



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 293 971 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1
Patentgesetz der DDR
vom 27.10.1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) B 22 C 9/02
B 22 D 21/00

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) DD B 22 C / 340 199 0
(31) 598,137

(22) 27.04.90
(32) 01.05.89

(44) 19.09.91
(33) CA

(71) siehe (73)

(72) Dautre, Don A., CA

(73) ALCAN INTERNATIONAL LIMITED, 1188 Sherbrooke Street West, Montreal, Quebec H3A 3G2, CA

(74) Strehl, Schübel-Hopf, Groening, Europäische Patentanwälte, Maximilianstraße 54, W - 8000 München, DE

(54) Verfahren zum Formgießen von Gußstücken

(55) Formgießen; nichtverklebtes Formungsmedium; Gußstücke; Abkühlungs-/Verfestigungsgeschwindigkeit; Formungsmedium-Zwischenräume; Gas; Wärmeleitfähigkeit; Helium

(57) Die Erfindung betrifft das Formgießen von Gußstücken unter Verwendung eines nichtverklebten (lesen) Formungsmediums, beispielsweise ein Modell-Verdampfungs-Gußverfahren. Um eine sehr beträchtliche Verbesserung in der Abkühlungs- und Verfestigungsgeschwindigkeit der Gußstücke zu erreichen, wird erfindungsgemäß die normalerweise in den Zwischenräumen des nichtverklebten Formungsmediums vorhandene Luft durch ein Gas ersetzt, das eine höhere Wärmeleitfähigkeit als Luft aufweist. Helium hat sich als besonders nützlich für diesen Zweck herausgestellt.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Formung von Gußstücken, mit den folgenden Schritten:
 - Herstellen eines Modells des zu gießenden Erzeugnisses in einem Gießkasten mittels eines nichtverklebten Formungsmediums und
 - Eingießen einer Füllung an geschmolzenem Metall in den Gießkasten, um ein Gußstück in der Gestalt des Modells innerhalb des Formungsmediums zu schaffen,
gekennzeichnet durch den folgenden Schritt:
 - man ersetzt Luft, die normalerweise in den Zwischenräumen des Formungsmediums vorliegt, durch ein Gas, das eine größere Wärmeleitfähigkeit als Luft aufweist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das nichtverklebte Formungsmedium lose Partikel aus wärmebeständigem Material umfaßt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Gas Helium ist.
4. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Gas ein Gemisch aus Helium mit Luft, Stickstoff oder einem nicht-reaktiven Gas ist.
5. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das vergossene Metall Aluminium oder eine Aluminiumlegierung ist.
6. Verfahren zum Formen von Gußstücken mit den folgenden Schritten:
 - Herstellen eines Modells des zu gießenden Erzeugnisses aus einem Material, das im wesentlichen rückstandsfrei vergasbar ist, wenn es der geschmolzenen Gießfüllung ausgesetzt wird, und eine Gestalt aufweist, die mit der des zu gießenden Erzeugnisses übereinstimmt,
 - Umgeben des Modells in einem Gießkasten mit einem Formungsmaterial, das ungebundenes Partikelmaterial enthält, und
 - Eingießen einer Füllung an geschmolzenem Metall in den Gießkasten, um das Modell zu verdampfen und ein Gußstück mit der Gestalt des Modells zu erzeugen,
gekennzeichnet durch den folgenden Schritt:
 - man ersetzt die normalerweise in den Zwischenräumen des partikelförmigen Formungsmediums vorliegende Luft durch ein Gas mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit als Luft.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Gas Helium ist.
8. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Gas ein Gemisch aus Helium mit Luft, Stickstoff oder einem nicht-reaktiven Gas ist.
9. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß das vergossene Metall Aluminium oder eine Aluminiumlegierung ist.

Formgießen in ein formbares Medium

Diese Erfindung betrifft Formgießen in ein formbares Medium und insbesondere ein Gießverfahren, bei dem ein nicht verklebtes bzw. nicht verbackenes Formungsmedium ein die Zwischenräume füllendes Gas mit hoher Wärmeleitfähigkeit enthält. In herkömmlicher Weise war Quarzsand das Formungsmedium, das beim Formgießen verschiedenartiger Metalle und ihrer Legierungen verwendet wurde. Unter den bekannten Gußverfahren können erwähnt werden der Sandguß, bei dem Metall in eine Hohlform gegossen wird, die aus Sand und einem Bindemittel hergestellt ist, CO₂-Guß, bei welchem das Bindemittel (Wasserglas) zur Reaktion mit CO₂-Gas gebracht wird, um es zu aktivieren, Guß im Wachs-Ausschmelzverfahren, bei dem die Form dadurch hergestellt wird, daß man ein verlorenes Modell mit einem feuerfesten Schlamm bedeckt, und Formmaskenguß, bei dem die Form dadurch hergestellt wird, daß man Sandpartikel zusammenklebt, um eine Formmaske herzustellen, die die Konturen des Metallmodells angenommen hat. Ein anderes Gußverfahren von speziellem Interesse ist das Schaum-Verdampfungs-Gußverfahren, bei dem ein Schaummodell, das im allgemeinen Polystyrol-Schaum aufweist, der Gegenstand ist, von welchem der Abguß vorgenommen wird. Dieses Schaummodell wird mit einem geeigneten feuerfesten Schlamm überzogen, in einen Gußkasten oder Gußrahmen gesetzt und mit unverklebtem Quarzsand als Formungsmedium umgeben. Ein Einguß aus Schaum erstreckt sich vom Modell aus zur oberen Fläche des Formungsmediums, der einen Kanal für den Eintritt des geschmolzenen Metalls bildet. Der Gußkasten wird gerüttelt, um eine maximale Verfestigung und Dichte des Sandes zu erreichen. Das geschmolzene Metall wird dann in den Gußkasten über den Einguß eingegossen, wobei das geschmolzene Metall Einguß und Modell verdampft und es hierbei verdrängt.

Das Ergebnis ist ein Gußkörper, der perfekt die Form des Modells wiedergibt. Gase, die aus dem verdampften Polystyrol gebildet sind, durchdringen den Schlamm und den Sand und gelangen durch Entlüftungen im Gußkasten nach außen.

Verschiedenartige metallische Materialien wurden als Formungsmedien verwendet, um eine erhöhte Wärmeleitfähigkeit vorzusehen. Beispielsweise wurden in der UdSSR Studien über die Verwendung von Roheisen oder Stahlschrot entweder als Gußteil oder in Bruchstücken als ferromagnetisches Formungsmedium angestellt, das in Verbindung mit dem Schaum-Verdampfungs-Verfahren verwendet werden soll. Über diese Studien wurde in den Berichten eines Symposiums „Lit'e po Gazifitsiruemyh Modelyam“ (auf Deutsch „Vollformguß“) berichtet, 1979 veröffentlicht vom Institut für Gießereiprobleme der Ukrainischen Sowjetrepublik, Akademie der Wissenschaften, Kiew, UdSSR.

Während die obigen Materialien die gewünschte Wärmeleitfähigkeit liefern, sind sie jedoch sehr schwere Materialien, die dazu neigen, die Polystyrol-Muster zu verzerren, die im Schaum-Verdampfungs-Verfahren verwendet werden, was zu ungenauen Gußstücken führt. Außerdem können so schwere Formgebungsmedien nicht mit der herkömmlichen Ausstattung gehandhabt werden, die für Quarzsand benutzt wird.

Die britische Patentanmeldung 2 183 517, veröffentlicht am 10. Juni 1987, beschreibt die Verwendung von Zirkonsand als Formungsmedium bei dem Schaum-Verdampfungs-Verfahren. Da Zirkonsand eine größere Schüttdichte aufweist als Quarzsand, und zwar etwa gleich jener des geschmolzenen Metalls, das gegossen wird, wird davon ausgegangen, daß die hydrostatischen Kräfte, die auf die Formgebungsmerkmale einwirken, verringert sind, wodurch die Formstabilität in hohem Umfang verbessert wird und hiermit die letztendliche Genauigkeit des Gußstückes in hohem Umfang verbessert wird. Andererseits ist bei einer Temperatur von 600°C die Wärmeleitfähigkeit des Zirkons, 0,83 W/m°K, nur die zweifache von Quarz (Quarzsand), 0,54 W/m°K. Da das Maß des Wärmeentzugs ungefähr proportional zur Quadratwurzel der Wärmeleitfähigkeit des Formungsmediums ist, liefert Zirkon eine Zunahme in der Abkühlgeschwindigkeit von etwa 24%.

Ein anderes Verfahren zum Verbessern der Geschwindigkeit der Verfestigung ist in Ryntz et al., US-Patent 4 520 858, herausgegeben am 4. Juni 1985, beschrieben. In diesem Patent ist ein Kühlteil aus Metall, das als potentielle Wärmesenke dient, an einem Schaum-Verdampfungs-Modell angebracht. Wenn Metall in die Form eingegossen wird, dann beschleunigt das Kühlteil die Abkühlung und Verfestigung. Die Anbringung eines Kühlteils an jedem Modell ist jedoch ein teures Verfahren und liefert eine nur sehr begrenzte Zunahme in der Verfestigungsgeschwindigkeit.

Es wurde auch vorgeschlagen, die Formungsmedien dadurch zu verbessern, daß man die Partikel mit einer feuerfesten Lage überzieht. Ein solches Verfahren ist bei Rikker, US-Patent 4 651 798, herausgegeben am 24. März 1987, beschrieben, wo Quarzsand, Tonerde, Zirkonerde oder Glaspartikel mit einer solchen feuerfesten Schicht überzogen werden. Diese Schicht modifiziert auch die Formen der Partikel, um sie mehr kugelig auszubilden, so daß sie gleichmäßiger rund um das Modell einlaufen und hierbei die Genauigkeit verbessern. Diese Materialien haben jedoch wiederum nicht die hohe Wärmeleitfähigkeit, die zum Erhöhen der Verfestigungsgeschwindigkeit erforderlich ist.

Ein anderes Formungsmedium, das den Modell-Verdampfungs-Gießprozeß verbessert, ist Aluminiumgranulat. Dieses Medium hat sich als hochwirksam in seiner Fähigkeit herausgestellt, die Geschwindigkeit des Wärmeentzugs zu erhöhen, während die Probleme schwerer Metalle als Formungsmedium vermieden sind. Alle obigen Untersuchungen haben sich jedoch auf die Eigenschaften der festen Phase des Formungsmediums konzentriert und haben nicht den Einfluß der Gasphase beim Steuern der Wärmeleitungseigenschaften des Formungsmediums in Betracht gezogen, die die Zwischenräume zwischen den Partikeln einnimmt.

Es gibt bereits frühere Vorschläge, Heliumgas zu dem Zweck zu verwenden, die Geschwindigkeit der Wärmeübertragung zu modifizieren. Beispielsweise offenbart das sowjetische Patent 369 972, veröffentlicht am 15. November 1973, ein Verfahren zum Einfrieren von Sandformen, vermutlich um die Partikel der Medien vor dem Gußvorgang zu binden, bei dem zum Erhöhen der Gefriereschwindigkeit die Formen mit einem Gas gefüllt werden, das einen höheren Wärmeleitfähigkeits-Beiwert aufweist als Luft. Das Patent betraf allerdings nur die Abkühlung von Formen auf Temperaturen unter 0°C und nicht den Guß von geschmolzenem Metall.

Das russische Patent 1 161 224, das am 15. Juni 1985 veröffentlicht ist, betrifft eine Form mit einem porösen Kern, dessen Porosität von feinen Poren an der Oberfläche bis zu groben, tieferdringenden Kavernen in der Mitte variiert. Diese groben Kavernen des Kernes können mit unterschiedlichen Kühlmedien gefüllt werden, die auch Helium umfassen, um sowohl die Wärme-Speicherfähigkeit des Kernes als auch die Abkühlgeschwindigkeit des Gußstückes zu ändern, das sich in Berührung mit dem Kern befindet.

Das US-Patent 4 749 027, herausgegeben am 7. Juni 1987, beschreibt die Verwendung eines Films aus Helium zwischen dem geschmolzenen Metall und der Frontfläche eines sich bewegendes Gießbandes bei einer kontinuierlich wirkenden Gießmaschine zum Herstellen eines Metallstrifens. Der Zweck des Heliums ist es jedoch lediglich, einen Gasfilm zwischen dem Metall und dem Band herzustellen.

S. Engler und R. Ellerbrock, „Influence of Various Gas Atmospheres and Gas Pressures in Some Casting Characteristics in Example Alloy Al-Si 12.8“ („Einfluß verschiedenartiger Gasatmosphären und Gasdrücke bei manchen Gußeigenschaften beim Beispiel der Legierung Al-Si 12,8“), Gießerei 64 (9), 227 bis 230 (1977), beschreiben die Wirkung von Argon und anderen Gasen, die in der das geschmolzene Metall umgebenden Atmosphäre in einem Schmelzofen, in einem Überförerlöffel und wenn es vom Löffel in eine Form gegossen wird, vorliegen. Der Zweck dieses Gases war es, die Abkühlgeschwindigkeit des Metalls während des Schmelzvorganges und der Überführung zu verringern. Der Artikel lehrt es, daß die Verringerung des Druckes eines jeden Gases und das Ersetzen von Luft durch Argon das Ziel erreicht, die Geschwindigkeit der Abkühlung zu verringern, d. h. die Zeitdauer der Verfestigung noch zu erhöhen.

Es ist ein Ziel der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Formgebungsverfahren bzw. -system mit einer größeren Wärmeübertragung durch das Formungsmedium hindurch vorzusehen.

Gemäß dieser Erfindung wurde entdeckt, daß durch Ersetzen von Luft, die normalerweise in den Zwischenräumen eines nichtverklebten (losen) Formungsmediums vorliegt, durch ein Gas mit höherer Wärmeleitfähigkeit (etwa Helium) eine viel größere Abkühlgeschwindigkeit und Verfestigungsgeschwindigkeit erreicht werden können.

Somit betrifft die vorliegende Erfindung in ihrem breitesten Aspekt ein Verfahren zur Formgebung von Gußstücken, das die Schritte aufweist, ein Modell des zu gießenden Erzeugnisses in einem Gießkasten mittels eines nichtverklebten Formungsmediums zu erzeugen, beispielsweise mit nichtverklebten Partikeln eines wärmebeständigen Materials, und eine Füllung an geschmolzenem Metall in den Gießkasten einzugießen, um ein Gußstück in der Form des Modells innerhalb des Formungsmediums zu erzeugen. Gemäß dem neuartigen Merkmal ist die Luft, die normalerweise in den Zwischenräumen des nichtverklebten (losen) Formungsmediums vorliegt, ersetzt durch ein Gas mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit als Luft.

Ein bevorzugtes Merkmal der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Formen von Gußstücken, das die Schritte aufweist, ein Modell des zu gießenden Produkts aus einem Material zu erzeugen, das im wesentlichen ohne Rückstand vergasbar ist, wenn es der geschmolzenen Gußfüllung ausgesetzt wird, und eine Gestalt aufweist, die dem zu gießenden Erzeugnis entspricht, das Modell in einem Formkasten mit einem Formungsmedium zu umgeben, das unverklebtes Partikelmaterial umfaßt, und eine Füllung an geschmolzenem Material in den Gießkasten einzugießen, um das Modell zu verdampfen und ein Gußstück in der Gestalt des Modells zu erzeugen. Das neuartige Merkmal umfaßt den Schritt, die Luft, die normalerweise in den Zwischenräumen des

partikelförmigen Formgebungsmaterials vorliegt, durch ein Gas zu ersetzen, das eine höhere Wärmeleitfähigkeit als die Luft aufweist.

Helium ist das bevorzugte Gas, weil es inert, nicht toxisch, nicht korrosiv und verhältnismäßig billig ist. Es gibt auch andere Gase mit hoher Wärmeleitfähigkeit, insbesondere Wasserstoff und Neon, aber die praktischen Einschränkungen ihrer Benutzung, was die Sicherheit bei Wasserstoff und die Kosten bei Neon angeht, sind ohne weiteres ersichtlich. Mischungen aus Helium mit anderen nichtreaktiven Gasen mit niedriger Wärmeleitfähigkeit liefern bei bestimmten Anwendungsfällen Vorzüge, wo sorgfältig ausgewählte Abkühlgeschwindigkeiten, die schneller sind als jene, die durch Luft erhalten werden, aber langsamer als jene, die durch Helium erhalten werden, erforderlich sind. Für diese Anwendungsfälle wird die erforderliche Abkühlgeschwindigkeit dadurch erhalten, daß man Gemische aus Helium und Luft, oder Helium und Stickstoff, oder Helium und Argon, oder Helium und irgendeinem anderen Gas verwendet, das weder mit den geschmolzenen oder verfestigten Metallen noch mit dem Formungsmedium reagiert. Die Verwendung solcher ausgewählter Gemische bietet das „Maßschneidern“ der Abkühl- und Verfestigungsgeschwindigkeit.

Bei einem Ausführungsbeispiel der Erfindung sind die Zwischenräume des partikelförmigen Formungsmediums einfach mit hochleitfähigem Gas gefüllt, bevor der Gießvorgang begonnen wird. Die Form kann aber auch mit dem geschmolzenen Metall gefüllt werden, bevor man das hochwärmeleitfähige Gas einleitet, um die Form vollständig unter Bedingungen einer niedrigen Wärmeabgabegeschwindigkeit zu füllen und nachfolgend die Abkühlgeschwindigkeit durch Einleiten des Gases, etwa des Heliums, zu erhöhen, oder bevor man Helium/Luft-Gemische benutzt, die oben beschrieben sind, um mittlere Geschwindigkeiten des Wärmeentzugs zu erhalten.

Eine weite Vielfalt partikelförmiger Materialien kann als Formungsmedium verwendet werden, die Quarzsand, Zirkonsand, Chrom-Magnesitsand, Stahlschrot, Siliciumcarbid, Tonerde, Aluminiumgranulat usw. umfassen. Eine weite Vielfalt von Metallen kann auch durch das Verfahren dieser Erfindung geformt werden, die solche Materialien, wie Aluminium, Magnesium, Zink und ihre Legierungen, umfassen.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind durch die nachfolgenden, nicht einschränkenden Beispiele dargestellt.

Beispiel 1

Schaum-Verdampfungsguß

Modelle aus expandiertem Polystyrol wurden vorbereitet (38,1 mm × 50,8 mm × 152,4 mm) und mit einer Formbeschichtung beschichtet, die aus Styro-Kote 250.1 (Warenzeichen von The Thiem Corporation) bestand. Diese wurden in verschiedenartige Formgebungsmedien (Aluminiumgranulat -20/+80 mesh, SiC # 24 Grit und Gießereisand) eingepackt, und Gußstücke wurden dadurch hergestellt, daß man eine Al-4,5%-Cu-Legierung bei 750°C auf das Modell gegossen hat. Ein Wärmefühler wurde im mittleren Abschnitt des Gußstückes angeordnet, und die Abkühlungszeiten wurden unter den Bedingungen aufgezeichnet, die in Tabelle 1 bezeichnet sind.

Tabelle 1

Abkühlungszeiten für ein Gußstück aus Al-5,4%-Cu-Legierung bei 750°C. Die Zeiten stellen Sekunden dar, die zwischen dem Flüssig-Umwandlungspunkt und der bezeichneten Temperatur verstrichen sind.

Tabelle 1

Atmosphäre	Aluminiumgranulat		Sand		SiC
	Luft	He	Luft	He	Luft
flüssig - Fest-Umwandlungspunkt	330	220	420	220	345
flüssig - 400°C	580	430	760	430	635
flüssig - 300°C	955	720	1 300	740	1 105
Gewicht des Gußstücks (g)	703	800	659	810	659

Es ist ersichtlich, daß unter diesen Bedingungen die Abkühlgeschwindigkeiten in Sand und Helium äquivalent jenen waren, die in Aluminiumgranulat und Helium erzielt wurden, und besser als jene, die entweder mit Aluminiumgranulat oder Siliciumcarbid in Luft erzielt wurden. Die Verwendung von Helium hat die Abkühlgeschwindigkeit der Teile etwa verdoppelt, die in Sand und in Luftatmosphäre gegossen wurden.

Beispiel 2

Eine getrennte Reihe von Experimenten wurde durchgeführt, um die Auswirkung des Heliums auf die Geschwindigkeit des Wärmeentzugs unter Bedingungen abzuschätzen, die enger einem herkömmlichen Sandgußvorgang nahekomen. Während dieser Experimente wurden die Formungsmedien um unbenutzte leere Büchsenkörper gepackt. Metall (Al-4,5%-Cu) wurde unmittelbar in die Büchsen bei 700°C eingegossen und eine Isolierabdeckung wurde über die Form gelegt. Temperatur-Zeit-Aufzeichnungen wurden erhalten, um die relativen Abkühlgeschwindigkeiten unter verschiedenartigen Gußbedingungen zu vergleichen.

Die erhaltenen Ergebnisse sind in den Tabellen 2 und 3 gezeigt. Die Durchsicht dieser Tabellen bringt zu Tage, daß die Anwesenheit von Helium eine größere (steigernde) Wirkung unter allen Bedingungen hatte, die untersucht waren, und daß das Einleiten von Helium in Quarzsand eine sehr wirksame Maßnahme ist, um die Abkühlgeschwindigkeit der Gußstücke zu erhöhen.

Tabelle 2Abkühlzeiten (s), Al-4,5%-Cu, $T_{\text{Einguß}} = 700^\circ\text{C}$, unbeschichtete Form

Formmedium	Al		Sand		SiC	
Atmosphäre	Luft	He	Luft	He	Luft	He
Zeit (min)						
flüssig – fest	2,9	2,2	8,25	3,6	6,25	3,05
flüssig – 500	3,6	2,6	10,25	4,6	8,0	3,9
flüssig – 400	6,0	4,5	17,75	8,0	13,5	7,0
flüssig – 350	8	6	23,5	10,75	17,5	9,25
flüssig – 300	10,8	8,25	30,5	15,0	23,25	12,7
Probengewicht (g)	601	557	684	589	467	713

Tabelle 3Abkühlzeiten (s), Al-4,5%-Cu, $T_{\text{Einguß}} = 100^\circ\text{C}$ bzw. 700°C , beschichtete Form

Formmedium	Al		Sand		SiC	
Atmosphäre	Luft	He	Luft	He	Luft	He
Zeit (min)						
flüssig – fest	6,4	3,3	9,25	3,3	6,5	3,5
flüssig – 500	–	–	–	–	–	–
flüssig – 400	12,5	6,3	19	6,5	13	7,3
flüssig – 300	22	12	33	12	22,5	13,8
Probengewicht (g)	649	630	752	430	683	614

Beispiel 3

Eine Reihe von Versuchen wurde durchgeführt, wobei man die Schaummodell-Verdampfungs-Gußtechnik mit verschiedenartigen unterschiedlichen Formungsmedien verwendet hat.

Tabelle 4

Versuchsmaterialien

Bezeichnung	Beschreibung	Art
Gießereisand	AFS Nr. 26	nicht-verklebt, porös, nichtmetallisch
tafelförmiges Al_2O_3	14 x 28 Mesh geliefert von Kaiser Corporation, Pleasantown, CA, USA	nicht-verklebt, porös, nichtmetallisch
tafelförmiges Al_2O_3	dasselbe wie oben, aber verklebt mit 5 % w/w Natriumsilikat Natrium (40–42 % Be; gehärtet mit CO_2)	verklebt, nicht-porös, nichtmetallisch
Siliziumkarbid	Gemisch aus 4 Teilen	nicht-verklebt, porös, nichtmetallisch
80 x 200 Mesh	Teil 200 Mesh geliefert von White Abrasives Inc., Niagara Falls, ON, Kanada	
36 x 54 RA	Geliefert von Canadian Carborundum, Niagara Falls, ON, Kanada	
Aluminiumgranulat NMI	AA 1100 Al-Pulver	nicht-verklebt, porös, metallisch
	25 x 40 Mesh, geliefert von Nuclear Metal Inc., Concord, NJ, USA	
AMPAL	AMPAL 603 geliefert von Atomized Metal Powders Inc., Flemington, NJ, USA	
TOYAL	Grade 5600 Al-Pulver geliefert von Aclan Toyo America Inc., Joliet, IL	
J & M	20 x 80 Mesh Al-Pulver geliefert von Johnson & Mathey Limited 110 Industry Street Toronto, ON M6M4M1	

Zylindrische, expandierte Polystyrol-Modelle (Dichte = $22,5 \text{ kg/m}^3$) mit einer Abmessung von 38,1 mm im Durchmesser zu 152 mm in der Länge wurden von Lost Foam Technologies, Sheboygan Falls, Wisconsin, erhalten. Das Metallgewicht, das erforderlich war, um diese Modelle zu füllen, betrug 0,5 kg.

Beschichtete Modelle wurden dadurch hergestellt, daß man sie in einem Beschichtungsschlamm aus Styro-Kote 250.1 eingetaucht hat, dessen spezifisches Gewicht auf 1,56 eingestellt wurde, um eine Beschichtungsdicke von 0,2 mm zu erhalten. Nach dem Tauchen wurden die Modelle entweder über Nacht luftgetrocknet oder in einem Mikrowellenherd getrocknet.

Vor dem Einpacken des Modells in das Formungsmedium wurde ein Wärmefühler am mittleren Punkt längs der Längenerstreckung bis zur Tiefe der Mittellinie des Zylinders eingeführt. Das Modell wurde dann in einen Formkasten eingeführt und dieser mit dem Formungsmedium gefüllt, während die gesamte Anordnung gerüttelt wurde. Um Wärmeverluste durch den Boden des Formkastens zu verhindern, wurde eine Isolierschicht (entweder 2,7 mm Faserplatte oder zwei Lagen aus Fiber-Frax-Papier [Warenzeichen der Carborundum Corporation]) am Boden des Formkastens angeordnet. Für Versuche, in denen die Gasphase geändert wurde, wurde ein Gasverteiler aus perforiertem rostfreien Stahl in den Boden des Formkastens eingesetzt und mit der Gaszufuhr verbunden und verwendet, um das Partikelbett vor dem Gießen zu spülen. Für die Spülung wurden 2,7 SLPM (Nennliter pro Minute – l/min) Helium für zwei bis drei Minuten injiziert. Unmittelbar vor dem Guß wurde die Gasströmung auf etwa 0,3 l/min reduziert, um die Gasatmosphäre während der Abkühlung beizubehalten.

Proben wurden aus einer binären Al-4,5%-Cu-Legierung bei einer Gießtemperatur von 700°C gegossen, und die Temperatur wurde unter Benutzung eines Bandschreibers überwacht. Diese Legierung wurde gewählt, weil sie einen gut definierten eutektischen Umwandlungspunkt bei 548°C aufweist, der die leichte Erkennung der Verfestigungszeit ermöglicht. Wenn der Guß bei 700°C stattfand, dann war das Metall, das den Wärmefühler erreicht hat, gerade bei der Flüssigkeitstemperatur, und die Abkühlungsgeschwindigkeiten wurden dadurch errechnet, daß man den Bereich (100°C) zwischen der Flüssig-Temperatur bis zur eutektischen Umwandlungstemperatur durch die Zeit geteilt hat, die zwischen dem Einguß und der Zeit des Endes der eutektischen Umwandlung verstrichen war.

- Ergebnisse wurden für die Verfestigungsgeschwindigkeiten aufgezeichnet, wenn Luft durch Helium bei Schaum-Verdampfungsmodellen ohne Beschichtung ersetzt war. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 5 gezeigt, und die Verfestigungsgeschwindigkeit war höher, wenn Helium anwesend war.
- Ein anderes Experiment wurde durchgeführt, bei dem Luft durch Helium bei Schaum-Verdampfungsmodellen mit Beschichtung ersetzt wurde. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 6 gezeigt und zeigen wieder, daß die Verfestigungsgeschwindigkeit höher war, wenn Helium vorlag.
- Ein anderer Versuch wurde durchgeführt, um die Verfestigungsgeschwindigkeit mit statischer Luft und strömendem Argon zu zeigen, welche beide eine geringere Wärmeleitfähigkeit aufweisen als Helium. Die Ergebnisse dieses Versuchs sind in Tabelle 7 gezeigt, und es ist ersichtlich, daß die Verfestigungsgeschwindigkeiten, die sowohl bei Luft als auch Argon beobachtet wurden, wesentlich niedriger waren als jene, die bei der Benutzung von Helium beobachtet wurden.
- Ein anderer Versuch wurde durchgeführt, bei dem ein größeres Gußstück auf der Grundlage eines Schaum-Verdampfungsmodells unter Verwendung von 8 kg Metall geformt wurde. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 gezeigt, und dieselbe Verbesserung in der Verfestigungsgeschwindigkeit und der nachfolgenden Abkühlung auf 445°C und 395°C wurde erreicht, wenn Luft durch Helium ersetzt war.

Tabelle 5

Verfestigungsgeschwindigkeit in Luft und Helium, keine Beschichtung auf dem Modell
Verfestigungsgeschwindigkeit $^\circ\text{C/s}$ (Standardabweichung)

	in Luft	in He	Luft/He-Verhältnis
Gießereisand	0,34 (0,02)	0,74 (0,06)	2,2
Al-Granulat			
NMI	0,80 (0,06)	1,24 (0,08)	1,6
J & M	0,71 (0,03)	1,10 (0,05)	1,5
AMPAL	0,83 (0,04)	1,29 (0,04)	1,6
TOYAL	0,58 (0,07)	0,99 (0,09)	1,7
TABULAR A 1203	0,42 (0,01)	0,98 (0,03)	2,3
Siliziumkarbid			
80 x 200 Mesh	0,56 (0,01)	0,96 (0,04)	1,7
36 x 54 RA	0,43 (0,03)	1,02 (0,10)	2,4

Tabelle 6

Verfestigungsgeschwindigkeit in Luft und Helium, beschichtete Modelle
Verfestigungsgeschwindigkeit $^\circ\text{C/s}$ (Standardabweichung)

	in Luft	in He	Luft/He-Verhältnis
Gießereisand	0,35 (0,02)	0,59 (0,02)	1,7
Al-Granulat			
NMI	0,49 (0,02)	0,90 (0,07)	1,8
J & M	0,51 (0,03)	0,84 (0,05)	1,6
TOYAL	0,45 (0,04)	0,72 (0,07)	1,6
Siliziumkarbid			
36 x 54 RA	0,36 (0,01)	0,71 (0,03)	2,0
80 x 200 Mesh	0,41 (0,01)	0,64 (0,01)	1,6
TABULAR A 1203	0,36 (0,01)	0,75 (0,04)	2,1

Tabelle 7

Einfluß von Helium und Argon auf die Verfestigungsgeschwindigkeiten, gemessen bei der Aufnahme in TOYAL-Aluminiumgranulat

Verfestigungsgeschwindigkeit °C/s (Standardabweichung)

Luft ^{1*}	Helium ^{2*}	Argon ^{2*}
0,58 (0,07)	0,99 (0,09)	0,50 (0,06)
Wärmeleitfähigkeit bei 300 °K		1 000 °K
* Luft	0,026 W/m°K	0,067 W/m°K
* Helium	0,151 W/m°K	0,354 W/m°K
* Argon	0,018 W/m°K	0,044 W/m°K

1 statisch

2 strömend, 0,35 l/min

Tabelle 8

Abkühlungszeiten als Funktion des Formungsmedium und der Atmosphäre für ein großes Gußstück (8 kg)

Formungsmedium	Gas	Zeit (min) vom Eingieß bis zu: Eutekt. Umwandlung	445 °C	395 °C
Gießereisand	Luft	16	38	60
Gießereisand	He	7	15,5	22,5
Al-Granulat	Luft	9	20,5	32
TABULARA 1203	He	7,25	13,25	18

Aus den obigen Beispielen ist ersichtlich, daß die Verfestigungsgeschwindigkeit und Abkühlgeschwindigkeit während des Schaum-Verdampfungsverfahrens beträchtlich durch die Verwendung eines Formungsmediums mit hoher Wärmeleitfähigkeit/ hoher Wärmekapazität erhöht werden kann. Die Leistungsfähigkeit dieser Medien ist letztendlich durch den Wärmewiderstand begrenzt, der an den Gegenstand-Berührungspunkten vorliegt. Die Verwendung eines hochleitfähigen Gases, wie etwa Helium, erhöht die Verfestigungs- und Abkühlgeschwindigkeit wesentlich. Beispielsweise war die Verwendung von Helium zusammen mit Quarzsand sogar noch wirksamer beim Erhöhen der Verfestigungsgeschwindigkeit als die besten Aluminiumgranulate in Luft, die bei den Versuchen verwendet wurden. Die feuerfesten Modellbeschichtungen, die herkömmlicherweise beim Schaum-Verdampfungsverfahren verwendet werden, bieten gegenüber dem Wärmefluß eine Sperre, die beträchtlich ist, wenn Helium bei einem hochleitfähigen Formmedium verwendet wird. Optimale Ergebnisse bei Verfestigungsgeschwindigkeiten wurden dadurch erhalten, daß man Helium mit hochleitfähigen Medien kombiniert hat.

Die wirksamste Vorgehensweise hat sich bei der Verwendung von Helium in einer Kombination mit dem herkömmlichen Schaum-Verdampfungsverfahren herausgestellt. Obwohl die Verwendung anderer Medien im Prinzip zu einer noch weiteren Erhöhung in den Verfestigungsgeschwindigkeiten führen könnte, ist doch ersichtlich, daß zum Erreichen von Geschwindigkeiten, die über denen liegen, die mit Helium und Sand erreichbar sind, hochleitfähige Modellbeschichtungen oder ein beschichtungsfreies Verfahren erforderlich sind.

Während die obige detaillierte Beschreibung in erster Linie auf das Schaum-Verfestigungsverfahren Bezug nimmt, ist es dem Fachmann klar, daß die Erfindung einen viel breiteren Anwendungsbereich auch auf andere Formgebungsverfahren, wie etwa Grünsand-Formverfahren, Formmaskenverfahren, Wachsausschmelzverfahren, Sandkerne usw., hat.