

## Teilprojekt B 4

### **Titel**

Analyse der thermischen Kopplung von Schmelze, Gefüge und Werkzeug zur präzisen Vorhersage von Schwindung und Verzug im Spritzgießprozess

### **Projektleitung/-bearbeitung**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hopmann, Christian (Leitung)  
Wipperfürth, Jens, M. Sc. (Bearbeitung)  
Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung (IKV)  
Seffenter Weg 201  
52074 Aachen

### **Aufgabenstellung**

Aktuelle Modelle zur Beschreibung von Schwindung und Verzug beim Thermoplast-Spritzgießen berücksichtigen nur unzureichend thermische Wechselwirkungen zwischen Schmelze, Gefüge und Werkzeug. Eine genaue Beschreibung der zugrunde liegenden Wechselwirkungen erfordert ein tieferes Verständnis und daher eine präzise Messung der Temperatur im laufenden Prozess. Daher sollte ein Messkonzept auf Basis der Ultraschalltomografie entwickelt werden, mit dem die Temperaturverteilung einer Kunststoffschmelze im Spritzgießprozess ermittelt werden kann. Ziel im vergangenen Jahr war es, die zugrundeliegenden Modelle zur Berechnung der Temperaturverteilung aus der rekonstruierten Ultraschallgeschwindigkeitsverteilung zu erweitern und die Messung mit dem für diesen Zweck konstruierten Werkzeug im realen Prozess zu gewährleisten. Weiterhin sollte ein Werkzeug konzipiert werden, mit dem unter realen Spritzgießbedingungen der druckabhängige Wärmeübergangskoeffizient erfasst werden kann.

### **Vorgehensweise**

Die bisher verwendeten Modelle zur Berechnung der Temperaturverteilung aus der Ultraschallgeschwindigkeitsverteilung waren nur für den schmelzeförmigen Bereich des Kunststoffs gültig. Die Erweiterung der Gültigkeit des Modells für den festen Bereich erforderte eine temperaturabhängige Ermittlung des Schub- und des Kompressionsmoduls. Hierzu wurden in einer Klimakammer Zugversuche bei 30°C bis 80°C, jeweils in 10°C-Schritten und mittels optischer Messverfahren sowohl der Elastizitätsmodul als auch die Querkontraktionszahl ermittelt. Aus den Daten konnte anschließend der Schub- und Kompressionsmodul abgeleitet werden.

Das Werkzeug zur ultraschalltomografischen Ermittlung der Temperaturverteilung wurde im vergangenen Jahr in Betrieb

genommen. Die Versuche wurden an einer Spritzgießmaschine des Typs KraussMaffei 160-1000 CX der KraussMaffei Technologies GmbH, Deutschland durchgeführt. Das Werkzeug selbst besitzt 20 Ultraschallsensoren mit einer Anregungsfrequenz von 2 MHz, die radial um eine zylinderförmige Kavität mit einem Durchmesser von 30 mm angeordnet sind. Zur Messung der Ultraschallsignale wurde ein für diesen Zweck entwickeltes Messgerät der Firma MACEAS GmbH, Deutschland verwendet, das eine parallele Erfassung der Signale ermöglicht.

Zur Messung des druckabhängigen Wärmeübergangskoeffizienten wurde ein plattenförmiger Werkzeugeinsatz entwickelt, mit dem mithilfe von sechs Thermoelementen der Temperaturgradient in der Schmelze über eine Formteildicke von 2 mm ermittelt werden kann. Zusätzlich ermöglichen drei weitere Thermoelemente im Werkzeug die Ermittlung des Wärmegradients in das Werkzeug hinein. Auf diese Weise ist die Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten möglich. Der Werkzeugeinsatz befindet sich aktuell in Konstruktion. Hierbei wurden insbesondere konstruktive Maßnahmen ergriffen, um die nur 0,1 mm dicken Thermoelemente geeignet in der Kavität einzubringen, ohne dass diese durch die Prozessbedingungen zerstört werden und das Messergebnis beeinflussen. Gleichzeitig wurde die Entformbarkeit des Formteils gewährleistet.

### **Ergebnisse**

Aus dem gemessenen Elastizitätsmodul und der Querkontraktionszahl konnte der Schub- und Kompressionsmodul mit einer guten statistischen Absicherung berechnet werden. Für die Erweiterung des Rekonstruktionsmodells konnte aus diesen Daten eine Funktion abgeleitet werden, mit der eine Korrelation der Ultraschallgeschwindigkeit und der im Spritzgießprozess auftretenden Temperaturen ermöglicht wird. Das Rekonstruktionsmodell besitzt außerdem eine sehr gute Übereinstimmung mit Literaturwerten.

Die Versuche mit dem Spritzgießwerkzeug waren erfolgreich. Die Methode das Ultraschallsignal durch linsenförmige Vorlaufelemente zu streuen, um eine hohe örtliche und zeitliche Auflösung zu erreichen, ist im realen Prozess erfolgreich. Durch die Streuung des Signals können alle in der Kavität befindlichen Sensoren angesprochen werden und somit die volle theoretisch berechnete Auflösung von 3,5 mm<sup>2</sup> pro Ortselement auch praktisch erreicht werden.

### **Zusammenfassung und Ausblick**

Zur Durchführung der Ultraschalltomografie wurden im letzten Jahr die notwendigen Modelle zur Rekonstruktion erfolgreich erweitert und validiert. In Phase 2 des SFB 1120 sollen diese Modelle weiter, insbesondere um die Berücksichtigung hoher Abkühlraten, verbessert werden, um eine deutliche Steigerung der Präzision bei der

Temperaturberechnung zu erhalten. Die Inbetriebnahme des Spritzgießwerkzeugs war erfolgreich und die Messungen zeigten, dass die volle örtliche Auflösung erreicht werden kann. Dies ist hinsichtlich der geforderten Präzision im Sonderforschungsbereich 1120 ein entscheidender Fortschritt, da eine derartige Auflösung bisher im Spritzgießprozess nicht realisiert werden konnte. Herausforderungen sind noch in der genauen Datenauswertung zu stemmen. Es konnte ein großer Maschineneinfluss auf das Signal im Bereich von 2 MHz festgestellt werden, der eine Auswertung auch nach Filterung der Daten erschwert. Zukünftig sollen stichprobenartig Experimente auf einer elektrisch betriebenen Spritzgießmaschine wiederholt werden, um den Signaleinfluss zu minimieren.

#### **Veröffentlichungen (nur 2017)**

HOPMANN, CH.; WIPPERFÜRTH, J.: Ultrasound Tomography for Spatially Resolved Melt Temperature Measurements in Injection Moulding Processes. *Journal of Applied Mechanical Engineering* 6 (2017) 3, S. 1000264

LASCHET, G.; WIPPERFÜRTH, J.; SPEKOWIUS, M.; SPINA, R.; APEL, M.; HOPMANN, CH.: Effective thermal properties of an  $\alpha$ -iPP injection moulded part by a multiscale approach. *Material Science and Engineering* 48 (2017) 12

HOPMANN, CH.; WIPPERFÜRTH, J. ; SCHÖNGART, M.: Spatially resolved temperature measurement in injection moulding using ultrasound tomography. *AIP Conference Proceedings* 1914 (2017) 90005, ISBN 9780735416062

HOPMANN, CH.; WIPPERFÜRTH, J.; SCHÖNGART, M.: *A concept of an injection compression mould for non-invasive ultrasound tomographic temperature measurements*. The Europe Africa Conference of the Polymer Processing Society. Dresden, Deutschland, 2017