

# Rheologisches Verhalten teilerstarrter Metallschmelzen

## THIXOFORMING – MATERIALVERARBEITUNG IM TEIL- ERSTARREN ZUSTAND

Unter den neuen Verfahren zur Herstellung endkonturnaher Bauteile in größeren Stückzahlen finden sich eine Reihe von Prozessen, bei denen die Verarbeitung im teilflüssigen Zustand stattfindet. Dazu zählen z.B. Thixospritzgießen (Thixomolding®), Thixo-Gießen, New Rheo Casting und Thixoschmieden.

Im Vergleich zu herkömmlichen Gießverfahren weisen teilerstarre Schmelzen ein deutlich viskoseres Fließverhalten auf. Dies stellt die Möglichkeit dar, eine geschlossene Füllfront zu erreichen und so Lufteinschlüsse zu minimieren. Durch den vorhandenen Festphasenanteil wird gleichzeitig die Erstarrungsschrumpfung reduziert. Das Bauteil zeigt eine geringe Porosität sowie hohe Maßgenauigkeit, wird wärmebehandelbar und schweißbar.

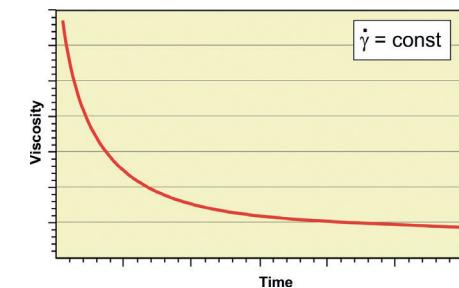
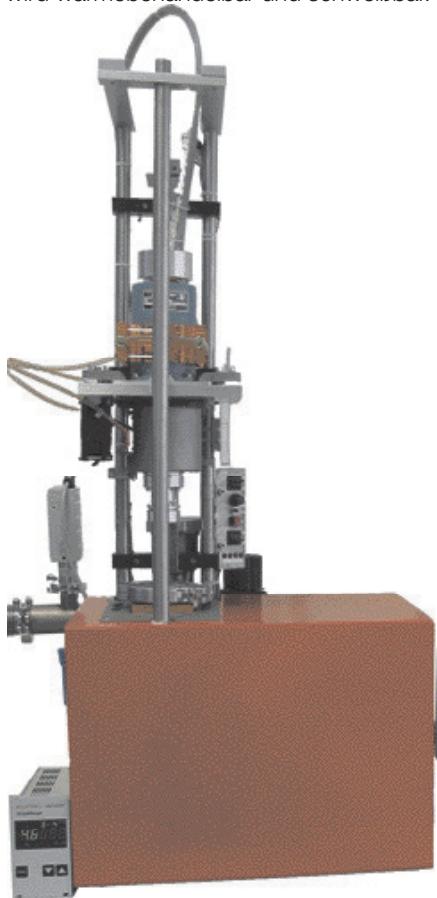


Abb. 1a: Thixotropie - Abnahme der Viskosität bei konstanter Scherung mit der Zeit.

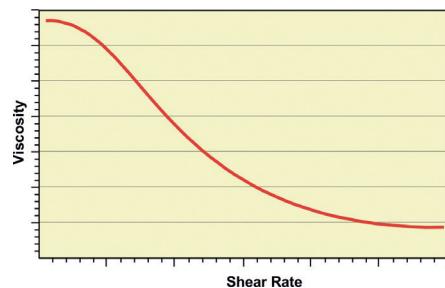


Abb. 1b: Strukturviskosität - Abhängigkeit der Viskosität von der Scherrate.

## THIXOTROPIE UND STRUKTURVIS- KOSITÄT

Unterhalb der Liquidustemperatur bildet sich in metallischen Schmelzen eine primäre Festphase aus, die üblicherweise eine dendritische Struktur hat (Abb. 2a). Unter konstanter Scherung bleibt der Festphasenanteil konstant, trotzdem nimmt die Viskosität deutlich ab. Dieses Phänomen wird als Thixotropie bezeichnet (Abb. 1a). Bedingt ist dieses Verhalten durch eine Veränderung der Festphasenmorphologie: Die anfänglich dendritischen Strukturen werden gebrochen und formen globulitisch ein (Abb. 2b), die innere Reibung verringert sich. Der Viskositätswert des stationären Zustandes hängt dabei stark von der anliegenden Scherrate ab, d.h. mit zunehmender Scherung sinkt der Fließwiderstand, was als Strukturviskosität bezeichnet wird (Abb. 1b).

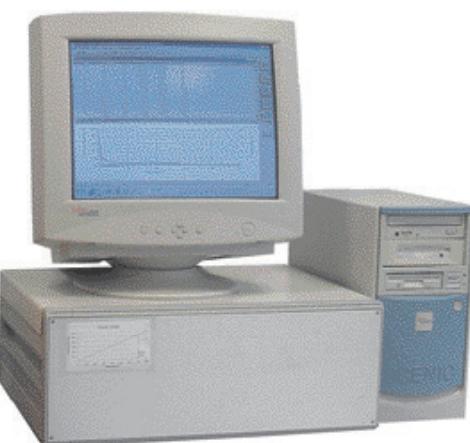


Abb. 3: Hochtemperurrheometer bei der Neue Materialien Fürth GmbH.

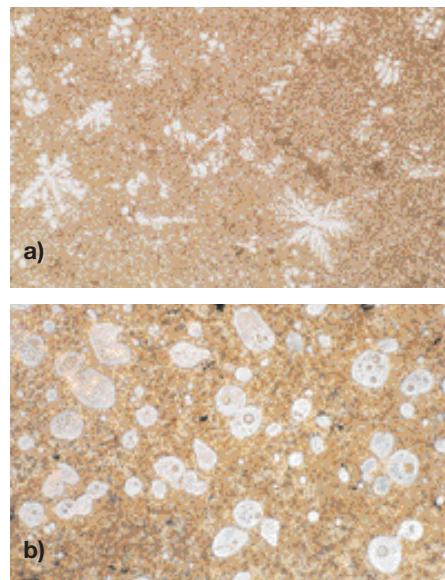


Abb. 2: Unter dem Einfluss von Scherung formen die dendritischen Festphasen a) globulitisch ein b), der Fließwiderstand verringert sich.

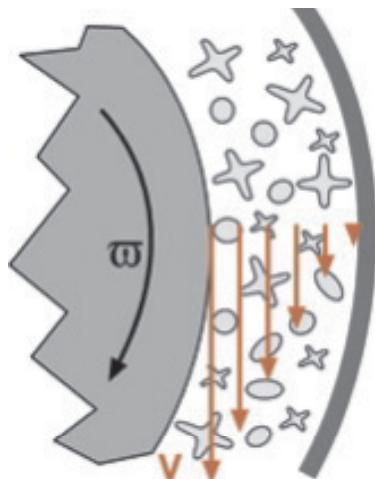


Abb. 4: Geschwindigkeitsfeld im Messspalt eines Searl-Rotationsviskosimeters.

Institutionell gefördert durch



**Neue Materialien  
Fürth**



Bayerisches Staatsministerium für  
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie



**Europäische Union**

Europäischer Fonds für  
regionale Entwicklung

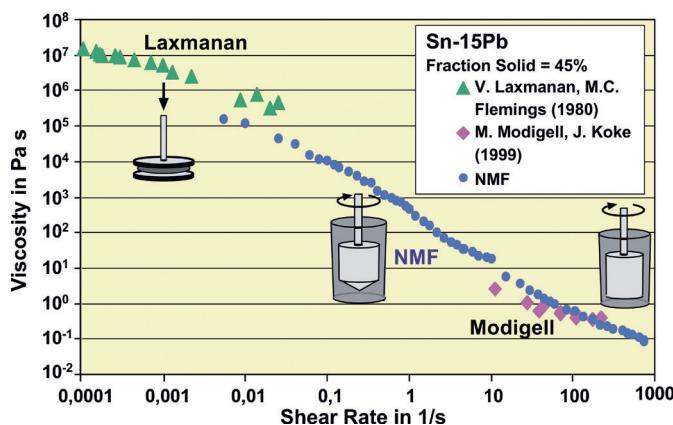


Abb. 5: Messungen im Vergleich mit Literaturwerten an der Modelllegierung Pb15Sn mit einem Festphasenanteil von 45%. Die Viskosität variiert für Scherraten zwischen 0,005 1/s und 750 1/s über sieben Größenordnungen.

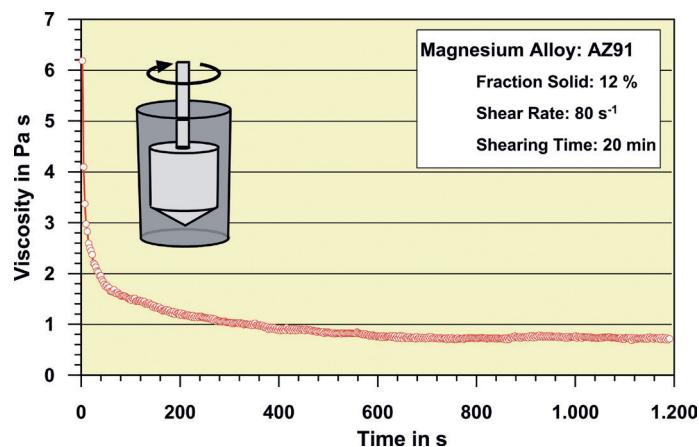


Abb. 6: Thixotroper Verlauf der Viskosität einer Magnesiumlegierung mit 45% Festphasenanteil unter konstanter Scherung von  $80 \text{ s}^{-1}$ .

## BESTIMMUNG DER RHEOLOGISCHEN KENNWERTE

Für die numerische Simulation des Formfüllungsverhaltens zur Optimierung der Werkzeugauslegung ist eine genaue Kenntnis der Fließfähigkeit des verwendeten Materials zwingend notwendig. Um eine definierte Scherung während der Messung einzustellen eignen sich Rotationsviskosimeter wie sie in DIN 53 018 ff beschrieben sind. Hierbei befindet sich ein zylindrischer Messkörper in einem zylindrischen Tiegel. Bei einem Searl-System, wie es bei NMF zum Einsatz kommt, wird der innere Zylinder in eine Drehbewegung versetzt, wodurch im Spalt zwischen den Zylindern eine Scherströmung ausgebildet wird (Abb. 3). Die Scherrate im Spalt wird durch die Drehzahl des jeweiligen Zylinders bestimmt. Das für die vorgegebene Scherrate notwendige Drehmoment ist ein Maß für die Fließfähigkeit des Messmittels. Bei der Messung stark reaktiver Metallschmelzen (z.B. Magnesiumlegierungen) ist die Möglichkeit den Probenraum zu evakuieren bzw. unter Schutzgas zu arbeiten von großer Bedeutung. Ebenso stellen Temperaturen oberhalb von  $600 \text{ }^{\circ}\text{C}$  eine Herausforderung an die Messeinrichtung dar, da aufgrund der starken Temperaturabhängigkeit des Festphasenanteils teilerstarrter Schmelzen ein homogenes Temperaturlfeld mit geringen Schwankungen ( $< 0,5 \text{ K}$ ) gefordert wird.

## ERGEBNISSE AM NMF HOCHTEMPERATURRHEOMETRER

Messungen an der Modelllegierung Pb15Sn mit einem Festphasenanteil von 45% weisen den großen Messbereich des Hochtemperaturrheometers bei NMF aus. Die Verwendung eines digital angesteuerten Schrittmotors ermöglicht eine exakte Vorgabe der Scherrate über ein Intervall von  $10^{-3}$  bis  $10^3 \text{ 1/s}$ . Die gemessenen Viskositätswerte erstrecken sich von  $8 \cdot 10^{-2}$  bis  $1,6 \cdot 10^5 \text{ Pa s}$  über mehrere Größenordnungen und knüpfen sinnvoll an zur Verfügung stehende Literaturwerte an, obgleich verschiedene Messprinzipien zum Einsatz kamen (Abb. 5).

Die Messkurve einer Magnesiumlegierung mit ca. 12% Festphase zeigt das für thixotrope Werkstoffe typische Abfallen der Viskosität unter dem Einfluss konstanter Scherung während der Ausbildung der globulitischen Festphasenmorphologie (Abb. 6).

Insgesamt ermöglicht das Hochtemperaturrheometer der Neue Materialien Fürth GmbH (Abb. 3) Untersuchungen zum rheologischen Verhalten von Metallen über weite Bereiche des Festphasenanteils (Temperatur) und konstanter sowie variabler Scherung.

## NEUE MATERIALIEN FÜRTH – IHR KOOPERATIONSPARTNER

- Entwicklung von Hochtemperaturrheometern zur Untersuchung des Fließverhaltens von Metallen bis  $750 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Quantifizierung thixotroper, rheopexer sowie strukturviskoser Fließeigenschaften
- Bestimmung rheologischer Kennwerte für Simulationsanwendungen und Prozessoptimierungen
- Vergleiche mit theoretischen Modellen
- Untersuchungen zur Ausbildung des Festphasenanteils in Abhängigkeit von der Temperatur

## Kontakt

[www.nmfgbmh.de](http://www.nmfgbmh.de)

Neue Materialien Fürth GmbH  
Dr.-Mack-Str. 81  
D-90762 Fürth

E-mail: magnesium@nmfgbmh.de

© Neue Materialien Fürth GmbH



**Neue Materialien  
Fürth**

Institutionell gefördert durch

Bayerisches Staatsministerium für  
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie



**Europäische Union**

Europäischer Fonds für  
regionale Entwicklung