

# Formfüllen beim Magnesium-Spritzgießen

Die Simulation hilft Geld zu sparen

Andreas Dworog und  
Andi Steinscherer, Duisburg,  
Dierk Hartmann, Simmerath,  
und Erik Hepp, Aachen

Beim Thixomolding sind die Vorgänge im Werkzeug sehr komplex. Über das Fließverhalten von thixotropen Magnesiumlegierungen ist wenig bekannt. Mit einem neuen Softwaremodul sind Füllstudien möglich, die gute Übereinstimmung mit der Praxis zeigen.

Der Druck aus Südostasien zwingt dazu, sich mit dem Magnesium-Spritzgießen auseinander zu setzen und erste Bauteile als Pilotserie herzustellen. Viele Unternehmen und Institutionen untersuchen Verfahrenstechnik, Marktchancen, Risiken und Vor- und Nachteile der Technik [1-5]. Die Simulation der Vorgänge im Werkzeug ist häufig komplex. Über das Fließverhalten von thixotropen Magnesiumlegierungen mit Feststoffanteilen bis zu 30% liegen wenig publizierte Erfahrungen vor. Untersucht werden einfache Modellbauteile und komplexe Praxisbauteile. Es werden auch Anschnittgeometrien verwendet, von denen schon im Vorfeld Probleme erwartet werden, und wo aus „Fehlern“ gelernt werden soll. Die realen Formfüllstudien werden mit Berechnungen des Moduls Magmathixo der Simulationssoftware MagmaSoft verglichen.

plastschmelzen, d.h. mit zunehmender Schergeschwindigkeit nimmt die Viskosität ab. Außerdem nimmt mit zunehmender Temperatur der Feststoffanteil (fs) und damit auch die Viskosität ab. Typische Thermoplastschmelzen haben deutlich höhere Viskositäten als teiler-

wird, bis sich konstante scheinbare Viskositäten einstellen. Die Untersuchungen sind mit Scherraten zwischen 100 und 500 pro Sekunde durchgeführt worden. Bei 500 pro Sekunde stellen sich konstante scheinbare Viskositäten nach Beanspruchungszeiten von etwa drei bis

## Besonderheit: Zeitabhängige Viskosität

Das Magnesiumspritzgießen gehört zu den Thixofforming-Verfahren. Eine Legierung wird im Bereich ihres Erstarrungsintervalls verarbeitet, in dem ein Gemisch aus flüssiger und fester Phase vorliegt. Im Vergleich zum Thixoforging und Thixocasting von Aluminiumlegierungen wird beim Magnesium-Spritzgießen typischerweise mit niedrigen Feststoffanteilen von ca. 2 bis 30% gearbeitet.

Thixotropes Fließverhalten bezeichnet die zeitabhängige Abnahme der Viskosität infolge andauernder Scherung. Im stationären Fall ähnelt das Fließverhalten einer teilerstarrten Schmelze dem strukturviskosen Verhalten von Thermo-

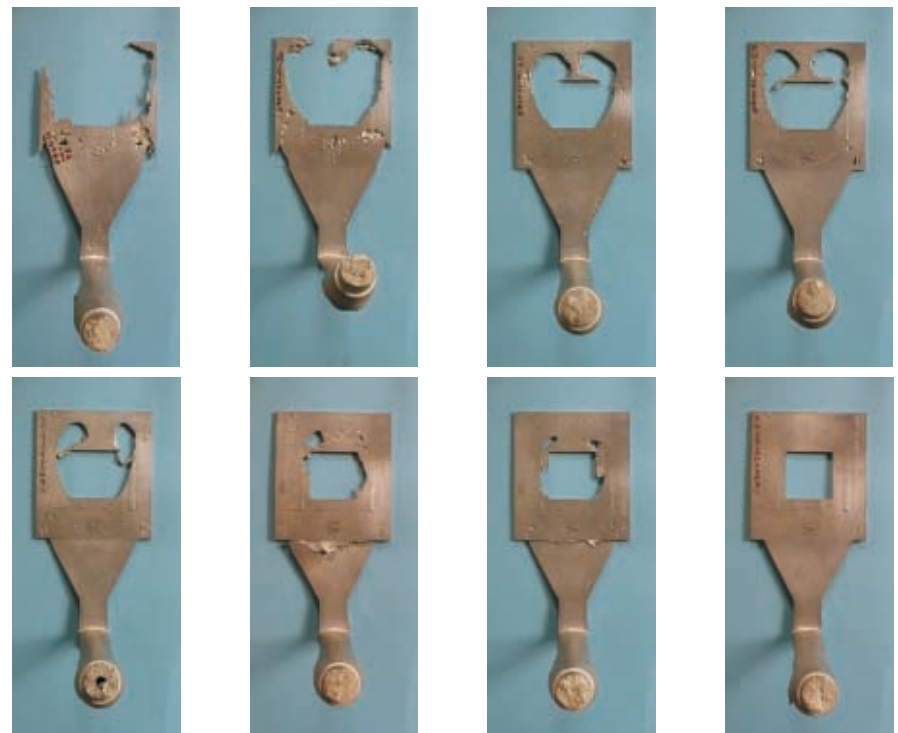


Bild 1. Typische Thermoplastschmelzen haben deutlich höhere Viskositäten als teilerstarrte Magnesiumschmelzen (Füllstudie eckige Aussparung und Fächeranguss)

plastische Magnesiumschmelzen und weisen damit auch ein anderes Füllbild (Bild 1) auf, als es der Spritzgießer erwartet.

Untersuchungen mit einem Rotationsviskosimeter [10] zeigen, dass mit abnehmender Scherrate die Zeit kürzer

fünf Sekunden ein. Im Vergleich zu typischen Füllzeiten (20 bis 120ms) legt dies den Schluss nahe, dass sich die Viskosität beim Einspritzvorgang auf Grund des strukturviskosen Verhaltens lokal und zeitlich ändert. Die Verwendung und Extrapolation von Material-



Bild 2. Das Erstarrenverhalten und die Trägheitskräfte beeinflussen deutlich das Formfüllverhalten

kennwerten, die mit einem Rotationsviskosimeter ermittelt wurden, als Eingangsgröße für die Simulation, sollte nur ein erster Ansatz sein. Weiterführende Untersuchungen sind im laufenden Projekt geplant.

### Formfüllung visualisieren

Die Füllstudien werden mittels variiert Schussgrößen (Schneckenhub) durchgeführt. Die teilaufgeschmolzene Magnesiumschmelze erstarrt sehr schnell und ist bei geringen Feststoffanteilen unter Einfluss von hohen Scherraten ein niedrigviskoses Fluid. Die Trägheitskräfte sind im Vergleich zu den Reibungskräften groß. Bei solchen Fluiden ergeben sich Kanäle mit leicht unterschiedlicher Kontur, die zu Streuungen im erstarrten Füllbild (Bild 2) beitragen.

Aus heutiger Sicht muss ein Anschnitt so gestaltet werden, dass die Strömung nicht im Anschnitt abreißt und eine Kavität vom Anschnitt aus mit möglichst geschlossener Fließfront gefüllt wird.

Bild 3 zeigt ein zentrales Problem bei der ersten Abmusterung eines Bohrerhammergehäuses, das in einer modifizierten Aluminium-Druckgießform hergestellt wird. Hier reißt durch einen zu dünnen Anschnitt die Strömung ab und die Kavität wird ähnlich wie beim Druckguss von der dem Anschnitt gegenüberliegenden Seite gefüllt. Füllstudien des Bohrerhammergehäuses nach gießtechnischer Verbesserung des An-

schnitts und Laufs (Bild 4) zeigen deutliche Unterschiede.

Füllstudien, die mit unterschiedlichen Massetemperaturen (580 bis 605 °C) durchgeführt werden, weisen qualitativ keine entscheidenden Unterschiede auf. Am Bauteil sind die Temperaturänderungen mit der Sichtkontrolle erkennbar. In Grenzen kann die Bindenahtlage durch

die Lage des Zusammenfließens der Schmelzefronten so in einem Bereich von ungefähr 40 mm beeinflusst werden.

### Füllstudien im Vergleich

Die Füllstudie eines dickwandigen Bauteils, das beim Thixocasting mit der Le-

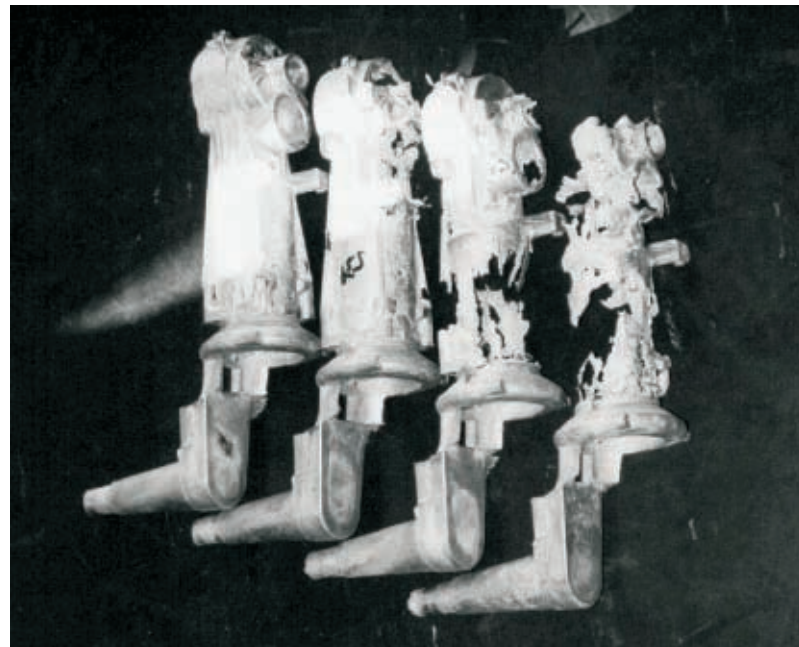


Bild 3. Wenn durch einen zu dünnen Anschnitt die Strömung abreißt wird die Kavität ähnlich wie beim Druckguss von der dem Anschnitt gegenüberliegenden Seite gefüllt

Einstellungen wie Temperatur und Geschwindigkeit beeinflusst werden. Bei diesem ca. 210 mm langen Bauteil kann

gierung AlSi7Mg mit einem Feststoffanteil von ca. 45%, bei einer Anschnittgeschwindigkeit von etwa 2 m/s her-



Bild 4. Gießversuch und Füllstudien des Bohrhammergehäuses nach gießtechnischer Verbesserung des Anschnitts

gestellt worden ist, weist eine geschlossene Fließfront und laminare Strömung auf. Durch den hohen Wärmeinhalt von Aluminiumlegierungen im Vergleich zu Magnesium und der damit verbundenen langsameren Erstarrung kann ein gleichmäßiges Füllverhalten erreicht werden.

Die Formfüllstudien beim Magnesiumspritzgießen ähneln oberflächlich betrachtet eher denen beim Druckguss, zeigen aber deutliche Unterschiede an den Bauteilen. Versuchsweise wurden Druckgieß-Werkzeuge abgemustert, an denen mit Ausnahme kleiner prozessbedingter Änderungen der Angussbuchse keine weiteren Modifikationen vorgenommen

worden sind. Bei der Abmusterung eines Funktionsträgers mit Sichtflächen wird festgestellt, dass die im Warmkammer-Druckguss nötigen zusätzlichen Fließhilfen beim Spritzgießen besser geschlossen werden und die Lage von Entlüftungen angepasst werden müssen. Typische Problembereiche bei diesem Druckgießteil, wie eine Einfallstelle oder die konturgenaue Abbildung von Kanten im Sichtbereich bei der Spritzgießabmusterung sind unkritisch. Auch bei sehr kleinen Feststoffanteilen (ca. 2 bis 5%) liegt noch ein geändertes Fließ- und Formfüllverhalten der Magnesiumschmelze bei dünnwandigen (0,6 bis 3,0 mm) Bauteilen im Vergleich zum Druckguss vor.

### Materialverhalten simulieren

Zur rheologischen und thermischen Werkzeugauslegung wird das im Madica-Forschungsvorhaben weiterentwickelte Modul Magmathixo der Simulationssoftware Magmasoft eingesetzt. Die Ergebnisse zeigen die kontinuierliche Weiterentwicklung des Programms. Bild 5 zeigt den Vergleich zwischen Füllstudie und Simulation, die mit dem Rheologiemodell nach Ostwald-de Waele durchgeführt wird. Es liegt eine qualitative Übereinstimmung vor, zum Ende der Formfüllung lassen sich jedoch deutliche Unterschiede erkennen. Durch die Beschreibung des Materialverhaltens mittels eines neu implementierten mathematischen Modells – das Thixotropiemodell – wird die Genauigkeit der Berechnung verbessert (Bild 5 rechts). Das Thixotropiemodell ist eine Erweiterung der bekannten Rheologiemodelle um eine zusätzliche Transportgleichung für die Viskosität. Damit wird berücksichtigt, dass die Viskosität stark von der Zeit abhängt.

Weitere Vergleiche zwischen Simulation und Experiment erfolgen mit Demonstrationsbauteilen der Projektpartner. In Bild 6 ist die Temperaturverteilung während der Erstarrung am Beispiel des Bohrhammergehäuses der Firma Bosch dargestellt. Deutlich zu erkennen sind die Wärmezentren im Bereich der Exzenterwellen-, der Antriebswellenaufnahme und im Bereich der Anschraubaugen. Diese potenziellen Problembereiche für die Erstarrung sind in der Röntgenanalyse als Lunken zu erkennen. Bild 6A zeigt ferner, dass der Anschnitt zu früh einfriert. Die Simulationsberechnung liefert einen Druckverlust von ca. 80 bar, der deutlich zu hoch ist. Bild 4 zeigt den daraufhin verbesserten Füllvorgang und die qualitative Übereinstimmung zwischen Versuch und Simulation.

Die genaue Lage einer Kaltfließstelle lässt sich gegenwärtig bei mittleren Anschnittgeschwindigkeiten (20 bis 70 m/s) noch nicht mit der Simulationsberechnung vorhersagen. Das Entstehen einer solchen Kaltfließstelle kann auch ohne vorherigen Versuch zuverlässig simuliert werden. Bei sehr hohen Anschnittgeschwindigkeiten (120 bis 200 m/s) stimmt die Simulation sehr gut mit dem Versuch überein. Mit der genaueren Kenntnis der rheologischen Materialkennwerte wird die Simulation eine



**Füllstudie**



**ohne Thixotropiemodell mit**

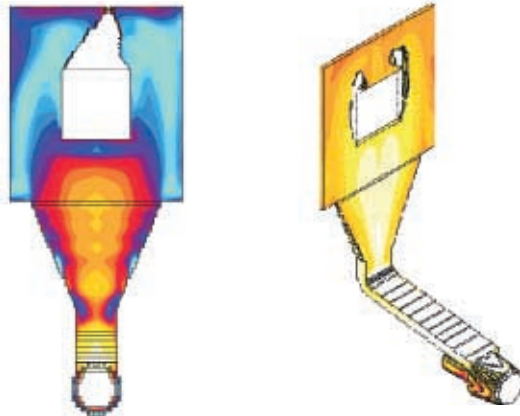


Bild 5. Fortschritt der Simulation bei der Beschreibung des Fließfrontverlaufs

Aluma/Eckart Dorn, DaimlerChrysler, Robert Bosch, FKUR, HASCO-Normalien, Hengst Filterwerke, Honsel, Krauss-Maffei Kunststofftechnik, Petri, Reiloy Metall, TCG Unitech, Volkswagen und dem Forschungszentrum Karlsruhe.

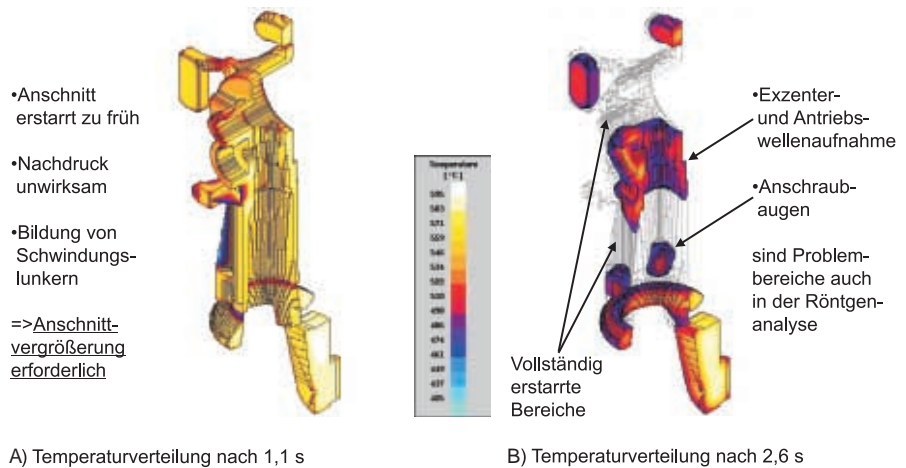
**Literatur**

Das Literaturverzeichnis kann bei den Autoren unter der Faxnummer 02154/9251-51 angefordert werden.

**Die Autoren dieses Beitrags**

Dipl.-Ing. Andreas Dworog, geb. 1966, leitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter das Projekt Verfahrensentwicklung Magnesiumspritzgießen am Fachbereich Gießereitechnik – Hütten-

Bild 6. Ergebnisse der Erstarrungsberechnung eines Bohrhammergehäuses



A) Temperaturverteilung nach 1,1 s

B) Temperaturverteilung nach 2,6 s

präzisere Beschreibung des Formfüllverhaltens liefern.

**Fazit**

Beim Magnesiumspritzgießen sind Formfüllstudien sehr hilfreich, um die Ergebnisse von Simulationsberechnungen zu evaluieren, das Entstehen von Fehlstellen am Bauteil zu analysieren und um Werkzeugänderungen vorzunehmen.

Formfüllstudien beim Magnesiumspritzgießen mit bis zu 30% Feststoffanteil zeigen qualitativ deutliche Unterschiede zu denen beim Thermoplastspritzgießen und beim Thixocasting. Die Formfüllstudien ähneln eher dem Magnesiumdruckguss, wobei auch deutliche Unterschiede feststellbar sind.

Der richtige Wärmehaushalt eines Werkzeugs spielt eine entscheidende Rolle; bei der thermischen Werkzeugauslegung sollte die Simulation eingesetzt werden. Das Erstarrungsverhalten

sowie dadurch bedingte Fehlstellen am Bauteil einer teilaufgeschmolzenen Magnesiumschmelze lassen sich bei bisher analysierten Bauteilen gut mit der Simulation vorhersagen.

Qualitativ gut stimmen auch die Berechnungen des Moduls Magmathixo der Simulationssoftware Magmasoft für das Formfüllverhalten mit untersuchten realen Füllstudien überein. Das im Laufe des Projekts entwickelte und implementierte Thixotropiemodell liefert deutliche Fortschritte bei der Beschreibung des Formfüllverhaltens. Aus heutiger Sicht besteht die Notwendigkeit, die thermophysikalischen Materialkennwerte, besonders die der Viskosität, unter praxisnahen Bedingungen zu ermitteln, um die Ergebnisse der Simulation weiter zu verbessern.

**Dank**

Für die Förderung und Unterstützung des Projekts danken wir dem BMBF,

technik der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg.

Kontakt: Fax: 02154/9251-51

Dipl.-Ing. Andi Steinscherer, geb. 1965, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in o.g. Projekt und Fachbereich.

Prof. Dr.-Ing. Dierk Hartmann, geb. 1956, ist Geschäftsführer der EFU Gesellschaft für Ur-/Umformtechnik mbH, Simmerath.

Dipl.-Ing. Erik Hepp, geb. 1967, ist tätig im Bereich F+E der MAGMA Gießereitechnologie GmbH, Aachen.