

Christopherus Bader

Und sie bewegt sich doch

Regelung der Schmelzefront

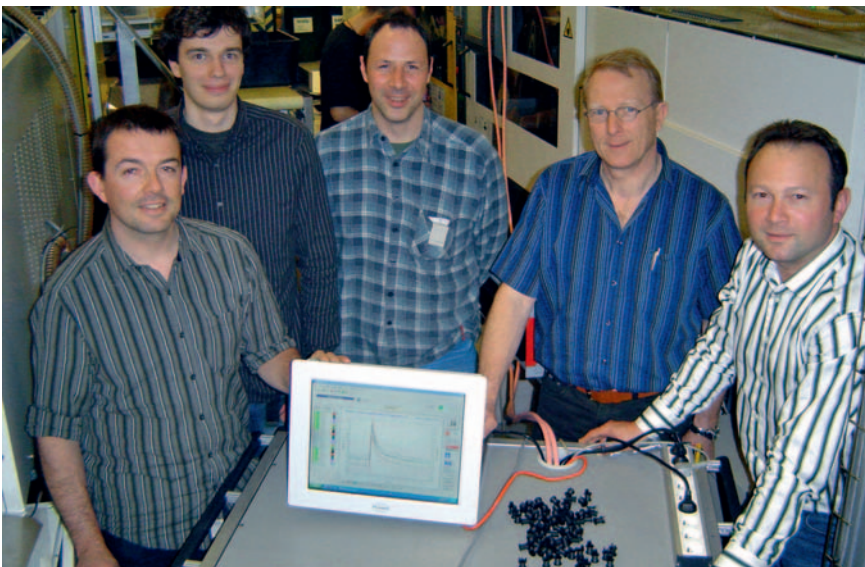


PRIAMUS SYSTEM TECHNOLOGIES AG
Bahnhofstrasse 36
CH-8201 Schaffhausen / Schweiz

Tel. +41 (0)52 632 2626
Fax +41 (0)52 632 2627
info@priamus.com
www.priamus.com

Regelung der Schmelzefront. Die Messung der Werkzeugwandtemperatur stellt eine effektive und einfache Methode dar, die Formteilqualität beim Spritzgießen zu beherrschen. Im Unterschied zur Messung des Werkzeuginnen-drucks ist die exakte Position der Schmelze dabei immer bekannt. Dies bringt eine Reihe von Vorteilen mit sich.

Und sie bewegt sich doch



Jan Schotte, Bram Vandecasteele, Raf De Saeyer, Piet Graus und Alex Soenen (v.l.n.r.) von Tyco Electronics Belgium. Nach der Einführung der automatischen Umschaltmethode mithilfe der Werkzeugwandtemperatur fiel die Ausschussrate deutlich (Bilder: Priamus)

CHRISTOPHERUS BADER

Wirtschaftliche Zwänge stellen die Verarbeiter heute vor große Probleme. Oft liegt der Schlüssel zu einer Materialeinsparung, Zykluszeitverkürzung oder Reduzierung der Ausschussquote in der Automatisierung des

Spritzgießprozesses. Die automatische Steuerung und Regelung der Schmelzefront ermöglicht nicht nur eine signifikante Qualitätsverbesserung in der Produktion, sondern auch eine sichere Handhabung der Prozesse mit weniger geschultem Personal. Technischer Hintergrund ist die intelligente Nutzung des

Werkzeugwand-Temperatursignals, das im Gegensatz zur Messung des Werkzeuginnen-drucks in vielen Fällen gravierende Vorteile bietet.

Ein weit verbreitetes Missverständnis

Nach wie vor wird die Bedeutung des Umschaltens auf Nachdruck in der Praxis unterschätzt. Dennoch gibt es kaum eine einfachere und effizientere Methode als die Optimierung dieses Schritts, um die Schwankung der Qualitätsmerkmale der Spritzgussteile auf ein Minimum zu reduzieren. Hierbei gilt es, ein verbreitetes Missverständnis auszuräumen: Nicht eine möglichst konstante Maschineneinstellung mündet in die gewünschte Konstanz des Formteilgewichts und der Teiledimensionen – genau das Gegenteil ist der Fall.

Die klassischen Umschaltmethoden, die die Schneckenposition oder den Werkzeuginnendruck heranziehen, beruhen auf einer fix eingestellten Schaltschwelle, die bei der Werkzeugabmusterung über eine Füllreihe ohne Nachdruck optimiert wird. Das Ziel hierbei ist ein Umschalten auf Nachdruck bei möglichst volumetrischer Füllung. Ist das Werkzeug jedoch erst einmal abgemustert und der Umschaltpunkt bestimmt, kann die Maschineneinstellung nicht mehr verändert werden, ohne eine erneute Optimierung über eine Füllreihe durchzuführen, denn mit der Einspritzgeschwindigkeit ändert sich zwangsläufig das Einspritzvolumen. Deshalb müssen die Umschaltposition bzw. der Umschaltdruck neu eingestellt werden.

Ähnlich verhält es sich bei gleicher Maschineneinstellung und natürlichen Schwankungen der Schmelzeviskosität, wie sie beispielsweise aufgrund einer Chargenänderung, bei der Verarbeitung

Bild 1. Bei der Optimierung der automatischen Umschaltung auf Nachdruck wurde die Verzögerungszeit zwischen 15, 30 und 45 ms variiert



von Rezyklat oder durch Feuchtigkeitseinfluss vorkommen. Mit anderen Worten: Jede Prozessschwankung beim Spritzgießen verändert das Fließverhalten der Schmelze und bewirkt somit eine mehr oder weniger große Streuung bei fix eingestellten Schaltschwellen. Dies führt bei extremen Schwankungen dazu, dass die Kavitäten nicht gefüllt oder die Teile überspritzt werden.

Das automatische Umschalten auf Nachdruck

Im Gegensatz zu Werkzeuginnendruck-Sensoren detektieren Werkzeugwandtemperatur-Sensoren, die zur automatischen Umschaltung auf Nachdruck kurz vor dem Fließwegende positioniert werden, innerhalb weniger Millisekunden einen plötzlichen Temperaturanstieg – und somit das Eintreffen der Schmelze an der Sensorposition. Über ein von der Priamus System Technologies AG, Schaffhausen/Schweiz, patentiertes Verfahren [1] wird augenblicklich ein Schaltsignal generiert,

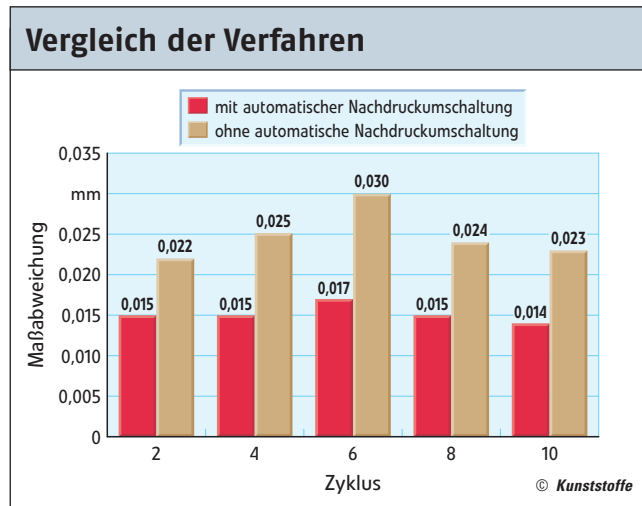


Bild 2. Die Maßabweichungen der Formteile (aus Bild 1) fallen mit dem automatischen Umschalten kleiner aus als mit herkömmlichen Verfahren

das die Spritzgießmaschine zum automatischen Umschalten auf Nachdruck verwendet.

Die automatische Umschaltung auf Nachdruck erübrigt eine Optimierung mithilfe einer Füllstudie, da die Schmelzefront immer und unabhängig von der Maschineneinstellung erkannt wird.

Selbst Änderungen der Maschineneinstellung, z. B. der Einspritzgeschwindigkeit, und die damit verbundenen Volumenänderungen der Schmelze werden kompensiert. Die Werkzeugabmusterung und die Prozessoptimierung sind somit wesentlich robuster, weniger anfällig und einfacher zu handhaben als bei der klassischen Vorgehensweise. Natürliche Schwankungen der Schmelze und der Umgebungsbedingungen werden automatisch kompensiert, was die Schwankungsbreite des Formteilmessung und der Teiledimensionen deutlich verringert.

Zwei Beispiele aus der Praxis sollen dies verdeutlichen: Die Wild & Kupper AG, Schmerikon/Schweiz, hat die verschiedenen Umschaltmethoden über einen längeren Zeitraum miteinander verglichen – mit folgendem Ergebnis: Für den Fall, dass ein Werkzeugwandtemperatur-Sensor nicht an der günstigsten Stelle positioniert werden kann, lassen sich die Schaltsignale mithilfe von Verzögerungszeiten optimieren (Bild 1). Die Maßabweichungen der Spritzgussteile während der Bemusterung (Bild 2) fallen sowohl in ihrer Streuung als auch Varianz mit dem Priamus-Umschaltverfahren deutlich kleiner aus als mit den herkömmlichen Umschaltverfahren [2].

Der Steckerhersteller Tyco Electronics Belgium EC N.V., Oostkamp/Belgien, hatte in der Vergangenheit bei der Verarbeitung glasfaserverstärkter Materialien (PPA-GF33) vor allem mit Schwankungen des Feuchtegehalts und infolgedessen der Viskosität zu kämpfen. Das automatische Umschalten, das die Viskositätschwankungen kompensiert, ermöglichte es, auf das manuelle Aussortieren der Teile zu verzichten (Titelbild). Nachdem mit den herkömmlichen Verfahren noch die üblichen 5 bis 10 % Ausschuss ange-

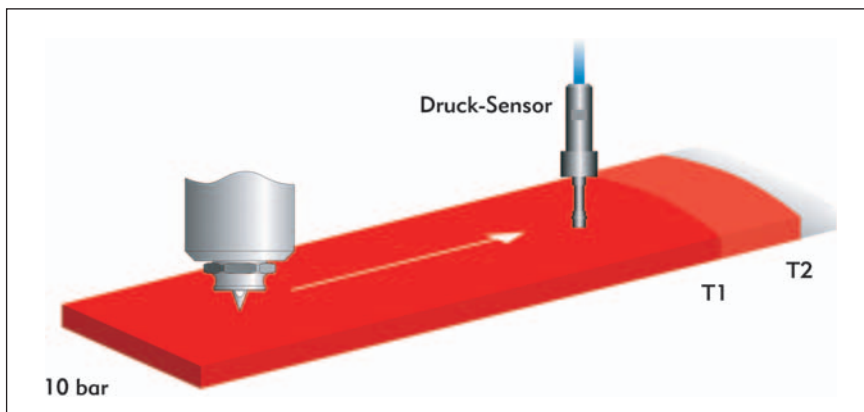


Bild 3. Nach dem Erreichen des Werkzeuginnendruck-Sensors fließt die Schmelze weiter, bis aufgrund des Fließwiderstands eine bestimmte Druckschwelle erreicht ist (T1). Ändert sich die Viskosität, verschiebt sich die Schmelzefront (T2) bei gleicher Druckschwelle automatisch. Die Position der Schmelzefront ist also nicht bekannt

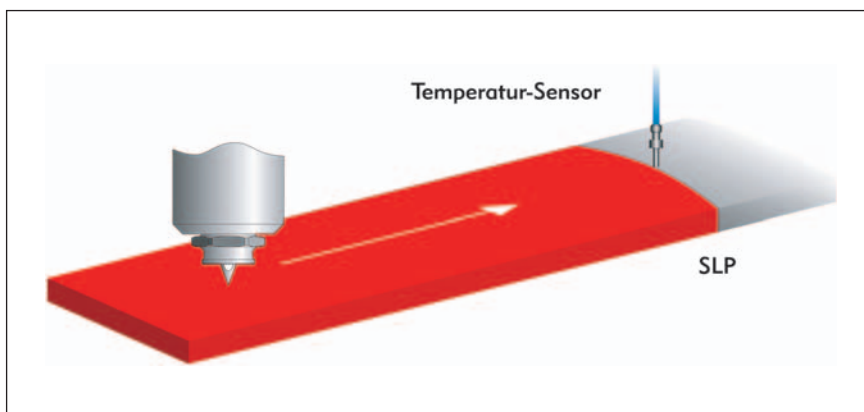


Bild 4. Die Schmelzefront erreicht den Werkzeugwandtemperatur-Sensor und wird sofort über den Temperaturanstieg erkannt. Die Position der Schmelzefront ist bekannt und kann für Steuer- und Regelzwecke verwendet werden

fallen waren, wurden mit dem automatischen Umschalten über 600 000 Teile ohne jeglichen Ausschuss hergestellt. Als logische Konsequenz dieses Verfahrens wurde eine deutlich schwankende Schneckenposition zum Zeitpunkt des Umschaltens beobachtet.

Das Öffnen und Schließen von Verschlussdüsen

Die Schmelzefront beim Spritzgießen in Echtzeit zu erkennen, ist jedoch nicht nur für das automatische Umschalten auf Nachdruck von eminenter Bedeutung, sondern auch für viele andere Anwendungen. Nur, wenn die Schmelze position tatsächlich bekannt ist, kann sie gezielt für Regel- und Steuerfunktionen verwendet werden. Über die Messung des Werkzeuginnendrucks ist dies schwierig, da bis zum Erreichen einer Schaltschwelle – also bis zum Senden eines Signals zum Öffnen oder Schließen einer Verschlussdüse – zunächst ein bestimmter Druck aufgebaut werden muss. Bis dieser Punkt erreicht ist, vergeht Zeit, in der sich die Schmelze über eine unbekannte Entfernung weiterbewegt (Bild 3). Die Position der Schmelze ist



Bild 6. Der Schaltvorgang kann mit dem ersten oder letzten Signal ausgelöst werden. Auf diese Weise wird ein Überspritzen verhindert oder sichergestellt, dass sämtliche Teile vollständig gefüllt sind

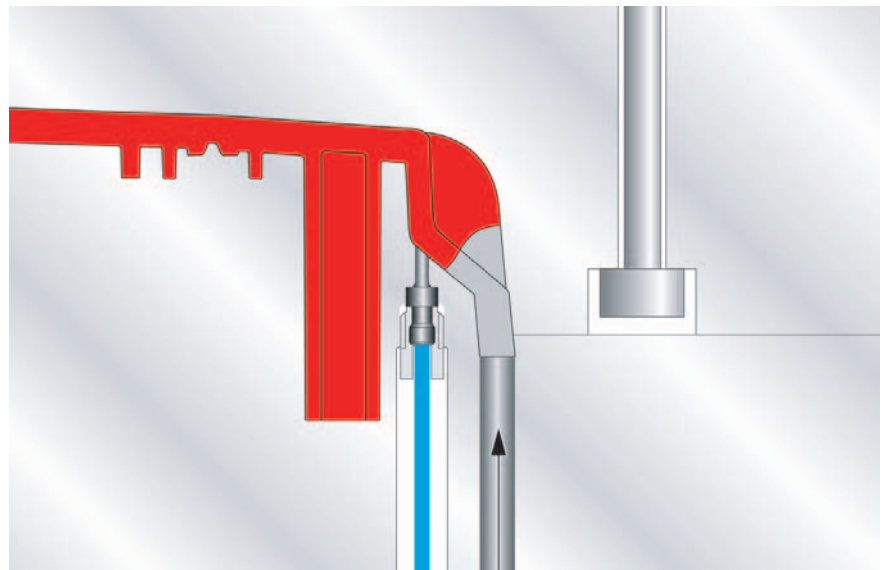


Bild 5. Automatische Entlüftung: Ein Werkzeugwandtemperatur-Sensor erkennt die Füllung der Kavität und initialisiert das Schließen des Entlüftungskerns

zum Zeitpunkt des Schaltvorgangs also nicht bekannt. Da der Druckaufbau während der Produktion nicht konstant verläuft, sondern sich je nach Umgebungsbedingungen und Schwankung der Schmelzeviskosität verändert, erfolgt das an diese Druckschwelle gekoppelte Öffnen oder Schließen der Verschlussdüsen also immer bei unterschiedlichen Schmelzepositionen.

Ein Werkzeugwandtemperatur-Sensor erkennt die Schmelzefront automatisch (Bild 4). Wenn die Schmelze den Sensor erreicht, springt die Temperatur nach oben, sodass unabhängig von Umgebungseinflüssen oder Änderungen der Viskosität die Position der Schmelze immer bekannt ist. Das Öffnen und Schließen der Verschlussdüsen kann somit gezielt und vor allem automatisch vorgenommen werden, indem beim Erreichen der Sensorposition ein Schaltsignal generiert und wahlweise über Verzögerungszeiten optimiert wird. Praktische Anwendung findet dieses Verfahren z. B. beim Erkennen, Verschieben und Regeln von Bindahtpositionen, beim automatischen Öffnen von Verschlussdüsen beim Kaskadenspritzgießen [3] oder bei der automatischen Entlüftung der Kavitäten mithilfe eines automatisch bewegten Entlüftungskerns (Bild 5).

In vielen Fällen lässt sich die exakte Schmelze position oder das Fließwegende aufgrund der komplexen Formteilgeometrie nicht exakt vorausbestimmen. Ebenso ist es möglich, dass sich die Schmelze position aufgrund unterschiedlicher Maschineneinstellungen verschiebt. Bei Familienwerkzeugen beispielsweise ist die gleichzeitige Füllung aller Kavitäten oft

nicht zu erreichen. Für diese Fälle bietet die Priamus-Elektronik die Möglichkeit, wahlweise mit dem ersten oder mit dem letzten Signal, das erkannt wird, einen Schaltvorgang auszulösen (Bild 6, rechte Seite). Auf diese Weise wird je nach An-

i	Hersteller
<p>Priamus System Technologies AG Bahnhofstrasse 36 CH-8201 Schaffhausen Schweiz Tel. +41 (0) 52/6 32 26 26 Fax +41 (0) 52/6 32 26 27 info@priamus.com www.priamus.com</p>	

wendung ein Überspritzen der Teile verhindert („First Signal“) oder sichergestellt, dass sämtliche Teile oder Bereiche vollständig gefüllt sind („Last Signal“).

Die Balancierung und Regelung des Heißkanals

Heißkanalwerkzeuge mit einer oder mehreren Kavitäten unterliegen natürlichen Schwankungen, die wechselnden Umgebungseinflüssen sowie Unterschieden in der Werkzeugtemperierung oder Schmelzeviskosität geschuldet sind. Deshalb unterscheiden sich die Spritzteile zwangsläufig in ihrer Konsistenz, in ihrem Gewicht und in ihren Dimensionen [4]. Dies wirkt sich u. a. auf die Planparallelität bestimmter Geometrien aus (Bild 7). Ohne eine aktive Regelung des Heißkanals sind deshalb der Genauigkeit jedes Prozesses natürliche

Anwendung	Beschreibung	Werkzeuginnendruck	Werkzeugwandtemperatur
automatische Umschaltung auf Nachdruck	automatische Erkennung des Temperaturanstiegs	nein	ja
Prozessoptimierung generell		ja	bedingt ¹
Viskositätsüberwachung	Ermittlung der Viskosität über Druck- und Temperatursensor	ja	ja
Viskositätsregelung	Fließfrontregelung für Kaltkanäle	nein	ja
Heißkanalbalancierung von Mehrfachwerkzeugen	automatische Regelung der Heißkanal-Düsentemperaturen	bedingt ²	ja
Steuerung von Kernzügen	Schaltsignal abhängig von der Schmelzefront	nein	ja
Kaskadensteuerung	Öffnen und Schließen von Verschlussdüsen	bedingt ²	ja
Kaskadenregelung	Regeln der Fließgeschwindigkeit	nein	ja
Bindenahtregelung	Verschieben und Konstanthalten von Bindenähten über Referenzregelung	nein	ja
Bindenahtsteuerung	Verschieben von Bindenähten über automatisches Schaltsignal	nein	ja
Regelung der Werkzeugoberflächentemperatur	automatische Regelung der Temperierung (Schwindungsregelung)	nein	ja

¹ Optimierung der Einspritzgeschwindigkeit
² Regelung/Steuerung über Fließfront nicht möglich

Tabelle 1. Übersicht über verschiedene Steuer-, Regel- und Optimierungsmethoden im Vergleich Werkzeuginnendruck-/Werkzeugwandtemperatur-Messung (Für alle Verfahren, mit Ausnahme der generellen Prozessoptimierung, wurden von Priamus Patente angemeldet, die z.T. bereits erteilt sind)

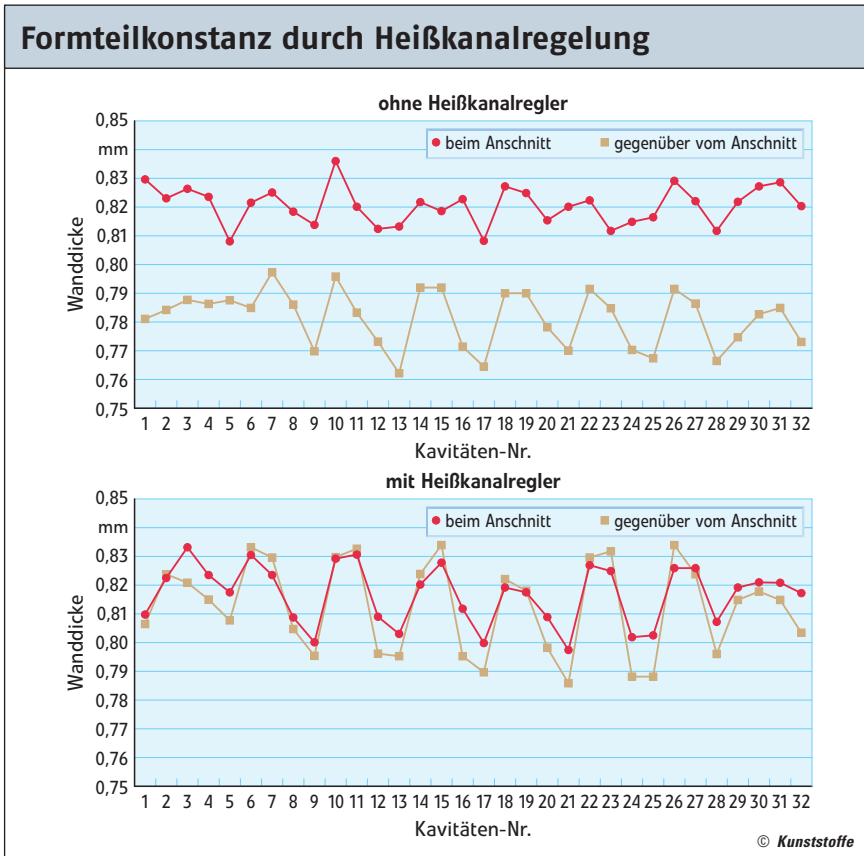


Bild 7. Wanddickenunterschiede über 32 Kavitäten ohne (oben) und mit Heißkanalregelung (Priamus Fill & Cool, unten) am Beispiel eines medizintechnischen Formteils

Grenzen gesetzt. Eine Regelung des Heißkanals wird dadurch realisiert, dass die Schmelze position in der Kavität automatisch ermittelt und über die Düsentemperaturen des Heißkanals angepasst wird. Ist die Düsentemperatur einer bestimmten Kavität oder eines bestimmten Bereichs eines großflächigen Formteils zu niedrig, verringert sich der Fließweg der Schmelze. Analog verlängert sich der Fließweg bei zu hohen Temperaturen. Beide Fehler werden systematisch detektiert und automatisch korrigiert.

Die ursprüngliche Idee dieses Regelverfahrens geht auf die Mitte der Neunzigerjahre zurück, wobei für die ersten Gehversuche Werkzeuginnendruck- anstelle von Werkzeugwandtemperatur-Sensoren verwendet wurden. Im einfachen Fall eines Mehrfach-Werkzeugs mit identischen Kavitäten konnte so die Funktionalität des Verfahrens nachgewiesen werden. Allerdings waren diesem Prinzip deutliche Grenzen gesetzt: Die Heißkanalbalancierung basiert dabei auf dem Druckanstieg, der im Gegensatz zur Werkzeugwandtemperatur erst in der Kompressionsphase – also lange nach der Füllung und dem Umschalten auf Nachdruck – in ein Signal umgewandelt wird. Eine Regelung auf Basis der Schmelze position ist deshalb mit Werkzeuginnendruck-Sensoren nicht möglich. Viele Anwendungen wie die Schmelzflussregelung in Stoßfängern oder bei der Verarbeitung von Flüssigsilikon können jedoch nur mit Kenntnis der aktuellen Schmelze position verwirklicht werden (Tabelle 1).

Die Schwindung eines Spritzteils und damit dessen endgültige Dimensionen hängen maßgeblich von der Temperierung des Werkzeugs und der Temperaturverteilung auf der Werkzeugoberfläche ab. Diese Parameter wiederum können nur mit Werkzeugwandtemperatur-Sensoren erkannt und geregelt werden. Das System „Priamus Fill & Cool“ ermöglicht sowohl die Balancierung und Regelung eines Heißkanalsystems als auch die automatische Regelung der Werkzeugtemperierung.

Wirtschaftliche Betrachtungen

Die jährlichen Kosten für die Nachbearbeitung der bei Wild & Küpfer gespritzten Teile belaufen sich mit auf ein Vielfaches der eigentlichen Herstellkosten. Die Amortisationszeit für die automatische Nachdruckumschaltung sowie für ein Priamus Fill & Cool System beläuft sich im aktuellen Fall auf weniger als ein hal-

bes Jahr. Allerdings können die anfallenden Kosten für die Maschinenumrüstung je nach Hersteller einen erheblichen Anteil der Gesamtanschaffungskosten ausmachen.

Bei Tyco Electronics Belgium wurden bisher ca. 12,5 Millionen Teile pro Jahr mit einer Ausschussrate von 5 bis 10 % hergestellt und die Schlechteile von Hand aussortiert. Bei einer angenommenen Ausschussrate von 5 % ergibt sich inklusive sämtlicher Kosten (Material, Maschinenstunden, Energiekosten etc.) ein Ausschuss in Höhe von 168 500 EUR. Allein durch den Einsatz der automatischen Nachdruckumschaltung konnten bisher über 600 000 Teile ohne ein einziges Ausschussteil hergestellt werden. Die getätigten Investitionen wurden innerhalb von drei Monaten amortisiert.

Ausblick

Die Steuerung und Regelung der Schmelzefront bietet eine Vielzahl von Möglich-

keiten zur Automatisierung und Optimierung des Spritzgießprozesses. Voraussetzung hierfür ist das sichere und schnelle Erkennen der Schmelzefront in der Kavität sowie die intelligente Verarbeitung der Signale. Während sich das Werkzeuginnendrucksignal hervorragend für Optimierungs- und Überwachungszwecke eignet, ist es für schmelzefrontabhängige Steuerungen und Regelungen aus unterschiedlichen Gründen nicht geeignet. Hingegen haben Steuer- und Regelsysteme, die auf der Messung der Werkzeugwandtemperatur basieren, ihr Potenzial in vielen hundert Einsätzen rund um den Globus bewiesen. ■

LITERATUR

- 1 Priamus Patentschrift EP 1 138 502 B1
- 2 Pezzani, B.: Diplomarbeit zum Eidg. Dipl. Produktionsleiter KT(2007), S. 13
- 3 Priamus Patentschrift EP 1 761 375 B1
- 4 Bader, C.; Burkhart, C.; König, E.: Geregelte Verhältnisse. Kunststoffe 94 (2004) 7, S. 58–61

DER AUTOR

DIPL.-ING. (FH) CHRISTOPHERUS BADER, geb. 1962, ist seit 2001 Geschäftsführer der Priamus System Technologies AG, Schaffhausen/Schweiz.

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

But It Does Move!

CONTROLLING THE MELT FRONT. One effective and simple way to control parts quality in injection molding is to measure mold wall temperature. The precise position of the melt is always known – which is not the case when mold internal pressure is measured – and this brings a number of advantages with it.

NOTE: You can read the complete article in our magazine **Kunststoffe international** and on our website by entering the document number **PE104279** at **www.kunststoffe-international.com**
