternative method is the inductive heating of the mould insert. This process is not only suitable for moulding microstructures, it may also be transferred to other applications in moulding precision engineering parts.

Einleitung

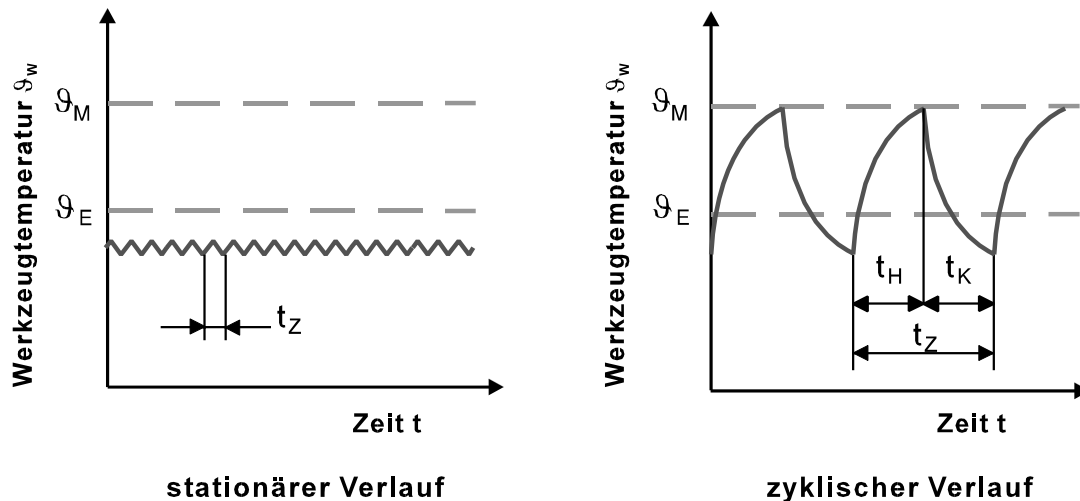
Beim Spritzgießen kommt üblicherweise eine Temperierung der Spritzgießwerkzeuge bzw. Kavitäten zum Einsatz. Im einfachsten Fall besteht das Ziel dieser Temperierung in der Gewährleistung einer zügigen Abfuhr der mit der Schmelze eingebrachten Wärmemenge und der Einhaltung konstanter Prozessbedingungen beim Erstarren der Schmelze. Eine einfache Wasser- oder Öl-Temperierung bzw. Kühlung sichert die erforderliche schnelle Erstarrung des Spritzlings und damit kurze Zykluszeiten bei konstanter Werkzeugtemperatur. 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 und 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 und das Aussehen der Oberfläche gezielt beeinflusst werden. Neben der genannten Kühlung ist dafür jedoch eine zusätzliche dynamische Temperierung nötig. Derartige Lösungen sind vorwiegend aus dem Mikrospritzgießen bekannt.

Dynamische Werkzeugtemperierung beim Spritzgießen von Mikrostrukturen

Das Abformen von Mikrostrukturen stellt eine Reihe besonderer Anforderungen an den Spritzgießprozess. Die in der Regel geringen Spritzgewichte erfordern eine kleine Plastifiziereinheit mit einer lagegeregelten Schnecke und einem entsprechend geregeltem Spritzgießprozess. Die Kavitäten weisen viele Strukturen auf, die vom Prinzip her Sacklöcher darstellen. Für eine vollständige Formfüllung bzw. zur Vermeidung des Dieseeffektes muß deshalb die Kavität vor dem Einspritzen evakuiert werden. Enge Toleranzen sowie hohe Anforderungen an eine spiel- und versatzfreie Entformung kommen hinzu. Genutzt werden zudem meist sehr niedrigviskose Schmelzen bzw. entsprechende Werkstoffe wie POM oder PC /3-7/.

Trotz dieser Maßnahmen erstarren die Schmelzen insbesondere bei hohen Aspektverhältnissen (Verhältnis von Höhe zur Breite eines Querschnitts) und kleinen Strukturbreiten bis in den Mikrometerbereich schon vor einer vollständigen Abformung, wenn die Kavität nicht während des Einspritzens eine Temperatur oberhalb der Schmelztemperatur des Kunststoffes aufweist. Die übliche konstante Werkzeugtemperierung (Kühlung) beim herkömmlichen Spritzgießen versagt hier. Der Kontakt der heißen Kunststoffschmelze mit der kalten Werkzeugwand führt zu einer sofortigen Randschichterstarrung des Schmelzestroms, wodurch die feinen Strukturen letztlich nicht oder nur unvollständig abgeformt werden. Erforderlich ist ein angepasster Temperaturgang und somit eine variotherme Werkzeugtemperierung (Bild 1). Durch die Erhöhung der Werkzeugwandtemperatur zum Einspritzzeitpunkt bis auf Höhe der Schmelztemperatur des Kunststoffes wird dessen Viskositätszunahme beim Kontakt mit der Werkzeugwand verhindert und die vollständige Füllung der Kavität gesichert. Um eine ausreichende Entformungssteifigkeit zu erhalten, muß der Formeinsatz nach dem Einspritzen wieder auf Temperaturen deutlich unterhalb der Erstarrungstemperatur des Kunststoffes abgekühlt werden. Aus Gründen der Produktivität sollte dies möglichst schnell erfolgen.



Θ_w Werkzeugtemperatur Θ_E Entformungstemperatur Θ_M Massetemperatur

Bild 1 Werkzeugtemperaturverlauf bei stationärer und variothermer Prozessführung

Öl-Variotherme Prozessführung beim Mikrospritzgießen

Beim klassischen Variothermverfahren [8] sichern zwei verschiedenen temperierte Ölkreisläufe die zwei geforderten Werkzeugtemperaturniveaus (Bild 2).

Ein primärer Ölkreislauf hält das Stammwerkzeug auf der Entformungstemperatur des verwendeten Kunststoffes. Vor dem Einspritzvorgang heizt ein zweiter Ölkreislauf den mit Mikrostrukturen versehenen Formeinsatz, der über konstruktive Maßnahmen soweit möglich vom Stammwerkzeug thermisch isoliert ist,

auf das geforderte Temperaturniveau der Schmelze auf. Nach erfolgtem Einspritzen des Kunststoffes wird auch der Formeinsatz mit dem primären Ölkreislauf gekoppelt und wieder auf Entformungstemperatur abgekühlt. Aufgrund der hohen Wärmekapazität des Formeinsatzes und des nur mäßigen Wärmeüberganges durch Konvektion ergeben sich jedoch lange Zykluszeiten, die im Bereich mehrerer Minuten liegen können.

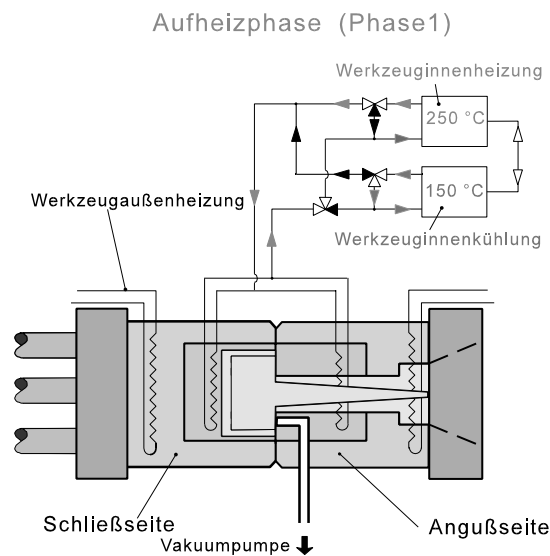


Bild 2 Variothermverfahren mit Öltemperierung (Quelle: IMM Mainz)

Man untersucht deshalb verschiedene Ansätze, um durch andere Temperierverfahren kürzere Zykluszeiten zu erreichen. Am IKV in Aachen geht man den Weg über elektrische Widerstandsheizung. Am IKFF in Stuttgart wurde ein anderer Weg eingeschlagen und eine induktive Werkzeugheizung eingesetzt. Die bei der Induktionserwärmung erzielbaren kurzen Aufheizzeiten und die sehr geringen eingebrachten Wärmemengen erlauben eine erhebliche Verkürzung der Zykluszeit und dadurch eine wesentliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit.

Induktionserwärmung beim Mikrospritzgießen

Die Induktionserwärmung ist aus verschiedenen Bereichen der Technik bekannt. Als klassische Beispiele seien das Randschichthärten, Erwärmungsanlagen für Schmiedestücke sowie Induktionsschmelzöfen genannt. Bei der induktiven Erwärmung wird die Energie transformatorisch auf das Werkstück übertragen. Eine von einem hochfrequenten Strom durchflossene Spule erzeugt ein elektromagnetisches Wechselfeld. Innerhalb des elektrisch leitenden Erwärmungsguts werden im Oberflächenbereich Wirbelströme generiert (Bild 3). Die Wirbelströme verursachen im Leiter aufgrund des spezifischen Widerstands dann eine Joulesche Erwärmung.

Die wesentlichen Bestandteile einer Anlage zur Induktionserwärmung sind die an die Geometrie des Bauteils angepasste Induktionsspule (Induktor), die Zuleitungen für die Energiezuführung und der Hochfrequenzgenerator für die Energieversorgung. Für Anwendungen beim Spritzgießen von Mikrostrukturen kann dabei der meist planare Formeinsatz beispielsweise bei geöffnetem Werkzeug induktiv erwärmt werden [9-11]. Der Induktor muß sich hierzu in einem genau definierten Abstand vor dem Formeinsatz befinden. Die eigentliche Induktionsspule besteht aus einem Kupferhohlleiter. Zur Abführung der in der Induktionsspule erzeugten Verlustwärme durchfließt die Spule ein Kühlmittel, in der Regel Wasser. Die Bewegung des Induktors übernimmt ein programmierbares Handlingsystem oder sie erfolgt zwangsläufig über ein Koppelgetriebe.

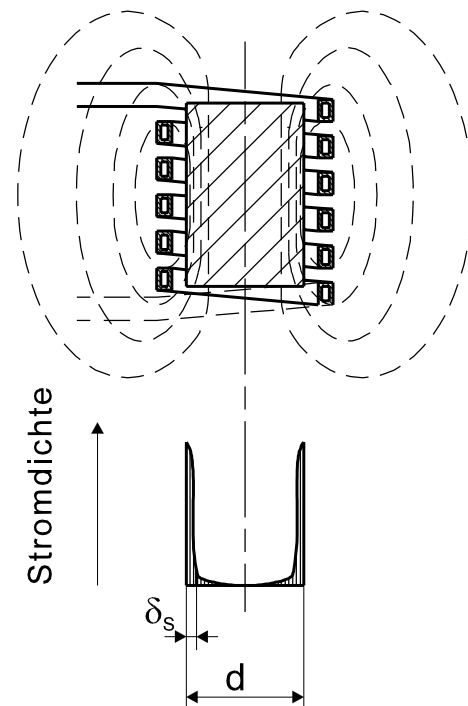


Bild 3 Spule mit Magnetfeld und Kern sowie Stromdichteverlauf im Material

Das Eindringverhalten des elektromagnetischen Feldes beschreibt die Skintiefe δ_s . Sie hängt ab von der elektrischen Leitfähigkeit κ , der Permeabilität μ und der Arbeitsfrequenz f und ergibt sich zu

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

Da sich während des Aufheizvorgangs κ und μ 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 [9//12/].

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 zeitaufwendige Wärmetransport zur Kavität entfällt. Die Kühlzeit reduziert sich ebenfalls, da deutlich weniger Wärme ins Werkzeug eingebracht wird. Auf eine Öltemperierung für die Werkzeuggrundtemperierung kann man jedoch nicht verzichten. Einen Vergleich mit der Variothermtemperierung mittels zweier Ölkreisläufe zeigt Bild 4.

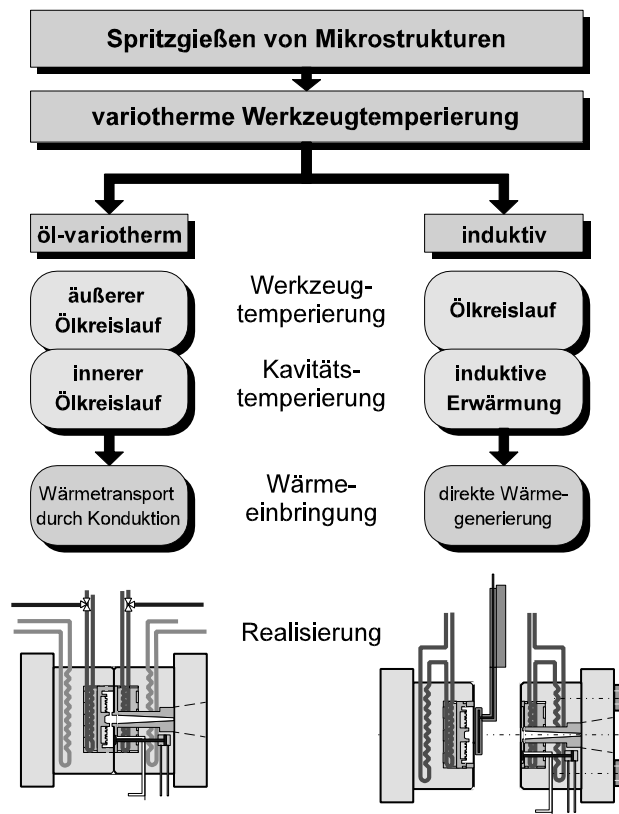


Bild 4 Temperierkonzepte

Bild 5 verdeutlicht die erzielbaren Temperaturverläufe beim öl-variothermen und induktiven Verfahren. Dargestellt ist der zeitliche Werkzeugtemperaturverlauf eines Aufheiz-Abkühl-Zyklus 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. Da beim öltemperierten Verfahren bei geschlossenem Werkzeug erwärmt wird, kann unmittelbar nach Erreichen der gewünschten Temperatur eingespritzt werden. Beim induktiven Verfahren ist dieses Temperaturniveau bewusst zu überschreiten, um die Wärmeverluste während des Werkzeugschließvorgangs zu kompensieren.

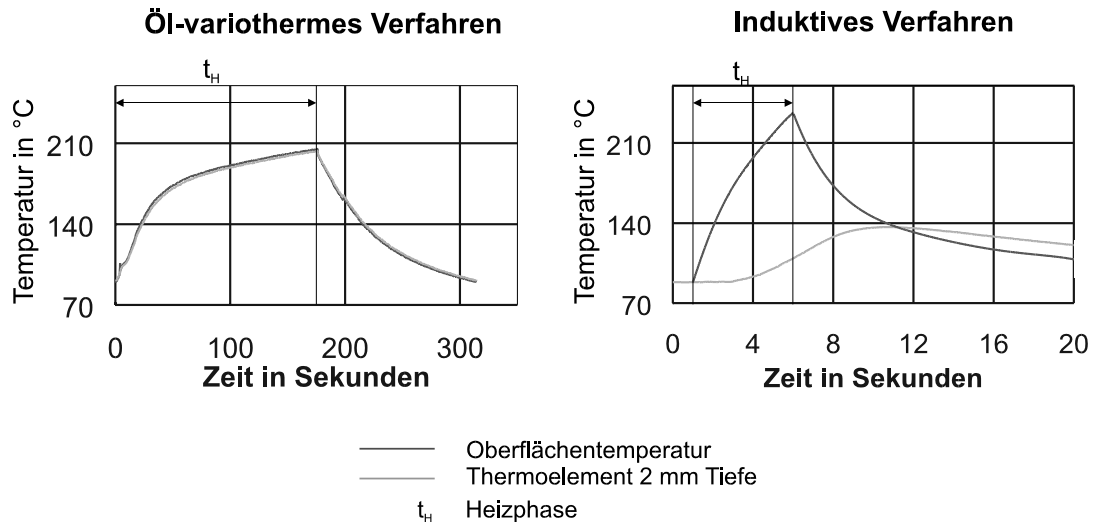


Bild 5 Temperaturverläufe in der Kavität

Die Diagramme zeigen die Temperaturen an zwei Stellen im Werkzeug, einmal direkt an der Formoberfläche und dann 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 der Werkzeugs und damit an der Oberfläche statt. Der Wärmetransport in die tieferen Schichten über die Wärmeleitung des Materials erfolgt verzögert. Die eingebrachte Wärmemenge ist außerdem wesentlich geringer.

Im Rahmen eines DFG-Projektes wurde zusammen mit dem Institut für Mikrotechnik Mainz (IMM) das Potenzial der induktiven Werkzeugtemperierung für das Mikrospritzgießen untersucht /13/. Erste Abformversuche erfolgten mit der leichtfließenden teilkristallinen Formmasse POM. Bei einer Strukturhöhe von 50 μm konnten Strukturen mit Wandstärken bis zu 10 μm abgeformt werden, was einem Aspektverhältnis von 5 entspricht.

Die Gesamtzykluszeit betrug bei einem Formteil mit einer Gesamtmasse von 4 g etwa 50 s. Ziel der weiteren Versuche ist eine noch weitere Verbesserung der Abformgenauigkeit sowie eine noch weitere Reduzierung der Zykluszeit.

Bild 6 zeigt eine abgeformte Teststruktur. Die konzentrischen Kreise haben Wandstärken von 20, 15, 10, 5 und 2,5 μm . In diesem Fall konnte die Kavität bis 10 μm Wandstärke vollständig gefüllt werden, die Kavitäten mit 5 bzw. 2,5 μm Wandstärke nur noch unvollständig.

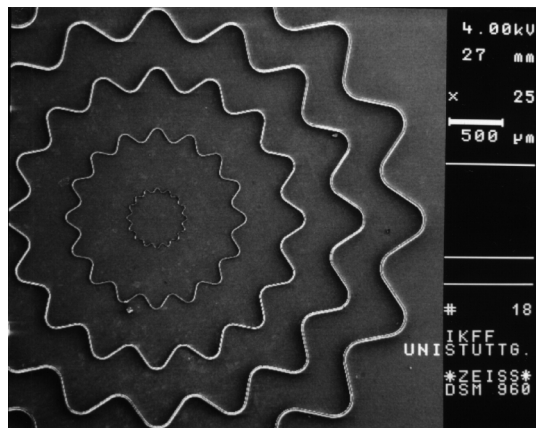


Bild 6 Abgeformte Teststrukturen

Bild 7 zeigt die Gesamtanlage, die Induktorspule ist in Heizstellung vor der Kavität. Über ein Handlinggerät, welches im Normalfall zur Entnahme von Bauteilen

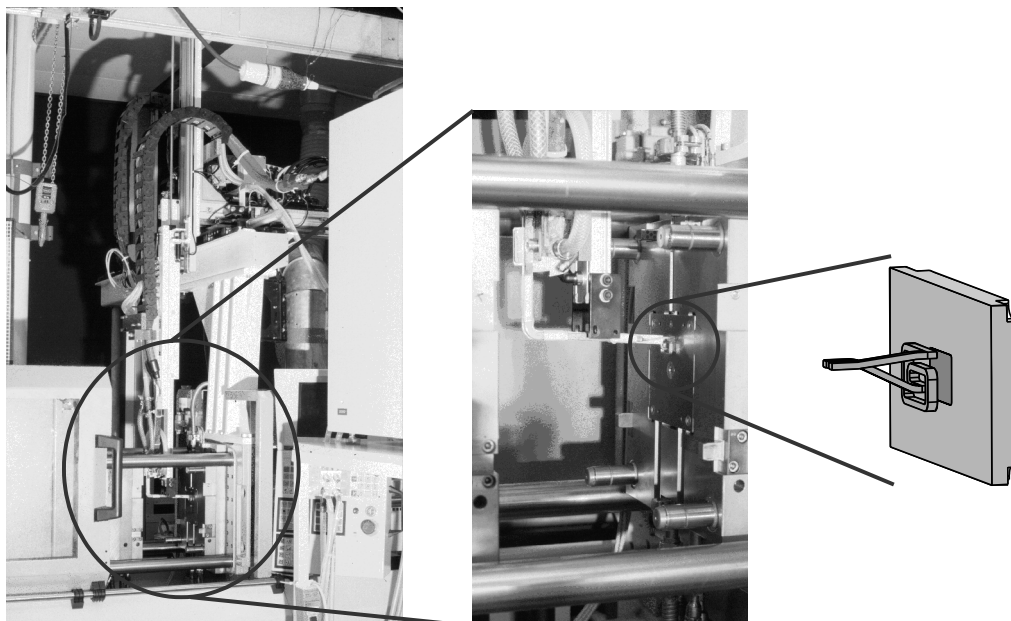


Bild 7 Gesamtanlage

dient, wurde die Induktorspule vor der Kavität positioniert. Die Ansteuerung des Induktionsgenerators erfolgt über freiprogrammierbare Ausgänge der Spritzgießmaschine in Kombination mit einem Meß-PC, der Temperatur- und Druckverläufe während des gesamten Prozesses aufnimmt und dem Generator die benötigte Heizzeit bzw. die erforderliche Heizleistung vorgibt. Über eine Kabelkette werden Energie- und Kühlwasserleitungen zum HF-Generator geführt.

Nach der Erwärmung fährt die Handlingachse in die Ausgangsposition, die Form schließt, wird evakuiert und der Einspritzvorgang beginnt. An Stelle des Handlingsystems ist auch eine zwangsläufig geführte Bewegung des Induktors durch ein Koppelgetriebe möglich. Die Flexibilität wird damit zwar etwas eingeschränkt, die Zykluszeiten sind dann allerdings noch deutlich weiter zu verkürzen.

Über den PC und eine entsprechende Meß- bzw Steuerungssoftware sind Maschinen- und Generatorsteuerung miteinander gekoppelt. Somit werden reproduzierbare Prozessbedingungen gesichert.

Dynamische Werkzeugtemperierung beim konventionellen Spritzgießen feinwerktechnischer Bauteile

Wie einleitend bereits angedeutet, gibt es auch beim konventionellen Spritzgießen Ansätze, über eine dynamische Werkzeugtemperierung nachzudenken. Beispielsweise könnte das Abformen sehr dünnwandiger Strukturen mit hohen Aspektverhältnissen erleichtert werden /1//9/. Andererseits ist die Oberflächenbeschaffenheit des Spritzlings durch oberflächlich erwärmte Kavitäten gezielt zu beeinflussen. Für spezielle Werkstoffe wären erforderlichenfalls auch extrem hohe Temperaturen in der Kavität erreichbar, die bei Öltemperierungen hohen Aufwand erfordern /14/. Denkbar ist auch die Realisierung eines kontaminationsarmen Spritzgießprozesses, wenn durch induktive und elektrische Erwärmung in Verbindung mit einer Wasserkühlung Ölkreisläufe entbehrlich werden.

Für all diese Aufgaben ist natürlich prinzipiell auch eine elektrische Widerstandsheizung einsetzbar. Zu beachten sind jedoch stets auch Produktivitätsgesichtspunkte, insbesondere die Einhaltung sehr kurzer Zykluszeiten. Unter diesem Aspekt bietet auch hier die induktive Werkzeugtemperierung Vorteile. Die hohen Energieübertragungsraten ermöglichen ein sehr schnelles Aufheizen. Das nur oberflächige Erwärmen der Kavität bringt außerdem nur sehr kleine zusätzliche Wärmemengen ein. Diese kleinen Wärmemengen lassen sich dann sehr schnell wieder abführen. Die Zykluszeiten bleiben somit klein.

Bei größeren Bauteildimensionen kommen jedoch gegenüber den Anwendungen für das Mikrospritzgießen zwei Probleme hinzu:

- Einerseits schließen reale dreidimensionale Gebilde eine planare Induktorgeometrie ebenso aus wie das Erwärmen durch Einbringen des Induktors zwischen die Werkzeughälften. Der Induktor muß also dreidimensional ins Werkzeug integriert werden.

- Zum Anderen sind die erforderlichen Wärmemengen erheblich größer als bei Mikrostrukturen. Eine deutlich stärkere Aufheizung über den erforderlichen Pegel hinaus reicht hier nicht, um die während des Einspritzens auftretenden Temperaturabfälle zu kompensieren. Es wird eine Regelung auf einen vorgegebenen Temperaturverlauf erforderlich.

Integration des Induktors in das Werkzeug

Bei Einfachwerkzeugen ist aus Sicht des Einbauraumes eine Integration des Induktors in das Werkzeug durchaus möglich. Die Bilder 8 und 9 zeigen zwei Beispiele anhand von Versuchswerkzeugen.

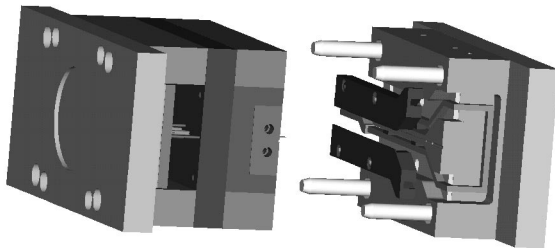


Bild 8 Zeigerwerkzeug mit integriertem Induktor

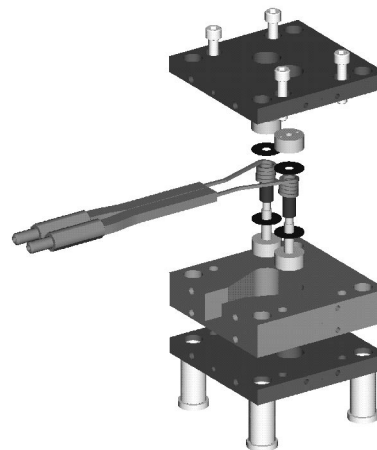
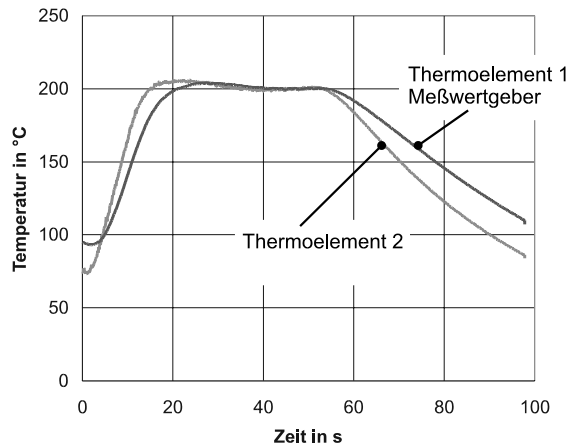


Bild 9 Röhrenwerkzeug mit integriertem Induktor

Problematisch ist jedoch nicht nur der Einbauraum, störend sind insbesondere auch die Eisenbestandteile im Werkzeug. Durch magnetisierbare Eisenteile im Umfeld verändert sich die Impedanz des Induktors erheblich. Es ist folglich eine völlig andere Abstimmung zwischen Induktor und Generator zu finden. In jedem Leiter im Wirkungsbereich des magnetischen Wechselfelds wird ein Strom induziert, was eine Erwärmung zur Folge hat. Um die Erwärmung auf die Kavität zu begrenzen, sind entsprechende Maßnahmen notwendig. Bei Mehrfachwerkzeugen entstehen zusätzliche geometrische Probleme durch die komplexe Anordnung der Formnester.

In einer untersuchten Anwendung erfolgt die Regelung des induktiven Wärmeeintrages über ein PID-Regler. Zur Istwerterfassung dient ein Thermoelement,

welches in Kavität snähe angebracht ist. Bild 10 zeigt ein Beispiel für einen geregelten Temperaturgang bis 200°C Kavitätstemp eratur. Es sind jedoch durchaus auch höhere Temperaturen erreichbar. Am IKFF werden derzeit zu den eingangs ange deuteten Anwendungsfällen konkrete Forschungsprojekte vorange trieben.



Zusammenfassung und Ausblick **Bild 10** Geregelter Temperaturverlauf bei integriertem Induktor

Die induktive Werkzeugtemperierung eignet sich als schnelles Temperierverfahren für die Massenproduktion von mikrostrukturierten Kunststoffbauteilen aber auch für Sonderanforderungen im klassischen Spritzgießen. Die Erwärmung mehrerer, vorzugsweise planarer Kavitäten ist ebenso möglich, wie die Temperierung großflächiger Kavitäten (z. B. CD-Größe) oder echter dreidimensionaler Strukturen durch Integration des Induktors in das Spritzgießwerkzeug. Die kurzen Erwärmungs- und Abkühlungszeiten erlauben eine dynamische Formtemperierung mit unterschiedlichsten Temperaturprofilen für verschiedenartigste Anwendungsfälle.

Literatur

- /1/ Tewald, A.; Laage, A.; Thissen, U.: Herstellung langer Kunststoffzeiger durch Spritzgießen. 5ème congrès chronométrie in Besancon, 18. – 19. Octobre 1994.
- /2/ Heckeke, M.; Bacher, W.; Blum, H.; Müller, L.; Ünal, N.: Heißprägen von Mikrostrukturen als Fertigungsprozess. F&M 105(1997)9, S 598-602.
- /3/ Weber, L.; Ehrfeld, W.: Mikroabformung - Verfahren, Werkzeuge, Anwendungen. Kunststoffe 88(1998)10, S 1791-1802.
- /4/ N.N.: Die Winzlinge kommen. Konstruktionspraxis Nr. 8, 1997, S 20-21.
- /5/ Tewald, A.: Mikrospritzgießen - eine Übersicht. Festschrift 30 Jahre Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, Universität Stuttgart, IKFF, April 1997, S. 35-40.
- /6/ Weck, M.; Fischer, S.: Ultrapräzisionstechnik für die Werkzeugbearbeitung. IKV-Seminare zur Kunststoffverarbeitung, Aachen 1997.

- /7/ Michaeli, W.; Rogalla, A.; Ziegmann, C.: Mikrostrukturen in Serie fertigen. Kunststoffe 89(1999)9, S 80-82.
- /8/ Delpy, U.: Einfluß variabler Formtemperatur auf die Eigenschaften von Spritzlingen aus amorphen Thermoplasten. Dissertation, Universität Stuttgart 1971.
- /9/ Tewald, A.: Entwicklung und Untersuchung eines schnellen Verfahrens zur variothermen Werkzeugtemperierung mittels induktiver Erwärmung. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 13, 1997.
- /10/ Walther, T.; Schinköthe, W.; Ehrfeld, W.; Schaumburg, C.; Weber, L.: Mikrospritzgießen mit induktiver Werkzeugtemperierung. Vortrag 16. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 10./11.3.99, Tagungsband 5.4.
- /11/ Walther, T.; Schinköthe, W.: Alternative Wege zur Werkzeugtemperierung. Postervortrag 16. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 10./11.3.99.
- /12/ Tewald, A.; Walther, T.: Simulation der Induktionserwärmung beim Kunststoffspritzguß. 15. CAD-FEM Users Meeting, Fulda 16.10.1997.
- /13/ Ehrfeld, W.; Schinköthe, W.; Weber, L.: Einfließen von Polymerschmelzen in kleine Kavitäten beim Spritzgießen mit induktiver Werkzeugtemperierung. Abschlußbericht DFG-Vorhaben Schi 457/1 und Eh 157/3, Stuttgart 1999.
- /14/ Widmer, M. S.: Faserverstärkte Hüftprothesenschäfte - Untersuchungen zu ihrer Herstellung in wirtschaftlichen Verfahren, darunter dem Spritzgußprozess. Dissertation, ETH Zürich 1995.

Danksagung und Widmung

Die Autoren widmen diesen Beitrag dem langjährigen Institutsdirektor des Institutes für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik Herrn Prof. Dipl.-Ing. Artur Jung, der seit 1995 seinen verdienten Ruhestand genießt und am 2. März 2000 seinen 70. Geburtstag feierte.

Die Autoren danken der DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG) für die Förderung der Forschungsvorhabens "Einfließen von Polymerschmelzen in kleine Kavitäten beim Spritzgießen mit induktiver Werkzeugtemperierung" und der Firma Arburg GmbH für die Bereitstellung der Spritzgießmaschine ARBURG ALLROUNDER 270 S.

Reducing Cycle Times - Alternative Mould Temperature Control for Microinjection Moulding

Wolfgang Schinköthe and Thomas Walther, Stuttgart/Germany

Translated from *Kunststoffe* 90 (2000) 5, pp. 62-68

Complete mould filling during the injection moulding of microstructures requires dynamic mould temperature control. Inductive mould temperature control offers good potential for shortening cycle times. The method may also be applied to applications involving injection moulding of precisionengineered structures.

In injection moulding, the temperatures of moulds and cavities have to be controlled. In the simplest case, temperature control should rapidly dissipate the heat introduced by the melt and ensure constant process conditions when the melt solidifies. A simple water or oil control system ensures that the moulded part solidifies rapidly and leads to short cycle times, and keeps the mould temperature constant.

A number of parts, however, require special temperature responses in the cavity. For example, melt sometimes solidifies in very small cavities before they are completely filled [1]. In other cases, the mould insert may need to be at a specific temperature at the time of injection to improve surfaces and avoid grooves, overpacking or ribbing. Some speciality processes such as injection compression moulding at very high mould temperatures require special temperature response in the cavity [2]. It is also possible to selectively modify internal stress, weld lines and the appearance of the surface. Apart from the cooling mentioned, however, such modification also requires dynamic temperature control. The most familiar solutions have primarily come from microinjection moulding.

Dynamic Mould Temperature Control

The moulding of microstructures imposes a series of special requirements on the injection moulding process. The usually low shot weights require a small plasticating unit with a position-controlled screw and an appropriately controlled injection moulding process. The cavities have a large number of structures that are referred to as blind holes. To ensure both complete mould filling and avoid the diesel effect, the cavity must therefore be evacuated prior to injection. Other specifications include narrow tolerances and stringent demands on tight, shift-free

demoulding. Usually very low viscosity melts or appropriate materials such as POM and PC are employed [3-7].

Despite these measures, the melt solidifies before moulding is complete - particularly at a high aspect ratio (ratio of high to width of a cross-section) and structure widths in the millimetre range - if the temperature of the cavity during injection is lower than the melting point of the polymer. This is where standard, constant mould temperature control (cooling) fails in conventional injection moulding. Contact between the polymer melt and the cold mould wall causes the outer layer of the polymer flow to solidify immediately, with the result that the filigree structures are incompletely moulded, if at all.

What is needed is a modified temperature response and thus Variotherm mould temperature control (Fig.1). Increasing the mould wall, temperature at the time of injection to the temperature of the polymer melt prevents the latter from increasing in viscosity on making contact with the mould wall and ensures that the cavity is completely filled. After injection, the mould insert must be cooled considerably below the polymer solidification temperature to ensure adequate rigidity for demoulding. For productivity reasons, this should occur as quickly as possible.

Variotherm Oil Process Control

In the classical Variotherm process [8], two oil circuits at different temperatures provide the requisite mould temperature (Fig. 2). The primary oil circuit keeps the standard mould base at the demoulding temperature of the polymer employed. Prior to injection, the secondary oil circuit heats the mould insert along with its microstructures, which is thermally isolated from the standard mould base, to the temperature required for the melt. When the polymer has been injected, the mould insert is coupled to the primary oil circuit and cooled again to the demoulding temperature. This arrangement results however in long cycle times of up to several minutes because of the high heat capacity of the mould insert and just moderate heat transfer by convection.

Various means of achieving shorter cycle times by other temperature control methods have been studied. At the IKV in Aachen, electric resistance heating is employed. The IKFF in Stuttgart uses inductive mould heating. The short heating times obtainable with induction heaters and the low amounts of energy introduced into the system permit the cycle time to be shortened considerably and thereby greatly increase economic efficiency.

Induction Heating in Microinjection Moulding

Induction heating is employed in various branches of engineering. Classic examples are surface layer hardening, heating units for forged pieces and induction smelting ovens. In inductive heating, the energy is transferred to the work piece in the manner of a transformer. An alternating electromagnetic field is generated by a high frequency current flowing through a coil. Eddy currents are formed near the surface of the electrically conducting material to be heated (Fig. 3). The eddy currents give rise to Joule heat in the conductor owing to the resistance.

The major components of equipment for induction heating are:

- An induction coil (inductor) shaped like the part
- Power cables and
- A high frequency generator for supplying the power.

For microinjection moulding applications, the usually planar mould insert, e.g., may be inductively heated with the mould open [9-11]. For this, the inductor must be located at a precisely defined distance in front of the mould insert. The actual induction coil consists of a hollow copper conductor. The lost heat generated in the induction coil is dissipated by a coolant, normally water, flowing through the coil. The inductor is moved by a programmable handling system or forcibly via a coupling mechanism.

Very rapid heating of the work piece and direct generation of the heat in the metal, i.e. in the surface of the mould insert, are good reasons for using inductive heating for Variotherm process control during injection moulding. Time-consuming heat transport to the cavity required by other heating methods is eliminated. The cooling time is also shortened, as much less heat is input into the mould. However, oil-cooling is still required for basic mould temperature control. Figure 4 shows a comparison with Variotherm mould temperature control effected by means of two oil circuits.

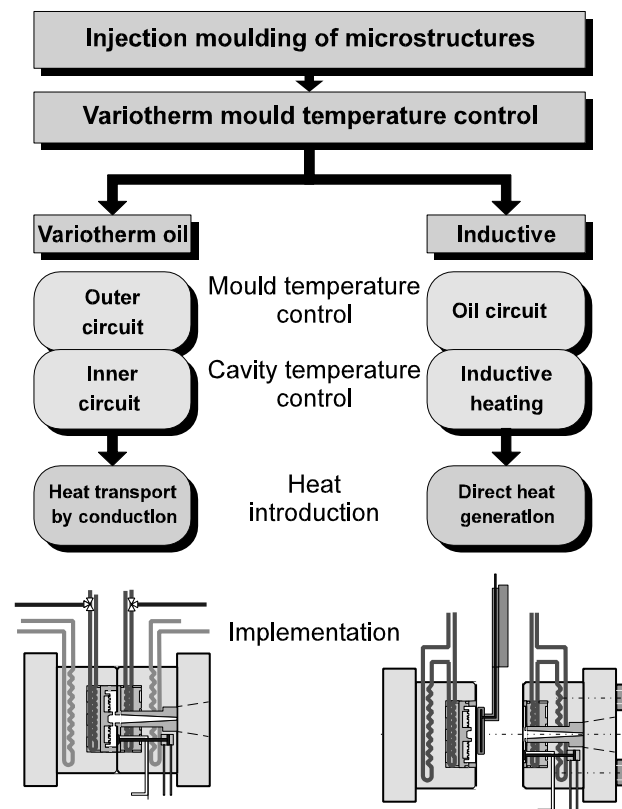


Fig. 4. Temperature control concepts

Figure 5 shows the temperatures attainable in the Variotherm oil and the inductive processes. The change in temperature is plotted against time for a heating-cooling cycle to achieve a specified mould temperature of 200°C. The heating time of five seconds for the inductive method as compared with 180 seconds for the Variotherm oil method illustrates just how rapid induction heating is. In the Variotherm oil method, injection can be performed as soon as the set temperature is reached since the mould is closed as heating is performed. In the inductive process, this temperature must be deliberately exceeded so as to compensate the heat lost as the mould closes.

The diagrams (Fig.5) show the temperatures directly on the surface of the mould and two millimetres beneath it. Whereas the curves virtually overlap in the left diagram, the right diagram shows the effect of induction heating. Heating occurs primarily in the outer layer of the mould and hence at the surface. Heat transport into the lower layers via conduction is delayed. Much less heat is also introduced.

As part of a DFG project and in collaboration with the Institute for Micro-technology in Mainz (IMM), the potential offered by inductive mould temperature control for microinjection moulding was investigated [13]. The first moulding trials were performed on the free-flowing semicrystalline compound POM. With a structure height of 50 μm , structures were moulded with wall thicknesses of up to 10 μm , equivalent to an aspect ratio of five.

Total cycle time for a moulded part with a total mass of four grams is roughly 50 seconds. Further trials will be aimed at improving the moulding accuracy and reducing the cycle time even further. Figure 6 shows a moulded test structure. The concentric circles have wall thicknesses of 20, 15, 5 and 2.5 μm . In this case, it proved possible to completely fill the cavity up to a wall thickness of 10 μm ; cavities with 5 and 2.5 μm could only be partially filled.

Figure 7 shows the whole unit. The inductor coil has been switched to the heating position in front of the cavity. The inductor coil is positioned in front of the cavity by a handling device that is usually employed to remove parts. The induction generator is actuated via freely programmable outputs from the injection moulding machine linked up to a PC that records temperatures and pressures throughout the process and sets the requisite heating time and power on the generator. A cable chain connects the energy and cooling water lines with the HF generator. After the heating phase, the handling axis moves to the starting position, the mould is closed and evacuated, and the injection process commences. A coupling mechanism for guiding the movement of the inductor could be used instead of the handling system. Although this somewhat restricts the flexibility, the cycle times are even shorter.

The machine and generator control are coupled to each other by means of the PC and appropriate measurement and control software. This ensures reproducible process conditions.

Applications in Conventional Injection Moulding

As already indicated at the beginning, there are moves afoot even in conventional injection moulding to consider the use of dynamic mould temperature control. This could, for instance, facilitate the moulding of thin-walled structures with high aspect ratios [1, 9]. The surface texture of the moulded part can also be selectively modified by cavities with heated surfaces. For special materials, extremely high cavity temperatures would be feasible that would otherwise require high outlay were oil temperature control to be used [14]. A low-contamination injection moulding process would also be feasible if oil circuits were eliminated by inductive and electric heating in conjunction with water cooling.

Electric resistance heaters could of course be used for all these tasks in theory. But productivity considerations should always be borne in mind, particularly as concerns very short cycle times. In this regard, then, inductive mould temperature control offers advantages. The high energy transfer rate makes for very rapid heating. Because only the surface of the cavity is heated, only very small amounts of extra energy are introduced. This can then be very quickly dissipated again. Cycle times therefore remain short.

Large part dimensions throw up two additional problems that are absent from microinjection moulding. First, real three-dimensional structures rule out planar inductor geometry and prevent heating by an inductor between the mould halves. The inductor therefore has to be integrated three-dimensionally into the mould. Second, much greater quantities of heat are required than is the case for microstructures. Heating much more intensely to beyond the necessary level fails to compensate the drops in temperature that occur during injection. It becomes necessary to employ preset temperature control.

Integration of the Inductor into the Mould

From the point of view of space, single-cavity moulds could easily accommodate an integrated inductor. The title picture and Fig.8 show two such experimental moulds [9]. Space is not the only problem. Iron components in the mould, in particular, also cause trouble. Magnetisable iron parts in the vicinity greatly alter the impedance of the inductor. Therefore, a totally different balance has to be

found for the inductor and generator. A current is induced in every conductor within the effective range of the alternating magnetic field, and this causes warming. Appropriate measures have to be taken to limit heating to the cavity. Multi-cavity moulds also suffer from additional geometrical problems caused by the complex arrangement of the cavities.

In one application that was studied, a PID serves to control the heat introduced inductively. A thermocouple located close to the cavity measures the actual value. Figure 9 shows an example of a controlled temperature response for cavity temperatures up to 200°C. But much higher temperatures are possible. At the IKFF, definite research projects are in progress to actively pursue the applications mentioned at the outset.

Summary and Outlook

Inductive mould temperature control makes an ideal rapid temperature control method for the mass production of microstructured plastics parts as well as for special tasks in classical injection moulding. Because the inductor is placed into the injection mould, the method permits temperature control over several, preferably planar cavities and large-area cavities alike (e.g. CD size) as well as real three-dimensional structures. The short heating and cooling phases permit dynamic mould temperature control with different temperature profiles for the most diverse applications.

Acknowledgements

The authors dedicate this paper to the former director of the institute, Professor Artur Jung, on the occasion of his 70th birthday and thank the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) for sponsoring the research project, as well as Arburg GmbH.

Fig. 1. Change in mould temperature under static and Variotherm process control
Werkzeugtemperatur = Mould temperature, Zeit = Time, stationärer Verlauf =
Static process control, zyklischer Verlauf = Cyclic process control, Entformungs-
temperatur = Demoulding temperature, Massetemperatur = Melt temperature

Fig. 2. Variotherm method with oil temperature control (graph: IMM Mainz)
Werkzeuginnenheizung = Internal mould heater, Werkzeuginnenkühlung =
Internal mould cooling, Werkzeugaußenheizung = External mould heating,
Schließseite = Moving half, Vakuumpumpe = Vacuum pump, Angussseite =
Fixed half

Fig. 3. Coil with magnetic field and core as well as change in current density in
the material
Stromdichte = Current density

Fig. 5. Change in temperature in the cavity
Öl-variothermes verfahren = Variotherm oil method, Temperatur = Temperature,
Zeit in Sekunden = Time in seconds, Induktives Verfahren = Inductive method,
Oberflächentemperatur = Surface temperature, Thermoelement 2 mm Tiefe =
Thermocouple at depth of 2 mm, Heizphase = Heating phase Temperature
changes in the cavity

Fig. 6. Moulded test structures

Fig. 7. Complete unit with inductor coil in heating position in front of the cavity,

Fig. 8. Indicator mould with integrated inductor

Fig. 9. Controlled temperature change with integrated conductor
Temperatur = Temperature, Thermoelement = Thermocouple, Messwertgeber =
Probe, Zeit = Time

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