

Verifizierung der Formfüllsimulation beim Spritzgießen von Keramik

Tassilo Moritz
Matthias Ahlhelm
Reinhard Lenk
Fraunhofer IKTS
Dresden/DE
Tassilo.Moritz@
ikts.fraunhofer.de

Einführung

Im April 2008 hat sich der Expertenkreis Keramikspritzguss in der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V. gegründet. Dabei handelt es sich um ein Netzwerk aus 15 Unternehmen und zwei Forschungseinrichtungen, die sich des Keramikspritzgießens als innovatives, großserientaugliches Formgebungsverfahren zur Fertigung keramischer Bauteile bedienen. Erklärtes Ziel des Expertenkreises ist die Lösung gemeinsamer technologischer Fragestellungen, um dem Keramikspritzguss auf diese Weise zu einer weiter wachsenden Verbreitung zu verhelfen. Eine dieser Fragestellungen befasst sich mit der Fähigkeit kommerziell verfügbarer Simulationstools, kritische Bereiche der Formfüllung wie Freistrahlbildung, Bindenähte oder den Einfluss verschiedener Material- und Prozessparameter auf das Formfüllverhalten exakt widerzuspiegeln. Zu diesem Zweck haben die Mitglieder des Expertenkreises ein Testwerkzeug konstruiert und gebaut, das durch vielfältige Werkzeugeinbauten der Formfüllsimulation verschiedene Schwierigkeitsgrade entgegenstellen kann. In einem Ringversuch wird das Formfüllverhalten zweier Feedstocks mit unterschiedlichen Simulationstools simuliert und mit dem realen Formfüllverhalten anhand von Formfüllstudien verglichen. Zu diesem Vergleich werden lichtmikroskopische Aufnahmen der Füllfronten der Testteile und Röntgen-Computertomografische Aufnahmen der Grünteile sowie die Daten interner Drucksensoren herangezogen.

Experimentelle Durchführung

Das von der Fa. Arburg GmbH+Co KG konzipierte Spritzgießwerkzeug gestattet es, einen prismatischen Langstab mit den Abmessungen 7 mm × 7 mm × 70 mm zu spritzen, der wahlweise als Vollstab oder mit Durchgangs- bzw. Sackbohrungen ausgeführt werden kann, wobei eine Fläche zusätzlich mit einer Zick-

Zack-Form ausgestattet sein kann. Das Angussystem kann als Bandanguss oder mit halbkreisförmigem Querschnitt ausgeführt werden. Das Werkzeug kann mit einem angelegten Vakuum betrieben werden. Zusätzlich verfügt es über zwei Temperierungskanäle. Eine Kanalführung bietet eine optimale Temperierung der beiden Kavitäten, die andere bewirkt eine schlechte Temperaturverteilung. Das Aufheizverhalten des Werkzeuges in Abhängigkeit von der Wahl des Temperierungssystems wurde mit Hilfe einer Wärmebildkamera untersucht.

Für die Formfüllsimulation und die Formfüllstudien wurden die Aluminiumoxid-Feedstocks Catamold® AO-F (BASF SE) und INMAFEED K1008 (Inmatec Technologies GmbH) genutzt. Von beiden Materialien wurden die Simulationseingangsdaten, d.h. pVT-Diagramme, Wärmeleitfähigkeiten, spezifische Wärme, E-Modul, Scherviskosität, Dehnviskosität und Dichte ermittelt. Für die Simulation werden drei kommerziell angebotene Simulationstools herangezogen: Moldex3D (Simpatec GmbH), Moldflow (Autodesk) und Sigmasoft (Sigma GmbH). Zur Verifizierung der Simulationsdaten wurden die Formfüllung sowie die Druckverteilung herangezogen, während das thermische Verhalten und die Spannungen im gespritzten Bauteil nicht näher betrachtet werden sollten. Für die Formfüllstudien wurden die Parameter Werkzeugtemperatur, Einspritzgeschwindigkeit und Angusskanalgeometrie variiert. Zusätzlich wurde der Einfluss eines evakuierten Werkzeuges auf die Formfüllung untersucht. Die Temperatureinstellung der Düse und der Spritzeinheit wurde nach den Angaben der Feedstockhersteller gewählt und während der Versuche konstant gehalten. Die gespritzten Teile wurden nachfolgend entbindert und den Herstellerangaben folgend gesintert. Eine Charakterisierung der Teile wurde über lichtmikroskopische Untersuchungen und Dichtebestimmung durchgeführt. Zusätzlich wurden beide Aluminiumoxidfeedstocks mit

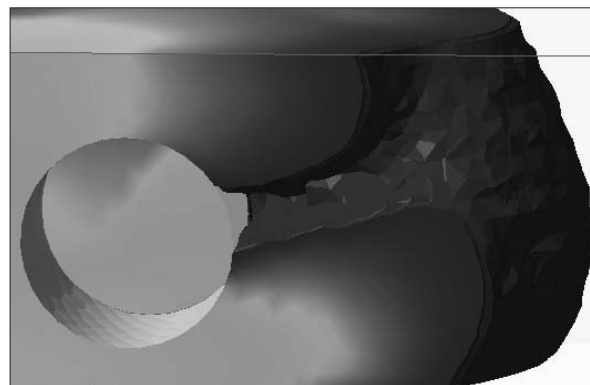


Bild 1 Ergebnis einer Formfüllsimulation (Moldex3D®) für einen prismatischen Stab mit Sacklochbohrung und 40 %iger Formfüllung unter Zugrundelegung des Modified Cross Models

maximal 5 Masse-% Zirkoniumoxid-feedstock, basierend auf denselben Bindersystemen, in der Plastifiziereinheit versetzt und damit eine gezielt schlechte Durchmischung beider Materialien bewirkt.

Aus dieser Mischung wurden anschließend Formkörper gespritzt und im grünen Zustand mittels röntgen-computertomografischer Aufnahmen (CT Compact, Procon X-Ray und Fraunhofer-Entwicklungszentrum Röntgentechnik) untersucht. Infolge des Materialkontrasts, den die Materialien Aluminiumoxid und Zirkoni-

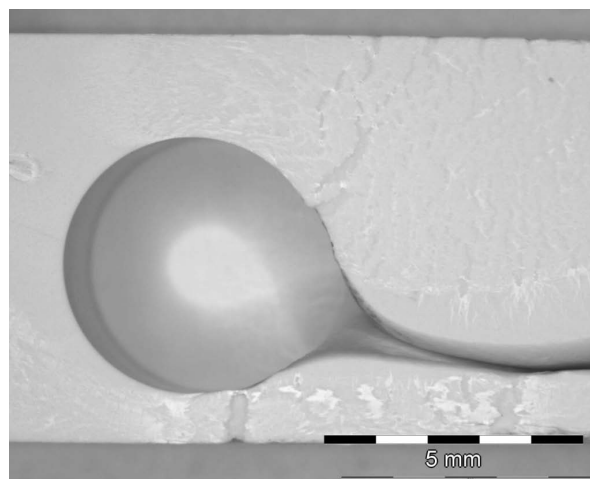


Bild 2 Ergebnis einer realen Formfüllstudie anhand der in der Simulationsrechnung (Bild 1) zugrunde gelegten Spritzgießparameter

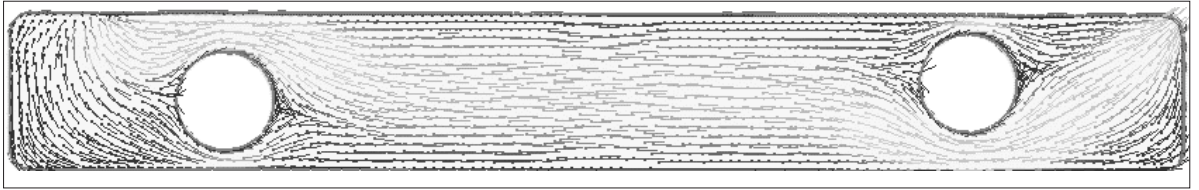


Bild 3 Simulierte Geschwindigkeitsvektoren in einem prismatischen Stab mit Durchgangsbohrungen

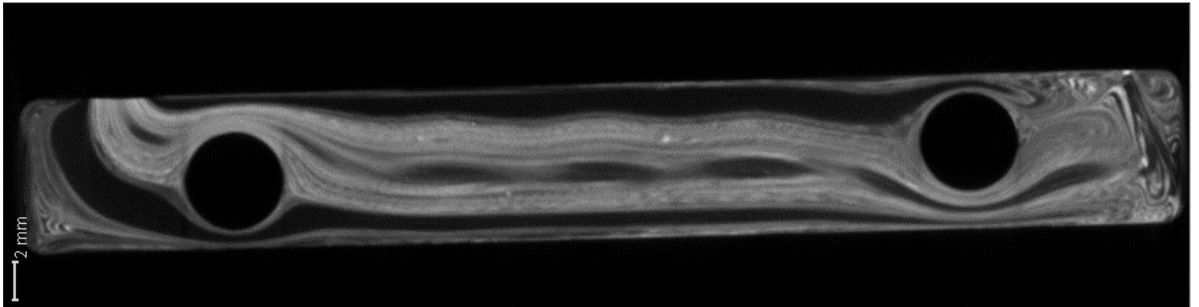


Bild 4 CT-Aufnahme eines prismatischen Stabs mit Durchgangsbohrungen, gespritzt mit einem Markierungsfeedstock, bestehend aus einer Mischung von Pulvern unterschiedlicher Schwächungskoeffizienten für Röntgenstrahlung

umoxid im Röntgenbild erzeugen, lassen sich Fließwege, Totwassergebiete und Bindenähte im Bauteil sehr gut nachvollziehen und mit den Simulationsergebnissen vergleichen.

Diskussion und Auswertung

Die Versuche zur Formfüllung haben gezeigt, dass das Testwerkzeug trotz einer relativ einfachen Formkörpergeometrie hohe Ansprüche an die Simulation stellt. Dabei wird deutlich, dass die Auswahl des der Simulation zugrunde gelegten Modells, welches der Anwender frei wählen kann, einen entscheidenden Einfluss auf die Übereinstimmung des Ergebnisses mit der realen Formfüllung hat (Bilder 1, 2). Es konnte gezeigt werden, dass insbesondere der Beginn des Einspritzens in die Werkzeugkavität in Form eines auf die gegenüberliegende Werkzeugwand treffenden Freistrahls und dessen Auswirkung auf die Formierung von Bindenähten, die während des gesamten Formenfüllungsprozesses mitgeschleppt werden, eines der Hauptprobleme in der Simulation darstellt. Ferner konnte experimentell und in der Simulation der Einfluss der Angussgeometrie auf die Formfüllung deutlich gemacht werden.

Dabei wurde herausgestellt, dass ein halbkreisförmiger Angussquerschnitt gegenüber einem Bandanguss infolge des kleineren Verhältnisses von Oberfläche zu Querschnittsfläche ein besseres Formfüllverhalten bedingt. Weiterhin wurde in den Formfüllstudien die förderliche Wirkung eines angelegten Vakuums auf die Füllgeschwindigkeit gezeigt. Besonders wertvolle Resultate lieferten die Untersuchungen an den mit den so genannten Markierungsfeedstocks gespritzten Grünteilen mittels Röntgen-Computertomografie. Diese Rekonstruktionsbilder wurden den simulierten Geschwindigkeitsvektoren gegenübergestellt (Bilder 3, 4) und mit lichtmikroskopischen Aufnahmen der Füllfront verglichen. Auf diese Weise lassen sich viele Übereinstimmungen zwischen Realteil und Simulation erkennen.

Zusammenfassung

Als Ergebnis der Untersuchungen konnte herausgestellt werden, dass im Bereich der Spritzgießsimulation ein erheblicher Bedarf an einer Weiterentwicklung existierender Simulationstools mit dem Ziel einer stärkeren Durchdringung des Formfüllprozesses besteht. Es konnte gezeigt werden, dass die Wahl des der Simu-

lation zugrunde liegenden Modells einen entscheidenden Einfluss auf den Realitätsbezug der Simulation besitzt. In der Weiterentwicklung der Simulationstools kommt der Betrachtung der Feedstocks als Mehrkomponentensysteme, bestehend aus einem Bindersystem und einer Pulverkomponente, ebenfalls eine große Bedeutung zu. Ferner muss hervorgehoben werden, dass ein Simulationstool nur so gut sein kann, wie die im Vorfeld zu bestimmenden Simulationseingangsdaten. Mit zunehmender Verfeinerung der Simulationsergebnisse werden ebenfalls die Anforderungen an die Ermittlung der rheologischen, mechanischen und thermischen Kenngrößen des Feedstocks unter Berücksichtigung der Form, der spezifischen Oberfläche und der Teilchengrößenverteilung des im Feedstock verarbeiteten Pulvers ansteigen.

Danksagung

Die Arbeiten wurden durch den Expertenkreis Keramikspritzguss in der *Deutschen Keramischen Gesellschaft e.V.* unterstützt. Unser besonderer Dank gilt *Hartmut Walcher (Arburg)*, *Dr. Moritz von Witzleben (INMATEC)* und *Johan ter Maat (BASF)*.

Das Versuchswerkzeug und weitere Ergebnisse aus der Praxis werden auf dem Gemeinschaftsstand der TASK GmbH (Treffpunkt Keramik) zur diesjährigen **HANNOVER MESSE** ausgestellt. Besuchen Sie den Expertenkreis Keramikspritzguss in **Halle 5, Stand E40**.