

Prozeßsimulation für den Druckguß

R. M. Hilbinger, R. F. Singer

Numerische Berechnungsverfahren finden eine immer breitere Anwendung in der Gießereindustrie [4]. Komplexe physikalische Vorgänge, wie sie während der Formfüllung und der Erstarrung von Gußteilen auftreten, lassen sich bereits in der Konstruktionsphase am Rechner abbilden. Somit kann man die Chancen der technischen Realisierung überprüfen und optimieren.

In bezug auf den Druckguß bietet die Prozeßsimulation die Möglichkeit, Kosten in der Erstellung und Optimierung eines Werkzeugs zu reduzieren, indem die Folgekosten der Nachbesserung und die damit verbundenen Rüstzeiten minimiert werden.

Eine Vorhersage der mechanischen Eigenschaften des Bauteils und der auftretenden Gießfehler sind weitere aktuelle Herausforderungen dieses Forschungsgebietes.

Diese Motivation wurde von der Neue Materialien Fürth GmbH aufgenommen, die Gießsimulation in der Entwicklung von Leichtbaukomponenten einsetzt und auch im Rahmen ihres Dienstleistungsangebotes anbietet.

Grundlagen

Die rechnerische Behandlung des Druckgießprozesses verlangt die Beschreibung der Geometrie, des Prozesses und des Werkstoffs sowie die im Gießzyklus herrschenden Randbedingungen. Vor allem bei flächigen Strukturbauteilen ist eine möglichst genaue Darstellung des Bauteils im virtuellen Raum notwendig. Durch die konturgetreue Abbildung der Geometrie sind hierfür FEM-basierte Verfahren zu bevorzugen. Die Neue Materialien Fürth GmbH wendet deshalb u.a. das Programmsystem ProCast an.

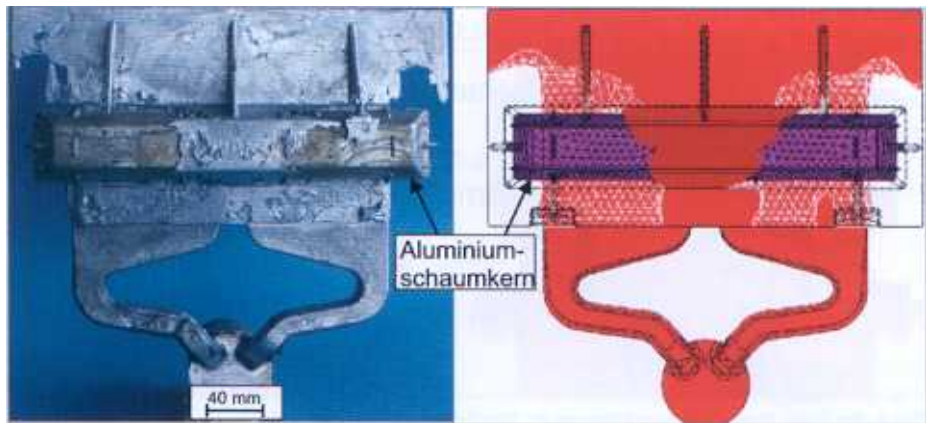


Bild 1. Der Vergleich des Teilfüllversuchs mit dem Berechnungsergebnis der numerischen Simulation zeigt eine sehr gute Übereinstimmung

Summary

Numeric computation procedures are finding ever wider fields of application in the foundry industry. Complex physical processes, which occur during the filling of the mould and during solidification of castings, can be depicted on the computer screen right at the design stage, thus enabling opportunities of achieving technical effectuality by verification and optimisation.

With regard to die casting, simulation of processes provide the facility to reduce costs in preparation and optimisation of any given work tool, wherein consequential costs associated with subsequent refinement operations and resultant setting up times are minimised. A forecast of mechanical properties of the manufactured part, plus regard to the occurrence of casting defects are additional challenges in the field of research that are currently being investigated.

Motivation in this respect into further research has been assumed by Neue Materialien Fürth GmbH, who utilise active casting simulation in the development of light-weight components and who offer this within the parameters of their pallet of service provisions.

Die eigentliche Berechnung gliedert sich in drei Teilbereiche: die Bestimmung des Wärmehaushalts im Gießzyklus, die Formfüllung und die Erstarrungsberechnung bzw. die Bestimmung der erstarrungsbedingten Porositäten. Die exakte Charakterisierung des Prozesses erfordert die genaue Definition der Gießkurve und des Nachdruckes. Die Vorgänge in der Gießkammer können ebenfalls mit in die Berechnung einbezogen werden. Die physikalischen Eigenschaften des Werkstoffs müssen im gesamten betrachteten Temperaturbereich beschrieben sein. Eine Reihe entsprechender Daten sind aus der Literatur verfügbar und beispielsweise in [7, 8] gegeben.

Aus der Perspektive der Umsetzung von Prozeßsimulationen liegen für den Druckguß einerseits vergleichsweise gut eingrenzbar Bedingungen vor. Hinsichtlich des Wärmehaushalts und der Erstarrung variieren die Wärmeübergänge zwischen Form und Bauteil durch die hohen Nachdrücke im Vergleich

R. M. Hilbinger, R. F. Singer, Neue Materialien Fürth GmbH

Simulation im Druckgießprozeß

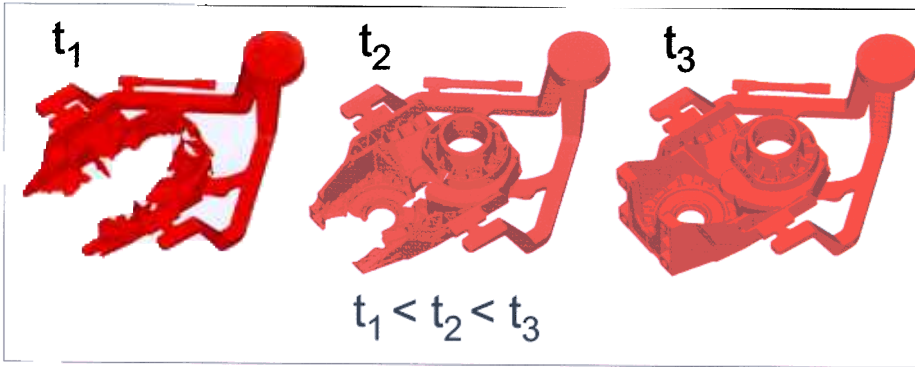


Bild 2. Berechnete Formfüllung eines Getriebeteils. Das Aufeinandertreffen der Füllfronten, das zu Kaltfließstellen führen kann, wird vorhergesagt

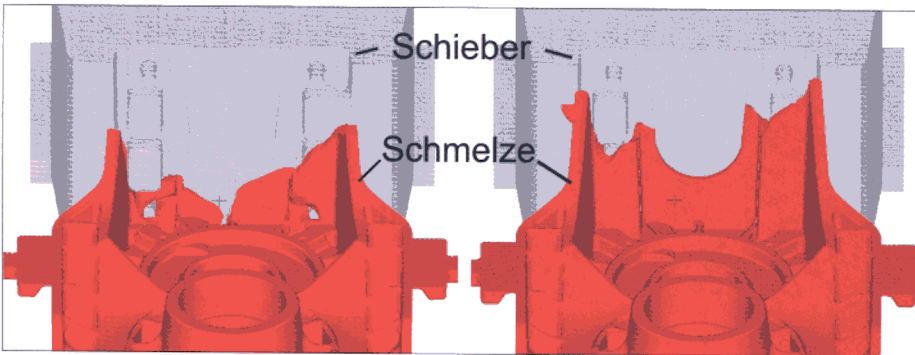


Bild 3. Das finale Stadium der Formfüllung in der Berechnung

mit anderen Verfahren nur geringfügig und lassen sich darüber hinaus durch die Zykluszeiten eingrenzen. Andererseits gilt es, den komplexen Sprüh- und Blasprozeß zu berücksichtigen, dessen Auswirkung auf den Wärmehaushalt z. B. durch Bestimmung der gesprühten Flüssigkeitsmenge eingegrenzt werden muß.

Daß sich mit der Berechnung realitätsgetreue Ergebnisse erzielen lassen, ist in [4] anhand von expliziten Vergleichen beschrieben. Bild 1

» Aus numerischen Berechnungen kann man eine Reihe von Gießfehlern ableiten. «

zeigt das Ergebnis eigener Untersuchungen, die in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl Werkstoffkunde und Technologie der Metalle der Universität Erlangen-Nürnberg durchgeführt wurden.

Dargestellt ist der Vergleich einer experimentell erzielten Teilfüllung mit dem

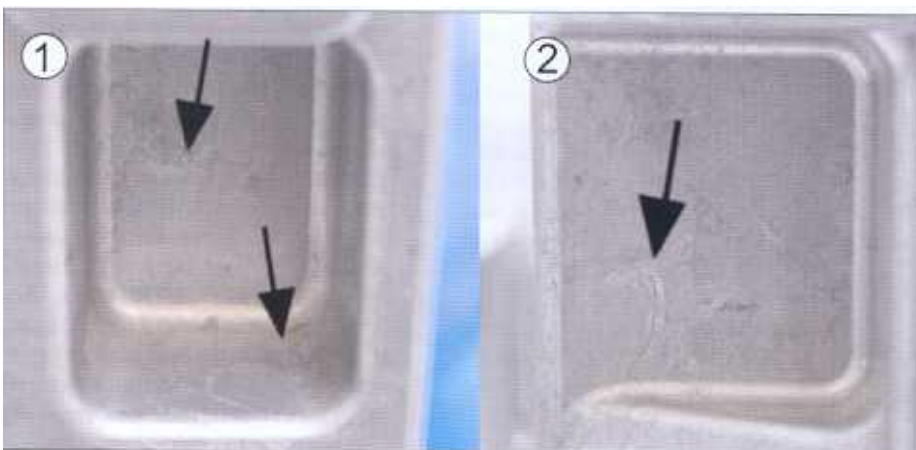


Bild 4. Kaltschweißstellen (Pfeile) am Schieberbereich im Experiment in Übereinstimmung mit dem berechneten Zusammenschlagen der Füllfronten

Ergebnis der Berechnung. Makroskopisch betrachtet, dokumentiert das Bild eine sehr gute Übereinstimmung. Bei dem gezeigten Bauteil handelt es sich um ein flächiges Aluminiumbauteil mit umgossenem Schaumkern. Die dabei angewandte Vorgehensweise ist in [5] eingehend beschrieben.

Bestimmung von Gießfehlern

Aus numerischen Berechnungen kann man eine Reihe von Gießfehlern ableiten. Erstarrungsberechnungen dienen der Bestimmung von Porosität und Lunkern. Aus der Formfüllung lassen sich der Ort der letzten Füllung und die Bildung von Kaltschweißstellen bestimmen.

Im Rahmen eines Projekts wurde ein Getriebeteil eines elektrischen Antriebs für die ABM Greiffenberger Antriebstechnik, Marktredwitz untersucht, das im Druckguß aus der Legierung 230 mit einem Schußgewicht von 8,3 kg hergestellt wird. Das Bauteil weist Verrippungen auf, und die Wandstärken variieren zwischen 2,0 und 10,0 mm. Die berechnete Formfüllung zeigt Bild 2.

Die Schmelze füllt die Kavität zunächst von den seitlich plazierten Anschnitten aus. Entlang der Bauteilmittte kommt es zum Aufeinandertreffen der Füllfronten. Im Anschluß daran wird der angußferne Bereich hinter dem im Bild links gelegenen Durchbruch gefüllt.

Eine eingehendere Betrachtung der Verhältnisse am Ende der Formfüllung (zu diesem Zeitpunkt mehr als 90 % der Kavität gefüllt) zeigt das Zusammenschlagen der Füllfront am Schieber (Bild 3). Zu diesem Zeitpunkt ist die Schmelzetemperatur bereits etwas abgesunken. An diesen Stellen kommt es zur Bildung von Kaltschweißstellen, die sich auch in der Realität am Bauteil beobachten lassen. Bild 4 zeigt die entsprechenden Ausschnitte.

Mechanische Eigenschaften nach dem Guß

Im Rahmen des oben genannten Projektes wurden mit Hilfe von Erstarrungsberechnungen auch Problemstellungen hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften der gegossenen Bauteile beantwortet. Explizit wurde hier die Frage be-

Simulation im Druckgießprozeß

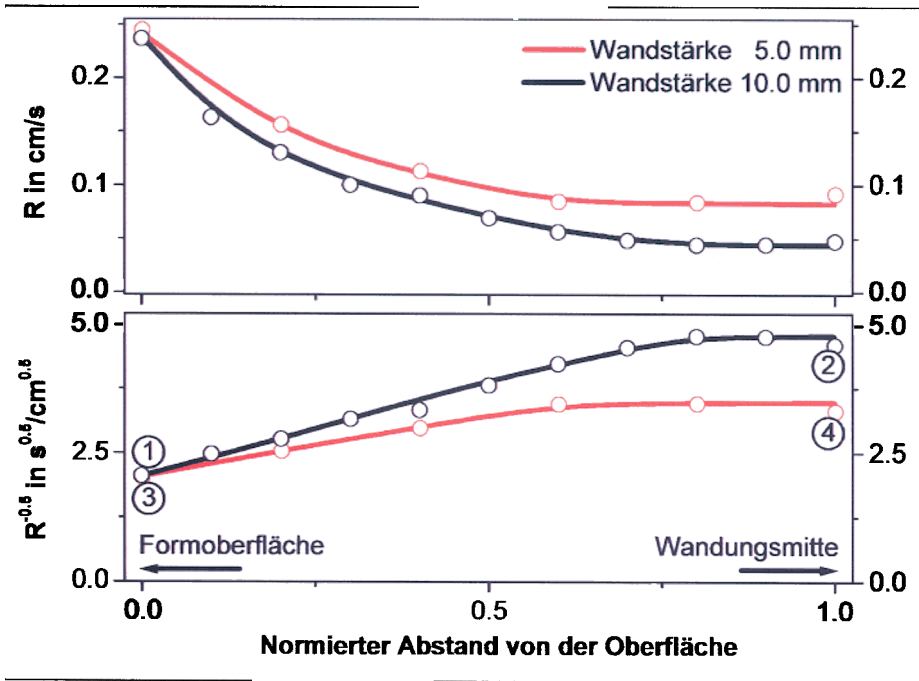


Bild 5. Erstarrungsgeschwindigkeit R (oben) und abgeleiteter Strukturparameter \sqrt{R} (unten) für zwei verschiedene Wandstärken

handelt, inwieweit Probekörper repräsentative Ergebnisse für kritische Bauteilbereiche liefern können. Die Verknüpfung der mechanischen Eigenschaften mit der Erstarrung erfolgt über die entstehende Mikrostruktur.

Liegen keine Defekte wie Poren, Lunker oder Oberflächenfehler vor, so werden die mechanischen Eigenschaften eines Werkstoffs von der nach der Erstarrung vorliegenden Mikrostruktur bestimmt. Je feiner das Gefüge, insbesondere auch das

Eutektikum mit seinen spröden Phasenanteilen, desto besser sind die Zugfestigkeits- bzw. die Bruchdehnungswerte [3]. Bei der betrachteten Legierung 230 mit einem Legierungsanteil von 12 Gew.-% Silizium und Eisen als weiterem Zusatz spielt vor allem die Feinheit des AlSi-Eutektikums eine maßgebliche Rolle für die mechanischen Eigenschaften. Im Zusammenhang mit dem Bruchverhalten und mit der Festigkeit ist auch die eisenhaltige β -Phase (FeSiAl_5) [1], die nadel- oder auch plattenförmig ausgebildet werden kann, von Bedeutung. Der mittlere Lamellenabstand des irregulären Eutektikums AlSi (d. h., es liegt kein streng geordneter Schichtaufbau im Eutektikum vor) kann mit der Erstarrungsgeschwindigkeit in Beziehung gesetzt werden [2]:

$$\lambda = \frac{ak}{\sqrt{R}}$$

(λ mittlerer Lamellenabstand, k Materialkonstante, a Konstante der Regularität des Eutektikums, R Erstarrungsgeschwindigkeit). Die Konstanten a und k sind nur von der jeweiligen Legierung abhängig. Die Erstarrungsgeschwindigkeit R läßt sich durch die durchgeführten Berechnungen ermitteln. Somit wird eine Aussage über λ und die Materialeigenschaften in bezug auf die zu vergleichenden Materialbereiche möglich. Für die Ausbildung der Fe-Si-Phase geht man davon aus, daß sie in analoger Art und Weise mit der Erstarrungsgeschwindigkeit verknüpft ist wie die Ausbildung des Eutektikums.

Bild 5 zeigt für zwei verschiedene Wandstärken die ermittelten Strukturparameter. In Einklang mit den theoretischen Überlegungen zeigen die metallographischen Untersuchungen bei einer Wandstärke von 10,0 mm in der Wandmitte gröbere Strukturen als bei 5,0 mm. Das Gefüge an der Oberfläche ist in seiner Struktur bei beiden Bereichen gleich.

In bezug auf die mechanischen Eigenschaften der resultierenden Gefüge kann man davon ausgehen, daß in den Oberflächenschichten des Bauteils in beiden Bereichen vergleichbare Werte erzielt werden. In der Mitte der betrachteten Wandstärken weichen die Strukturgrößen

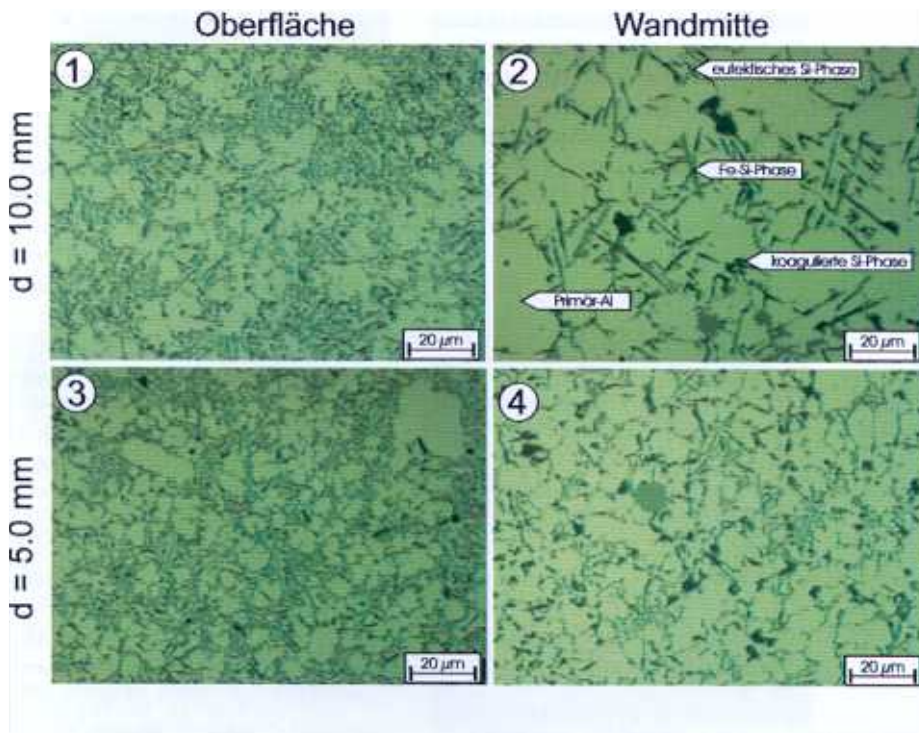


Bild 6. Mikrostruktur an der Oberfläche und in der Mitte verschiedener Wandstärken. Oben: 10,0 mm; Unten: 5,0 mm. In der Wandmitte bilden sich gröbere Gefüge in Einklang mit der berechneten kleineren Erstarrungsgeschwindigkeit

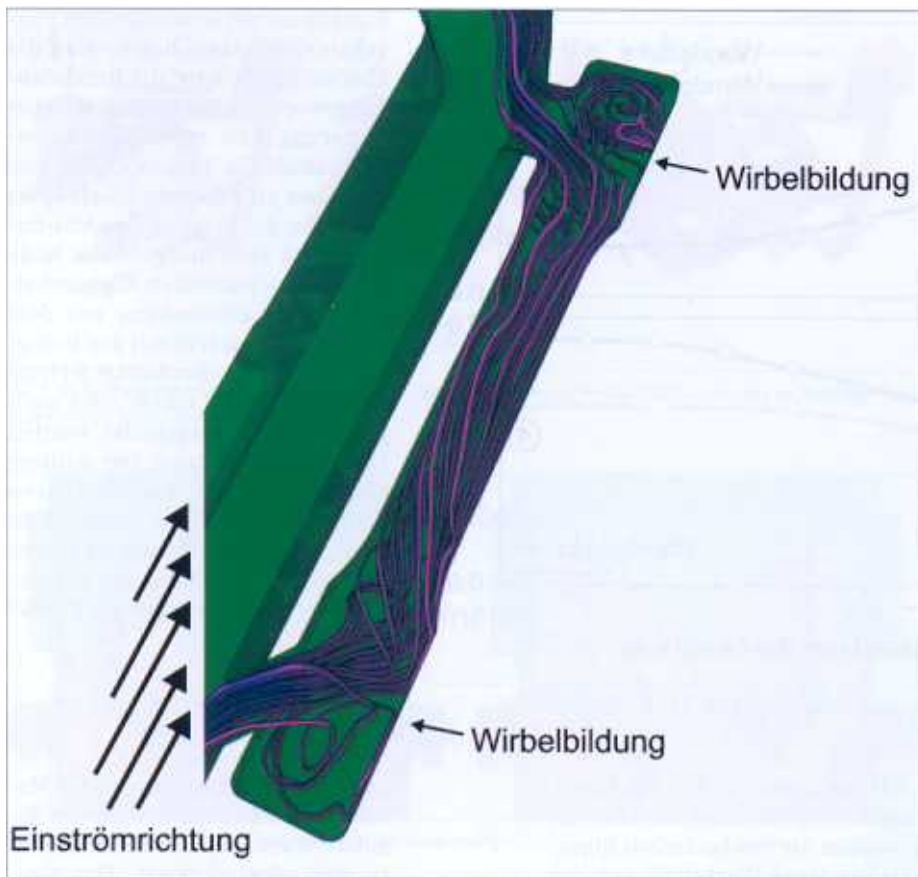


Bild 7. Transportwege der Schmelze in einem Zugstab, dargestellt durch Stromlinien

deutlich voneinander ab, und eine Vergleichbarkeit der Bruchdehnung bzw. Zugfestigkeit ist nicht gewährleistet. Dieser Zusammenhang ist dabei bisher nur qualitativ beschrieben worden. Für eine explizite Vorhersage ist der Zusammenhang der mechanischen Eigenschaften mit der Mikrostruktur noch experimentell zu ermitteln.

Ausblick

Wie in den oben genannten Betrachtungen gezeigt wurde, lassen sich eine Reihe von Fragestellungen durch die Berechnung beantworten. Dabei wurden aber Defekte wie Oxideinschlüsse, Porosität durch eingespültes Gas oder Oberflächenfehler ausdrücklich ausgeschlossen. Für den Druckgießer und den Produktentwickler ist die Ableitung eines übergeordneten Qualitätsmerkmals wünschenswert, das solche Phänomene einschließt, weshalb dies auch den Gegenstand aktueller Forschung bildet [9].

Als Grundlage zur Vorhersage für

eine Reihe von Gießfehlern und als Ausgangspunkt für ein solches übergeordnetes Qualitätsmerkmal kann die Bestimmung der Fließwege dienen, die den tatsächlichen Materialtransport wiedergeben. In [6] wird für den Werkstoff Magnesium der direkte Zusammenhang zwischen dem Fließweg und der resultieren-

den Bruchdehnung des Werkstoffs gezeigt. Mit zunehmender Länge des Fließwegs sinkt die Duktilität ab.

Einen Schwerpunkt in den aktuellen Forschungsaktivitäten der Neue Materialien Fürth GmbH bildet die Entwicklung eines erweiterten Post-processings für den Druckguß, da die Formfüllung bisher vornehmlich in Form von transienten Vektorfeldern angegeben wird. Diese bilden zwar das Formfüllverhalten korrekt ab, aber die Bewegung eines Schmelzevolumens wird nicht direkt wiedergegeben.

Bild 7 zeigt beispielhaft die Bewegung der Schmelze in einem Ausschnitt eines Angußsystems, an dem zur Überprüfung der mechanischen Eigenschaften ein Zugstab angebracht ist. Das Angußsystem ist zu diesem Zeitpunkt bereits vollständig gefüllt. Die dargestellten Stromlinien geben die tatsächlichen Transportwege der Schmelze wieder. Sie demonstrieren z. B. die Verwirbelungen in den Spannbereichen der Probe. In Zukunft sollen Stromlinien die Grundlage für die Entwicklung eines auf den Druckguß zugeschnittenen Qualitätsmerkmals bilden.

Danksagung

Wir danken dem Lehrstuhl Werkstoffkunde und Technologie der Metalle der Universität Erlangen-Nürnberg und der ABM Greiffenberger Antriebstechnik, Marktredwitz, für ihre freundliche Unterstützung und die Überlassung von Bildmaterial. ◀

Schrifttum:

- | | |
|---|---|
| <p>[1] Davis, J. R. (Ed.): ASM Specialty Handbook, Aluminum and Aluminum Alloys. ASM International (1993) 538.</p> <p>[2] Davis, J. R. (Ed.): ASM Handbook, Vol. 15, Casting. ASM International (1988) 122.</p> <p>[3] Liesenberg, O., G. Drossel: Gießen von Aluminiumteilen. In: Aluminium-Taschenbuch, Band 2, Aluminium-Zentrale e.V. (Hrsg.), Aluminium-Verlag, Düsseldorf (1999) 270.</p> <p>[4] Bührig-Polaczek, A., E. Kaschnitz: Jahresübersicht Simulation gießtechnischer Prozesse, Teil 1. Anwendungen (5. Folge). Gießerei 87 (2000) 10, 70-83.</p> <p>[5] Heinrich, F., Körner, C., R. F. Singer: Herstellung flächiger Leichtbauteile durch Umgießen von Aluminium-Schäumen im Druckgießverfahren.</p> | <p>Mat.-wiss u. Werkstofftech, 31 (2000) 428-431.</p> <p>[6] Siedersleben, M.: Vakuump-Druckguß von Magnesiumlegierungen für hochbelastete Bauteile. In: K. U. Kainer (Hrsg.): Magnesium – Eigenschaften, Anwendungen, Potenziale. Wiley-VCH, Weinheim (2000) 48-58</p> <p>[7] Reiter, P.: Entwicklung eines Millisekunden-Pulsheizsystems zur Messung thermophysikalischer Daten von Metallen. Dissertation, Österreichisches Gießerei-Institut (2001).</p> <p>[8] Pehlke, R. D., Jeyarajan, A., H. Wada: Summary of thermal properties for casting alloys and mold materials. Rep. of the University of Michigan (1982).</p> <p>[9] Sturm, J., Hepp, E., A. Egner-Walter: Integration of casting simulation into crash simulation. 20th CAD-FEM Users' Meeting 2002, International Congress on FEM Technology.</p> |
|---|---|