

Öfen erfolgt in der Aufheizzone über leistungsstarke Ventilatoren. Diese sorgen für die angestrebten hohen Wärmeübergangswerte und gewährleisten eine homogene Temperaturverteilung in der gesamten Charge. Während der Haltephase wird eine Temperaturgenauigkeit von  $\pm 2$  K sicher erreicht.

Die Steuerung aller Prozess- und Handlungsabläufe erfolgt durch Schaltanlagen mit SPS-Systemen, pro Anlage sind insgesamt vier Simatic S7 im Einsatz.

Die Anlagenbedienung erfolgt durch ein übergeordnetes Visualisierungssystem, in dem alle Wärmebehandlungs-Parameter in Rezeptform hinterlegt sind.

Die aktuellen Chargendaten werden natürlich gespeichert und protokolliert. Die

beiden komplexen Anlagensysteme gewährleisten das effiziente und qualitätsgerechte Vergüten von 200 Fahrwerksätzen pro Stunde. Zurzeit wird an der Konstruktion und Auslegung einer Vergüteanlage für gegossene Fahrwerksteile für die Firma ThyssenKrupp Fahrzeugguss in Hildesheim gearbeitet. Die vollautomatische Anlage besteht aus einem Beladebereich, dem Lösungsglühofen, einem Wasserabschreckbecken mit Hebe-Senkvorrichtung, einem Warmauslagerungssofen sowie einer Luftabkühlstrecke.

Von Otto Junker wurden, gemeinsam mit der RWTH Aachen, im Vorfeld umfangreiche numerische Strömungssimulationen durchgeführt (Bild 14) und diese mit realen Prozessparametern abgeglichen,

um die Anlage so zu gestalten, dass in Verbindung mit einer sehr genauen und feinfühligsten Temperaturregelung eine sehr gleichmäßige Temperaturverteilung im gesamten Ofenraum erreicht wird. Damit kann eine absolut reproduzierbare Qualität in engen Toleranzen für die Wärmebehandlung gewährleistet werden.

*Dr. Gunther Voswinkel, Frank Donsbach, Otto Junker GmbH, Simmerath-Lammersdorf; Jan de Groot, Thermcon Ovens BV, Geldermalsen, NL*

*Vorgetragen auf dem Deutschen Gießertag 2004 vom 3. bis 4. Juni in München.*

# Magnesiumsandgießen großvolumiger Bauteile



VON WILHELM MICHELS UND  
DIERK HARTMANN, DÜSSELDORF;  
FRANZ JOSEF FEIKUS, BONN  
UND CORNELIS GREFHORST, MARL

In den letzten Jahren hat der Werkstoff Magnesium große Zuwachsraten zu verzeichnen. Magnesium wird vornehmlich im Automobilbau verwendet, um durch Verwirklichung des Leichtbaus die Forderung nach Verringerung des Treibstoffverbrauchs zu erfüllen. Beispiele sind Armaturen Bretter, Getriebegehäuse, Lenkräder oder Sitzelemente.

Eines der kompaktesten Aggregate im Automobil ist das Zylinderkurbelgehäuse, das ca. 25 % des gesamten Motorgewichts ausmacht und somit ein großes Potential für eine Gewichtsreduzierung im Automobil darstellt. Magnesiumlegierungen bieten mit einer Dichte von  $1,7 \text{ g/cm}^3$  – verglichen mit ca.  $2,7 \text{ g/cm}^3$  für Aluminiumlegierungen und ca.  $7,2 \text{ g/cm}^3$  für Gusseisenwerkstoffe – grundsätzlich die Möglichkeit, das Motorblockgewicht erheblich zu senken. Jedoch sind nicht nur die reinen Dichtewerte zu vergleichen. Die Gewichtsersparnis eines im Sandgießver-

fahren hergestellten, werkstoffgerecht konstruierten Zylinderkurbelgehäuses aus Magnesium wird gegenüber einem entsprechenden Aluminiummotorblock bei ca. 20 % liegen.

Magnesiumlegierungen werden bisher überwiegend nach dem Druckgießverfahren verarbeitet, insbesondere zur Herstellung dünnwandiger Bauteile. Kurbelgehäuse können jedoch nach diesem Verfahren wegen der begrenzten Möglichkeit zur Darstellung von Hohlräumen und Hinterschnidungen nur in „Open Deck“-Ausführung (Bild 1) hergestellt werden.

Wegen der bedeutend geringeren Steifigkeit gegenüber der „Closed Deck“-Ausführung (Bild 2), die nur im Sandgießverfahren verwirklicht werden kann, ist das Fertigungsverfahren Druckgießen für die Herstellung von Kurbelgehäusen aus Magnesium aufgrund des geringen E-Moduls im Vergleich zu Aluminiumlegierungen nur begrenzt möglich. Eine „Closed Deck“-Konstruktion, die durch Metallstege über dem Wassermantel in der Dichtfläche zum Kopf die Steifigkeit erhöht, erlaubt die Verwendung von Sandkernen zur Darstellung eines komplex geformten Wassermantels. Außerdem können im Gegensatz zum konventionellen Druckgießen Sandgussteile einer uneingeschränkten Wärmebehandlung unterzogen werden, so dass das gesamte Potential der zur Verfügung stehenden Magnesiumlegierungen ausgenutzt werden kann. Die Vorteile moderner, hoch-

gradig automatisierter Sandgießtechnologien liegen neben einer großen Konstruktionsfreiheit in einer unübertroffenen Produktivität und Wirtschaftlichkeit sowie der Verwendung von beliebig recycelbaren Formstoffen. Grundsätzlich bieten sich tongebundene und kunstharzgebundene Sandgießverfahren an. Im Rahmen des Verbundprojektes MAGUS 2 „Prozesssichere Fertigungstechnik für Magnesiumguss“ [1] wurden beide Sandgießverfahren auf Magnesiumlegierungen zur Herstellung von großvolumigen Bauteilen wie Motorblöcke übertragen.

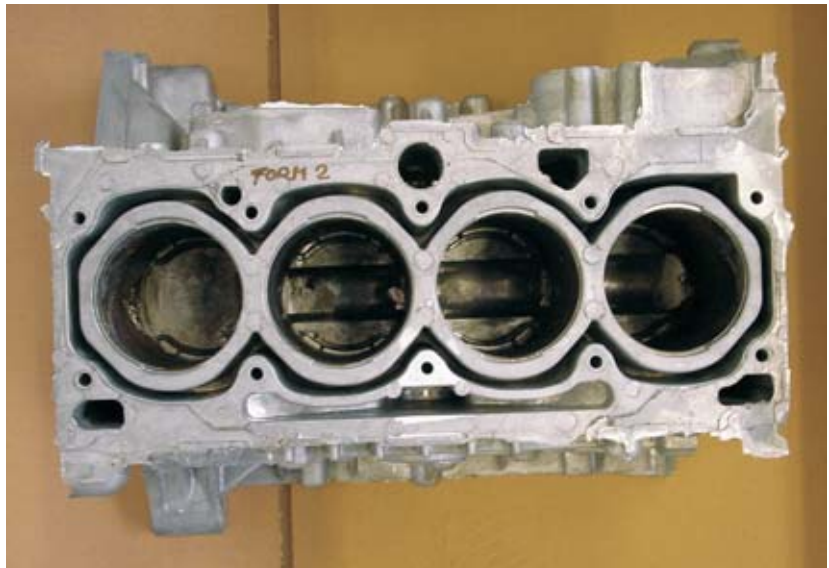
In Kombination mit der Niederdruckgießtechnik werden die Vorteile des steigenden Formfüllens von unten genutzt. Im Gegensatz zum Schwerkraftgießen wird vor allem ein turbulenzarmes Fließen der Schmelze erreicht, so dass Oxidbildung und damit Beeinträchtigungen der mechanischen Eigenschaften des Gussteils verhindert werden.

Neben dem konventionellen Niederdruckgießen mit Steigrohr wurde ein neues Gießkonzept entwickelt, um ein gesteuertes Formfüllen von unten mit Hilfe einer pneumatischen Pumpe zu erzielen (Bild 3). Durch die räumliche Trennung von Gießofen und Form kann dieses geschlossene Dosiersystem in einem späteren Serienfertigungsprozess leicht in eine Hochleistungsformanlage integriert werden.

**Für das Gießen von Magnesiumlegierungen geeignete bentonitgebundene Formstoffe**

Bei Kontakt des flüssigen Magnesiums mit Formstoffen auf Quarzbasis laufen stark exotherme Reaktionen ab. Flüssiges Magnesium reagiert mit der Feuchtigkeit des Bentonit-gebundenen Formstoffs unter Bildung von Magnesiumoxid und Wasserstoff. Andererseits reduziert Magnesium sowohl bei bentonit- als auch kunstharzgebundenen Formstoffen den Quarz. Dies kann zu Brandstellen auf der Gusstückoberfläche und im Extremfall zum Verbrennen des erstarrenden Gussteils führen. Zur Vermeidung dieser exothermen Metall/Formstoff-Reaktionen wurden in der Vergangenheit den Formstoffen Inhibitoren wie beispielsweise Schwefel und fluorhaltige Verbindungen zugesetzt, die heute aus Gründen der Umweltverträglichkeit nicht bzw. nur eingeschränkt eingesetzt werden können.

In grundlegenden Versuchsreihen im Technikum des Instituts für Gießertechnik, Düsseldorf, stellte S&B Industrial Minerals für bentonitgebundene Formstoffe sehr effiziente Inhibitoren mit Harnstoff und Borsäure ohne die bisher üblichen Schwefelzusätze bereit. Harnstoff verringert den Wasserbedarf der Formstoffe von ca. 3 % auf 1,7 bis 1,8 %, oh-



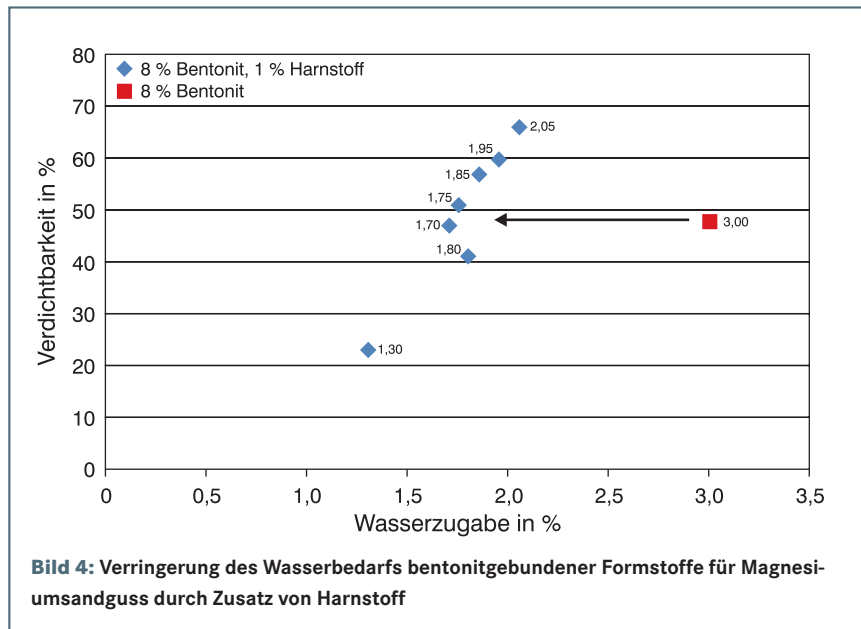
**Bild 1:** Open-Deck-Zylinderkurbelgehäuse: Der Durchtritt des Kühlwassers vom Motorblock zum Zylinderkopf ist vollständig offen (Druckguss).



**Bild 2:** Closed-Deck-Zylinderkurbelgehäuse: Der Durchtritt des Kühlwassers vom Motorblock zum Zylinderkopf ist teilweise geschlossen.



**Bild 3:** Neu entwickeltes Dosiersystem zum steigenden Gießen mit Hilfe einer pneumatischen Pumpe



ne deren Verdichtbarkeit (üblicherweise ca. 45 %) zu beeinträchtigen (Bild 4) [2]. Eine Erklärung für dieses Verhalten ist, dass sich Harnstoff wahrscheinlich ähnlich Wasser an die Montmorillonitschichten des Bentonits anlagert und somit das für die Quellung benötigte Wasser teilweise substituieren kann. In der Gießhitze zersetzt sich Harnstoff in Ammoniak und Kohlendioxid unter Abbindung von Wasser und wirkt somit der Reaktion des flüssigen Magnesiums mit Wasser entgegen.

Borsäure dehydratisiert bereits ab 70 °C und soll einen Schutzfilm über das Sandkorn legen und somit die Reaktion des flüssigen Magnesiums mit Quarz unterbinden.

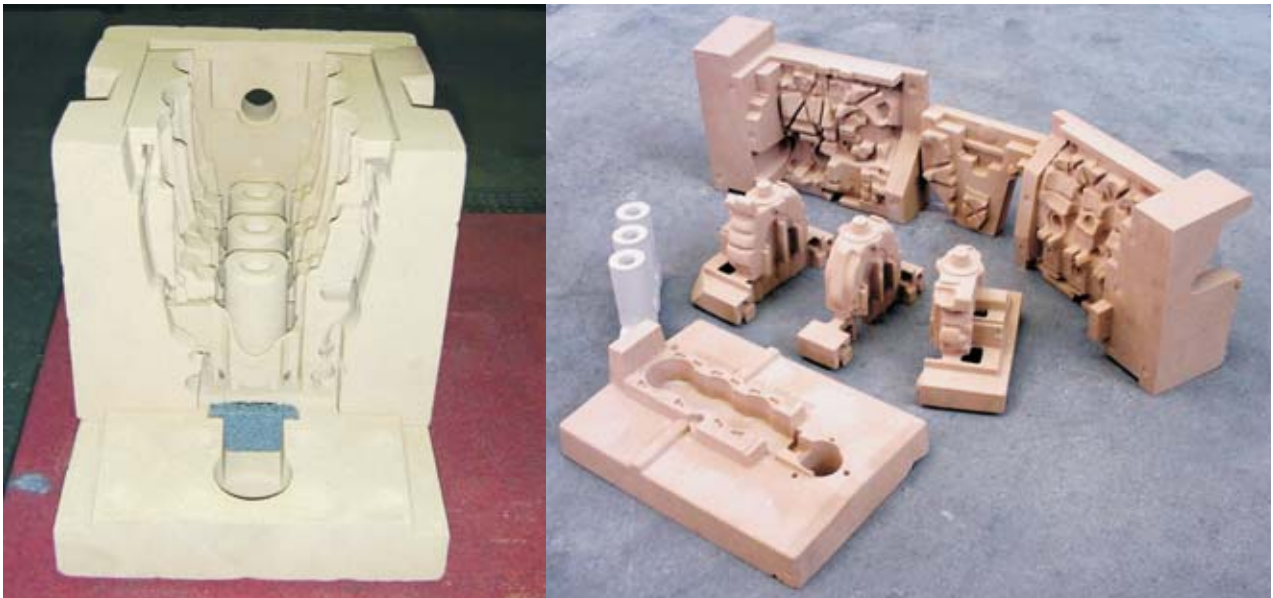
Die Formstoffmischungen können ohne weitere Zugaben von Harnstoff oder Borsäure mehrfach aufbereitet und verwendet werden. Der Abbrand der Inhibitoren kann mit Hilfe der Bestimmung des Glühverlusts und von chemischen Analysen verfolgt werden. Das Formstoffsystem zeigt gegenüber üblichen Bentonitgebundenen Formstoffen eine höhere Plastizität bei etwas schlechterer Fließfähigkeit. Die Verarbeitbarkeit auf Formanlagen mit moderner Verdichtungstechnik wie die Luftstrom-Hochdruck-Formanlage HSP II von HWS Heinrich Wagner Sinto (Bild 5) ist gut. Kurbelgehäuse aus Magnesium konnten nach dem Niederdruckgießverfahren in diesen modifizierten tongebundenen Formstoffen prozesssicher hergestellt werden (Bild 6).

**Kernpaketverfahren**

Die Reaktion des flüssigen Magnesiums mit dem kunstharzgebundenen Formstoff wird beim Kernpaketverfahren entweder durch den Zusatz von Inhibitoren wie z. B. Kaliumtetraborfluorid (KBF4) oder durch das Aufbringen von Schichten auf die Formoberflächen unterbunden. Von allen für das Magnesiumgießen zur Verfügung stehenden Schichten zeigt nur „MOLCO 41A“ (Foseco) zufrieden stellende Ergebnisse. In der Schichte ist bereits KBF4 enthalten, aber die Gesamtmenge ist deutlich geringer als bei der direkten Zugabe von KBF4 als Inhibitor zum Formstoff. Der Einsatz von KBF4 als Zusatz zum Formstoff ist zwar Stand der Technik, kann aber wegen der Umweltproblematik nur als vorübergehende Lösung angesehen werden.

Nach den vorliegenden Ergebnissen bleibt die Entwicklung von umweltfreundlichen Schichten und Formstoffzusätzen für Magnesiumsandguss auch weiterhin Gegenstand zukünftiger Entwicklungsarbeiten.

Im Rahmen des Verbundprojektes wurde auf ein völlig neu entwickeltes, Magnesiumgerecht konstruiertes Zylinder-



**Bild 7:** Partiiell zusammengebautes Kernpaket, Einzelkerne aus kunstharzgebundenem Quarzsand

kurbelgehäuse zurückgegriffen, das auf der Basis einer Entwicklungskooperation zwischen AVL List GmbH, AMC (Australian Magnesium Corporation) und Hydro Aluminium Deutschland GmbH entstanden ist [3]. Wesentliche Konstruktionsmerkmale dieses 3-Zylinder-Diesel-Motorblocks sind:

- > Außenwandverstärkung mit Hohlprofilen (Ölrückläufe) nach dem AVL-Tragholmkonzept,
- > eingegossene Lagerstuhlverstärkungen,
- > Leiterrahmen,
- > gegossener Druckölkern und
- > eingesetzte Laufbuchsen aus Al Si17Cu4.

**Bild 7** zeigt exemplarisch die einzelnen Kernpaketteile und ein teilweise zusammengebautes Kernpaket. Die Gießversuche wurden bei der zentralen Forschung und Entwicklung der Hydro Aluminium in Bonn mit einem widerstandsbeheizten Tiegelofen durchgeführt. Das gesteuerte Formfüllen erfolgte steigend nach dem Niederdruckgießverfahren mit Hilfe einer Drucksteuerung.

Die Form wird für das steigende Gießen von unten über die Lagerstühle angeschnitten. Das Speisesystem ist wie beim Schwerkraftgießen von Aluminiummotorblöcken nach dem Kernpaketverfahren über der Zylinderkopf-Deckfläche angeordnet.

Die Motorblöcke wurden aus der Legierung AMC SC 1 hergestellt. Es handelt sich um eine Seltene-Erden-haltige, kriechbeständige Legierung, die von AMC (Australian Magnesium Corporation) in Zusammenarbeit mit Hydro Aluminium ent-

wickelt wurde. Die zunächst für hohe Erstarrungsgeschwindigkeiten konzipierte Legierung wurde an die Bedingungen des Sandgusses angepasst und es wurde eine adäquate Kornfeinungsmethode entwickelt. Zur Ausnutzung des gesamten Eigenschaftspotentials der Legierung ist eine T6-Wärmebehandlung mit Lösungsglühen, Abschrecken und Warmauslagern erforderlich.

**Bild 8** zeigt einen Motorblock aus der Legierung AMC SC 1 im gestrahlten und bearbeiteten Zustand. Nach dem Sandstrahlen ließen sich alle Sand- und Schlichteanhaftungen entfernen.

Direkt einspritzende Dieselmotoren werden bislang fast ausschließlich aus Gusseisenwerkstoffen hergestellt. Erst bei neueren Motoren sind erstmals Aluminiumgusslegierungen zum Einsatz gekommen. Diese neu entwickelten Zylinder-



**Bild 8:** Kurbelgehäuse aus der Legierung AMC SC 1, hergestellt nach dem kunstharzgebundenem Kernpaket-Verfahren

kurbelgehäuse erfordern aufgrund der enormen Belastungen im motorischen Betrieb teilweise den Einsatz von Verstärkungselementen insbesondere im Bereich der Lagerstühle.

Folgende Belastungsarten treten im Zylinderkurbelgehäuse auf:

- > statische Zugbeanspruchung bzw. Warmzugbeanspruchung insbesondere in den Verschraubungen
- > Kriechbelastung im Feuerdeck
- > LCF-Wechselbelastung durch die thermisch induzierten Spannungen
- > HCF-Wechselbelastung durch den Gasdruckwechsel
- > Korrosionsbeanspruchung im Kontakt mit den Kühlmedien und Salzwasser, Kontaktkorrosion.

Für das im Projekt verwendete Kurbelgehäuse wurde folgender Ansatz gewählt:

- > Konstruktion eines 3-Zylinder-Kurbelgehäuses
- > Diesel-Motor mit 145 bar Zünddruck
- > Verwendung faserverstärkter Mg-MMC-Eingussteile für den Lagerstuhl anstelle von GJV-Inserts.

Ein unverstärktes monolithisches Zylinderkurbelgehäuse aus Magnesium kommt aufgrund der hohen Belastungsniveaus nicht in Frage. Die Auswahl der Gusslegierung muss sich entscheidend nach ökonomischen Aspekten richten. Daher sind aus der Luftfahrttechnik bekannte Legierungstypen mit höheren Festigkeiten für eine Anwendung im Motorblock auszuschließen. Vor diesem Hintergrund wurde die Seltene-Erden-haltigen Mg-Legierung AMC SC1 (Australian Magnesium



**Bild 9:** Nach dem Thixomolding-Verfahren gefertigtes Teil aus der Legierung AZ 91 mit oberer und unterer Lagerstuhlverstärkung; rechts: eingießbereiter einzelner oberer Lagerstuhl

Corporation) ausgewählt, die im Vergleich zu bisher eingesetzten Mg-Werkstoffen insbesondere Vorteile bei der Kriechfestigkeit aufweist und im Vergleich zu ZC 63 eine deutlich bessere Korrosionsbeständigkeit besitzt. Die Lagerstuhlverstärkungselemente wurden zunächst aus EN-GJV 50 hergestellt und in die Motorblöcke eingegossen. Um das volle Potential der Gewichtsreduzierung auszunutzen, bietet es sich an, die Lagerstühle aus der Matrixlegierung AMC SC 1 mit Kohlenstoffkurzfasern als Verstärkungselemente nach dem Thixomolding-Verfahren zu fertigen. Um den Zeit- und Kostenaufwand in dem Projekt auf vertretbarem Niveau halten zu können, wurde die Kontur der GJV-Inserts übernommen. Die hoch schmelzende Legierung AMC SC 1 stellte allerdings extreme Anforderungen an die Werkzeuge der Thixomoldingmaschine, so dass bisher nur unverstärkte Prototypen aus AZ 91 hergestellt werden konnten (**Bild 9**).

#### Zusammenfassung

Im Rahmen des Verbundprojektes MAGUS konnte nachgewiesen werden, dass das Sandgießverfahren ein geeignetes Fertigungsverfahren zur Herstellung von großvolumigen Bauteilen aus Magnesi-

umlegierungen wie beispielsweise Motorblöcken ist. Im tongebundenen Sandgießverfahren wurden erfolgreich Bentonite mit Zusätzen an Harnstoff und Borsäure als Inhibitoren entwickelt und eingesetzt. Im kunstharzgebundenen Kernpaketverfahren konnte durch die Einbeziehung einer magnesiumgerechten Motorblockkonstruktion unter seriennahen Bedingungen gearbeitet werden.

Über die Gießtechnik hinaus bleibt jedoch das Problem der für Magnesiummotorblöcke notwendigen lokalen Verstärkungen im Lagerstuhlbereich zu lösen. Für die Herstellung geeigneter MMC-verstärkter Inserts nach dem Thixomolding-Verfahren sind weiterhin erhebliche anlagen- und verfahrenstechnische Entwicklungen erforderlich.

#### Projektpartner

- > IfG-Institut für Gießereitechnik gGmbH (Gesamt-Koordination)
- > Hydro Aluminium Deutschland GmbH
- > StrikoWestofen GmbH
- > S&B Industrial Minerals GmbH
- > IAM Institut für Angewandte Materialtechnik, Universität Duisburg-Essen
- > FOSECO GmbH
- > Heinrich Wagner Sinto GmbH

Das Verbundprojekt MAGUS 2 „Prozesssichere Fertigungstechnik für Magnesiumguss“ wurde aus Mitteln des BMBF im Rahmen des Programms „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert. Hierfür sei an dieser Stelle gedankt. Der Abschlussbericht des gesamten Verbundprojektes – einschließlich der hier nicht erwähnten Teilprojekte Kokillengießen, Computertomographie und Bearbeiten – ist als VDG-Fachbericht Nr. 086 (2003) erschienen.

*Dr.-Ing. Wilhelm Michels und Prof. Dr.-Ing. Dierk Hartmann, IfG-Institut für Gießereitechnik gGmbH, Düsseldorf*

*Dr.-Ing. Franz Josef Feikus, Hydo Aluminium Deutschland GmbH*

*Dipl.-Ing. Cornelis Grefhorst, S&B Industrial Minerals GmbH, Marl*

#### Literatur:

- [1] *Prozesssichere Fertigungstechnik für Magnesiumguss – MAGUS 2: VDG-Fachbericht 086, Düsseldorf 2003.*
- [2] *Podobed, O.; Grefhorst, C.: Giesserei-Rundschau 49 (2002) Nr. 9/10, S. 155-162.*
- [3] *Schöffmann, W.; Beste, F.; Atzwanger, M.; Marquard, R.: AutoTechnology Vol. 2 (2002), S. 50-53.*

# Anzeige