



(19)

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 358 956 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
05.11.2003 Patentblatt 2003/45(51) Int Cl. 7: B22D 17/00, B22D 27/08,
B22D 27/04, C22C 1/00

(21) Anmeldenummer: 02405339.9

(22) Anmeldetag: 24.04.2002

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(71) Anmelder: **Alcan Technology & Management Ltd.**
8212 Neuhausen am Rheinfall (CH)

(72) Erfinder:
• **Winkler, Reinhard**
78234 Engen (DE)

- H-Irigi, G-nther
8200 Schaffhausen (CH)
- Rohner, Wlater
8200 Schaffhausen (CH)
- Schelling, Helmut
8207 Schaffhausen (CH)
- Burbach, Thomas
8208 Schaffhausen (CH)

(54) **Verfahren zur Verarbeitung einer Metalllegierung zu einem teilfesten/teilflüssigen Formkörper**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verarbeitung einer Metalllegierung (28) mit einer Liquidustemperatur und einer Solidustemperatur zu einem teilfesten/teilflüssigen Formkörper. Die Metalllegierung (28) wird in flüssigem Zustand bei einer Einfülltemperatur (T_{Mo}) in eine Form (10) mit einer im wesentlichen zylindrischen Formwand (12) gefüllt wird, wobei die Form (10) bei Beginn des Füllvorgangs eine unterhalb der Liquidustemperatur liegende Anfangstemperatur aufweist, die Form (10) bei einer oberhalb der Liquidustemperatur liegenden Starttemperatur der Metalllegierung (28) in eine exzentrische Rotationsbewegung versetzt und die Rotationsbewegung so lange aufrechterhalten wird, bis sich die Metalllegierung (28) auf eine dem im Formkörper gewünschten fest/flüssig-Verhältnis entsprechende, zwischen der Liquidustemperatur und der Solidustemperatur liegende Ausformtemperatur abgekühlt hat, und der Formkörper bei der Ausformtemperatur aus der Form (10) genommen wird. Zur Einstellung einer gewünschten Abkühlungsgeschwindigkeit der Metalllegierung (28) in der Form (10) werden die Dicke (d_1) der Formwand (12), der Werkstoff und die Anfangstemperatur der Form (10) so gewählt, dass die Enthalpieänderung der Metalllegierung (28) während der Abkühlung von der Einfülltemperatur auf die Ausformtemperatur kleiner ist als die für einen Temperaturanstieg der Form (10) von der Anfangstemperatur auf die Ausformtemperatur benötigte Wärmemenge.

Die Einstellung der die Abkühlungsgeschwindigkeit beeinflussenden Parameter der Form in Kombination mit der exzentrischen Rotation der Form führen zu einer

optimalen kurzen Prozessdauer.

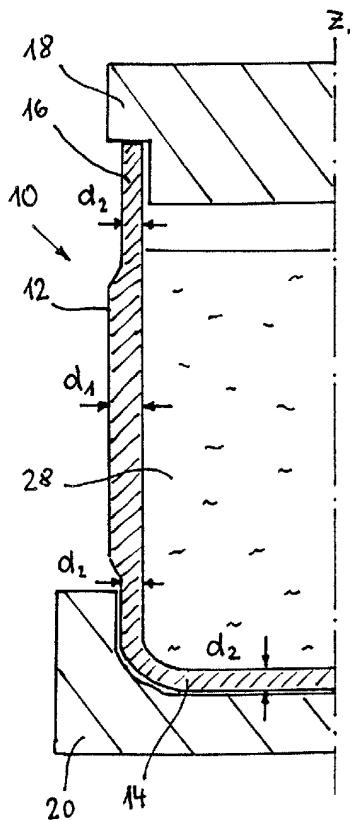


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verarbeitung einer Metalllegierung mit einer Liquidustemperatur und einer Solidustemperatur zu einem teilfesten/teilflüssigen Formkörper, bei welchem Verfahren die Metalllegierung in flüssigem Zustand bei einer Einfülltemperatur in eine Form mit einer im wesentlichen zylindrischen Formwand gefüllt wird, wobei die Form bei Beginn des Füllvorgangs eine unterhalb der Liquidustemperatur liegende Anfangstemperatur aufweist und die Metalllegierung so lange in der Form gehalten wird, bis sie sich auf eine dem im Formkörper gewünschten fest/flüssig-Verhältnis entsprechende, zwischen der Liquidustemperatur und der Solidustemperatur liegende Ausformtemperatur abgekühlt hat, und der Formkörper bei der Ausformtemperatur aus der Form genommen wird.

[0002] Aus Metalllegierungen lassen sich teilfeste/teilflüssige Formkörper mit thixotropem Verhalten herstellen. Aufgrund der thixotropen Eigenschaften können die Formkörper beispielsweise auf einer Druckgiessmaschine weiterverarbeitet werden.

[0003] Bei einem ersten bekannten Verfahren, dem sog. Thixocasting, wird eine Metalllegierung durch Stranggiessen zu einem Bolzen vergossen. Zur Erzeugung des für die thixotropen Eigenschaften erforderlichen feinkörnigen Gefüges wird die Metallschmelze im Erstarrungsbereich, d.h. zwischen Liquidus- und Solidustemperatur der Metalllegierung, kräftig gerührt, wobei sich vor allem elektromagnetische Röhreinrichtungen bewährt haben. Durch den Rührvorgang werden die sich bildenden Dendriten abgeschert bzw. derart zurückentwickelt, dass diese primär erstarrenden Festteilchen eine im wesentlichen globulitische Gestalt annehmen. Der erstarrte Bolzen wird zu Formkörpern aufgeteilt, welche nach Erwärmung auf eine zwischen Solidus- und Liquidustemperatur der Metalllegierung liegende Temperatur thixotrope Eigenschaften zeigen. Bei derart erwärmten Formkörpern enthält die Metalllegierung im thixotropen Zustand die zurückentwickelten dendritischen, primär erstarrten und im wesentlichen globulitischen Partikel in einer diese umgebenden Matrix aus flüssigem Metall.

[0004] Bei einem anderen bekannten Verfahren, dem sogenannten Rheocasting, wird kontinuierlich eine Metalllegierungsschmelze mit einem dem im Formkörper gewünschten fest/flüssig-Verhältnis entsprechenden Feststoffanteil erzeugt. Wie beim vorstehend beschriebenen Verfahren wird auch hier die Metallschmelze zur Erzeugung des für das thixotrope Verhalten erforderlichen feinkörnigen Gefüges im Bereich zwischen Liquidus- und Solidustemperatur der Metalllegierung kräftig gerührt. Das Rheocasting hat gegenüber dem Thixocasting zwar einen wesentlichen energetischen und daher kostenmässigen Vorteil, jedoch erfordern Rheocastinganlagen aufwendige und schwerfällige Verfahren, um ein koordiniertes Zusammenwirken mit einer nachfolgenden Giessmaschine zur Herstellung des Endproduktes sicherzustellen.

[0005] Bei einem aus der EP-A- 0 745 694 bekannten Verfahren wird eine Kristallisationskeime enthaltende Metalllegierung in eine wärmeisolierende Form gegossen. Nachdem die Form beispielsweise mit Luftdüsen entsprechend von aussen gekühlt und anschliessend geheizt worden ist, stellt sich das gewünschte fest/flüssig-Verhältnis in der Metalllegierung ein und der entstandene teilfeste/teilflüssige Formkörper wird der weiteren Verarbeitung zugeführt.

[0006] Bei einem in der WO-A- 01/07672 offenbarten Verfahren wird eine Metalllegierung in eine Form gegossen und auf eine Temperatur zwischen Liquidus und Solidus abgekühlt. Zur Ausbildung der gewünschten Gefügestruktur wird der Formkörper einige Zeit bei einer Temperatur zwischen Solidus und Liquidus gehalten. Hier stellt sich ein Temperaturgleichgewicht zwischen Metallschmelze und Form ein. Anschliessend kann ein gewisser Teil der Metallschmelze abgelassen werden, um das gewünschte fest/flüssig-Verhältnis in der Metalllegierung einzustellen. Der Prozess kann durch ein "Schütteln" der Form unterstützt werden.

[0007] Der Nachteil der beiden letztgenannten Verfahren liegt in einer verhältnismässig langen Prozessdauer, d.h. der Zeitdauer vom Einfüllen der Metalllegierung in die Form bzw. vom Bewegen der Metallschmelze bis zur Entnahme des Formkörpers aus der Form. Für eine rationelle Weiterverarbeitung müssen demzufolge mehrere Stationen zur Herstellung von Formkörpern bereitgestellt werden.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, welches mit einfachen Mitteln eine optimale Einstellung der Abkühlungsbedingungen erlaubt, so dass ein Formkörper in möglichst kurzer Zeit und ohne Ausbildung einer Randschale hergestellt werden kann.

[0009] Zur erfindungsgemässen Lösung der Aufgabe führt, dass zur Einstellung einer gewünschten Abkühlungsgeschwindigkeit der Metalllegierung in der Form die Dicke der Formwand, der Werkstoff und die Anfangstemperatur der Form so gewählt werden, dass die Enthalpieänderung der Metalllegierung während der Abkühlung von der Einfülltemperatur auf die Ausformtemperatur kleiner ist als die für einen Temperaturanstieg der Form von der Anfangstemperatur auf die Ausformtemperatur benötigte Wärmemenge.

[0010] Die Endtemperatur der Form liegt also tiefer als die Ausformtemperatur, d.h. Form und Metalllegierung befinden sich nicht in einem thermischen Gleichgewicht. Die erfindungsgemässe Einstellung der die Abkühlungsgeschwindigkeit beeinflussenden Parameter der Form führen als Folge des bei der Ausformtemperatur herrschenden thermischen Ungleichgewichts zwischen Form und Metalllegierung zu einer optimalen und im Vergleich zum Stand der Technik kurzen Prozessdauer. Unter Prozessdauer wird hier und im folgenden die Abkühlungszeit der Metalllegierung von der Einfülltemperatur, oder, wenn die Metallschmelze bewegt wird, von der Starttemperatur der Bewegung

auf die Ausformtemperatur verstanden. Die Ausformtemperatur ist die Temperatur des Formkörpers zum Zeitpunkt seiner Entnahme aus der Form.

[0011] Bei einer ersten bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens wird der zeitliche Verlauf der Temperatur zur Bestimmung des Ausformzeitpunktes verwendet. Das Ausformen erfolgt dann, wenn in der Metalllegierung ein als Sollwert vorgegebenes Temperaturprofil und die als Sollwert vorgegebene Ausformtemperatur erreicht sind. Die Zeit, die bis zum Erreichen der Ausformtemperatur benötigt wird, um einen guten, homogenen Formkörper zu erhalten, hängt von der Legierungszusammensetzung ab.

[0012] Bei einer zweiten bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens wird der zeitliche Verlauf der Temperatur an einem festen Ort in der Formwand zur Bestimmung des Ausformzeitpunktes verwendet. Das Ausformen erfolgt dann, wenn ein als Sollwert vorgegebener Temperaturgradient und die als Sollwert vorgegebene Ausformtemperatur erreicht sind.

[0013] Die Anfangstemperatur der Form liegt bevorzugt zwischen Raumtemperatur und etwa 320°C.

[0014] Der Formkörper wird üblicherweise unmittelbar nach Erreichen der Ausformtemperatur aus der Form genommen und seiner Weiterverarbeitung zugeführt. Für den Fall, dass das Ausformen nicht sofort durchgeführt werden kann, beispielsweise beim Auftreten einer Störung in einer Produktionsanlage, ist es mit dem erfindungsgemässen Verfahren möglich, den Formkörper bei Erreichen der Ausformtemperatur durch Heizen der Form so lange auf der Ausformtemperatur zu halten, bis die Störung behoben ist.

[0015] Eine weitere Optimierung der Prozessdauer kann dadurch erzielt werden, dass die Metalllegierung in eine Bewegung versetzt und die Bewegung so lange aufrechterhalten wird, bis sich die Metalllegierung auf die Ausformtemperatur abgekühlt hat. Die Bewegung der Metalllegierung kann grundsätzlich mit jedem bekannten Mittel erzeugt werden, beispielsweise durch elektromagnetisches Röhren oder durch eine Bewegung der Form. Die Bewegung der Form hat die Aufgabe, eine Strömung in der Metallschmelze, oder später im teillflüssigen Brei, zu erzeugen. Das primäre Ziel ist eine gute Durchmischung, ohne Strudel oder Wirbel in der Metallschmelze hervorzurufen. Prozessbedingt sollte die Bewegung so geartet sein, dass sie möglichst bald nach der Formfüllung einsetzt, da die Viskosität der sich abkühlenden und zu einem Brei werdenden Metalllegierung stetig ansteigt und eine zielführende Bewegung immer schwerer zu erreichen ist. Die Bewegung der Form wird so eingestellt, dass die Metallschmelze zu Beginn nicht aus der Form schwappt, was beispielsweise mit einer geringeren Bewegungsintensität in der Startphase und einer Erhöhung der Intensität mit ansteigender Viskosität erreicht werden kann.

[0016] Eine optimale Prozessdauer ergibt sich dann, wenn die Form unmittelbar nach beendiger Formfüllung in eine exzentrische Rotationsbewegung versetzt und die Rotationsbewegung so lange aufrechterhalten wird, bis sich die Metalllegierung auf die Ausformtemperatur abgekühlt hat. Eine exzentrische Rotationsbewegung der Form heisst, dass die Achse der Form von einer Rotationsachse um ein Excentermass beabstandet ist und um diese rotiert, wobei die Form selbst nicht um ihre eigene Achse dreht.

[0017] Die Rotationsbewegung wird vorzugsweise im Bereich der Liquidustemperatur oder bei einer wenig oberhalb der Liquidustemperatur liegenden Starttemperatur der Metalllegierung gestartet, wobei die Starttemperatur der Metalllegierung beispielsweise 5 bis 15°C über der Liquidustemperatur liegen kann.

[0018] Die Rotationsgeschwindigkeit liegt üblicherweise zwischen etwa 50 und 500 U/min und wird bevorzugt mit zunehmender Abkühlung der Metalllegierung wegen der ansteigenden Viskosität erhöht.

[0019] Die Rotationsbewegung, die sich über die gesamte Prozessdauer erstreckt, ist bevorzugt in wenigstens zwei, vorzugsweise in drei Zyklen aufgeteilt, wobei die maximale Rotationsgeschwindigkeit jedes Zyklus jeweils grösser ist als die Rotationsgeschwindigkeit des vorangehenden Zyklus. Zweckmässigerweise ist der Anfahrvorgang für jeden der Rotationszyklen derart, dass die maximale Rotationsgeschwindigkeit in einer minimalen Zeit, vorzugsweise nach einer Zeit von etwa 10 bis 20 s, erreicht wird.

[0020] Eine besonders gute Durchmischung der Metalllegierung mit optimaler Wärmeabfuhr in die Formwand ergibt sich durch die Kombination jedes Rotationszyklus mit einem Rüttelzyklus, wobei der Rüttelzyklus an den Rotationszyklus anschliesst oder der Rotationsbewegung überlagert wird.

[0021] Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens werden die ersten zwei Rotationszyklen innerhalb einer Gesamtzeit von 30 bis 50 s durchgeführt.

[0022] Der Rüttelzyklus umfasst eine Rüttelbewegung mit einer Schwingungsfrequenz von 2 bis 3 Hz bei einer Rüttelzeit von max. 10 s, vorzugsweise 1 bis 6 s.

[0023] Mit dem erfindungsgemässen Verfahren lassen sich insbesondere Aluminiumlegierungen verarbeiten.

[0024] Hierbei kann die Legierung eine eutektische Solidustemperatur mit einem wesentlichen Volumenanteil an eutektischer Schmelze aufweisen. Derartige Legierungen gehören beispielsweise zum System Al-Si mit 2,5 bis 10 Gew.-% Si oder zum quasi-binären System Al-Mg₂Si mit 1,5 bis 4 Gew.-% Si und 2 bis 6 Gew.-% Mg.

[0025] Verarbeitet werden können aber auch Legierungen, die keinen eutektischen Schmelzpunkt aufweisen, wie beispielsweise eine Legierung vom Typ AlMg3Mn.

[0026] Zur Erzielung eines gleichmässigen Wärmeentzuges in im wesentlichen radialer Richtung kann die Wandstärke der Formwand im Bereich des Kopfes und des Bodens der Form gegenüber der Wandstärke des zwischen Kopf

und Boden liegenden Bereichs vermindert sein. Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Boden und den Kopf der Form zur Umgebung hin zu isolieren.

[0027] Um die Entnahme des Formkörpers aus der Form zu erleichtern, kann der Boden der Form aufklappbar ausgeführt sein. Der Formkörper kann dann durch den Boden oder durch den Kopf der Form entnommen werden,

[0028] Zur besseren Entnahme des Formkörpers aus der Form kann die Formwand vom Boden der Form zum Kopf hin konisch erweitert ausgebildet sein. Bei einer Form mit aufklappbarem Boden kann die konische Erweiterung der Formwand auch vom Kopf zum Boden verlaufen.

[0029] Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der Form ist diese in Längsrichtung geteilt und der Formkörper wird nach Trennung der beiden Formteile aus der Form genommen. Dies ermöglicht ein Öffnen der Form sowie eine Entnahme des Formkörpers beispielsweise mittels eines Roboterarmes auf eine solche Weise, dass der Formkörper horizontal in die Kammer einer Druckgiessmaschine eingeführt werden kann. Ein derartiges Handling ist wichtig, um die Deformation des Formkörpers durch seine eigene Schwerkraft ("Elefantenfuss") zu vermeiden, wenn der Formkörper vertikal aus der Form herausgelöst wird.

[0030] Das zeitabhängige instationäre Temperaturfeld in der Formwand kann zur Überwachung und Steuerung des Wärmeentzuges für die Bestimmung der optimalen Ausformtemperatur und damit der optimalen Prozessdauer von der Starttemperatur zur Ausformtemperatur verwendet werden.

[0031] Durch die Verwendung des funktionellen Zusammenhangs für eine minimale Prozessdauer t_{pr}

$$t_{pr} = f(\Delta H_M, T_{AM}, T_{EM}, d_1, T_W(t, d_1), T_{AF}, F_0) \Rightarrow \min.$$

ΔH_M	Enthalpieänderung der Metallschmelze zwischen T_{AM} und T_{EM}
T_{AM}	Schmelzetemperatur bei Beginn der Rotationsbewegung (Starttemperatur)
T_{EM}	Ausformtemperatur des Formkörpers
d_1	Dicke der Formwand
T_W	Temperatur eines Formwandelementes während der Prozessdauer
T_{AF}	Anfangstemperatur in der Formwand (Vorwärmtemperatur)
F_0	Fourierkoeffizient

kann der gesamte Prozess auf der Basis des Fourierkoeffizienten der Wärmeleitung in der Formwand simuliert und gesteuert werden.

[0032] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnung; diese zeigt schematisch in

- Fig. 1 einen Längsschnitt durch einen Teil einer Form;
- Fig. 2 eine Seitenansicht einer geteilten Form;
- Fig. 3 die Draufsicht auf eine Anordnung mit einer zylindrischen Form bei exzentrischer Rotation.

[0033] Eine in Fig. 1 dargestellte Form 10 aus beispielsweise Stahl umfasst eine zylindrische Formwand 12 mit einer Symmetriechse z_1 . Die Form 10 ist einseitig von einem Boden 14 verschlossen. Der oben offene Kopf 16 ist mit einem Deckel 18 aus wärmeisolierendem Material abgedeckt. Der Boden sitzt in einem Fussteil 20 aus wärmeisolierendem Material. Im Innern der Form 10 befindet sich die flüssig/fest-Metallmischung 28.

[0034] Zwischen Kopf 16 und Boden 14 ist die zylindrische Formwand 12 verdickt. Beispielsweise beträgt die Wandstärke d_1 der verdickten Formwand 12 5 mm, die Dicke d_2 des Bodens 14 und des Kopfes 16 3 mm.

[0035] Mit der in Fig. 1 gezeigten Anordnung ergibt sich ein gleichmäßiger und im wesentlichen in radialer Richtung verlaufender Wärmeentzug aus der Metallschmelze in die Formwand.

[0036] Die in Fig. 2 gezeigte Form 10 ist in ihrer Achsen- oder Längsrichtung geteilt ausgebildet. Zur Ausformung können die beiden Formteile 10a,b von einander getrennt werden.

[0037] Aus Fig. 3 ist der Einfluss einer exzentrischen Rotation auf die Bewegung der Metallschmelze in der Form 10 erkennbar. Die Form 10 ist beispielsweise auf einer Platte montiert. Die Symmetriechse z_1 der Form 10 ist um ein Excentermass a gegenüber einer Rotationsachse z_2 beabstandet. Die Achse z_1 der Form 10 rotiert um die Achse z_2 , wobei aber die Form selbst nicht um ihre eigene Achse dreht. In Fig. 3 ist für je einen Punkt an der Formwand 12 und im Zentrum der Form 10 die kreisförmige Bewegungsbahn eingezeichnet. Bei einem Radius r der zylindrischen Forminnenwand und einem Excentermass a , welches dem Kreisbahnradius entspricht, rollt die Forminnenwand auf einer Kreisbahn mit einem Radius $R = r + a$ ab. Die beschriebene exzentrische Rotation der Form 10 führt zusammen mit einer auf diese Weise erzeugten Rotationsbewegung der Metallschmelze zu einer homogenen Durchmischung der Schmelze. Diese homogene Durchmischung betrifft einerseits die Legierungselemente, andererseits die Temperatur.

Beispiele

[0038] Die Vorteilhaftigkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens wird nachfolgend anhand der Verarbeitung von vier verschiedenen Aluminiumlegierungen 1 bis 4 zu Formkörpern gezeigt. Die chemischen Zusammensetzungen der für die Versuche verwendeten Legierungen auf der Basis von Al 99,85 sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1

Leg.	Si [Gew.-%]	Mg [Gew.-%]	Mn [Gew.-%]	Fe [Gew.-%]	Ti [Gew.-%]
1	7,0	0,3	-	0,1	0,06
2	2,2	5,2	0,6	0,1	0,08
3	0,1	3,0	0,1	-	0,08
4	4,5	0,3	-	0,1	0,06

[0039] Die Legierungen wurden in schmelzflüssigem Zustand in eine zylindrische Form aus Stahl mit geschlichteter Innenwand gefüllt. Die Form wies einen Innendurchmesser von 100 mm und eine Wanddicke d_1 zwischen 2 und 7 mm auf, die Füllhöhe betrug 260 mm. Die Form wurde bei einigen Versuchen vor dem Einfüllen der Metallschmelze vorgewärmt. Sobald die sich von der Einfülltemperatur abkühlende Metallschmelze die Starttemperatur erreicht hat, wurde die Form in eine exzentrische Rotationsbewegung versetzt, welche bis zum Erreichen der Ausformtemperatur aufrecht erhalten wurde.

[0040] Die exzentrische Rotation wurde mit einem Excentermass von 6,5 mm unter Einhaltung der folgenden Rotationsbedingungen untersucht:

- A 15 s bei 140 U/min + 15 s bei 200 U/min + 250 U/min bis zum Ausformen
B konstant bei 140 U/min bis zum Ausformen

[0041] Beim Ausformen der Formkörper erfolgte eine Beurteilung der Qualität durch eine einfache mechanische Prüfung auf eine vorzeitig erstarrte Randschale, deren Auftreten zu einer verminderten Qualität der durch Weiterverarbeitung der Formkörper erzeugten Endprodukte führen kann. Die Verfahrensparameter und die mit diesen erzielten Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2

Leg.	T_L [°C]	T_S [°C]	d_1 [mm]	T_{Mo} [°C]	T_{AM} [°C]	T_{AF} [°C]	Rotat.	t_{pr} [s]	T_{EM} [°C]	Qualität des Formkörpers
1	610	566	2	640	615	RT	A	420	585	sehr gut
1	610	566	5	640	615	RT	A	102 - 115	578 - 583	sehr gut
1	610	566	7	640	615	RT	A	52	586	Randschale
1	610	566	7	640	615	50	A	57	595	Randschale
1	610	566	7	640	615	150	A	70	590	sehr gut
1	610	566	7	640	615	200	A	85	590	sehr gut
1	610	566	7	640	615	300	A	140	590	sehr gut
2	620	594	5	660	635	RT	B	50 - 55	600	Randschale

T_L Liquidustemperatur der Legierung
 T_S Solidustemperatur der Legierung
 d_1 Wandstärke der Form
 T_{Mo} Einfülltemperatur der Metallschmelze in die Form
 T_{AM} Starttemperatur der exzentrischen Rotationsbewegung der Form
 T_{AF} Anfangstemperatur der Form (Vorwärmtemperatur)
 t_{pr} Prozessdauer (Zeitdauer vom Beginn der exzentrischen Rotationsbewegung bis zum Ausformen)
 T_{EM} Ausformtemperatur

Tabelle 2 (fortgesetzt)

Leg.	T_L [°C]	T_S [°C]	d_1 [mm]	T_{Mo} [°C]	T_{AM} [°C]	T_{AF} [°C]	Ro-tat.	t_{pr} [s]	T_{EM} [°C]	Qualität des Formkörpers	
5	2	620	594	5	660	635	200	B	85	600	Randschale
10	2	620	594	5	660	635	300	B	180	600	sehr gut
15	3	640	600	5	680	655	RT	B	35 - 40	633	sehr gut
20	3	640	600	2	645	645	RT	A	300	634	sehr gut
	4	630	566	5	635	635	RT	B	58 - 70	607 - 610	sehr gut
	T_L Liquidustemperatur der Legierung										
	T_S Solidustemperatur der Legierung										
	d_1 Wandstärke der Form										
	T_{Mo} Einfülltemperatur der Metallschmelze in die Form										
	T_{AM} Starttemperatur der exzentrischen Rotationsbewegung der Form										
	T_{AF} Anfangstemperatur der Form (Vorwärmtemperatur)										
	t_{pr} Prozessdauer (Zeitdauer vom Beginn der exzentrischen Rotationsbewegung bis zum Ausformen)										
	T_{EM} Ausformtemperatur										

Patentansprüche

- 25 1. Verfahren zur Verarbeitung einer Metalllegierung (28) mit einer Liquidustemperatur (T_L) und einer Solidustemperatur (T_S) zu einem teilfesten/teilflüssigen Formkörper, bei welchem Verfahren die Metalllegierung (28) in flüssigem Zustand bei einer Einfülltemperatur (T_{Mo}) in eine Form (10) mit einer im wesentlichen zylindrischen Formwand (12) gefüllt wird, wobei die Form (10) bei Beginn des Füllvorgangs eine unterhalb der Liquidustemperatur (T_L) liegende Anfangstemperatur (T_{AF}) aufweist und die Metalllegierung (28) so lange in der Form (10) gehalten wird, bis sie sich auf eine dem im Formkörper gewünschten fest/flüssig-Verhältnis entsprechende, zwischen der Liquidustemperatur (T_L) und der Solidustemperatur (T_S) liegende Ausformtemperatur (T_{EM}) abgekühlt hat, und der Formkörper bei der Ausformtemperatur (T_{EM}) aus der Form (10) genommen wird,
dadurch gekennzeichnet, dass
zur Einstellung einer gewünschten Abkühlungsgeschwindigkeit der Metalllegierung (28) in der Form (10) die Dicke (d_1) der Formwand (12), der Werkstoff und die Anfangstemperatur (T_{AF}) der Form (10) so gewählt werden, dass die Enthalpieänderung (ΔH_M) der Metalllegierung (28) während der Abkühlung von der Einfülltemperatur (T_{Mo}) auf die Ausformtemperatur (T_{EM}) kleiner ist als die für einen Temperaturanstieg der Form (10) von der Anfangstemperatur (T_{AF}) auf die Ausformtemperatur (T_{EM}) benötigte Wärmemenge (ΔH_F).
- 30 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zeitliche Verlauf der Temperatur $T(t)$ zur Bestimmung des Ausformzeitpunktes verwendet wird, wobei das Ausformen bei Erreichen eines als Sollwert vorgegebenen Temperaturprofils in der Metalllegierung (28) und der als Sollwert vorgegebenen Ausformtemperatur (T_{EM}) erfolgt.
- 35 3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zeitliche Verlauf der Temperatur $T(t)$ an einem festen Ort in der Formwand (12) zur Bestimmung des Ausformzeitpunktes verwendet wird, wobei das Ausformen bei Erreichen eines als Sollwert vorgegebenen Temperaturgradienten dT_W/dt und der als Sollwert vorgegebenen Ausformtemperatur (T_{EM}) erfolgt.
- 40 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anfangstemperatur (T_{AF}) der Form (10) zwischen Raumtemperatur und 320°C liegt.
- 45 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ausformen des Formkörpers (12) unmittelbar nach Erreichen der Ausformtemperatur (T_{EM}) erfolgt.
- 50 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Formkörper (12) bei Erreichen der Ausformtemperatur (T_{EM}) durch Heizen der Form (10) auf der Ausformtemperatur (T_{EM}) gehalten und nach einer Haltezeit ausgeformt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metalllegierung (28) in eine Bewegung versetzt und die Bewegung so lange aufrechterhalten wird, bis sich die Metalllegierung (28) auf die Ausformtemperatur (T_{EM}) abgekühlt hat.
- 5 8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Form (10) unmittelbar nach beendigter Formfüllung in eine exzentrische Rotationsbewegung versetzt und die Rotationsbewegung so lange aufrechterhalten wird, bis sich die Metalllegierung (28) auf die Ausformtemperatur (T_{EM}) abgekühlt hat.
- 10 9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rotationsbewegung im Bereich der Liquidustemperatur (T_L) oder bei einer wenig oberhalb der Liquidustemperatur (T_L) liegenden Starttemperatur (T_{AM}) der Metalllegierung (28) gestartet wird, wobei die Starttemperatur (T_{AM}) der Metalllegierung (28) bevorzugt 5 bis 15°C über der Liquidustemperatur T_L liegt.
- 15 10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rotationsgeschwindigkeit zwischen 50 und 500 U/min liegt.
- 20 11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rotationsgeschwindigkeit mit zunehmender Abkühlung der Metalllegierung (28) erhöht wird.
- 25 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rotationsbewegung wenigstens zwei, vorzugsweise drei Zyklen mit zunehmender Rotationsgeschwindigkeit aufweist.
- 30 13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** am Ende jedes Rotationszyklus ein Rüttelzyklus anschliesst oder der Rotationsbewegung überlagert wird.
- 35 14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ersten zwei Rotationszyklen innerhalb einer Gesamtzeit von 30 bis 50 s durchgeführt werden.
- 40 15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rüttelzyklus eine Rüttelbewegung mit einer Schwingungsfrequenz von 2 bis 30 Hz bei einer Rüttelzeit von max. 10 s, vorzugsweise 2 bis 6 s umfasst.
- 45 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metalllegierung (28) eine Aluminiumlegierung ist.
- 50 17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Legierung eine eutektische Solidustemperatur mit einem wesentlichen Volumenanteil an eutektischer Schmelze aufweist.
- 55 18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Legierung zum System Al-Si mit 2,5 bis 10 Gew.-% Si oder zum quasi-binären System Al-Mg₂Si mit 1,5 bis 4 Gew.-% Si und 2 bis 6 Gew.-% Mg gehört.
- 60 19. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Legierung keinen eutektischen Schmelzpunkt aufweist und vorzugsweise vom Typ AlMg3Mn ist.
- 65 20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Erzielung eines gleichmä- sigen Wärmeentzuges in im wesentlichen radialer Richtung die Wandstärke (d_1) der Formwand (12) im Bereich des Kopfes (16) und des Bodens (14) der Form (10) gegenüber der Wandstärke (d_2) des zwischen Kopf und Boden liegenden Bereichs vermindert ist.
- 70 21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Erzielung eines gleichmä- sigen Wärmeentzuges in im wesentlichen radialer Richtung der Boden (14) und der Kopf (16) der Form (10) zur Umgebung hin isoliert sind.
- 75 22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Entnahme des Formkörpers (12) aus der Form (10) der Boden (14) der Form (10) aufklappbar ist.
- 80 23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Entnahme des Formkörpers (12) aus der Form (10) die Formwand (12) vom Boden (14) der Form (10) zum Kopf (16) hin konisch erweitert ist.

EP 1 358 956 A1

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Form (10) in Längsrichtung geteilt ist und der Formkörper (12) nach Trennung der beiden Formteile (12 a,b) aus der Form (10) genommen wird.

5 25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Formkörper nach der Entnahme aus der Form (10) vorzugsweise in einer Druckgiessmaschine verformt wird.

10 26. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 25, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zeitabhängige instationäre Temperaturfeld in der Formwand (12) zur Überwachung und Steuerung des Wärmeentzugs für die Bestimmung der optimalen Ausformtemperatur (T_{EM}) und damit der optimalen Prozessdauer von der Starttemperatur (T_{AM}) zur Ausformtemperatur (T_{EM}) verwendet wird.

15 27. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 26, **dadurch gekennzeichnet, dass** der gesamte Prozess auf der Basis des Fourierkoeffizienten der Wärmeleitung in der Formwand (12) unter Verwendung des funktionellen Zusammenhangs für eine minimale Prozessdauer t_{pr}

$$t_{pr} = f(\Delta H_M, T_{AM}, T_{EM}, d_1, T_W(t, d_1), T_{AF}, Fo) \Rightarrow \min.$$

ΔH_M	Enthalpieänderung der Metallschmelze zwischen T_{AM} und T_{EM}
T_{AM}	Schmelztemperatur bei Beginn der Rotationsbewegung (Starttemperatur)
T_{EM}	Ausformtemperatur des Formkörpers
d_1	Dicke der Formwand
T_W	Temperatur eines Formwandelementes während der Prozessdauer
T_{AF}	Anfangstemperatur in der Formwand (Vorwärmtemperatur)
Fo	Fourierkoeffizient

simuliert und gesteuert wird.

30

35

40

45

50

55

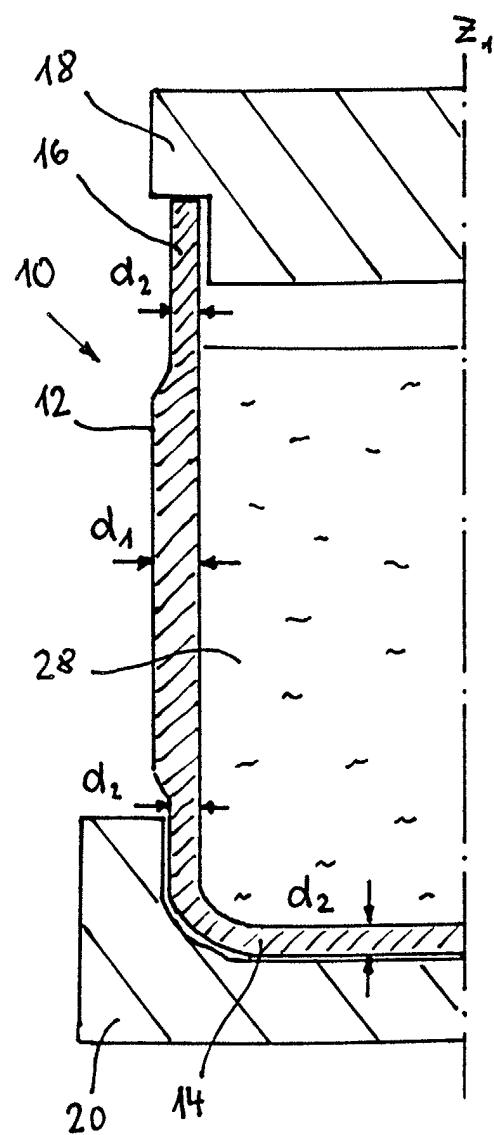


Fig. 1

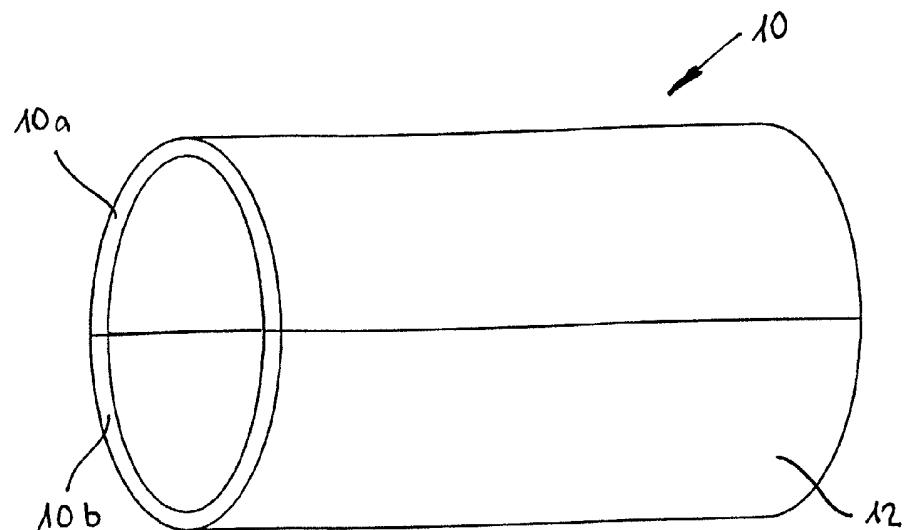


Fig. 2

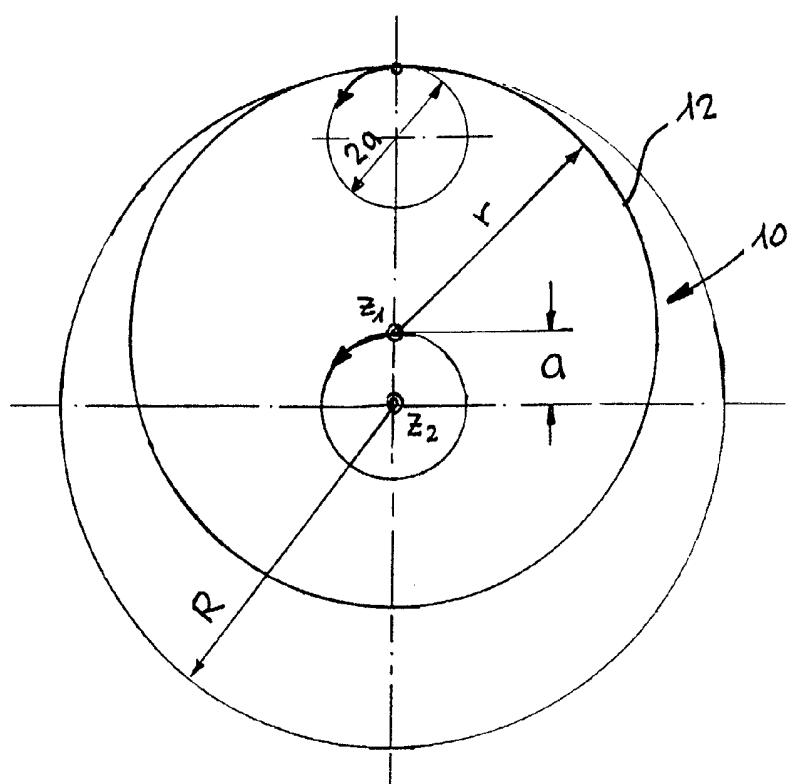


Fig. 3



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 02 40 5339

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE						
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betritt Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)			
A,D	EP 0 745 694 A (UBE INDUSTRIES) 4. Dezember 1996 (1996-12-04) * Zusammenfassung; Ansprüche 1-40; Abbildungen 59-64; Beispiel 10 *	1	B22D17/00 B22D27/08 B22D27/04 C22C1/00			
A,D	WO 01 07672 A (WALES PETER ;HAY GARY (CA); ALCAN INTERNAT LTD (CA); DOÜTRE DON AL) 1. Februar 2001 (2001-02-01) * Zusammenfassung; Ansprüche 1-27 *	1				
A	US 5 346 184 A (GHOSH AMIT K) 13. September 1994 (1994-09-13) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-3 * * Spalte 5, Zeile 14 - Spalte 6, Zeile 23 *	7,8,10, 24				
A	EP 0 931 607 A (AHRESTY CORP) 28. Juli 1999 (1999-07-28) * Ansprüche 1-9; Abbildungen 1-6 *	1,16,24, 25				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">B22D</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">C22C</td> </tr> </table>				RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)	B22D	C22C
RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)						
B22D						
C22C						
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt						
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer				
DEN HAAG	10. Oktober 2002	Mailliard, A				
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE						
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldeatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument				

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 02 40 5339

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

10-10-2002

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0745694	A	04-12-1996	JP	3246273 B2	15-01-2002
			JP	8325652 A	10-12-1996
			JP	9010893 A	14-01-1997
			JP	9076051 A	25-03-1997
			JP	9087767 A	31-03-1997
			JP	9087768 A	31-03-1997
			JP	9087769 A	31-03-1997
			JP	9087770 A	31-03-1997
			JP	9087771 A	31-03-1997
			JP	9087772 A	31-03-1997
			JP	9087773 A	31-03-1997
			JP	3246296 B2	15-01-2002
			JP	9137239 A	27-05-1997
			JP	9155519 A	17-06-1997
			JP	9168852 A	30-06-1997
			JP	9279266 A	28-10-1997
			CA	2177455 A1	30-11-1996
			EP	0745694 A1	04-12-1996
WO 0107672	A	01-02-2001	US	2002007883 A1	24-01-2002
			AU	6418800 A	13-02-2001
			BR	0012780 A	07-05-2002
			WO	0107672 A1	01-02-2001
			EP	1204775 A1	15-05-2002
US 5346184	A	13-09-1994	AU	6915394 A	12-12-1994
			WO	9426447 A1	24-11-1994
EP 0931607	A	28-07-1999	EP	0931607 A1	28-07-1999