

Erlangen

# Symposium „Plastische und thermoplastische Formgebung“

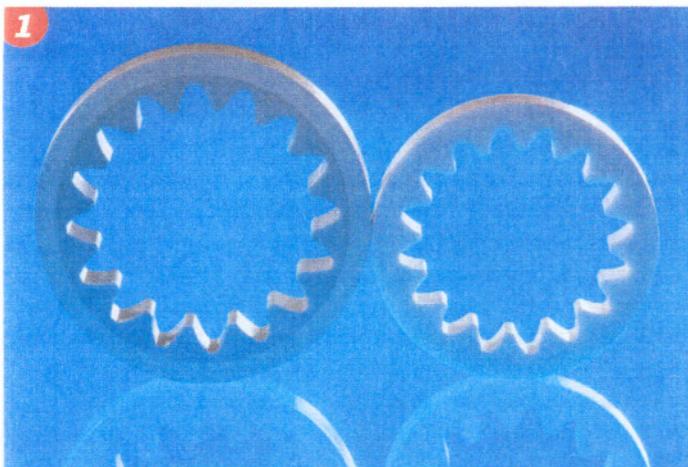
Am 1. und 2. Dezember 2009 fand in der Stadthalle zu Erlangen das alljährliche Herbstsymposium des Fachausschusses 3 „Verfahrenstechnik“ der DKG – diesmal zum Themenkreis „Plastische und thermoplastische Formgebung“ – statt, gemeinsam gestaltet mit dem „Expertenkreis Keramikspritzguss“ der DKG. Unter Vorsitz von **Prof. A. Roosen** (FA 3) und **Dr. R. Lenk** (Expertenkreis) wurden folgende Schwerpunkte in Einzelbeiträgen präsentiert:

Im Sinne eines Plenarvortrags behandelte **R. Lenk, Fraunhofer IKTS, Dresden**, die produkt- und prozessorientierte Formgebung technischer Keramik am Beispiel von Extrusion und Spritzguss. Beide sind Fertigungsverfahren von hoher Produktivität und hohen Automatisierungspotenzials, auch bei vor- und nachgelagerten Prozessschritten. Ob plastische oder thermoplastische Formgebung, für beide Verfahren stehen übergreifende Fragestellungen, beginnend bei der Auswahl geeigneter Binder für eine homogene Plastifizierung und Einstellung definierter rheologischer Parameter über eine Modellierung und Simulation der Formgebungsprozesse bis hin zur Zustandscharakterisierung mittels zerstörungsfreier Prüfmethoden. Nach beiden Verfahren werden hohe Umformgrade zur Abformung keramischer Massen in Kavitäten komplexer Geometrie genutzt, um eine endformnahe oder -gerechte Fertigung auch bei sehr filigran gestalteten Strukturen mit hoher Präzision zu ermöglichen. Damit besteht ein hohes Potenzial als Treiber für Produktinnovationen, wie z. B. zur Integration unterschiedlicher Werkstoffe bereits in der Formgebung zur Realisierung von Werkstoffverbunden, Werkstoffpaarungen oder Gestaltung graduierter Werkstoffübergänge (Bild 1).

## Masseaufbereitung und Charakterisierung

**R. Bartusch, KI Keramik-Institut GmbH, Meißen**, und **F. Händle, ECT GmbH, Mühlacker**, charakterisierten die masseseitigen Voraussetzungen für die Extrudierbarkeit keramischer Versätze wie folgt:

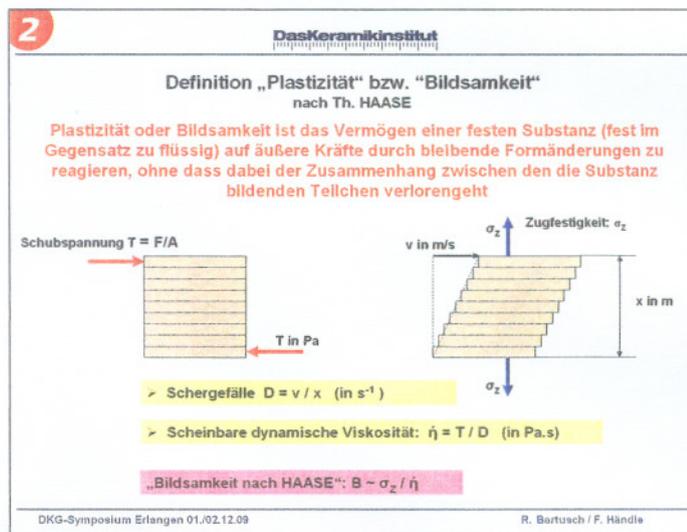
- Homogenität, hoher Dispersionsgrad und ausreichende Plastizität/Bildsamkeit (Bild 2)
- Maximaler Partikeldurchmesser  $\leq 10\%$  der kleinsten Spaltweite von Extruder, Presskopf und Mundstück



**Bild 1** • Spritzgegossener Werkstoffverbund  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZTA}$  (EU-STREP-Projekt „CarCIM“, FKZ TST 5-CT-2006-031462)

- Gute Entlüftbarkeit in der Vakuumkammer
- Vermeidung von Entmischungen und Bildung trockener Partikel bzw. Agglomerate während der Extrusion
- Gutes Gleitvermögen auf den die Masse berührenden Oberflächen der Maschinenkomponenten und Vermeidung jeglicher chemischer Reaktionen mit diesen.

Zur Bewertung der der Extrusion vorausgehenden Aufbereitungsprozesse wurde an Produktionsmassen auf  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -,  $\text{TiO}_2$ - und  $\text{SiC}$ -Basis eine Messmethode zur objektiven Ermittlung der erforderlichen Mindest-Knetdauer mittels Kapillarrheometer („Capillar Check“) entwickelt, da die in der Praxis dafür oft verwendeten Penetrometer zur Kontrolle der Massekonsistenz in vielen Fällen nicht ausreichen. Erfahrungsgemäß ist der beste Extruder nicht in der Lage, Unzulänglichkeiten oder Fehler aus vorgelagerten Verfahrensschritten in der Aufbereitung von Arbeitsmassen zu kompensieren. Die Qualität stranggepresster Erzeugnisse hängt entscheidend vom Geschwindigkeitsfeld und der Druckverteilung in der Strömung der Pressmasse ab. Das Geschwindigkeitsfeld kann durch eine Optimierung der Presswerkzeuggeometrie, Pressmasseeigenschaften und den durch die Druck erzeugende Presse aufgeprägten Randbedingungen gesteuert werden.



**Bild 2** • Definition der Begriffe „Plastizität“ bzw. „Bildsamkeit“ nach Prof. Th. Haase

Nach **H. Berger, Ziegelmundstückbau Braun GmbH, Friedrichshafen**, und **W. Hoffmann, SiCo-Solutions, Stuttgart**, ist dafür die Simulation ein Hauptinstrument. Der numerischen Simulation wird als rheologisches Modell das Bingham'sche Materialgesetz zugrunde gelegt. Wichtig dabei ist, die Deformationsprozesse nicht nur als reine Schervorgänge zu beschreiben, sondern das Wandgleiten der keramischen Masse mit einer von Feuchte, Wandschubspannung und Wandstruktur (z. B. Oberflächengüte) abhängigen Wandgleitgeschwindigkeit zu betrachten. Erst die Einbeziehung des Wandgleitens in die Beschreibung des Fließverhaltens beschreibt die Realität hinreichend genau. An praktischen Beispielen wird demonstriert, wie sich Simulationsrechnungen bei Verifikation der

## KERAMISCHER RUNDBLICK

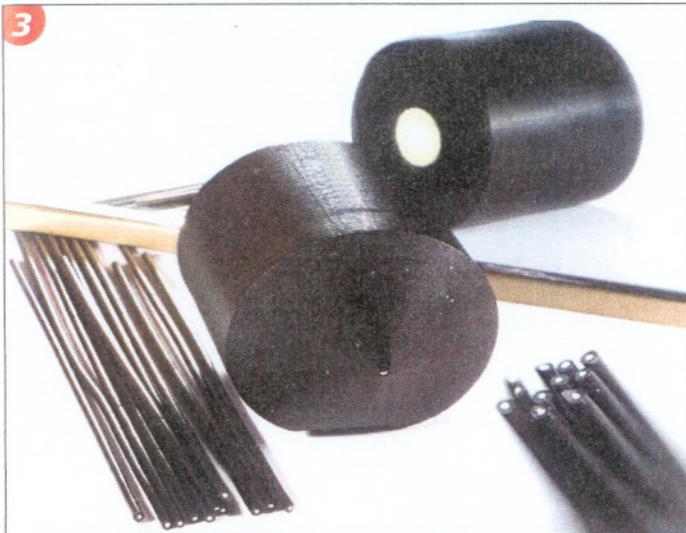


Bild 3 • Modular aufgebaute Vorformen und deren coextrudierte PZT-Monofilament-Komposite

Masseparameter zur Beschleunigung von Neuentwicklungen und deren fertigungsseitigen Umsetzung ausgewirkt haben.

Aus der Erfahrung eines Produzenten, der jährlich bis zu 150 t Feedstock für den Keramikspritzguss aufbereitet, berichtete **K. Hajek, Inmatec Technologies GmbH**, Rheinbach, über Anforderungen an Keramikpulver und Binder unter Beachtung nachfolgender thermischer Prozessschritte. Veranschaulicht wurde, wie mit einer optimalen Kombination von Pulver- und Binderkomponenten den Anforderungen und der Qualität zu fertigender Bauteile entsprochen werden kann.

Zur Verifizierung einer Formfüllsimulation stellte **T. Moritz, Fraunhofer IKTS**, Dresden/Expertenkreis Keramikspritzguss, Ergebnisse des im Mai 2008 gegründeten Expertenkreises Keramikspritzguss (CIM) vor. Dieser stellt ein Netzwerk aus derzeit 13 Unternehmen und 2 Forschungseinrichtungen dar, die sich des Keramikspritzgießens als innovativem, großserientauglichem keramischem Formgebungsverfahren bedienen. Eine der gemeinsam zu bearbeitenden Problemstellungen ist die Fähigkeit kommerziell verfügbarer Simulationstools, kritische Bereiche der Formfüllung und den Einfluss verschiedener Material- und Prozessparameter auf das Formfüllverhalten exakt widerzuspiegeln. An einem zu diesem Zweck realisierten Testwerkzeug wird in einem Ringversuch das Formfüllverhalten zweier kommerzieller  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Feedstocks mit unterschiedlichen Simulationstools simuliert und mit dem realen Füllverhalten verglichen. Dazu dienen lichtmikroskopische Aufnahmen der Füllfronten der Testteile und Röntgen-CT-Aufnahmen an Grünkörpern sowie Messwerte interner Drucksensoren. Die Wahl des der Simulation zugrunde liegenden Modells ist von entscheidendem Einfluss auf den Realitätsbezug der Simulation. Besonders wertvolle Ergebnisse brachte die Nutzung so genannter Markierungs-Feedstocks zum Nachstellen von Tracerlinien im Vergleich mit Geschwindigkeitsvektoren und Untersuchung von dabei gespritzten Teilen mittels Röntgen-CT.

### Formgebung

In einem Übersichtsbeitrag zum Extrudieren keramischer Massen konzentrierte sich **F. Händle, ECT GmbH**, Mühlacker, auf folgende Grundsatzfragen: wichtigste Determinanten für Extruder in der Keramik; Einsatz und Grenzen der Extrusion im Vergleich zu anderen Formgebungsverfahren; Plastizität in der Keramik; die Bedeutung von Verschleiß und Bewertung von Problemlösungen.

Mittels thermoplastischem Coextrusionsprozess demonstrierten **F. Clemens, M. Rojas Ismael** und **T. Graule, EMPA**, Dübendorf,

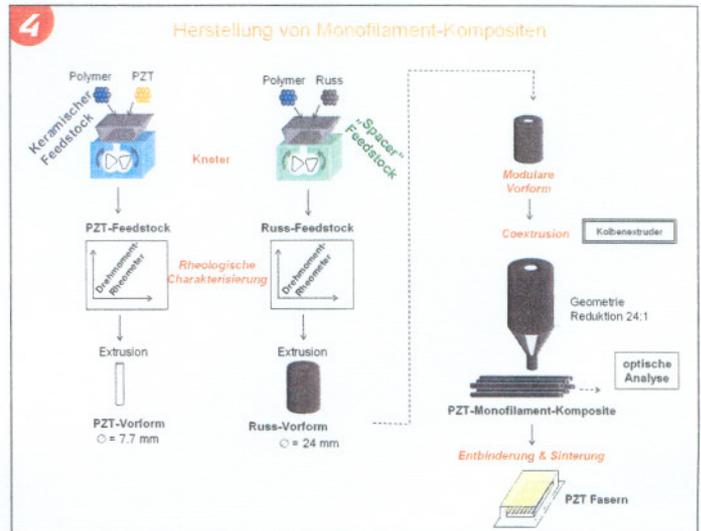


Bild 4 • Schema des experimentellen Setups zur Herstellung von PZT-Fasern über das Coextrusionsverfahren

Schweiz, die Erzeugung unidirektionaler Monofilament-Komposite auf Basis von  $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$  und Russ unter Einbeziehung verschiedener Bindersysteme (Polyethylen, Polystyrol, Ethylen-Ethylacrylat und Isobutyl-Metacrylate). Es wurde dargestellt wie sich die Wechselwirkung zwischen den Polymeren und Keramikpartikeln durch die eingesetzten Bindersysteme ändert. Da es sich um ein gleichzeitiges Extrudieren verschiedener Stoffe und nicht um eine Ummantelung handelt, müssen Fließverhalten und Wandgleiteigenschaften beider Stoffsysteme aufeinander abgestimmt sein. Bei allen Prozessschritten muss die Grenzfläche zwischen den unterschiedlichen Werkstoffen erhalten bleiben. Die entwickelten Feedstocks zeigen ein unterschiedliches strukturviskoses Fließverhalten, weshalb nur in einem bestimmten Scherratenbereich erfolgreich coextrudiert werden kann. Für die Coextrusion können entweder komplexe Mundstücksgeometrien oder Preformen eingesetzt werden und damit feine PZT-Fasern von 300  $\mu\text{m}$  und auch PZT-Hohlfasern erzeugt werden (Bilder 3–4).

Die Spritzgießmaschinen und Werkzeuge für den Keramikspritzguss der Fa. **ARBURG GmbH + Co. KG**, Loßburg, sind nach **H. Walcher** speziell für CIM und MIM ausgelegt bis hin zu vollautomatischen Lösungen für die CIM-Produktion. Je nach zu verarbeitendem Feedstock und Bauteilgestaltung sind Schnecken- und Werkzeug ausgelegt. Mit einer Werkzeug-Evakuierung können zahlreiche Probleme wie Luftpneinschlüsse, Bindermigration oder Zugschmierungen von Entlüftungen vermieden werden; ebenso durch Werkzeugtemperierung mit  $\pm 1$  K Temperaturkonstanz kann einem Bauteil-Verzug und Kleben des Feedstocks begegnet werden.

**M. von Witzleben, Inmatec Technologies GmbH**, Rheinbach, und **T. Moritz, Fraunhofer IKTS**, Dresden, analysierten Anforderungen an die Feedstockentwicklung für das 2K-Spritzgießen. Der Bedarf an multifunktionalen keramischen Mehrkomponenten-Bauteilen bedingte die Entwicklung eines rationellen Formgebungsverfahrens, das in den 1990er Jahren zu ersten Entwicklungen eines 2K-Spritzgusses führte mit ersten Bauteilserien um das Jahr 2000. Um gleichzeitig verschiedene Werkstoffkombinationen (Funktions- und Konstruktionswerkstoffe, leitende/nichtleitende; harte/duktile; Farbvariationen) zu einem Bauteil verarbeiten zu können, müssen die Feedstocks bezüglich Fließ-, Schwindungs- und Sinterverhalten so aufeinander abgestimmt sein, dass es über die gesamte technologische Kette zu keinerlei Werkstofftrennungen oder wechselseitigen Beeinflussungen kommt. Die Beherrschung dieser Technologie, die noch am Anfang ihrer potenziellen Möglichkeiten zur