Fraunhofer

Demonstrationszentrum
Formen für die
Kunststoffverarbeitung

FoKus – Newsletter

Ausgabe 1/2003

Inhalt

Wir stellen uns vor

Firma Otto Deuschle Modell- und Formenbau GmbH & Co.KG 1

Aktuelles im FoKus

News, Veranstaltungen und Termine 2

Bericht aus der Industrie

Rapid Tooling als Baustein schneller Produktentstehung 5

Projekte im FoKus

Lasergesinterte Spritzgießformen mit integrierten Kühlkanälen 8

Ingenieurdienstleistungen im Werkzeugbau – Sielzeug für die Großen oder Chance für die Kleinen? 10

FoKus Service

Dünnwand-Spritzgießen 13

Impressum 16

Die Institute des Demonstrationszentrums FoKus 17

Wir stellen uns vor

Firma Otto Deuschle Modell- und Formenbau GmbH & Co.KG

Tradition und Fortschritt

Seit über 65 Jahren ist die Firma Otto Deuschle Modell- und Formenbau GmbH & Co.KG auf dem internationalen Markt tätig. Die Erfolgsgeschichte begann 1938 durch den Gründer der Firma, Otto Deuschle, Modellbaumeister, der zunächst ausschließlich Gießereimodelle fertigte, anfangs in Holz, später auch in Metall. Zukunftsweisend erkannte er, dass die Gießerei für die Großserien auch Druckgusswerkzeuge benötigte, so dass er auch diese Fertigung aufnahm und noch eine eigene Aluminiumgießerei aufbaute.

Frühzeitig wurde festgestellt, dass die Fachkräfte im Modellbaugewerbe nur über eine qualifizierte Ausbildung zu gewinnen waren bzw. immer noch sind. So kann in diesem Jahr einer unserer Modellbauer auf eine 50-jährige Tätigkeit in unserem Haus zurückblicken!

Im ersten Generationenwechsel übernahm der Schwiegersohn von Herrn Deuschle, Alfred Scharrenberg, das Unternehmen im Jahr 1977 und baute es weiter aus. Da der Kunststoff neben dem Aluminium eine wegweisende Rolle in der industriellen Welt übernahm, war es folgerichtig, dass Spritzgießwerkzeuge, Presswerkzeuge, Schäumwerkzeuge und Prepreg-Werkzeuge gebaut wurden und werden. Um die Kundenwünsche zielgerichtet erfüllen zu können, wurden nicht nur durchgängige CAD/CAM-Ketten aufgebaut und installiert, sondern auch ein eigenes Technikum für die Kunststofftechnik, in dem Spritzgießwerkzeuge und Schäumwerkzeuge nicht nur bemustert werden können.

Heute zählen zu den technischen Highlights der Firma Deuschle maßgeschneiderte und individuelle Kundenlösungen, die das gesamte Spektrum des Modell- und Formenbaus und der Kunststofftechnik abdecken, d. h., der Kunde erhält über Versuchswerkzeuge bis hin zu den Serienwerkzeugen bzw. Serienteilen auch alle für ihn relevanten Hilfsmittel aus einer Hand.

Selbstverständlich sind beide Unternehmen nach DIN EN ISO 9 000 ff zertifiziert. Patente und internationale Auszeichnungen dokumentieren den Leistungsstandard der Firma.

Seit November 2002 arbeitet Herr Dipl.-Wirtsch.-Ing. (BA) Jürgen Scharrenberg im Haus, um in einigen Jahren die Firma vollverantwortlich führen und weiter ausbauen zu können, unter konsequenter Beachtung der technischen Möglichkeiten und der Manpower, die durch permanente Aus- und Weiterbildung im Haus gefördert wird.

Zeitgleich übernahm er auch die Mitgliedschaft im Beraterkreis des Fraunhofer-Demonstrationszentrums »FoKus«, dem die Firma Otto Deuschle seit der Gründung angehört.

Ihr Ansprechpartner

Otto Deuschle
Modell- und Formenbau GmbH & Co.KG
Antoniusstrasse 18 - 20
73249 Wernau
Telefon 07 15 3/3 00 0-0
Fax 07 15 3/3 00 0-90
zentrale@deuschleform.de
www.deuschleform.de

Nachmessebericht Fakuma 2002

Die 15. Internationale Fachmesse für Kunststoffverarbeitung Fakuma 2002 fand vom 15. Oktober bis 19. Oktober 2002 auf dem neuen Messegelände Friedrichshafen mit seiner verbesserten Infrastruktur für die Aussteller statt. Mit Friedrichshafen hat die Messe seit den Anfängen im Jahr 1981 einen idealen Standort im Dreiländereck Schweiz, Österreich, Deutschland. Die Fakuma hat auch in wirtschaftlich angespannten Zeiten ihren Ruf als Präsentationsplattform Nr. 1 der kunststoffver- und -bearbeitenden Industrie behauptet. Insgesamt nahmen 1 105 Unternehmen und 153 zusätzlich vertretene Firmen aus 23 Ländern die Gelegenheit wahr, ihre Produkte aus den Bereichen Spritzgießen, Kältetechnik, Roh- und Hilfsstoffe sowie Peripherie u.v.m. vorzustellen. 36 431 Besucher informierten sich über die Neuheiten und Verfahrenstechniken der Aussteller.

Mit integrierten, industrieorientierten Lösungen für die Produktion von morgen präsentierte sich das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT zusammen mit dem Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde der Universität Stuttgart IKP auf der Fakuma. Die Standfläche des Fraunhofer ICT betrug ca. 50 m².
Auf diesem Stand wurde auch das Fraunhofer-Demonstrationszentrum »FoKus« präsentiert. Es wurden erste Demonstratoren an Werkzeugeinsätzen und Bauteilen gezeigt, welche aus der Bündelung der Werkzeug- und Formenbau-Kompetenzen der insgesamt acht Institute entstanden sind. Neben der Verfahrenskombination »Innenhochdruckumformen und Spritzgießen« wurden Beispiele zu integrativer Werkzeugtechnik, Oberflächenbehandlung und -strukturierung, Rapid Tooling (Lasersintern) und zur Werkzeugreparatur mittels Controlled Metal Build Up (CMB) gezeigt.

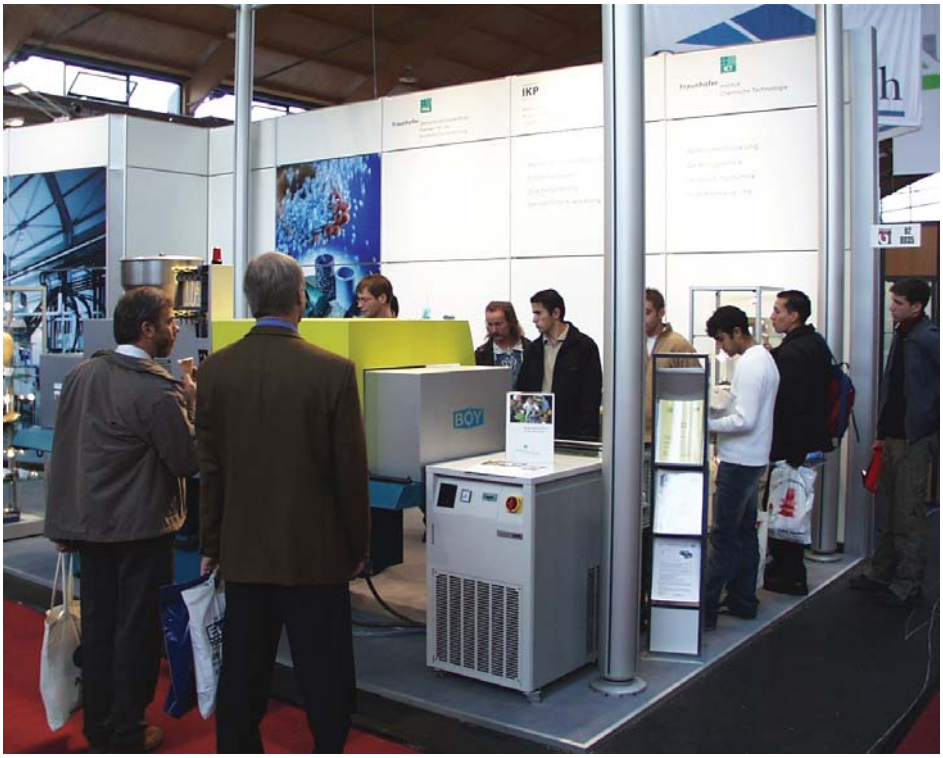


Bild 1: »FoKus«-Stand auf der Fakuma

Im Mittelpunkt stand auf dem Messestand die Fertigung von Spielzeugfiguren aus einem alternativen, PVC-freien, Weich-Kunststoff. Die Eignung der Werkstoffalternativen wurde im Rahmen eines vom Land Baden-Würtemberg geförderten Projekts ermittelt und stellte sich wegen der Anforderungen der Spielzeugindustrie als schwierig heraus. Aufgrund der besonderen Formen von Spielzeugfiguren, Bällen, Puppen, Beißringen und Aufblasfiguren kamen neben dem Spritzgießen sehr unterschiedliche, hochspezialisierte Verarbeitungsverfahren zum Einsatz. Diese Verfahren mussten teilweise für die alternativen Materialien modifiziert werden. Mit der Herstellung einer verkleinerten Büste unseres Namensgebers Joseph von Fraunhofer auf einem BOY-Spritzgieß-Automaten wurde online auf dem Messestand der Projektfortschritt demonstriert. Die Giveaways entwikkelten sich zum Publikumsmagneten.

Ein weiterer Schwerpunkt am Messestand bildeten die Kompetenzen des Fraunhofer ICT auf dem Gebiet der Direktformgebungs- und In-line-Compoundierungs-Verfahren von thermoplastischen Faserverbundwerkstoffen, der Entwicklung der innovativen Werkstoffe und deren Kreislaufführung. Zu diesem Thema zeigten die Wissenschaftler fertig entwickelte Bauteile wie eine preisgekrönte recyclebare Beifahrer-Fußstütze für den Kleinstwagen SMART oder Studien von Frontend- und Unterbodenstrukturen. Die Bauteile genügen höchsten mechanischen Ansprüchen und erlauben darüber hinaus noch die Verwendung von Rezyklat und Produktionsabfällen. Weitere Themen am Fraunhofer-Stand waren mikrozellulare Schaumstoffe und EPP-Schaumstoff-Verbundteile.

Die Mehrheit der Besucher kam aus mittelständischen kunststoffverarbeitenden Betrieben. Bei den Kontakten

Bild 2: Abmusterung der »Giveaways« auf dem Stand

handelte es sich überwiegend um Entscheidungsträger folgender Branchen: Automobil/Zulieferer, Maschinenhersteller, Verarbeiter, Forschungsinstitute und allgemeiner Maschinenbau. Aus den auf der Fakuma gewonnenen Neu-Kontakten entwickelten sich diverse Projektideen. So ist die Präsenz auf der Fakuma neben dem Branchenscreening und der Kontaktpflege auch hinsichtlich der Werbungs- und Akquisitionserfolge als positiv zu bewerten.

Ihr Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Günter Helferich
Telefon 07 21/46 40-4 21
heg@ict.fhg.de

Termine

– 17. bis 20. Juli 2003
Projektingenieur VDI
Modul 2 Lehrgang
Bernried
www.vdi.de

– 16. Juli 2003
Product Life Cycle Management
WZLforum GmbH
Aachen
www.WZLforum.rwth-aachen.de
Info@WZLforum.rwth-aachen.de

– 4. bis 18. Juli 2003
Fast Ramp-up – Ungenutzte Potentiale beim Serienanlauf
WZLforum GmbH
Aachen
www.WZLforum.rwth-aachen.de
Info@WZLforum.rwth-aachen.de

– 9. bis 12. September 2003
Kurs für Führungskräfte im Werkzeug- und Formenbau
Aachen Global Academy,
WZLforum GmbH
Aachen
www.WZLforum.rwth-aachen.de
Info@WZLforum.rwth-aachen.de

4.-7. Dezember 2002
Euromold 2002

Mit 53 000 Besuchern aus 63 Ländern wies die Euromold wieder eine hohe Vielfalt und Qualität an Fachbesuchern auf. Es wurden konkrete Lösungsvorschläge gesucht und entgegen schlechter Konjunkturprognosen herrschte eine positive Stimmung.

In der Summe ergaben sich im Verlauf der vier Messetage mehr als 220 Kontakte mit Fachleuten aus mittleren und höheren Managementebenen. Die vorgestellten Themen stießen auf so großes Interesse, dass bereits in der ersten Woche nach der Messe konkrete Angebote verschickt werden konnten.

Die Präsentation des Fraunhofer-Demonstrationszentums »FoKus« auf der Euromold, der größten Messe im Bereich Werkzeug- und Formenbau, erfolgte auf dem großen Stand der Fraunhofer-Allianz RP.

Schwerpunkt neben den Exponaten in den beiden Vitrinen von Fraunhofer ICT und IPT war eine Leihgabe der Firma HUF Tools GmbH in Velbert, an der in funktionsfähigem Aufbau die dort entwickelte Transpondertechnologie präsentiert wurde. Das Spritzgusswerkzeug war mit einem kleinen Transponder-Chip ausgerüstet, der sich drahtlos lesen und beschreiben lässt und damit die einfache Speicherung von wichtigen Daten direkt am Werkzeug ermöglicht.

Unter dem Leitthema »Orientierung für den Werkzeugbau - Formenbau und Technologien für die Mikrotechnik« wurde die Kompetenz in den Schwerpunktthemen Strategie & Organisation, Anlagen & Systemtechnik sowie Verfahren & Technologie auf dem Stand des »*aachener werkzeug- und formenbau*« (awf) präsentiert. Dieses Jahr standen insbesondere Technologien zur Mikrobearbeitung im Vordergrund, wobei u. a. Errungenschaften beim Mikrofräsen, der großflächigen Mikrostrukturierung durch Ultrapräzisionshobeln und bei der Mikrofunkenerosion vorgestellt wurden.

Ihr Ansprechpartner

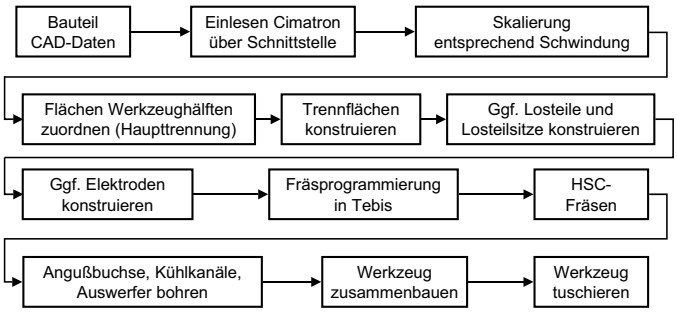
Dipl.-Ing. Carsten Freyer
Telefon 02 41/89 04-1 24
c.freyer@ipt.fraunhofer.de

Bild 1: Stand des Demonstrationszentrums »FoKus« auf der Euromold

Rapid Tooling als Baustein schneller Produktentstehung

Die Thematik der kürzeren Produktlebenszeit und der größeren Produktvielfalt ist allgemein bekannt. Betrachtet man die Automobilbranche, so ist die große Anzahl an Derivaten, Nischenfahrzeugen und Kleinserien beeindruckend, ja manchmal schon erstaunlich. Dies konnte und kann nur durch die Verkürzung der Entwicklungszeiten und die Steigerung der Effektivität und neue bzw. optimierte Entwicklungs- und Produktionsmethoden erfolgen.

Eine auch nur um Wochen verspätete Markteinführung wird heute katastrophale Auswirkungen auf den Erfolg eines Produkts haben. Es ist daher besonders wichtig, die Entwicklung so früh wie möglich abzusichern. Gleichzeitig stehen alle Unternehmen verstärkt unter einem hohen Kostendruck. Eine Möglichkeit, den eigentlichen Konflikt zwischen Schnelligkeit und Kosten zu lösen, ist der Einsatz von Rapid Tooling.



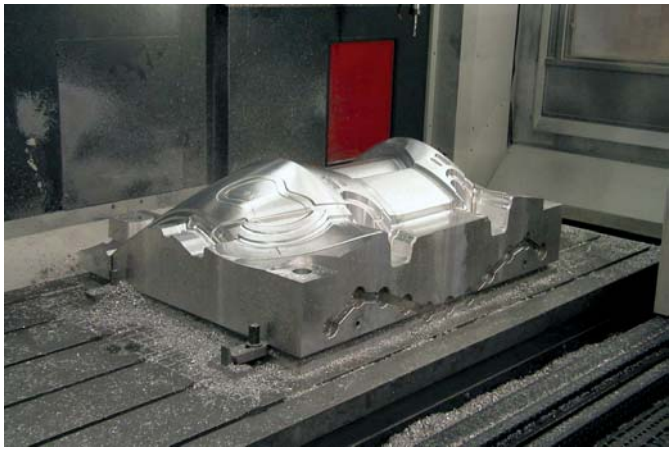


Bild 2: HSC-gefrästes Aluminium-Prototyp-Werkzeug: Prozesskette (oben) und Werkzeughälfte für das Frontmodul links und rechts des Crossblade aus PUR-RRIM (unten)

Bild 1: Limitierte Kleinserie Crossblade aus dem Hause Smart

Ein aktuelles Beispiel aus dem Bereich »Kleinserie und schnelle Produktentwicklung« ist der Smart Crossblade, Bild 1.

Einsatz von Gießharzwerkzeugen

HSC-Fräsen in Verbindung mit Aluminium als Formwerkstoff ergibt besonders hohe Zerspanraten und ist natürlich nicht nur für die Fertigung von Prototypwerkzeugen etabliert. Durch die HSC-Bearbeitung können heute Werkzeugbereiche gefräst werden, die noch vor wenigen Jahren nur mittels Erodiertechnik gefertigt werden konnten. Für die Kleinserie Crossblade wurden über 20 Spritzgießwerkzeuge teilweise mit Erodier- bzw. geätzter Narbungsstruktur hergestellt. Ausbringungsmengen von mehreren 1 000 Teilen sind aus solchen Werkzeugen möglich.

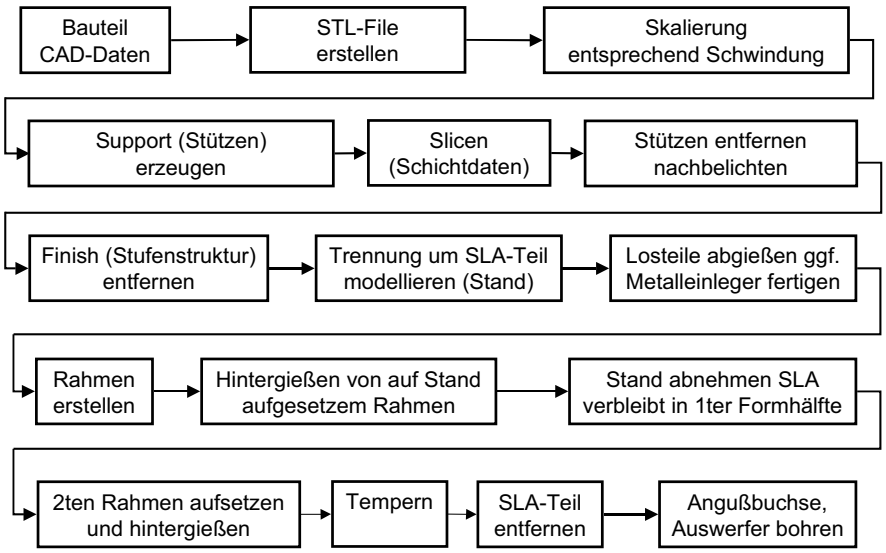


Bild 3: Prozesskette Gießharzwerkzeug

Gießharzwerkzeuge sind zur Herstellung von Kleinserien von mehreren 1 000 Stück aus glasfaserverstärketem Polyurethan (PUR-RRIM) seit langem bekannt. Ein Grund, Gießharzwerkzeuge auch zur Herstellung von thermoplastischen Bauteilen im Spritzgießprozeß einzusetzen, ist die Stereolithographie. Mit der Stereolithographie lassen sich Urmodelle (SLA-Teile) bis zu einer gewissen Größe kostengünstig herstellen. Bei großen Bauteilen ist es jedoch oft nicht sinnvoll, das Urmodell aus SLA-Teilen zusammenzusetzen. Hier wird das Modell bzw. das Modell mit ankonstruierten Trennflächen dann aus Modellwerkstoffen wie Ureol gefräst. Gießharzwerkzeuge werden also zur Herstellung von PUR-RRIM-Teilen, Tiefziehteilen und Spritzgußteilen eingesetzt. Beim Spritzgießen sind die Temperaturen und Drücke am höchsten, so daß hier die geringsten Standzeiten im Bereich von einigen 100 Teilen erreicht werden. Für die Herstellung von Prototypteilen reicht dies meist problemlos. Nachdem ein reines Showcar in Genf 2001 ein riesiges Interesse bei Publikum und Journalisten fand, vergingen zwischen dem Serienbeschluß und dem Start der Produktion gerade einmal sechs Monate.

Neben dem intensiven Einsatzwillen und der engen und guten Zusammenarbeit aller Beteiligten, hatten moderne, schnelle Prototyp- und Werkzeugtechniken entscheidenden Anteil an dieser kurzen Produktentstehungszeit.

Was wird unter Rapid Tooling verstanden?

Hinter dem Begriff Rapid Tooling verstecken sich weltweit verschiedenste Verfahren und der Begriff wird unterschiedlich eingesetzt. Für uns bedeutet Rapid Tooling die schnelle Herstellung von Prototypwerkzeugen mittels Hochgeschwindigkeitsfräsen HSC (High Speed Cutting) und die Herstellung von Gießharzwerkzeugen. In Bild 2 und 3 sind die beiden Prozeßketten zur Herstellung von Werkzeugen z.B. Prototyp-Spritzgießwerkzeugen schematisch dargestellt. Auf automatische Schieber wird meist verzichtet und Hinterschnitte werden mit Losteilen manuell entformt.

Frontloading

Methoden einzusetzen, um Änderungsbedarf möglichst früh zu erkennen und so den Reifegrad zu erhöhen, nennt

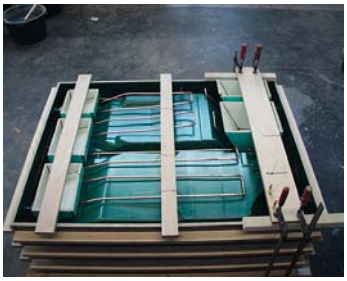


Bild 4a-c: Beispiel Bodenwanne Crossblade

man Frontloading. Rapid Tooling für Prototypteile gehört sicher mit dazu. Auch Konstruktionen, die mit Rapid Tooling realisiert werden wollen, sollten bereits mit einem akzeptablen Reifegrad aufwarten.

Rapid Prototyping, wie zum Beispiel Selektives Lasersintern, gibt dazu dem Entwickler die Chance, »Form, Fit and Function« über Nacht zu überprüfen und mit Kollegen, Lieferanten und Kunden zu erörtern.

Bild 5 zeigt einen lasergesinterten Cupholder und eine Abdeckung für die Mittelkonsole sowie die spritzgegossenen Kleinserienpendants für den Smart Crossblade.

Mittels Lasersintern lassen sich auch Modelle im Maßstab 1:4 bzw. 1:5 herstellen, an denen z. B. die Montagereihenfolge festgelegt oder geprüft werden kann.

Ihr Ansprechpartner

Dr.-Ing. Hans-Christian Ludwig
Bertrandt Technikum GmbH
Birkensee 1
71139 Ehningen
Telefon 0 70 34/65 6-81 46
Fax 0 70 34/65 6-80 58
hans-christian.ludwig@de.bertrand
www.bertrandt.com

Bild 5: Cupholder und Ablage Mittelkonsole Crossblade; oben Lasersinterteile, unten genarbte Spritzgußteile

Lasergesinterte Spritzgießformen mit integrierten Kühlkanälen

Die Vorteile des Selektiven Lasersinterns (SLS) bzw. des Selektiven Laserschmelzens (SLM) sind fast allen Spritzgieß-Werkzeugbauern bekannt. Sie bestehen darin, komplexe Formen in einem Arbeitsgang ohne aufwendige Programmierung direkt zu fertigen. Wenngleich auch verfahrenstechnische Verbesserungen wünschenswert sind. Im Vergleich zum konventionellen Fräsen und Erodieren ist das technische und wirtschaftliche Potenzial des Lasersinterns bemerkenswert.

Ein bisher noch wenig diskutiertes Potenzial des schichtweisen Aufbaus bietet das so genannte »Conformal Cooling«. Hierunter versteht man die konturangepasste Gestaltung und Integration von Temperierkanälen in die Spritzgießform, durch die sich gleich zwei technische Vorteile ergeben: zum einen kann das Kanalsystem so ausgelegt werden, dass dem Formnest die Wärme gleichmäßig entzogen wird. Heiße Stellen und ungleichmäßige Formteilabkühlung, die zum Verzug des Bauteils führen, werden vermieden. Zum anderen besteht die Möglichkeit, die Wäme des Spritzteils schneller über die Formwand abzuführen, so dass der Spritzgieß-Zyklus durch Verkürzung der Kühlzeit reduziert werden kann. Die hierdurch erzielbaren zeitlichen Einsparungen in der Spritzgieß-Produktion sind enorm: Bei einem Bauteil, das in der Stückzahl 1 Million produziert wird und bei dem die Produktion im 24-Stunden-Betrieb erfolgt, können zwei Wochen Maschinenzeit eingespart werden, wenn die Zykluszeit um nur eine Sekunde verringert wird.

Im Rahmen des Fraunhofer-Demonstrationszentrums »FoKus« wurde vom Fraunhofer IPT jüngst eine Studie zu dieser Thematik durchgeführt. Dabei wurde zunächst die technische Machbarkeit von Kanalstrukturen mittels Lasersintern studiert. Es ergab sich, dass der Abstand der Temperierkanäle von der Formwand mindestens 3 mm betragen muss, wenn undichte Stellen vermieden werden sollen. Bei einem Anstand von 1,5 mm haben sich leichte Leckagen gezeigt. Nach der Ermittlung der geeigneten Lasersinter-Prozessparameter erfolgte der Bau von Testgeometrien zum Zweck thermischer Untersuchungen, siehe Bild 1. Dabei handelt es sich um eine Platte mit einer integrierten S-förmigen Kanalstruktur. Die Geometrie wurde in vier verschiedenen Varianten gebaut, wobei jeweils der Abstand des Kanals zur Formwand (1,5 mm, 3 mm, 6 mm und 9 mm) geändert wurde.

Um die unterschiedliche Temperaturfelder, welche sich bei den jeweiligen Formen einstellen sichbar zu machen, wurde folgender Versuch durchgeführt: Der Formeinsatz wurde von der Rückseite mit einer Widerstandsheizung gleichmäßig auf 120 °C aufgeheizt. Anschließend wurde der Kühlkreislauf eingeschaltet und die Veränderung des Temperaturfeldes mit einer Thermokamera erfasst, siehe Bild 2. Der Einfluss des Kühlkanalabstandes ist stark ausgeprägt. Liegen die Kanalstrukturen 1,5 mm von der Formwand entfernt, so sinkt die Temperatur bereits nach ca. 45 Sekunden unter 30 °C. Beträgt der Kanalabstand 9 mm, so wird hierfür eine Kühldauer von ca. 200 Sekunden benötigt.

Dafür ist die Temperaturverteilung bei der 9-mm-Form gleichmäßiger. Um eine gleichmäßige Abkühlung bei der 1,5 mm Form zu erzielen, wäre eine engere Positionierung der Kanalpositionen zueinander erforderlich. Durch diese neuartige Konstruktionsweise ist dann die Herstellung sehr leistungsstarker Formen möglich, mit denen sich Spritzgieß-Zykluszeiten erheblich reduzieren lassen.

Während sich das »Conformal Cooling« als technisch machbar erwiesen hat, stellen sich im nächsten Schritt technologische Fragen, die die Wechselwirkung zwischen Spritzgießform und Formmasse betreffen.

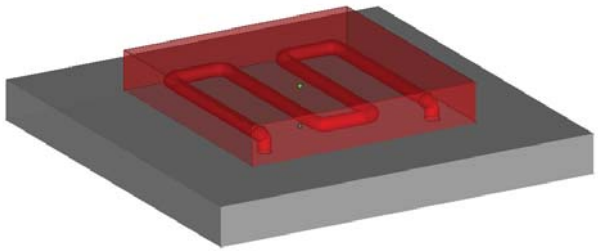


Bild 1: CAD-Ansicht der SLS-Testgeometrie mit integriertem Kühlkanal

Perspektiven

Insgesamt bietet das Lasersintern bzw. Laserschmelzen in Verbindung mit der »Conformal Cooling«-Technik große technische Optimierungsmöglichkeiten und wirtschaftliche Einsparpotenziale. Auch aus diesem Grund erfahren die zur Zeit kommerzialisierten Lasersinter-Verfahren wachsenden Absatz im Werkzeugbau. Seit Beginn der Vermarktung Mitte der 90-Jahre wurde die Prozessqualität stetig verbessert. Anfänglich ließ die Festigkeit der lasergesinterten Werkstoffe noch Wünsche offen, heute ist der Formenbau in konventionellen Werkzeugstählen Stand der Technik. Durch stetige Verbesserung der Genauigkeit und der Oberflächenqualität wird der Aufwand für eventuelle erforderliche Nacharbeit reduziert. Experten rechnen für die nächsten Jahre mit einem Marktwachstum von 10 Prozent bis 30 Prozent.

Weitere Informationen unter

www.eos-gmbh.de
www.mcp-group.co.uk/rpt/rpttslm_de.html
www.concept-laser.de
www.innova.de

Ihr Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Christoph Ader
Telefon 02 41/89 04-4 03
c.ader@ipt.fraunhofer.de

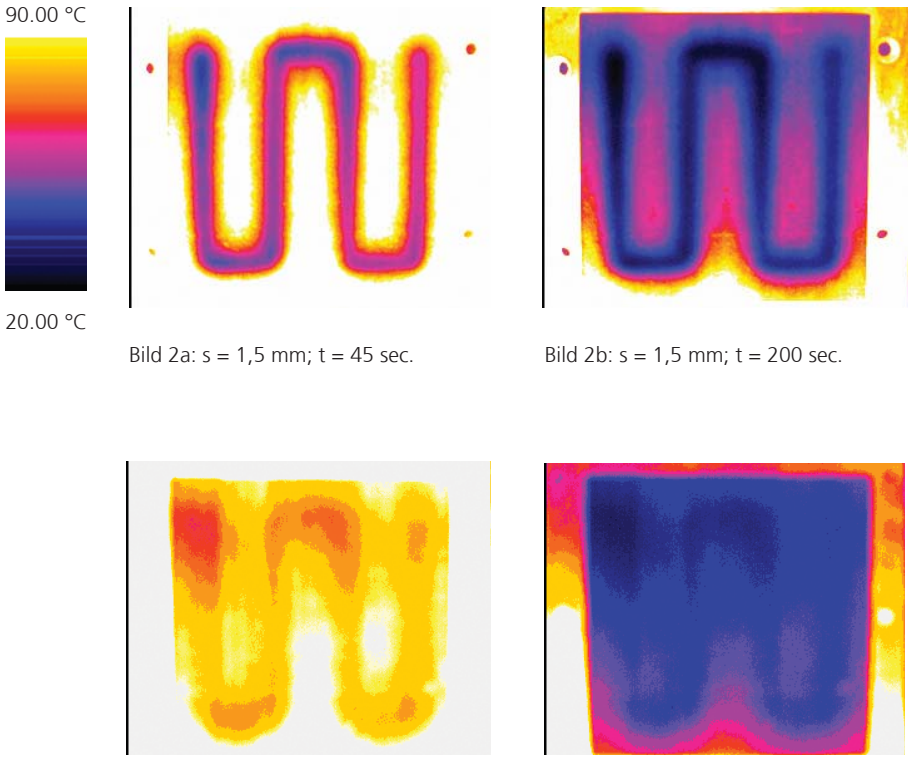


Bild 2a: s = 1,5 mm; t = 45 sec.

Bild 2b: s = 1,5 mm; t = 200 sec.

Bild 2c: s = 9 mm; t = 45 sec.

Bild 2d: s = 9 mm; t = 200 sec.

Bild 2a-d: Thermographische Aufnahmen der durchströmten Versuchsgeometrie nach einer Kühldauer von 45 sec. und 200 sec. (s = Abstand des Kühlkanals von der Formwand)

Ingenieurdienstleistungen im Werkzeugbau – Spielzeug der Großen oder Chance für die Kleinen?

Der ausgeprägte Konkurrenzkampf gerade im Bereich der Automobilzulieferer zwingt immer mehr Anbieter im Werkzeug- und Formenbau als Systemlieferant und Entwicklungspartner aufzutreten und neben den Kernkompetenzen zusätzlich Verantwortung und Know-how für die gesamte Wertschöpfungskette aufzubauen. Können große Unternehmen diese Anforderungen mit eigenen Entwicklungsabteilungen noch auffangen, so bringen gerade kleine und mittelständische Betriebe im Tagesgeschäft häufig nicht die Kapazitäten auf, das von ihnen geforderte umfassende Know-how zu entwikkeln und sind so auf Dienstleistungen Dritter angewiesen, wenn sie nicht technologisch und organisatorisch den Anschluss verlieren wollen. Neben kommerziellen Anbietern, die sich auf besondere Dienstleistungen spezialisiert haben, können gerade Forschungseinrichtungen vielfältige Hilfestellungen bei der Bewältigung von Herausforderungen und der Umsetzung von neuen Lösungen in der Praxis geben. Anhand von drei Beispielen soll im folgenden Beitrag aufgezeigt werden, wie eine solche Nutzung von externen Dienstleistungen aussehen kann und welche unterschiedlichen Möglichkeiten sich dem Werkzeug- und Formenbauer bieten, den geänderten Aufgaben zu begegnen.

Ausgangssituation der Dienstleister, Ingenieurdienstleistung - warum?

Der wachsende Kosten- und Termindruck durch den verstärkten Wettbewerb mit Konkurrenten aus sogenannten »Billiglohnländern« führt zu einer neuen Rollenverteilung im Verhältnis zwischen Anbietern und Kunden im Werkzeug- und Formenbau.

Bild 1 zeigt die Einflussgrößen, die die Situation im Werkzeugbau bestimmen. Die zunehmende Verlagerung und Abgabe von Entwicklungskompetenzen und -verantwortungen speziell in der Automobilbranche hat schwerwiegende Folgen für die Zulieferer. Besonders betroffen sind die Werkzeug- und Formenbauer in Deutschland, die mehr als 80 Prozent ihrer Werkzeuge in die Automobilindustrie verkaufen.

Der erforderliche Übergang vom reinen Komponentenspezialisten und Werkzeuglieferanten zum Systemanbieter und kompetenten Entwicklungspartner führt in einer Branche, die wie der Werkzeugbau sehr stark von mittelständischen Unternehmen geprägt und getragen wird, schnell zu technologischen und organisatorischen Engpässen bei den betroffenen Anbietern. Neben der personellen und maschinellen Kapazität wird hierbei vor allem ein breites Know-how bei der Abdeckung der erforderlichen Kompetenzen von der Produktentwicklung bis zur Serienbetreuung notwendig. Dieses Know-how aufzubauen und die erforderlichen Strukturen zur Bewältigung der gewandelten Aufgabenstellungen bereitzustellen, überfordert allzuoft die im Tagesgeschäft fest eingespannten Entwicklungskapazitäten kleinerer Unternehmen.

Eine Neuorientierung in diesem gewandelten Umfeld erfordert bei den Werkzeug- und Formenbaubetrieben eine Entscheidung über die zukünftige Ausrichtung.

Für Unternehmen, die die notwendigen Kapazitäten aufbringen, als Systemanbieter beim Kunden aufzutreten und sich nicht nur als Dienstleister auf einzelne Prozesse der Werkzeugbaukette spezialisieren zu wollen, erfordern die geänderten Randbedingungen den Aufbau von Kompetenzen und Know-how über die gesamte Entwicklungs- und Prozesskette. Hierzu notwendige Maßnahmen sind in Bild 2 beispielhaft gezeigt. Da im Tagesgeschäft oft kurzfristigere Ziele im Vordergrund stehen als eine strategische Neuorientierung, ist es vielfach hilfreich, bei der Umsetzung dieser Maßnahmen auf die Unterstützung externer Dienstleister und

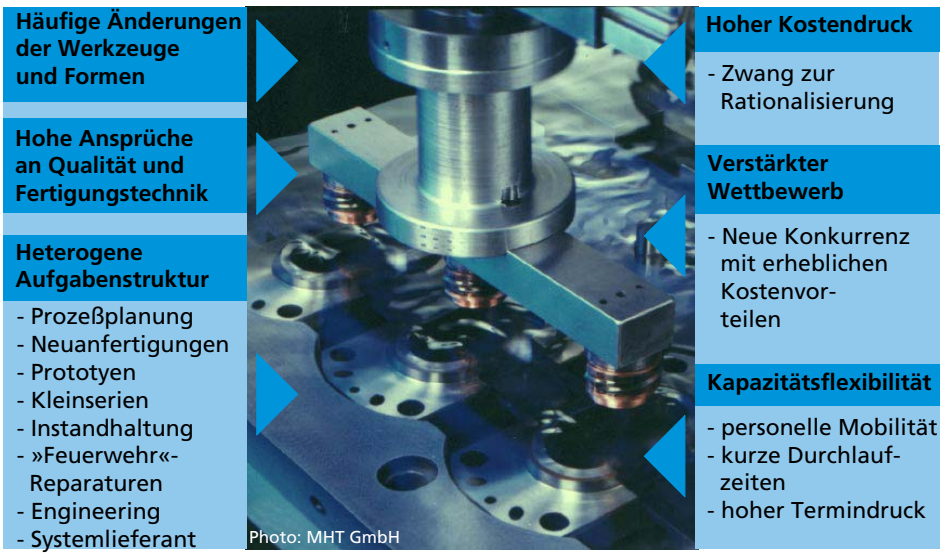


Bild1: Problemfelder im Werkzeug- und Formenbau

Berater zurückzugreifen. Welche Möglichkeiten und Formen der Zusammenarbeit hier denkbar sind, wird im folgenden anhand von drei Beispielen gezeigt.

Ausrichtung des Werkzeugbaus

Den geänderten Randbedingungen im Werkzeugbau Rechnung zu tragen, erfordert grundsätzliche Überlegungen zur Ausrichtung eines Unternehmens. Soll durch Konzentration auf Kernkompetenzen eine Spezialisierung erreicht und dort eine Technologieführerschaft angestrebt werden, oder bietet die Größe des Unternehmens die Möglichkeiten, alle Bereiche der Prozesskette abzudecken und als Systemlieferant aufzutreten? Ausgangspunkt einer solchen Neuausrichtung im Werkzeugbau ist eine Standortbestimmung mit der Definition und Bewertung eigener Stärken und Schwächen, um hieraus geeignete Maßnahmen zur Optimierung abzuleiten. Gerade bei solchen internen Bewertungen ist es sinnvoll, die Objektivität externer Berater und Dienstleister zu nutzen. Eine mögliche Hilfestellung bietet hier der *»aachener werkzeug- und formenbau«*, ein gemeinsamer Geschäftsbereich des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT und des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen. Durch Bündelung der vorhandenen Kompetenzen aus verschiedensten Bereichen der Produktionstechnik, können Unternehmen bei Fragestellungen aus der gesamten Prozesskette des Werkzeug- und Formenbaus unterstützt werden. Aufgrund langjähriger Erfahrungen aus vielfältigen Industrie- und Forschungsprojekten stehen Kenntnisse in den unterschiedlichsten Werkzeugbaubereichen zur Verfügung. Bei der Zusammenarbeit des *»aachener werkzeug- und formenbaus«* mit Industriepartnern stehen häufig Themen wie Investitions- und Rationalisierungsplanung, die Reorganisation des Werkzeugbaus sowie die Einführung neuer Technologien im Vordergrund. Die Erfahrungen aus diesen Projekten haben es möglich gemacht, ein Benchmarking-System zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Werkzeugbaubetrieben unabhängig von Werkzeugtypen zu entwickeln, das sich bereits in zahlreichen Projekten bewährt hat. Anhand von ca. 200 Kennzahlen lassen sich Stärken und Schwächen in organisatorischen Bereichen und beim Technologieeinsatz ermitteln. Der Vergleich mit anderen Unternehmen und die Orientierung am »Best In Class« ermöglichen eine Ableitung von organisatorischen und technologischen Maßnahmen, um im Wettbewerb zu bestehen. Weitere Informationen zum Thema »Benchmarking« finden sich auch im FoKus-Newsletter 1/2002.

Forschungs- und Entwicklungsleistungen

Neben der Positionierung und Organisation eines Unternehmens ist die Technologieführerschaft ein weiterer wesentlicher Faktor, den Anforderungen des Marktes zu begegnen. Ständig über den »Stand der Technik« und aktuelle Trends informiert zu sein und neueste Technologien effektiv im Betrieb umsetzen zu können, sind hierbei wesentliche Forderungen. Gerade kleinere und mittlere Unternehmen bringen hier zwar die nötige Flexibilität beim Einsatz neuer Technologien auf, oft genug aber fehlen die Kapazitäten, längerfristige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Umsetzung von neuen Ideen zu leisten. Auch hier bietet sich die Nutzung von externen Dienstleistern in Form von Ingenieurbüros oder Forschungsinstituten an.

Entkoppelt vom eigenen Tagesgeschäft können so bei konkreten Problemstellungen aus der Praxis die Kompetenzen und Kapazitäten von Spezialisten zur Lösung genutzt werden. Diese Form der Auftragsforschung bringt dem Kunden zwar oft maßgeschneiderte Lösungen, jedoch trägt er auch allein die Kosten und Risiken. Solche Nachteile werden bei Verbundprojekten mit mehreren Partnern bzw. Auftraggebern umgangen. Auf diese Weise können grundsätzliche Fragestellungen und Probleme sehr erfolgreich bearbeitet werden.

Ein Forum für solche thematisch abgestimmte, gemeinschaftlich organisierte Forschung und Entwicklung aus verschiedenen Bereichen des Werkzeug- und Formenbaus bietet die »Aachener Initiative Modell-, Werkzeug- und Formenbau« des Fraunhofer IPT. In diesem formlosen Zusammenschluss von Industrieunternehmen aus dem Werkzeug- und Formenbau werden gemeinsame Forschungsthemen formuliert und bearbeitet, bei denen Kosten- und Zeitaspekte ebenso im Vordergrund stehen wie die Umsetzbarkeit in der Praxis. Basierend auf gemeinsamen Aufgaben- und Problemstellungen der Unternehmen werden konkrete Forschungs- und Entwicklungsvorhaben aus den Bereichen Technologieeinsatz, Organisation und strategischer Ausrichtung formuliert. Schwerpunkte waren in den vergangenen Jahren u.a. die Rapid Technologien, die Laseroberflächenbehandlung von Werkzeugen, die Verfahrensabgrenzung Fräsen-Erodieren sowie die HSC-Fräsbearbeitung von gehärteten Stählen und Graphit für die Funkenerosion. Die aktuellen Projekte sind:

– Optische Messtechnik – eine Alternative im Werkzeug- und Formenbau

– Einsatzverhalten neuartiger Fräserbeschichtungen und -typen

– Mikrofräsen im Werkzeugbau

– Zukunft im Werkzeugbau – neue Geschäftsmodelle unterstützt von intelligenten Werkzeugen

Neben der Finanzierung und Organisation von gemeinsamen Forschungsaktivitäten sind der Erfahrungsaustausch zwischen den Unternehmen und der Transfer von innovativen Technologien in die industrielle Anwendung Hauptziele der »Aachener Initiative«.

Dienstleistung aus einer Hand

Gerade für kleine und mittelständische Unternehmen ist es hilfreich, einen Ansprechpartner für Fragestellungen und Beratungen aus allen Feldern der Wertschöpfungskette im Werkzeugbau zu finden. Speziell auf die Bedürfnisse der Formenbauunternehmen aus dem Bereich der Kunststoffverarbeitung abgestimmt, bietet das Fraunhofer Demonstrationszentrum »Formen für die Kunststoffverarbeitung - FoKus« Beratungs- und Forschungsdienstleistungen aus dem ganzen Spektrum der Kunststoffverarbeitung an. Durch die Bündelung der Fachkompetenzen des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie ICT, Pfinztal, und des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT, Aachen, kann die gesamte Prozesskette von der Entwicklung und Werkstoffauswahl über die Werkzeugfertigung und das Spritzgießen bis zur Instandhaltung abgedeckt werden. Durch die Zusammenarbeit mit anderen Fraunhofer-Instituten sowie Forschungs- und Dienstleistungseinrichtungen besteht eine zentrale Anlaufstelle für alle Fragestellungen auf dem Gebiet der Kunststoffverarbeitung.

Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt hierbei auf der schnellen Umsetzbarkeit in die Praxis. Durch diese Ausrichtung soll der Transfer der im Demozentrum erarbeiteten Ergebnisse in die industrielle Anwendung gerade für kleine und mittelständische Unternehmen sichergestellt werden.

Fazit

Wie hier anhand von drei Beispielen gezeigt wurde, bietet die Unterstützung durch externe Dienstleister besonders kleinen und mittelständischen Werkzeug- und Formenbauern verschiedenste Möglichkeiten zur der Bewältigung der Aufgaben, die mit dem Wandel in der Werkzeug- und Formenbau-Branche einhergehen. Ausgehend von der Vergabe von Unteraufträgen an Spezialisten über Forschungs- und Entwicklungsarbeiten bis hin zu Strukturierungs- und Planungsfragen bieten sich den Unternehmen, die sich den Herausforderungen des Wandels stellen, so eine Vielzahl von Möglichkeiten auch bei eingeschränkten eigenen Kapazitäten im Wettbewerb zu bestehen.

Ihr Ansprechparner

Dipl.-ing. Axel Bilsing
Telefon 02 41/89 04-2 79
a.bilsing@ipt.fraunhofer.de

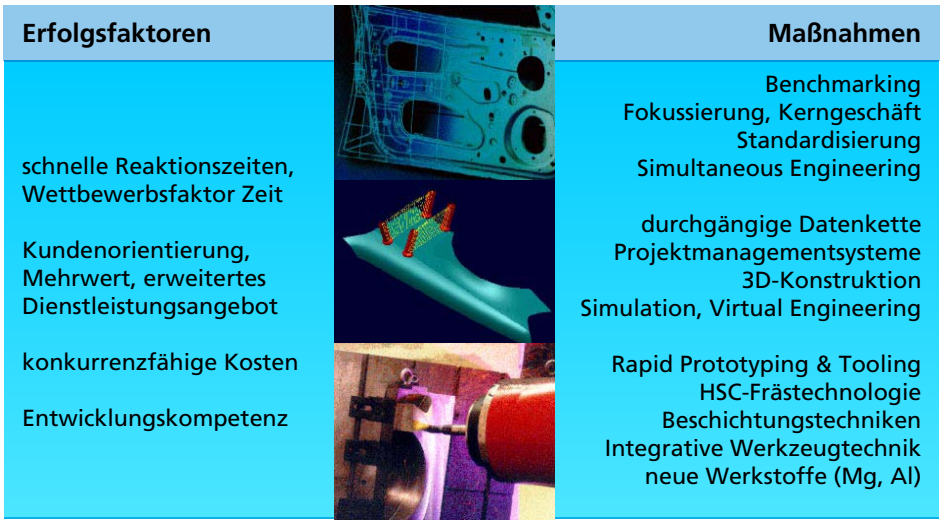


Bild 2: Herausforderungen für den deutschen Werkzeugbau

Dünnwand-Spritzgießen

Eine der großen Herausforderungen der kunststoffverarbeitenden Industrie stellt heute die Herstellung von Bauteilen mit geringen Wanddicken dar. Dünnwandige Anwendungen sind vorwiegend im Verpackungs- und Gehäusebereich, aber auch bei technischen Artikeln zu finden. Die Motivation für eine Reduktion der Wanddicken hat unterschiedliche Ursachen. Im Verpackungsbereich ist der Hauptgrund die Möglichkeit, Kosten einzusparen: Zum einen hat das Material einen hohen Anteil an den Herstellungskosten und zum anderen wird eine dem Gewicht proportionale Abfallentsorgungsgebühr fällig. Ferner verringert sich die Kühlzeit deutlich, da diese proportional zum Quadrat der Wandstärke ist. Bei technischen Artikeln, wie beispielsweise bei Mobiltelefonen und Laptops, steht weniger die Kosteneinsparung im Vordergrund als vielmehr die Gewichtsreduktion und die fortschreitende Miniaturisierung. Durch die Reduktion der Wanddicke ist eine Reduktion der Baugröße möglich bzw. kann der Platz für eine leistungsfähigere Elektronik genutzt werden.

Was bedeutet Dünnwandtechnik ?

Generell lassen sich dünnwandige Bauteile über das Verhältnis von Fließweg zu Wanddicke und die mittlere Wanddicke charakterisieren. Ab einem Fließweg/Wanddicken-Verhältnis >100 und einer Wanddicke <1 mm lassen sich die Bauteile als dünnwandig bezeichnen.
Die Herstellung von dünnwandigen Formteilen ist nicht neu. Becher aus PS oder PP mit Wanddicken von 0,5 bis 0,6 mm wurden bereits vor über zwanzig Jahren spritzgegossen. Man verwendete dazu sehr leicht fließende Materialien und Einspritzgeschwindigkeiten von etwa 300 mm/s. Im Unterschied zur Becherfertigung kommen beim heutigen Dünnwand-Spritzgießen allerdings nicht leicht fließendes PS und PP, sondern in erster Linie ABS, ABS-PC-Blends, PC und LCP (flüssigkristalline Polymere) zum Einsatz. Mit Ausnahme von LCP haben diese Materialien eine wesentlich höhere Viskosität als die »Bechertypen«. Dennoch erreicht man ebenfalls Wanddicken von 0,6 mm und sogar noch darunter, allerdings nur unter bestimmten Voraussetzungen hinsichtlich der Gestalt (flächig verrippt), des Werkstoffs (niedrigviskos, thermisch stabil), des Prozesses (thermisch homogen, hohe Einspritzgeschwindigkeit) und des Werkzeugs (Steifigkeit, Angusstechnik, Kühlsystem). Der Füllvorgang beim Einspritzen ist auch beim Dünnwandspritzgießen ausschließlich durch die physikalischen Gesetze der Rheologie bestimmt. Maßgebend ist die Verteilung von Druck, Temperatur, Viskosität und Geschwindigkeit. Daher basiert der Erfolg vorrangig auf der konsequenten Nutzung der Simulationstechnik sowie der material- und prozesstechnischen Voraussetzungen.

Werkstoffe

Nahezu alle Rohstoffhersteller bieten neben den Standardspritzgusstypen auch Formmassen an, welche z.B. aufgrund ihrer Molmasse eine sehr niedrige Viskosität aufweisen. Zu beachten ist hierbei allerdings, dass diese Spritzgusstypen neben ihren guten Fließeigenschaften auch die mechanischen Eigenschaftskriterien, wie z.B. Steifigkeit, Schlagzähigkeit, Dehnbarkeit sowie die chemischen, thermischen und elektrischen Anforderungen erfüllen. Eine Viskositätsverringerung durch das Einwirken von Mikrowellen- oder Schererwärmung wurde bereits in der Vergangenheit an verschiedenen Forschungseinrichtungen untersucht. Diese Maßnahmen führten insbesondere bei der Duroplast- und Elastomerverarbeitung zum Erfolg. Das Einbringen überkritischer Fluide bewirkt ebenfalls eine Viskositätsverringerung der Formmasse, wobei hierbei allerdings der Nachteil eines nichtkompakten Formteils mit einher geht.

Verfahrenstechnik

Die Fließwege dürfen nicht zu lang sein, und man benötigt Einspritzgeschwindigkeiten von 1000 mm/s und mehr. Da es sich um sehr dünne und folglich sehr leichte Teile handelt, sind Spritzhub und Einspritzzeit beim Dünnwand-Spritzgießen sehr klein. Typisch sind Einspritzzeiten von weniger als $t_E = 0{,}1$ s. Dabei zeigt sich, dass mit abnehmender Wanddicke der Druckbedarf überproportional ansteigt. Aufgrund des strukturviskosen Verhaltens von Kunststoffschmelzen sorgt die Anhebung der Einspritzgeschwindigkeit für einen unterproportionalen Zuwachs beim Druckverbrauch. Erschwerend und damit drucksteigernd kommt hinzu, dass die zum Durchfließen der Schmelze effektiv zur Verfügung stehende Wanddicke und der sich daraus

Bild 1: Gehäuse eines Nokia-Mobilfunkgeräts

ableitende Fließquerschnitt sich durch die rasch einfrierende Randschicht drastisch verringern. Es ist somit nicht verwunderlich, dass man bei der Herstellung von Dünnwandartikeln z.T. Einspritzdrücke von p_E = 3 000 bar benötigt, die bereits wenige Hundertstel-Sekunden nach Beginn der Einspritzbewegung erreicht werden.

Maschinentechnik

Aufgrund der oben beschriebenen Problemstellungen wurden seitens der Maschinenhersteller entsprechende Maschinenkonzepte erarbeitet. Die Herstellung von Dünnwandartikeln stellt an die gesamte Spritzgießmaschine sehr hohe und spezifische Anforderungen. Spritzgießmaschinen für diesen Bereich müssen besonders robust sei, schnelle Zykluszeiten ermöglichen, dabei hohe Einspritzleistungen aufweisen und eine optimale Teilequalität gewährleisten. Die notwendigen Maßnahmen betreffen die ganze Maschine. Angefangen bei der Plastifizierung über den Antrieb und die Schließeinheit bis hin zur mechanischen Konstruktion. Sehr gute Ergebnisse lassen sich bei der Plastifikation mit Schnecken erzielen, die besonders auf die Verarbeitung von scherempfindlichen Materialien, wie z.B. Blends auf Basis PC+ABS, ausgelegt sind. Auch die Formplatten der Schließeinheit müssen entsprechend stabil ausgeführt sein, um den zum Füllen notwendigen hohen Einspritzdrücken von bis zu p_E = 3 000 bar widerstehen zu können.

Werkzeugtechnik

Neben der fließtechnischen Auslegung des Werkzeugs inklusive einer optimierten Angusstechnik (z.B. auch Kaskadentechnik) ist aufgrund der hohen Einspritzdrücke ein besonderes Augenmerk auf die festigkeitsgemäße Auslegung des Werkzeugs zu achten. Ferner wird eine ausgefeilte Temperierung und Kühlung des Werkzeugs benötigt, weshalb insbesondere beim Dünnwand- oder Mikrostrukturspritzgießen innovative Technologien wie konturnahe Kühlkanäle, variotherme Temperierung oder Impulskühlverfahren eingesetzt werden.

Sonderverfahren

Einsatz in der Dünnwandtechnik finden heute vermehrt Verfahren wie die Mehrkomponententechnik, die Gasinnendrucktechnik und Dekorationsverfahren. Ein gutes Beispiel ist der Wunsch nach individueller Gestaltung von Mobiltelefonen. Durch Dekorationsverfahren wie dem In-Mould-Decoration oder dem Einlegen von vorgeformten bedruckten Folien wird eine vielfältige Farbgebung auch kleinerer Stückzahlen möglich. Beispielsweise wird die Gasinnendrucktechnik bei dickwandigen Bauteilen zur Gewichtsreduktion und zur Vermeidung von Einfallstellen eingesetzt; so steht bei dünnwandigen Bauteilen die Verzugsminimierung im Vordergrund. Durch die Mehrkomponententechnik lassen sich die unterschiedlichsten Funktionen realisieren. Dies beginnt bei Dichtungen, geht über Noppen zur Steigerung der Rutschfestigkeit bis hin zu Funktionselementen, die heute noch teilweise in zusätzlichen Arbeitsschritten aufwändig montiert werden.

Zusammenfassung

Die Dünnwandtechnik stellt höchste Anforderungen an Werkzeugmacher, Maschinenhersteller und Verarbeiter. Auf Seiten der Produktentwicklung wird der Trend zu dünneren Wandstärken anhalten und die Anteile der in der Mehrkomponententechnik gefertigten Bauteile werden in den nächsten Jahren erheblich zunehmen. Durch die Weiterentwicklung von Material, Maschinen- und Werkzeugtechnik werden künftig noch geringere Wanddicken realisiert werden. Das Fraunhofer ICT forscht seit Oktober 2002 im Rahmen eines vom Land Baden-Württemberg geförderten industriellen Verbundprojekts auf dem Gebiet des Spritzgießens extrem dünnwandiger Formteile für die Anwendung im medizintechnischen Bereich.

Literatur

– Hammerschmitz-Schmetz, R./et.al.: Effektive Kühlung. Kunststoffe 88 (1998) 7, S. 984-985

– Kudlik, N.: Dünnwandtechnik. Kunststoffe 89 (1999) 9, S. 92-96

– Ruprecht, R./et.al.: Spritzgießen von Mikroteilen aus Kunststoff, Metall und Keramik. Fachzeitschrift Galvanotechnik, 08/1999

– Kotzab, W.: Auf den Spritzgießzyklus abgestimmt. Plastverarbeiter 52 (2001) 2

– Pokorny, P.: Brachliegende Potenziale genutzt. Kunststoffe 91 (2001) 7, S. 51-54

– Kamps, T./Wortberg, J./Neumann, M.: Spritzgießtechnik für Schnellläufer. Kunststoffe 91 (2001) 7, S. 44-50

– Johannaber, F./Michaeli, W.: Handbuch Spritzgießen. München, Wien: Hanser 2001

– Kudlik, N.: Neue Möglichkeiten im Dünnwandspritzgießen. Kunststoffe 92 (2002) 6, S. 38-43

– Gießauf, J./Knoll, K./Föcking, H./Becker, D./Kaminski, A. J./Kohl, W.: Dünn und dekorativ obendrein. Kunststoffe 92 (2002) 5, S. 54-58

– Fa. Husky: Abgespeckt – Open House Verschluss- und Dünnwandtechnik. Plastverarbeiter 53 (2002) 8, S. 28-29

– Pokorny, P.: Wenn die Schmelze »explodiert«. Plastverarbeiter 53 (2002) 3, S. 28-30

Ihre Ansprechpartner

Dr.-Ing. Bernd Bader
Telefon 07 21/46 40-4 08
bba@ict.fhg.de

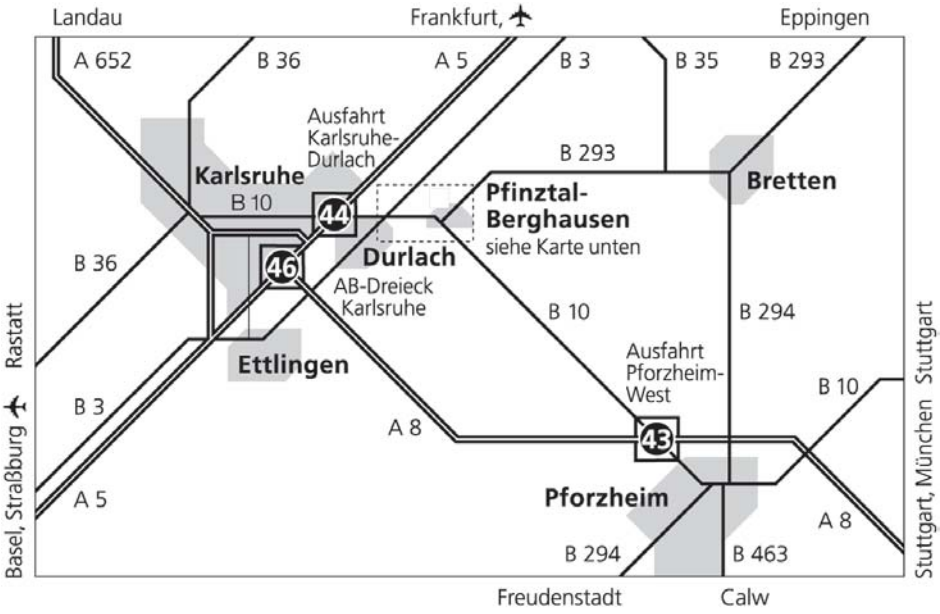
Dipl.-Ing. Marc Knoblauch-Xander
Telefon 07 21/46 40-3 57
kno@ict.fhg.de

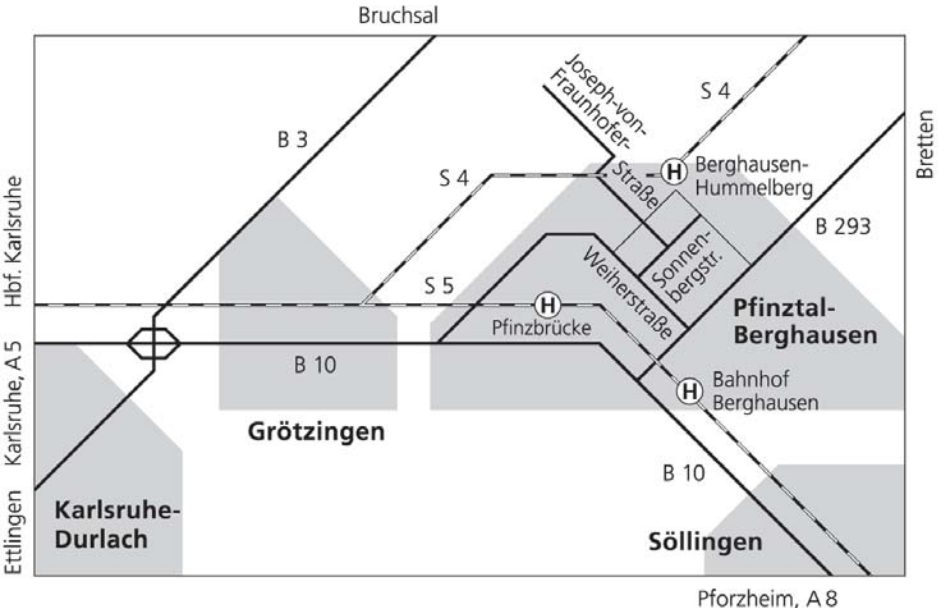
Dipl.-Ing. Günter Helferich
Telefon 07 21/46 40-4 21
heg@ict.fhg.de

Impressum

Wie Sie uns finden

Fraunhofer-Demonstrationszentrum
Formen für die
Kunststoffverarbeitung
Geschäftsstelle
Dr.-Ing. Lars Ziegler
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7
76327 Pfinztal (Berghausen)
www.dz-fokus.fraunhofer.de





Impressum

FoKus-Newsletter
Ausgabe 1/2003
Mai 2003

Herausgeber

Fraunhofer-Demonstrationszentrum
Formen für die Kunststoffverarbeitung
FoKus

Redaktionsanschrift

Fraunhofer-Institut für
Produktionstechnologie IPT
Steinbachstraße 17
52074 Aachen
Telefon 02 41/89 04-1 24
Telefax 02 41/89 04-1 98

Redaktion

Dipl.-Ing. Carsten Freyer
(verantwortlich)
Ricarda Krause

Graphik, Layout

Ricarda Krause

Photos

Fraunhofer IPT, Heidi Peters,
Fraunhofer ICT,
Firma Otto Deuschle,
Bertrandt Technikum GmbH

Druck

Rhiem Druck GmbH, Voerde

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit vollständiger Quellenangabe und nach Rücksprache mit der Redaktion. Belegexemplare werden erbeten.

Die Institute des Demonstrationszentrums FoKus

Ihre Ansprechpartner

Dr.-Ing. Bernd Bader
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
Telefon 07 21/46 40-4 08
bba@ict.fhg.de

Dipl.-Ing. Carsten Freyer
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT
Telefon 02 41/89 04-1 24
c.freyer@ipt.fraunhofer.de

Beteiligte Institute

Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP
Geiselbergerstraße 69
14476 Golm
Telefon 03 31/56 8-10

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK
Pascalstraße 8-9
10587 Berlin
Telefon 0 30/39 00 6-0

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST
Bienroder Weg 54 E
38108 Braunschweig
Telefon 05 31/21 55-0

Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC
Neunerplatz 2
97082 Würzburg
Telefon 09 31/41 00-0

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Reichenhainer Straße 88
09126 Chemnitz
Telefon 03 71/53 97-4 00

Institut für Kunststoffverarbeitung IKV
Pontstraße 49
52062 Aachen
Telefon 02 41/80-9 38 06

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT
Steinbachstraße 17
52074 Aachen
Telefon 02 41/89 04-0

Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
Joseph-von-Fraunhofer Straße 7
76327 Pfinztal (Berghausen)
Telefon 07 21/46 40-0