

▲ Temperatursensoren überwachen und steuern Spritzgießprozesse. Dabei müssen sie schnell auf Temperaturveränderungen reagieren können. Das IWK untersuchte verschiedene Sensortypen auf ihr Ansprechverhalten, beispielsweise einen Sensorkörper aus Macor – einem mechanisch bearbeitbaren keramischen Werkstoff.

▲ Ansprechverhalten der verschiedenen Sensoren im Vergleich. Hinter dem Referenzsensor und dem Macor-Sensor folgen die übrigen Sensoren dicht beieinander.

## SCHNELLE REAKTION GEFRAGT

**TEMPERATURSENSOREN ZUR ÜBERWACHUNG VON SPRITZGIESSPROZESSEN** Der Einsatz von Temperatursensoren zur Prozessüberwachung und -steuerung von Spritzgießprozessen erfordert hochdynamische Sensoren, die ausreichend schnell auf Temperaturveränderungen reagieren. Am Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK) der Hochschule für Technik in Rapperswil, Schweiz, wurde getestet, inwieweit die marktgängigen Sensoren diese Aufgabe erfüllen.

**T**emperatursensoren dienen vielfach zur Überwachung und Steuerung von Spritzgießprozessen, indem sie den Temperaturverlauf während Füll-, Nachdruck- und Abkühlphase erfassen. Um diese Aufgabe zu erfüllen, müssen

die Sensoren in kurzer Zeit auf Temperaturveränderungen reagieren. Es herrscht bisher jedoch Unklarheit, ob das Ansprechverhalten der Sensoren von typenspezifischen Charakteristika abhängt, beispielsweise den Dimensionen und dem Aufbau.

### Ansprechverhalten entscheidet über Messqualität

Ein traditionelles Verfahren zur Messung des Ansprechverhaltens ist das Tauchbadverfahren: Der Sensor wird von einer Umgebungstemperatur in ein Ölbad mit definierter Temperatur gehalten. Sowohl die Ansprechzeit als auch die gemessene Temperaturdifferenz werden erfasst.

Beobachtungen in der Praxis haben gezeigt, dass sich das Ansprechverhalten

beim Tauchbadversuch deutlich von dem in der Einbausituation unterscheidet. Für den Einsatz im Spritzgießprozess ist es also wichtig, das reale Ansprechverhalten im Werkzeug zu kennen. Erst dann wird dessen Überwachung und Steuerung zuverlässig und sinnvoll. Am Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK) der Hochschule für Technik Rapperswil, Schweiz, haben Mitarbeiter systematische Untersuchungen unter praxisnahen Bedingungen durchgeführt, um verschiedene Sensortypen in ihrem Ansprechverhalten beurteilen zu können. Um ein breites Spektrum an Informationen zu erhalten, kamen verschiedene Sensortypen zum Einsatz: Temperatursensoren, kombinierte Druck-/Temperatursensoren, unter-



#### Autor

Prof. Dr. Frank Ehrig, Leiter des Instituts für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK) der Hochschule für Technik Rapperswil, Rapperswil-Jona, Schweiz, frank.ehrig@hsr.ch;



Beat Ruhstaller, Hochschule für Technik Rapperswil, Rapperswil-Jona, Schweiz

schiedliche Sensordurchmesser sowie unterschiedliche Thermoelement-Kombinationen.

### Ungestörtes Messen der Oberflächentemperatur

Um für jeden Sensor identische Rahmenbedingungen zu schaffen, setzte das IWK ein flächiges Bauteil (50 mm x 30 mm) ein, bei dem sich eine gleichmäßige Temperaturverteilung in Bauteil und Werkzeug erzielen lässt. Die Dicke des Bauteils kann von 2 mm auf 4 mm erhöht werden. Das zugehörige modulare Werkzeug verfügt düsenseitig über mehrere Einsätze, in die jeweils die zu untersuchenden Sensoren eingebaut sind.

Als Referenz dient ein Spezialeinsatz auf der Auswerferseite, durch den die Thermoelementdrähte bis an die Oberfläche geführt und dort verschweißt wurden. Die Referenz misst die Oberflächentemperatur des Werkzeugs im nahezu ungestörten Zustand. Als Material kam

## ERHÖHTE MARKTCHANCEN

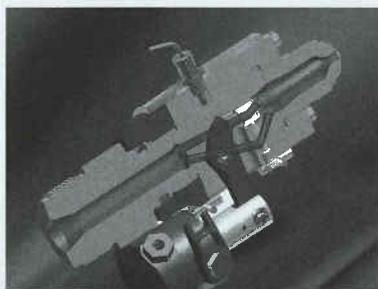
### Unterschiedliches Verhalten

Die Unterschiede des Ansprechverhaltens zwischen Sensoren im Ölbad und im Werkzeug machten eine genauere Untersuchung des Temperaturverhaltens notwendig. Es zeigt sich, dass die Ergebnisse aus Tauchversuchen letztlich keine Rückschlüsse auf den Einsatz im Spritzgießprozess zulassen. In der Einbausituation verändern sich Temperaturverhalten und Wär-

mestrome am Sensor. Zum einen, weil Kunststoffschmelzen und Öl unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten und Wärmekapazitäten aufweisen. Zum anderen, weil das Werkzeug einen erheblichen Einfluss ausübt. Sensoren, die im Tauchbad schnell reagieren, sind im Werkzeug zum Teil langsamer und umgekehrt.

Polypropylen zur Anwendung. Dessen Vorteil ist die einfache Verarbeitbarkeit sowie sein breites Verarbeitungsfenster: Sowohl Werkzeug- als auch Schmelztemperatur lassen sich in einem weiten Bereich variieren und ermöglicht daher, das Ansprechverhalten unter zusätzlichen Einflussfaktoren zu untersuchen.

Für das Bauteil wurde eine FEM-Simulation durchgeführt, um das Verhalten des Referenzsensors zu überprüfen. Dabei stellte sich heraus, dass Simulation und Referenz übereinstimmen und der Referenzsensor aufgrund der guten Wiedergabe der Temperaturverhältnisse in der Kavität als solcher geeignet ist. Im



#### Nadelverschluss-Düsen

«Zukunftsweisend in der Technologie, für den Markt gemacht. Stark, präzise und dauerhaft für vielfältige Anwendungen.»

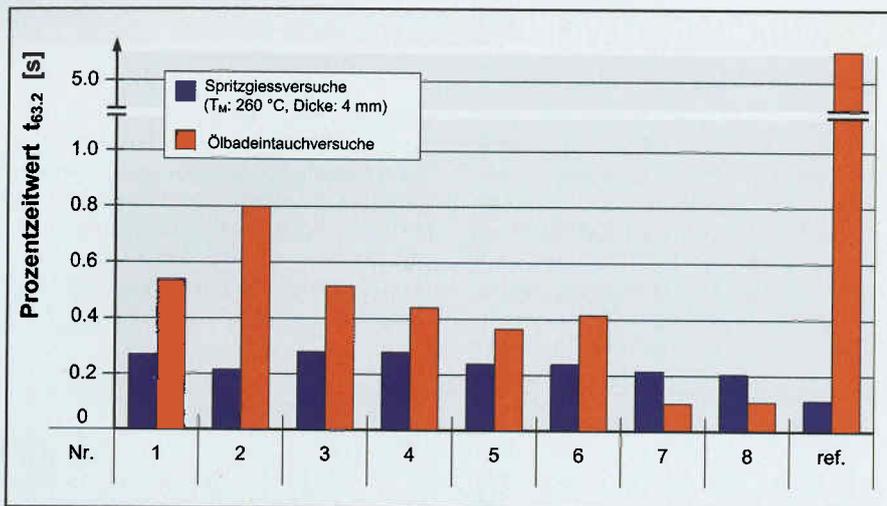
Chinaplas, Guangzhou China  
21.–24. Mai 2007  
Halle 1D, Stand 1D763

Herzog AG Degersheim  
CH-9116 Wolfertswil  
fon +41 (0)71 394 19 69  
info@herzog-ag.com  
www.herzog-ag.com

## Verschluss-Düsen – das starke Glied in ihrer Produktionskette



herzog®



Vergleich der Temperaturzeitwerte  $t_{63.2}$ : Werte aus den Spritzgießversuchen mit denen der Ölbadeintauchversuche. Erkennbar sind die jeweils unterschiedlichen Ansprechzeiten der einzelnen Sensoren, die im Wesentlichen durch die veränderten Kontaktbedingungen zwischen Sensor und Medium hervorgerufen werden.

Rahmen eines Versuchsplans wurden Werkzeugwand- und Schmelzetemperatur sowie Einspritzgeschwindigkeit und Nachdruckhöhe variiert und deren Auswirkungen auf die gemessene Temperatur analysiert. Jeweils das Ansprechverhalten der Sensoren während der ersten 0,2 s kam zur Auswertung.

Die Temperaturverläufe wurden normiert, um das Ansprechverhalten der Zeitkonstanten besser analysieren zu können. Zeitprozentwerte entsprechen den Zeitkonstanten aus Kurven mit dem Charakter von Verzögerungselementen erster Ordnung. Da die Kurven den Charakter von Verzögerungselementen zweiter Ordnung haben, wird hier mit Zeitprozentkennwerten gearbeitet.

**Wärmeaustausch über Sensorfront**

Beim Spritzgießen funktioniert der Wärmeaustausch direkt nur über die Sensorfront und indirekt auch über die Wand der Sensorbohrung. Während des Ein-

spritzens wird die Wärme der Masse durch erzwungene Konvektion übertragen. Die ständig nachfließende heiße Masse sorgt für eine rasche Erwärmung der Sensorfront. Die sich bildende erstarrte Randschicht an der Werkzeugwand und die praktisch stillstehende Masse während der Nachdruckphase reduzieren den Wärmefluss.

Entgegen den Erwartungen sind der Sensordurchmesser und die dadurch mitbestimmte Sensormasse nicht entscheidend für das Ansprechverhalten. Der Referenzsensor reagiert am schnellsten, gefolgt vom Keramiksensor: Beim Keramiksensor werden die Thermoelementdrähte gegenüber dem Werkzeug isoliert. Die Änderung der Temperatur beim Überströmen der Schmelze findet nahezu ohne Wärmeabfuhr ins Werkzeug statt.

Die übrigen Sensoren liegen dicht beieinander, wobei die Sensoren mit 4 mm Durchmesser ein etwas schnelleres Ansprechverhalten aufweisen. Die Versuche

zeigen, dass die Bauart wichtig für das Ansprechverhalten ist. Spürbare Auswirkungen hat die Verschweißung der Thermoelementdrähte; Abhängigkeiten zeigen sich je nachdem, wo, in welchem Abstand und wie nahe an der Sensorfront diese verschweißt sind. Auch Hohlräume im Sensorkörper, die Wanddicke der Spannhülse und die Dicke des Kolbens sind von Bedeutung.

**Vergleich mit Ölbad-Tauchversuchen**

Das Ansprechverhalten der Sensoren im Spritzgießversuch wurde mit den Ergebnissen aus Ölbad-Tauchversuchen verglichen. Zur Ermittlung des Ansprechverhaltens werden diese in ein geheiztes Ölbad getaucht und die Sprungantwort ermittelt. Die entscheidende Randbedingung für den Vergleich ist der unterschiedliche Kontaktcharakter zwischen Messmedium und Sensor.

Die treibende Kraft beim Wärmeaustausch während der Eintauchphase ist die erzwungene Konvektion. Danach findet der Wärmeaustausch vorwiegend über die instationäre Wärmeleitung und in geringem Maße über freie Konvektion statt.

Die massearmen 1-mm-Sensoren reagieren in den Ölbadversuchen deutlich am schnellsten, weil der Wärmefluss von drei Seiten erfolgt und die geringe Sensormasse dadurch schnell die Temperatur des Ölbad annimmt. Viel geringer ist der Masseinfluss bei den Spritzgießversuchen. Dort findet der Temperaturengleich praktisch eindimensional nur über die Sensorfront statt.

Aufgrund der Ergebnisse ist davon auszugehen, dass nicht die Gesamtmasse des Sensors entscheidend für das Ansprechverhalten ist, sondern die Wanddicke der Sensorfront – also die Masse in Bohrungsrichtung – und der sich anschließende Sensoraufbau.

Beim Ansprechverhalten spielt die Sensorgröße eine untergeordnete Rolle. Weder der Sensordurchmesser noch die Wahl des Thermoelements beeinflussen das Ansprechverhalten. Die Ergebnisse von Temperatursensoren sowie kombinierten Druck-/Temperatursensoren sind zudem ebenfalls vergleichbar.

Für den Verarbeiter bedeutet das gleichwertige Ansprechverhalten, dass für die Sensoren andere Auswahlkriterien größere Gewichtung bekommen. So kann ein Sensor beispielsweise aufgrund seines Frontdurchmessers an das Bauteildesign angepasst werden oder aufgrund technischer Voraussetzungen über seine Anschlusstechnik. ■

| Nr. | Typ              | Durchmesser | Thermoelement |
|-----|------------------|-------------|---------------|
| 1   | p/T Sensor       | 4 mm        | K             |
| 2   | T-Sensor         | 4 mm        | K             |
| 3   | T-Sensor Keramik | 4 mm        | K             |
| 4   | p/T Sensor       | 2,5 mm      | K             |
| 5   | T-Sensor         | 2,5 mm      | K             |
| 6   | T-Sensor         | 2,5 mm      | K             |
| 7   | T-Sensor         | 1 mm        | K             |
| 8   | T-Sensor         | 1 mm        | N             |

Ausgewählte Bautypen für die Versuchsreihen.