

Vollständige Datensätze gesucht

Simulation von Duroplastbauteilen

Die Spritzgießsimulation ist ein wichtiger Bestandteil der Bauteilentwicklung. Während die Materialdatenbanken der Simulationsprogramme tausende Thermoplaste enthalten, sind vollständige Datensätze von duroplastischen Werkstoffen allerdings nur schwer zu finden. Wie problematisch das ist, zeigen Vergleiche von simulierten und gemessenen Daten von Bauteilen aus Duroplastformmassen.

Aufgrund vieler positiver Materialeigenschaften eignen sich duroplastische Formmassen für sowohl thermisch, mechanisch als auch chemisch hoch beanspruchte Bauteile. Außerdem verfügen sie über ein großes Potenzial hinsichtlich einer ressourcen- und energieeffizienten Herstellung und Verarbeitung [1]. Aktuell kann dieses Potenzial aufgrund fehlender bzw. unzureichender Materialdaten in der Simulation jedoch nur teilweise genutzt werden. Derzeitige Softwarelösungen bieten bereits die Möglichkeit der Simulation des Spritzgießprozesses duroplastischer Formmassen. Allerdings mit zum Teil schlechter Übereinstimmung zwischen Simulation und Realität insbesondere in Bezug auf Formfüllung und Faserorientierung [2]. Weiterhin können die in der Realität auftretenden Strömungsformen Quellströmung, Block-Scher-Strömung und die Bildung eines unverdichteten Bereichs nur bedingt mathematisch abgebildet werden.

Die unzureichende Vorhersagequalität der Formfüll- und Strukturbildungssimulation steht der Entwicklung und Anwendung

spritzgegossener Bauteile aus duroplastischen Formmassen entgegen. Im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojekts untersuchten deshalb das Kunststoff-Zentrum SKZ, ein Mitglied der Zuse-Gemeinschaft, und die Professur Kunststoffe der Technischen Universität Chemnitz den Einfluss der zugrunde liegenden Werkstoffdaten und der verwendeten Simulationsparameter auf die Vorhersagequalität der Formfüllsimulation an phenol- und epoxidharzbasierten Formmassen.

Materialvernetzung sorgt für eine ständige Änderung der Eigenschaften

Neben Materialkennwerten wie Dichte, Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit ist die Charakterisierung des Fließ-Härtungsverhaltens der Formmassen von zentraler Bedeutung zur Erstellung einer Materialkarte. Aufgrund der fortschreitenden Materialvernetzung findet während des Verarbeitungsprozesses eine ständige Veränderung der rheologischen Materialeigenschaften statt. Dabei laufen die temperaturbedingte Viskositätsverringerung aufgrund

einer erhöhten Molekülbeweglichkeit und die Erhöhung der Viskosität aufgrund der einsetzenden Vernetzungsreaktion gleichzeitig ab [3].

Umfassende Rheometer- und DSC-Untersuchungen (Differential Scanning Calorimetry) im Rahmen des Projekts dienen der Charakterisierung des Fließ-Härtungsverhaltens. Dabei ergaben sich, in Abhängigkeit von der Harzbasis der untersuchten Formmasse, Unterschiede in der Qualität der aufgenommenen Messwerte (**Bild 1**). Während die Messkurven des über eine Polyadditionsreaktion vernetzenden Epoxidharzes eine unkomplizierte Auswertung ermöglichen, wird das bei der Phenolharzformmasse durch eine starke Drift der Basislinie erschwert. Des Weiteren führt die Entstehung niedermolekularer Reaktionsprodukte wie Ammoniak während der Polykondensationsreaktion der Phenolharze zu einer Beeinträchtigung der Reproduzierbarkeit einiger Messverfahren. Auf Basis der genannten Gründe ist ein Unterschied der Vorhersagequalität der Formfüllsimulation in Abhängigkeit von der genannten Harzbasis zu erwarten. »

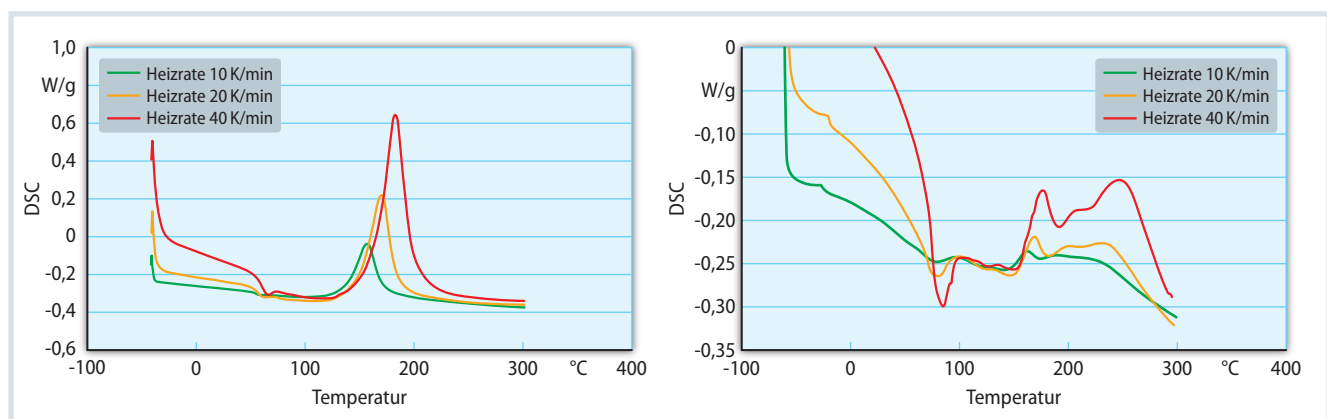
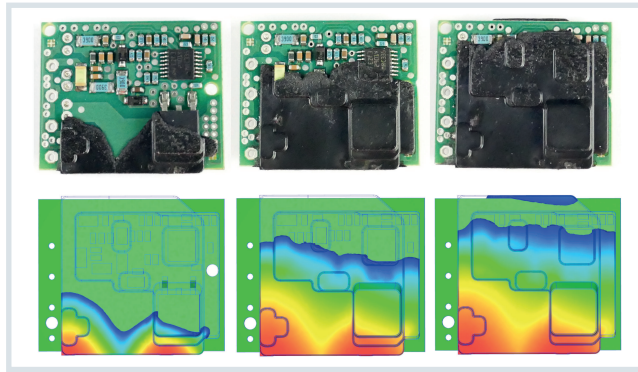


Bild 1. DSC-Untersuchungen an Epoxidharz (links) und Phenolharz (rechts): Die Messkurven des Epoxidharzes lassen sich unkompliziert auswerten. Beim Phenolharz wird das hingegen durch eine starke Drift der Basislinie erschwert. Quelle: TU Chemnitz; Grafik: © Hanser

Bild 2. Die Simulation zeigt einen ähnlichen Füllverlauf wie die Füllstudie © SKZ



Für die Validierung der Simulation standen drei Bauteile bzw. Werkzeuge zur Verfügung: eine Fließspirale, ein Steckermodul und eine umspritzte Platine, die als Vorspritzling im Steckermodul dient. Die Simulation wurde mit Moldex3D durchgeführt, einer Software von CoreTech System, die im deutschsprachigen Raum von SimpāTec vertrieben wird. Da sich die Temperatur im Formteil und im Werkzeug bei Duroplasten deutlich auf die Viskosität und die Vernetzung auswirkt, wurde in der Simulation stets die Werkzeugheizung berücksichtigt, um die lokalen Temperaturen im Werkzeug zu berechnen.

Realitätsnahe Simulation von Epoxidharzformmassen

Die Simulation des Formfüllverhaltens stimmte insbesondere bei den Epoxidharzformmassen gut mit der Realität überein (Bild 2). Der Zusammenfluss der beiden Schmelzefronten befindet sich in

der Simulation in etwa an der gleichen Position wie bei den gespritzten Probekörpern. Die Unterschiede zwischen dem realen und dem virtuellen Fließfrontverlauf sind bei der Simulation mit der duroplastischen Formmasse eher gering. Eine vergleichende Simulation mit einem Thermoplasten (Polyphenylensulfid, Fortron 1140L4) als Ersatzwerkstoff, was eine in der Industrie aufgrund mangelnder Materialdaten übliche Vorgehensweise ist, zeigte wesentlich größere Abweichungen im Füllverhalten. Hier fand der Zusammenfluss der Schmelzefronten auf der anderen Seite der umspritzten Platine statt.

Die genaue Vorhersage des Füllverhaltens ist insbesondere wichtig, um Entlüftungen im Bereich von Bindenähten zu positionieren und somit Luftpneinschlüsse zu vermeiden. Die Simulation mit Kennwerten der Duroplastformmasse stellte sich dabei erwartungsgemäß als deutlich zielführender heraus als die Simulation mit einem Thermoplast als Ersatzwerkstoff. Dabei bildeten die Berechnungen mit epoxidharzbasierten Formmassen die Realität besser ab als die mit phenolharzbasierten Formmassen. Das liegt an der schwierigeren Materialdatenermittlung.

Den Vorvernetzungsgrad beachten

Die Berücksichtigung der Vorvernetzung des Materials im Zylinder stellte sich als wichtig für die Abbildung der realen Druckverhältnisse in der Simulation heraus. Durch Materialrückfluss im Plastifizierzylinder und der Scherung in der Maschinen-

Die Autoren

Thomas Zentgraf ist seit 2005 als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Spritzgießen und Additive Fertigung am SKZ tätig; t.zentgraf@skz.de

Nils Schmeißer ist seit 2016 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Kunststoffe der Technischen Universität Chemnitz tätig.

Prof. Michael Gehde leitet seit 2006 die Professur Kunststoffe an der Technischen Universität Chemnitz.

Georg Schwalm leitet seit 2014 den Bereich Spritzgießen und Additive Fertigung am SKZ.

Dr. Thomas Hochrein ist seit 2017 Geschäftsführer der Forschung und Bildung des SKZ.

Prof. Martin Bastian ist seit 2006 Institutsdirektor des SKZ.

Dank

Das IGF-Vorhaben 19969 BG der Forschungsvereinigung FSKZ e. V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert. Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung.

Service

Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

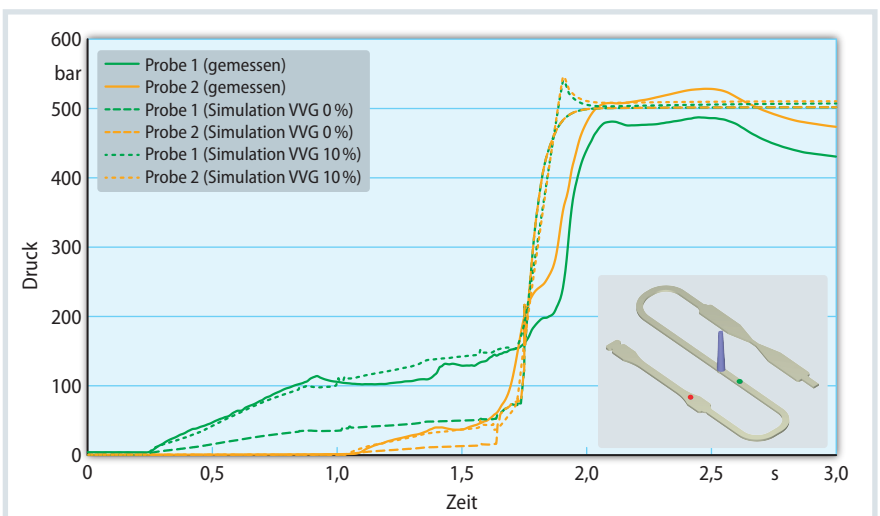


Bild 3. Die Vorgabe eines Vorvernetzungsgrads (VVG) von 10 % in der Simulation bildet den Druck in der Kavität besser ab als die Simulation ohne Berücksichtigung der Vorvernetzung

Quelle: TU Chemnitz; Grafik: © Hanser

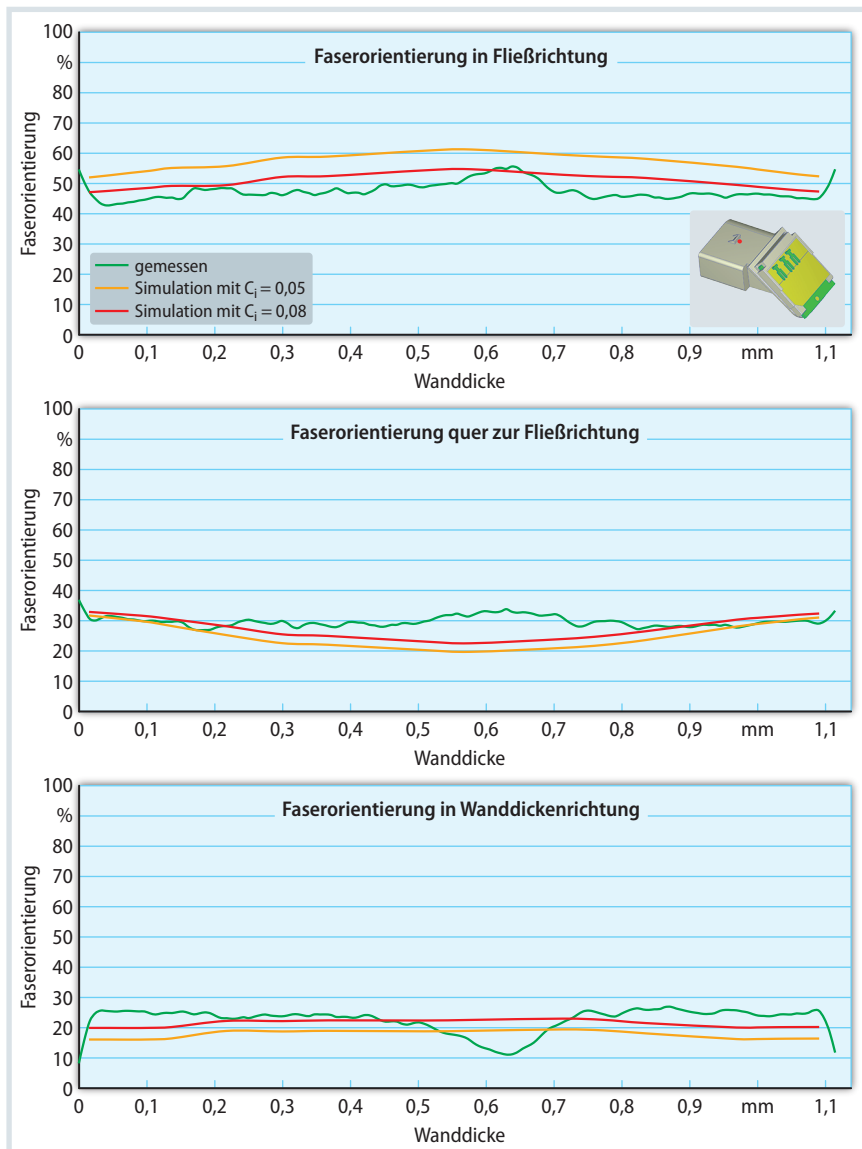


Bild 4. Mit höherem Faserinteraktionskoeffizienten C_f stimmt die Faserorientierung in den drei Raumrichtungen bei der Simulation besser mit den CT-Messungen überein

Quelle: TU Chemnitz; Grafik: © Hanser

düse finden bereits vor dem Eintritt in das Werkzeug Vernetzungsreaktionen statt, die zur Erhöhung der Viskosität führen. Mittels DSC-Messungen an Materialproben aus den Schmelzesträngen ließen sich je nach Material und Prozesseinstellungen Vorvernetzungsgrade zwischen 8 und 15 % ermitteln. Die Software Moldex3D ermöglicht es, den Vorvernetzungsgrad für die Berechnung vorzugeben. Dieser wirkt sich stark auf die Simulationsergebnisse aus (Bild 3). Das zeigen Gegenüberstellungen von gemessenen und simulierten Werkzeuginnendruckverläufen für die Fließspirale aus einer Epoxidharzformmasse. Ohne Berücksichtigung der Vorvernetzung fällt der berechnete Druck deutlich zu niedrig aus. Eine korrekte Druckberechnung ist u. a. beim Umspritzen von elektronischen

Komponenten wichtig, da hier hohe Werkzeuginnendrucke zu Beschädigungen der Einlegeteile führen können. Durch die Anpassung des Vorvernetzungsgrads stimmen die gerechneten Druckkurven sehr gut mit den gemessenen überein. Somit ist eine wesentlich genauere Vorhersage der Druckverhältnisse im Werkzeug durch die Simulation möglich.

Faserorientierung bei Duroplasten schwer zu ermitteln

Viele Thermoplaste enthalten nur einen einzigen Verstärkungswerkstoff wie Glasfasern. Die Ausrichtung der Fasern in der Schmelze ist deshalb relativ genau simulierbar. Duroplastische Formmassen sind hingegen in der Regel hochgefüllte Systeme,

die neben Glasfasern auch einen hohen Anteil an organischen oder anorganischen Füllstoffen aufweisen. Nicht selten beinhalten duroplastische Materialien in Summe bis zu 80 % Füll- und Verstärkungsstoffe. In der Simulationssoftware kann der Anwender allerdings kein Faser-Füllstoff-Mischungsverhältnis vorgeben, sondern lediglich den Faseranteil in Gewichtsprozent. Da die Füllstoffe die Ausrichtung der Fasern beeinträchtigen, kann es im Besonderen bei Formmassen mit einem geringen Faseranteil und einem hohen Füllstoffgehalt zu signifikanten Abweichungen der Berechnung kommen. Auch die für duroplastische Formmassen typische Block-Scher-Strömung lässt sich durch mathematische Gleichungen bislang kaum abbilden. Dabei bewegen sich die Glasfasern überwiegend in einem Masseblock, in dem sie keinen Scherkräften ausgesetzt sind und sich demzufolge nicht entlang der Strömung ausrichten.

Die Berechnung der Faserorientierung ist deshalb bei Duroplasten deutlich ungenauer als bei Thermoplasten. Ein wichtiger Parameter, mit dem sich die berechnete Faserorientierung beeinflussen lässt, ist der Faserinteraktionskoeffizient C_f . Je höher der C_f -Wert ist, desto mehr behindern sich die Fasern gegenseitig in der Strömung und desto diffuser ist die berechnete Faserlage im Bauteil. Durch Anpassung des C_f -Werts besteht die Möglichkeit, eine bessere Übereinstimmung mit der Realität zu erzielen (Bild 4). Mit einem höheren C_f -Wert liegt die berechnete Faserorientierung deutlich näher an der mit einem μ -Computertomographen ermittelten Faserorientierung im Bauteil.

Fazit und Ausblick

Die Simulation des Formfüllverhaltens von Epoxidharzformmassen liefert mit genauen Werkstoffdaten realistische Ergebnisse. Bei Phenolharzen entstehen während der Vernetzung Reaktionsnebenprodukte, die die Materialcharakterisierung, den Prozess und damit die Vorhersagegenauigkeit der Formfüllsimulation beeinflussen können. Um auf den gleichen Stand wie bei Thermoplasten zu gelangen, besteht weiterer Forschungsbedarf, insbesondere in Bezug auf die sich einstellende Füllstofforientierung. Mit einer korrekten Vorhersage könnten die anisotropen Eigenschaften und lokalen Festigkeiten bereits in der Entwicklungsphase eines Bauteils besser berücksichtigt werden. ■