



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 600 38 362 T2 2009.03.12

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 142 658 B1

(51) Int Cl.⁸: **B22C 9/04** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: 600 38 362.8

(96) Europäisches Aktenzeichen: 00 309 055.2

(96) Europäischer Anmeldetag: 16.10.2000

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 10.10.2001

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 19.03.2008

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 12.03.2009

(30) Unionspriorität:
542737 05.04.2000 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

(72) Erfinder:
Klug, Frederick Joseph, Schenectady, New York 12303, US; Gigliotto, Michael Francis Jr., Scotia, New York 12302, US; Pasco, Wayne David, Placitas, New Mexico 87043, US; Svec, Paul Steven, Scotia, New York 12302, US

(74) Vertreter:
Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(54) Bezeichnung: **Verstärkte keramische Feingießformen und Herstellungsverfahren**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Diese Erfindung bezieht sich allgemein auf das Gießen von Metallen. Spezieller bezieht sie sich auf die Herstellung von Hohlformen, die beim Gießen von Metallkomponenten benutzt werden.

[0002] Keramische Hohlformen werden beim Präzisionsguss von Metallen eingesetzt, um das Metall in seinem geschmolzenen Zustand aufzunehmen und zu formen. Die Festigkeit und Integrität der Form sind sehr wichtige Faktoren um sicher zu stellen, dass das Metallteil die richtigen Abmessungen hat. Diese Hohlform-Charakteristika sind besonders kritisch zum Herstellen von Komponenten hoher Leistungsfähigkeit, wie Superlegierungsteilen, die in der Flugzeug- und Energieerzeugungs-Industrie eingesetzt werden.

[0003] Manchmal werden sehr hohe Gießtemperaturen, wie im Bereich von 1500°C bis 1750°C, benutzt. Viele konventionelle Hohlformen zeigen bei diesen Temperaturen nicht genügend Festigkeit. Die Formen neigen zum Ausbauchen und Reißen, wenn sie mit dem geschmolzenen Metall gefüllt sind. Das Ausbauchen kann auch auftreten, wenn sehr große Teile bei geringeren Temperaturen gegossen werden. Das Ausbauchen kann die Abmessungen der Form ändern und dadurch eine unerwünschte Variation in der gegossenen Komponente verursachen. Das Reißen könnte im Versagen der Form resultieren, da das geschmolzene Material ausläuft.

[0004] Für Hohlformen, die bei sehr hohen Gießtemperaturen eingesetzt werden oder die zum Gießen sehr großer Teile benutzt werden, ist größere Festigkeit erforderlich. Das Problem wurde von J. Lane et al. in der US-PS 4,998,581 angesprochen. In dieser Offenbarung wurden Hohlformen durch Wickeln eines faserförmigen verstärkenden Materials um die Hohlform, während sie hergestellt wurde, verfestigt. In bevorzugten Ausführungsformen ist das verstärkende Material eine Keramik-Zusammensetzung auf Aluminiumoxidbasis oder Mullitbasis, die eine spezifische Mindestzugfestigkeit aufweist. Das verstärkende Material ist augenscheinlich in einer spiralförmigen Weise mit einem Zug um die Hohlform gewickelt, der ausreicht, es an Ort und Stelle zu halten, wenn Keramiksichten auf die Form aufgebracht werden, um sie bis zu ihrer erwünschten Dicke aufzubauen.

[0005] US-PS 4,998,581 scheint Antworten auf einige der oben beschriebenen Probleme zu bieten. Es scheint aber beträchtliche Nachteile bei der in der PS offenbarten Erfindung zu geben. So sind Materialien auf Mullitbasis schwierig ohne Zweitphasen-Einschlüsse von entweder Siliciumdioxid oder Aluminiumoxid enthaltenden Verbindungen herzustellen. Diese Einschlüsse können die physikalischen Eigenschaften der Form beeinträchtigen. Zusätzlich haben viele der verstärkenden Materialien, die in US-PS 4,998,581 eingesetzt werden, thermische Ausdehnungen, die sehr viel geringer sind als die der Form. Diese großen Unterschiede bei der thermischen Ausdehnung machen die Herstellung einer rissfreien Form schwieriger. Andere verstärkte Formen sind in WO 00 05011, US 4 998 581 und JP 55 064 945 gezeigt.

[0006] Es wären daher weitere Verbesserungen in den Eigenschaften der Form des Standes der Technik willkommen. Die Hohlformen sollten die Festigkeit aufweisen, hohen Metallgieß-Temperaturen zu widerstehen und sie sollten geeignet sein zum Gießen großer Teile. Die Formen sollten auch bei hohen Temperaturen und während verschiedener Aufheiz- und Abkühl-Zyklen abmessungsmäßig stabil sein. Wenn die Formen durch den Einsatz verstärkender Materialien verbessert werden sollen, dann sollten diese Materialien vor dem Glühen flexibel genug sein, um die Gestaltanforderungen für die Form zu erfüllen, insbesondere, wenn komplizierte Metallkomponenten gegossen werden. Schließlich sollte die Herstellung verbesserter Hohlformen wirtschaftlich machbar sein und nicht den Einsatz einer signifikanten Menge zusätzlicher Ausrüstung erfordern.

[0007] Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird eine keramische Gießhohlform mit einer vorausgewählten Gestalt bereitgestellt, umfassend:

- (a) abwechselnde, sich wiederholende Schichten eines Keramik-Überzugsmaterials und eines Keramikverputzes, die eine Gesamtdicke der Hohlform definieren, und
- (b) eine verstärkende Folie auf Keramikgrundlage, die in den abwechselnden, sich wiederholenden Schichten von Überzugsmaterial und Verputz an einer Zwischendicke angeordnet ist, wobei die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage einen einstückigen monolithischen integralen Körper umfasst, der ein Muster von Löchern umfasst, die das Verbinden zwischen der verstärkenden Folie auf Keramikgrundlage und benachbarten Schichten der abwechselnden, sich wiederholenden Schichten aus Keramik-Überzugsmaterial fördert, wobei sich die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage an die Gestalt der Form anpasst und der Form eine strukturelle Verstärkung bietet.

[0008] Die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage kann mindestens eine von Verbindungen auf Aluminiumoxidbasis, Verbindungen auf Aluminatbasis oder Mischungen irgendwelcher der vorgenannten Verbindun-

gen umfassen und sie kann eine Zugfestigkeit aufweisen, die größer ist als die der Hohlform selbst bei Abwesenheit der verstärkenden Folie auf Keramikgrundlage.

[0009] Die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage kann an einer Zwischendicke von zwei bis sechs der abwechselnden, sich wiederholenden Schichten angeordnet sein.

[0010] Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zum Herstellen einer keramischen Gießhohlform bereitgestellt, wobei das Verfahren umfasst:

- (I) Aufbringen einer einstückigen, monolithischen integralen verstärkenden Folie auf Keramikgrundlage auf eine Keramiksicht-Oberfläche einer Teilhohlform, die durch einen Präzisionsguß-Prozess gebildet wird, wobei die verstärkende Folie ein Muster von Löchern aufweist, die das Verbinden zwischen der verstärkenden Folie auf Keramikgrundlage und der Teilhohlform fördert, wobei sich die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage an die Gestalt der Form anpasst und der Form eine strukturelle Verstärkung verleiht;
- (II) Vervollständigen der Hohlform durch Aufbringen zusätzlicher Keramiksichten über der verstärkenden Schicht, wobei die verstärkende Schicht ein Muster von Löchern aufweist, die das Verbinden zwischen der verstärkenden Schicht und benachbarten der Keramiksicht-Oberfläche und der zusätzlichen Keramiksichten fördert, und dann
- (III) Glühen der Hohlform bei einer erhöhten Temperatur.

[0011] Das Verfahren kann die zusätzlichen Stufen einschließen:

- (i) Zubereiten einer Aufschlämmung eines Keramikmaterials;
- (ii) Aufbringen einer Schicht der Keramikaufschlämmung auf ein Wachsmuster einer vorausgewählten Gestalt eines Metalles, das in die Form zu gießen ist,
- (iii) Aufbringen einer Schicht eines Verputzagggregates auf Keramikgrundlage auf die Schicht der Aufschlämmung;
- (iv) Wiederholen der Stufen (ii) und (iii) so häufig wie erforderlich, um eine Teilhohlform mit einer vorausgewählten Zwischendicke zu liefern;
- (v) Aufbringen der verstärkenden Folie auf die äußere Oberfläche der Teilhohlform;
- (vi) Aufbauen der Teilhohlform bis zu der erwünschten Dicke einer vollständigen Hohlform durch Wiederholen der Stufen
- (ii) und (iii) über der verstärkenden Folie, wobei die Folie ein Muster von Löchern umfasst, das die Verbindung zwischen benachbarten Schichten der Keramikaufschlämmung und Schichten des Verputzagggregates auf Keramikgrundlage fördert, und
- (vii) Entfernen des Wachses und Glühen der Hohlform, um ihr ein gewünschtes Niveau der Zugfestigkeit zu geben.

[0012] Die verstärkende Folie kann mindestens eine von Verbindungen auf Aluminiumoxidgrundlage, Verbindungen auf Aluminatgrundlage oder Mischungen irgendwelcher der vorgenannten Verbindungen umfassen.

[0013] Die verstärkende Folie kann vor ihrem Aufbringen auf die Oberfläche der Teilform gemäß einem Zeit- und Temperatur-Muster geglüht werden, um eine erwünschte Foliendicke zu ergeben.

[0014] Die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage kann bei einer Zwischendicke von 3 bis 5 der abwechselnden, sich wiederholenden Schichten angeordnet sein.

[0015] Die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage kann eine Dicke in einem Bereich von 0,1 mm bis 1,5 mm umfassen.

[0016] Die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage kann eine Dichte von mindestens 90%, vorzugsweise 99%, ihrer theoretischen Dichte umfassen.

[0017] Die Oberfläche der verstärkenden Folie auf Keramikgrundlage ist mit Löchern versehen.

[0018] Die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage kann mittels einer Dosierrakel-Technik oder einer Walzenverdichtungs-Technik, gefolgt von einer Glühbehandlung, hergestellt werden.

[0019] Die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage kann eine Dicke in einem Bereich von 0,5 mm bis 1,0 mm umfassen.

[0020] Die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage kann mindestens eines von Aluminiumoxid, Yttriumalu-

minat oder einer Mischung davon umfassen.

[0021] Die Hohlform kann eine Wandstärke in einem Bereich von 0,50 cm bis 2,50 cm umfassen.

[0022] Mindestens die erste Schicht von Keramik-Überzugsmaterial und die erste Schicht von Keramikverputz kann Keramikteilchen umfassen und die Keramikteilchen können eine mittlere Teilchengröße von weniger als 100 µm umfassen.

[0023] Die verstärkende Folie kann vor dem Glühen und Aufbringen auf die Teilhohlform flexibel sein.

[0024] Die verstärkende Folie kann vor dem Glühen zu einer Geometrie geformt werden, die im Wesentlichen identisch der der Oberfläche der Teilhohlform ist.

[0025] Die verstärkende Folie kann vor dem Glühen Löcher umfassen.

[0026] Die verstärkende Folie kann in Stufe (v) aufgebracht werden, nachdem Stufen (ii) und (iii) für 2 bis 6 Mal wiederholt wurden.

[0027] Die verstärkende Folie kann eine Dichte von mindestens 90% ihrer theoretischen Dichte aufweisen.

[0028] Die Folie kann vor ihrem Aufbringen auf die Oberfläche der Teilform gemäß einem Zeit- und Temperatur-Muster gegläht werden, um eine erwünschte Foliendichte zu ergeben.

[0029] In der Hohlform kann die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage eine Dicke der Form aufrechterhalten.

[0030] Im Allgemeinen ist Technologie mit Bezug auf Keramikhohlformen zum Präzisionsgießen im Stande der Technik bekannt. Die folgenden Texte sind instruktiv: Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 3. Auflage, Band 7, Seite 798 ff; Modern Metalworking von J.R. Walker, The Goodheart-Willcox Co, Inc., 1965; Shell Molding and Shell Mold Castings, von T.C. Du Mond, Reinhold Publishing Corp., 1954 und Casting and Forming Processes in Manufacturing, von J.S. Campbell, Jr., McGraw-Rill Book Company, Inc., 1950. Die Hohlformen umfassen üblicherweise hochschmelzende Oxidteilchen, die durch ein Siliciumdioxid- oder Phosphat-Gel miteinander verbunden sind. Verschiedene PSn beschreiben auch viele Aspekte konventioneller Prozesse zum Formen einer Form. Die Folgenden sind beispielhaft: US-PSn 4,998,581 (Lane et al.); 4,097,292 (Huseby et al.); 4,086,311 (Huseby et al.); 4,031,945 (Gigliotti, Jr. et al.); 4,026,344 (Greskovich); 3,972,367 (Gigliotti, Jr. et al.) und 3,955,616 (Gigliotti, Jr. et al.).

[0031] Eine Präzisions-Gießtechnik für die vorliegende Erfindung umfasst den „verlorenes Wachs“-Prozess. In einer Version dieser Technik wird ein Wachsmuster (d. h., eine Nachbildung des gegossenen Teiles) wiederholt in eine flüssige Aufschlämmung hochschmelzender Oxidteilchen in einem Siliciumdioxid oder Phosphat tragenden Binder eingetaucht. Üblicherweise ist die Aufschlämmung stark mit den Keramikfeststoffen beladen, z. B., mindestens 40 Vol.-%, wobei der Rest Wasser, ein organisches Lösungsmittel oder eine Mischung daraus ist. Es wird zwischen den Eintauchungen genügend Zeit gelassen, um der Aufschlämmung zu gestatten, teilweise oder vollständig auf dem Wachs zu trocknen. Nachdem sich eine genügende Dicke der Keramik auf dem Wachs aufgebaut hat, wird das Wachs mittels verschiedener Techniken, wie weiter unten erläutert, entfernt. Die vollständige Form wird dann gegläht, was ihr genügend Festigkeit gibt, dem Gießprozess zu widerstehen.

[0032] In einigen Ausführungsformen der Erfindung wird das Wachsmuster zuerst in die Aufschlämmung eingetaucht und dann lässt man das überschüssige Material von dem Muster ablaufen. Bevor das Muster trocknet, wird es mit zusätzlichen Keramikmaterialien, z. B. Keramikoxiden, „bereignet“. Diese Abscheidung erfolgt häufig in einer Standard-Fließbettkammer, und die aufgebrachte Schicht wird manchmal als ein „Keramikverputz“ bezeichnet. Die Reihenfolge des Eintauchens und Beregnens von Keramikmaterialien auf das Muster wird wiederholt, bis die erwünschte Dicke erzielt worden ist. Die anderen Stufen sind konventionell, z. B. Wachsentfernung und Glühen.

[0033] Wie bereits erwähnt, schließt ein Aspekt der Erfindung den Einsatz einer verstärkten Folie auf Keramikgrundlage bei einer Zwischendicke zwischen den Schichten ein, die die Keramikform bilden. Die Folie passt sich an die Gestalt der Form an und ergibt ein großes Maß struktureller Verstärkung. Eine weite Vielfalt von Keramikmaterialien (oder Mischungen von Materialien) kann benutzt werden, um die verstärkende Folie zu bil-

den. Viele sind in einer oder mehreren der oben angegebenen PSn beschrieben, z. B., Materialien, die zur Bildung der Hohlform selbst benutzt werden. Nicht einschränkende Beispiele schließen Aluminiumoxid, Yttrium-oxid, Magnesiumoxid, Lanthanoxid, Aluminiumsilicate, wie Mullit, Kyanit oder Sillimanit, und verschiedene Aluminat-ein, wie Yttriumaluminat und Magnesiumaluminat (der Begriff „Oxid“, wie er im obigen Zusammenhang benutzt wird, soll allgemein alle möglichen Oxide irgendeines dieser Materialien umfassen). Verschiedene Mischungen oder Kombinationen von Keramikmaterialien können auch für die verstärkende Folie eingesetzt werden, z. B. Zweiphasenmischungen auf der Grundlage irgendeiner Kombination von Seltenerdoxiden (wie Lanthanoxiden), Yttriumoxiden, Aluminiumoxiden und Magnesiumoxiden. Das Material der verstärkenden Schicht umfasst mindestens eines von Aluminiumoxid, Yttriumaluminat oder Mischungen davon.

[0034] Die verstärkende Folie ist vor der Zeit, zu der sie auf die Hohlform aufgebracht wird, flexibel. Diese Flexibilität gestattet, dass die Folie leicht in eine Gestalt gebogen wird, die sich eng an die Gestalt der Form anpasst. Das spezielle Verfahren zum Herstellen einer flexiblen Keramikfolie ist für die Erfindung nicht kritisch. In einigen Ausführungsformen ist eine „Dosierrakel“-Technik, manchmal als eine „Bandgieß“-Technik bezeichnet, brauchbar. Bei dieser Art von Verfahren wird das geeignete Keramikpulver oder eine Mischung von Pulvern zuerst mit einem Binder und einem wässerigen oder organischen Lösungsmittel kombiniert, um ein aufschwämmungsartiges Bad zu bilden. Geeignete Binder sind im Stande der Technik bekannt, Beispiele schließen Acrylmaterialien, Vinylmaterialien, wie Polyvinylbutyral und Ähnliche, ein. Die Vinylmaterialien und Acrylmaterialien können mit Weichmachern kombiniert werden, um die geeignete Flexibilität zu bieten. Die Rakel wird dann über die Oberfläche des Bades bewegt, um einen dünnen Film zu bilden, der eine kontrollierte Dicke der Aufschwämmung enthält. Nachdem die flüchtigen Komponenten verdampft sind, wie durch Erhitzen, bleibt eine dünne flexible, ungehärtete oder ungeglühte Keramikfolie zurück, wobei die Folie einen einstückigen, integralen monolithischen Körper umfasst, z. B. wie durch Dosierrakel- und Bandgieß-Techniken hergestellt. Bandgieß-Techniken sind in verschiedenen Druckschriften beschrieben. Nicht einschränkende Beispiele schließen US-PSn 4,898,631; 4,839,121 und 5,405,571 ein. Alternative Verfahren, die dem Fachmann bekannt sind, können benutzt werden, um die verstärkende Folie herzustellen. So könnte, z. B., eine Walzenverdichtungs-Technik angewendet werden.

[0035] Die Oberfläche der verstärkenden Folie wird mit einem Muster von Löchern versehen, die sich durch den Körper der Folie hindurch erstrecken. Die Löcher können durch Stanzen der Folie hergestellt werden. Die Löcher fördern die Verbindung zwischen der verstärkenden Folie und den benachbarten Hohlformschichten. Die Größe der Löcher kann variieren. Die Löcher sollten weder so groß sein, dass sie die Gesamtfestigkeit der Folie beeinträchtigen, noch so klein, dass sie verhindern, dass Keramikaufschwämmungsmaterial in die Löcher fließt, während die Hüllenschichten aufgebracht werden. Die Löcher liegen üblicherweise im Bereich von 5 mm bis 25 mm Durchmesser. Eine geeignete Technik kann benutzt werden, um die Löcher zu bilden, wie den Einsatz einer manuellen Stanze, Bohren, Laser und Ähnliche. Die Löcher können in die Folie eingebracht werden, nachdem diese geeglüht worden ist, vorzugsweise werden sie jedoch vor dem Glühen in der Folie gebildet.

[0036] Vor dem Glühen kann die verstärkende Folie in eine Gestalt gebogen werden, die im Wesentlichen identisch der Gestalt der Hohlform ist. Das Biegen grüner Folien, die aus oben beschriebenen Keramikmaterialien hergestellt sind, kann recht einfach ausgeführt werden, wie durch den Einsatz eines Dornes und dazugehöriger Werkzeuge, die Krümmung und verschiedene Biegewinkel messen können, darauf jedoch nicht beschränkt.

[0037] Die verstärkende Folie wird dann nach konventionellen Verfahren geeglüht, einschließlich des Gebrauchs eines Ofens, darauf jedoch nicht beschränkt. Eine Glühstütze der erwünschten Gestalt wird während des Glühens benutzt, um sicherzustellen, dass die erwünschte Gestalt erzielt wird. Das Glühen wird üblicherweise bei einer Temperatur von mindestens 1500°C für eine Dauer von mindestens 5 Minuten und häufiger mindestens 30 bis 60 Minuten ausgeführt. Nach dem Glühen umfasst die verstärkende Folie eine Dichte von mindestens 90% ihrer theoretischen Dichte, z. B., mindestens 99% ihrer theoretischen Dichte.

[0038] Manchmal mag es erwünscht sein, die verstärkende Folie bis zu einer Dichte von mindestens 80% ihrer theoretischen Dichte vorzuglühen. Das Endglühen zu einem der vorgenannten Dichteniveaus würde dann ausgeführt werden, wenn die gesamte Hohlform geeglüht wird. Dieses alternative Glühen würde es einem Hohlform-Hersteller gestatten, Unterschiede in Schrumpfungsgraten zwischen der Folie und der Form selbst zu berücksichtigen.

[0039] Die Dicke der verstärkenden Folie hängt von einer Anzahl von Faktoren ab, wie dem Grad der Verstärkung, der für die Form benötigt wird, was wiederum abhängig ist von der Art des Gießens, das für die Form beabsichtigt wird. Für eine typische Hohlform mit einer Wandstärke von 0,50 cm bis 2,50 cm wird die verstär-

kende Folie eine Dicke (nach dem Glühen) von 0,1 mm bis 1,5 mm, z. B. 0,5 mm bis 1 mm, aufweisen. Folien mit Dicken von mehr als 1,5 mm können schwierig oder unpraktisch herzustellen sein, während Folien mit Dicken von weniger als 0,1 mm nicht die Festigkeit haben mögen, die für angemessene Verstärkung der Form notwendig ist.

[0040] Wie oben diskutiert, hat die verstärkende Folie nach dem Glühen eine Zugfestigkeit von mehr als der Zugfestigkeit der Hohlform selbst, d. h., der Hohlform bei Abwesenheit der Verstärkung. Darüber hinaus ist die Zusammensetzung der verstärkenden Folie nicht auf Materialien beschränkt, die einen Koeffizienten der Wärmeausdehnung aufweisen, der geringer ist als der Koeffizient der Wärmeausdehnung der Hohlform, in die sie eingebracht wird. Folien, die aus Aluminiumoxid selbst hergestellt sind, werden, z. B., üblicherweise einen Koeffizienten der Wärmeausdehnung gleich oder größer als der Koeffizient der Wärmeausdehnung der Hohlform aufweisen.

[0041] Wie oben erläutert, ist die Erfindung nicht auf die Anwendung irgendeiner besonderen Präzisions-Gießtechnik beschränkt. In Ausführungsformen wird der „verlorenes Wachs“-Prozess in einer gewissen Form ausgeführt. Die Keramikmaterialien, die bei der Herstellung von Hohlformen eingesetzt werden, sind ähnlich oder identisch solchen, die zur Herstellung der Verstärkungsfolie beschrieben wurden. Materialien auf Aluminiumoxidbasis, Materialien auf Aluminatbasis (wie Yttriumaluminat) oder Mischungen irgendwelcher dieser Materialien sind häufig bevorzugt. Eine Aufschlämmung wird aus dem Keramikmaterial und einem geeigneten Binder zubereitet, wie Siliciumdioxid oder kolloidalem Siliciumdioxid. Die Aufschlämmung kann weiter Benetzungsmittel, Entschäumungsmittel oder andere geeignete Additive einschließen, von denen einige in der angegebenen US-PS 4,026,344 von Greskovich beschrieben sind. Der Fachmann ist vertraut mit den konventionellen Parametern, die Aufmerksamkeit erfordern, wenn man Aufschlämmungen dieser Art bildet. Veranschaulichende Parameter schließen Mischgeschwindigkeiten und Viskosität ein, ebenso wie die Temperatur und Feuchte der Mischung und der Umgebung.

[0042] Die Konstruktion der Hohlform wird üblicherweise ausgeführt durch Aufbringen einer Schicht der Aufschlämmung auf das Wachsmuster, gefolgt vom Aufbringen einer Schicht eines Verputzagggregates, wie aus kommerziell erhältlichem geschmolzenem Aluminiumoxid hergestellt, auf die Aufschlämmungsschicht und dann mehrmaliges Wiederholen des Verfahrens. Eine typische chemische Zusammensetzung für eine geeignete Aufschlämmungs-Beschichtung schließt nach dem Trocknen (und Ignorieren der Verputzzusammensetzung) 80 Gew.-% bis 100 Gew.-% des Materials auf Aluminiumoxidbasis und 10 Gew.-% bis 0 Gew.-% des Bindermaterials ein. Andere Komponenten sind manchmal vorhanden, wie Zirkon.

[0043] Wie oft die Schichtenreihenfolge wiederholt wird, hängt natürlich von der erwünschten Dicke der Form ab. Üblicherweise werden insgesamt 4 bis 20 Keramik-Aufschlämmungsschicht/Verputzschicht-Paare für die Hohlform benutzt. Häufiger werden 4 bis 10 Schichtenpaare aufgebracht. An einem Punkt innerhalb der Reihenfolge des Aufbringens von Aufschlämmungs- und Verputzagggregat-Schichten, wird die Schichtenaufbringung temporär gestoppt und die verstärkende Folie wird in die Teilhohlform eingebracht, wie oben erläutert.

[0044] Als eine spezifischere Veranschaulichung kann ein Wachsmuster einer Metallkomponente, wie einer Turbinenschaufel, in die Aufschlämmung eingetaucht und dann herausgezogen werden, worauf man sie abtropfen lässt, wie in US-PS 4,026,344 gelehrt. Die feuchte Oberfläche des mit Aufschlämmung überzogenen Musters kann dann mit dem Verputzagggregat in einem Fließbett berieselt und luftgetrocknet werden. Das Verfahren wird dann so viele Male wiederholt, wie es erforderlich ist, eine erwünschte Dicke der aufeinander folgenden Verputz-Keramik-Schichten mit einer Verputzschicht zwischen abwechselnd benachbarten Schichten herzustellen.

[0045] Üblicherweise haben die Keramikteilchen in dem ersten Keramik-Aufschlämmungsschicht/Verputzschicht-Paar und möglicherweise dem zweiten Schichtpaar eine Größe, die geringer ist als die der Teilchen in den nachfolgenden Schichten. Als ein Beispiel ist die mittlere Keramikteilchengröße in dem ersten Paar von Schichten geringer als 100 µm, während die mittlere Teilchengröße in darauf folgenden Schichten im Bereich von 100 µm bis 800 µm liegen mag. Die größere Teilchengröße in den nachfolgenden Schichten gestattet das raschere Wachsen der Formdicke. Größere Teilchengrößen werden auch benutzt, um das Schrumpfen der Form zu kontrollieren.

[0046] Nachdem die Hohlform vervollständigt worden ist, wird das Wachs nach irgendeiner konventionellen Technik entfernt. So kann durch Eintauchen der Form für 1 bis 2 Stunden in einen gasgefeuerten Ofen, der bei einer Temperatur von 950°C bis 1150°C arbeitet, ein rasches Entwachsen ausgeführt werden. Die Form ist dann fertig zum Glühen.

[0047] Die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage wird in die teilweise geformte Hohlform an einer vorausgewählten Zwischendicke eingearbeitet. Die exakte „Tiefe“ der Folie innerhalb der Form hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie Foliendicke, der Zusammensetzung der Formsschichten und der Gestalt der Form. Das Variieren der Position der Folie und das Bewerten relevanter physikalische Eigenschaften der Form können benutzt werden, um die geeignete Anordnung für die Folie zu bestimmen. Die Folie kann relativ dicht am Zentrum der Hohlform angeordnet werden, z. B., innerhalb von 25% des Abstandes vom Zentrum der Wandstärke der Form. Der Abstand kann jedoch beträchtlich variieren. In den meisten Ausführungsformen wird die verstärkende Folie angebracht, nachdem die Reihenfolge der Keramik-Aufschlämms-/Verputzagggregat-Schichten zwei- bis sechsmal, wie drei- bis fünfmal, wiederholt wurde.

[0048] Die Fläche der verstärkenden Folie wird gegen die im Wesentlichen parallele Fläche der äußersten Schicht der Teilhohlform gelegt. Üblicherweise gibt es eine gewisse natürliche Haftung, die die Folie an Ort und Stelle hält, während nachfolgende Aufschlämms/Verputz-Schichten aufgebracht werden. Ein Klebstoff oder irgendein anderes Befestigungsmittel könnte jedoch benutzt werden, um die Folie an Ort und Stelle zu halten. Irgendeine Art von Klebstoff sollte geeignet sein, solange er Komponenten enthält, die die Formmaterialien nicht beeinträchtigen oder die vollständig verdampfen, wenn die Hohlform geglüht wird. Nach dem Einführen der verstärkenden Folie kann die Abscheidung nachfolgender Keramik-Aufschlämms/Verputzagggregat-Schichten, wie vorher, fortgesetzt werden, bis die geeignete Formdicke erhalten ist. Üblicherweise hat die Form nach einmaligem Glühen eine Dicke von 0,50 cm bis 2,50 cm, z. B., 0,50 cm bis 1,25 cm.

[0049] Kerne können in die für die vorliegende Erfindung hergestellten Hohlformen eingeführt werden. Die Kerne werden häufig benutzt, um Löcher oder Hohlräume innerhalb der Form zu schaffen, und sie können, z. B., unter Benutzung von Einsätzen aus glasartigem Siliciumdioxid, Aluminiumoxid, Aluminaten, Zirkon oder irgendeiner Kombination solcher Materialien gebildet werden. Das Kernmaterial wird aus dem fertigen Gusskörper durch konventionelle Techniken entfernt. Viele Druckschriften beschreiben den Einsatz von Kernen, z. B. Modern Metalworking; Casting and Forming Processes in Manufacturing; US-PSn 4,097,292 und 4,086,311. Die verstärkende Folie dieser Erfindung unterstützt die Beibehaltung der richtigen Metalldicke um die Kerne herum innerhalb der Form – insbesondere wenn die Form normalerweise empfindlich für Kriechen und Verformung bei hoher Temperatur wäre. Die genaue Kontrolle über die Größe der Hohlräume innerhalb der Form ist häufig kritisch, wenn man Metallteile formt, die komplizierte Gestalten haben und/oder die sehr rigorose Abmessungsanforderungen erfüllen müssen.

[0050] Nachdem die Hohlform fertiggestellt und das Wachs entfernt worden ist, wird die Form gemäß konventionellen Techniken geglüht. Die erforderlichen Betriebsbedingungen der Temperatur und der Zeit für die Glühstufe hängen natürlich von Faktoren ab, wie Wandstärke, Formzusammensetzung und Ähnlichen. Typischerweise wird das Glühen bei einer Temperatur im Bereich von 1350°C bis 1750°C für 5 Minuten bis 60 Minuten ausgeführt. Dann lässt man sich die Form auf Raumtemperatur abkühlen. Weitere Stufen, die für die Formherstellung konventionell sind, können auch ausgeführt werden, z. B. Reparieren und Glätten der Oberflächen der Form.

[0051] Der Einsatz von Hohlformen, wie denen der vorliegenden Erfindung, zum Gießen ist für den Fachmann vertraut. Eine weite Vielfalt von Metallen oder Metalllegierungen kann gegossen werden, wie Superlegierungen auf Titan- und Nickelgrundlage. Aus solchen Materialien mit der verstärkten Hohlform hergestellte Komponenten liegen auch im Rahmen dieser Erfindung.

BEISPIELE

[0052] Diese Beispiele sind lediglich veranschaulichend und sollten nicht als irgendeine Art von Beschränkung hinsichtlich des Umfangs der Erfindung verstanden werden. Alle Teile werden in Gewichtsprozent angegeben, sofern nichts Anderes ausgeführt, und die Werte sind etwaige Werte, sofern nichts Anderes ausgeführt ist.

Beispiel 1

[0053] Probenformen wurden zubereitet unter Anwendung konventioneller Hohlform-Technologie. Die Stufen waren die Folgenden (wobei die Formverstärkung innerhalb der Reihenfolge von Stufen, wie oben beschrieben, ausgeführt wurde).

- (1) Ein Wachsmuster wurde in eine Suspension von plattenförmigem Aluminiumoxid von -325 Maschen und Siliciumdioxidbinder eingetaucht;
- (2) das überzogene Muster ließ man abtropfen;

- (3) das überzogene Muster wurde dann in ein Fließbett von geschmolzenem Aluminiumoxid der Teilchengröße 80 Grit (Maschen) eingetaucht;
- (4) das Muster wurde luftgetrocknet;
- (5) Stufen 1–4 wurden wiederholt;
- (6) das Muster wurde in eine Suspension von Aluminiumoxid von –240 Maschen und –325 Maschen, mit einem Siliciumdioxidbinder eingetaucht;
- (7) das Muster wurde in ein Fließbett von Aluminiumoxid von –54 Maschen eingetaucht;
- (8) das Muster wurde dann luftgetrocknet und
- (9) Stufen 6–8 wurden sechsmal wiederholt.

[0054] Für den Zweck dieser Beschreibung ist der „primäre Überzug“ als die ersten beiden Schichten definiert, die in Stufen 1–4 aufgebracht sind, während die „sekundären Überzüge“ als die Schichten definiert sind, die in Stufen 6–9 aufgebracht wurden. Rechteckige Wachsmuster wurden benutzt, um die Formen zuzubereiten. Nach der Herstellung wurden die gegenüber liegenden Wandungen der Form weggekratzt, um zwei flache Stangen zurückzulassen. Die Stangen (20 cm lang und 2,5 cm breit) wurden dann bei 1000°C in Luft geglüht, um zusätzliche Handhabungsfestigkeit zu entwickeln. Die Formen wurden dann bei einer Temperatur in einem Bereich von 1500°C bis 1550°C vor der Bewertung geglüht. Die Stäbe waren nach dem Glühen ohne Risse.

[0055] Die Formverstärkung gemäß der vorliegenden Erfindung wurde bewerkstelligt durch Einbeziehen einer dichten Folie auf Aluminiumoxid-Grundlage in die Form. Perforierte Folien wurden durch Stanzen von 0,48 cm-Löchern auf 0,89 cm-Zentren in der ungeglühten Folie hergestellt. Die Aluminiumoxidfolie wurde dann bei 1600°C für eine Stunde geglüht, um Dichten zu ergeben, die größer als 99% sind. Die Folie wurde dann auf die Formoberfläche zwischen der zweiten und dritten sekundären Aufschlämmbeschichtung unter Einsatz einer Mischung von Aluminiumoxid von –240 Maschen und Kaliumsilicat-Paste aufgebracht. Danach wurden sekundäre Überzüge aufgebracht, sodass die Folie im Inneren der Formwand begraben wurde.

[0056] Für Testzwecke wurden Stangen sowohl aus den verstärkten Formen als auch den nicht verstärkten Formen maschinell herausgearbeitet, nachdem die Formen gesintert worden waren. Nur das Äußere der Form wurde maschinell bearbeitet, um eine Dicke von 0,79 cm zu ergeben. Die Breite der Stäbe nach der maschinellen Bearbeitung betrug 1,59 cm. Die primären Überzüge wurden während der maschinellen Bearbeitung intakt gelassen.

[0057] An jedem der Stäbe wurde bei 1550°C ein Dreipunkt-Durchhängetest auf einer Spanne von 15,24 cm ausgeführt. Für diesen Test wurde eine Last von 0,34 MPa (50 psi) im Zentrum jeder Spanne aufgebracht. Die Verformung jedes Stabes nach dem Testen ist in Tabelle 1 gezeigt:

Tabelle 1

Nicht verstärkter Stab	0,5 mm
Nicht verstärkter Stab	0,6 mm
Verstärkter Stab*	0,05 mm

* verstärkt mit einer Folie auf Aluminiumoxid-Grundlage gemäß der vorliegenden Erfindung

[0058] Tabelle 1 zeigt klar die dramatische Verbesserung in der Festigkeit für Hohlformen, die gemäß der vorliegenden Erfindung verstärkt wurden.

Beispiel 2

[0059] Eine Mischung von Wachs und geschmolzenem Aluminiumoxid von 120 Maschen wurde (unter Schmelzen des Wachses) kombiniert, um eine Keramikaufschlämmung zu bilden. Die Aufschlämzung wurde auf eine Form mit einer Oberflächenkrümmung gegossen, die typisch für eine Turbinenschaufel ist, dann ließ man sie sich verfestigen. Der gegossene Block wurde aus der Gießform entfernt. Der Block wurde dann bei 1500°C gebrannt, um das Wachs zu entfernen und Handhabungsfestigkeit zu entwickeln. Der gegossene Block wurde als Nächstes als eine Glühstütze für eine flexible Folie aus Aluminiumoxid benutzt. Die Folie wurde von Hand verformt, um sie an die Krümmung der Glühstütze anzupassen. Die Glühstütze mit der Aluminiumoxidfolie wurde dann bei 1600°C für eine Stunde in Luft gebrannt. Das nach dem Glühen erhaltene Produkt war eine dichte gekrümmte Folie aus Aluminiumoxid mit den Konturen einer Turbinenschaufel. Eine solche Folie kann als Verstärkung für die in Beispiel 1 beschriebene Hohlform benutzt werden. Darüber hinaus wurde die Folie

nach einer Technik hergestellt, die keine komplizierte Ausrüstung erfordert, z. B. eine Vorrichtung zum Wickeln von Fasern.

Patentansprüche

1. Keramische Gießhohlform mit einer vorausgewählten Gestalt und umfassend:

- (a) abwechselnde, sich wiederholende Schichten eines Keramik-Überzugsmaterials und eines Keramik-Verputzes, die eine Gesamtdicke der Hohlform definieren, und
- (b) eine verstärkende Folie auf Keramikgrundlage, die in den abwechselnden, sich wiederholenden Schichten von Überzugsmaterial und -Verputz an einer Zwischendicke angeordnet ist, wobei die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage einen einstückigen monolithischen integralen Körper umfasst, der ein Muster von Löchern aufweist, die das Verbinden zwischen der verstärkenden Folie auf Keramikgrundlage und benachbarten Schichten der abwechselnden, sich wiederholenden Schichten aus Keramik-Überzugsmaterial fördert, wobei sich die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage an die Gestalt der Form anpasst und der Form eine strukturelle Verstärkung bietet.

2. Hohlform nach Anspruch 1, worin die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage mindestens eine von Verbindungen auf Aluminiumoxidgrundlage, Verbindungen auf Aluminatgrundlage oder Mischungen irgendwelcher der vorgenannten Verbindungen umfasst.

3. Hohlform nach Anspruch 1 oder 2, worin die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage eine Zugfestigkeit aufweist, die größer ist als die der Hohlform selbst bei Abwesenheit der verstärkenden Folie auf Keramikgrundlage.

4. Hohlform nach Anspruch 1, 2 oder 3, worin die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage an einer Zwischendicke von 2 bis 6 der abwechselnden, sich wiederholenden Schichten angeordnet ist.

5. Verfahren zum Herstellen einer keramischen Gießhohlform, wobei das Verfahren umfasst:

- (I) Aufbringen einer einstückigen monolithischen integralen verstärkenden Folie auf Keramikgrundlage auf eine Keramikschicht-Oberfläche einer Teilhohlform, die durch einen Präzisionsgussprozess gebildet wird, wobei die verstärkende Folie ein Muster von Löchern aufweist, die das Verbinden zwischen der verstärkenden Folie auf Keramikgrundlage und der Teilhohlform fördert, wobei sich die verstärkende Folie auf Keramikgrundlage an die Gestalt der Form anpasst und der Form eine strukturelle Verstärkung verleiht;
- (II) Vervollständigen der Hohlform durch Aufbringen zusätzlicher Keramikschichten über der verstärkenden Schicht, wobei die verstärkende Schicht ein Muster von Löchern aufweist, die das Verbinden zwischen der verstärkenden Schicht und benachbarten der Keramikschicht-Oberfläche und der zusätzlichen Keramikschichten fördert, und dann
- (III) Glühen der Hohlform bei einer erhöhten Temperatur.

6. Verfahren nach Anspruch 5, worin das Verfahren die zusätzlichen Stufen einschließt:

- (i) Zubereiten einer Aufschlämmung eines Keramikmaterials;
- (ii) Aufbringen einer Schicht der Keramikaufschlämmung auf ein Wachsmuster einer vorausgewählten Gestalt eines Metalls, das in die Form zu gießen ist;
- (iii) Aufbringen einer Schicht eines Verputzaggregats auf Keramikgrundlage auf die Schicht der Aufschlämmung;
- (iv) Wiederholen der Stufen (ii) und (iii) so häufig wie erforderlich, um eine Teilhohlform mit einer vorausgewählten Zwischendicke zu liefern;
- (v) Aufbringen der verstärkenden Folie auf die äußere Oberfläche der Teilhohlform;
- (vi) Aufbauen der Teilhohlform bis zu der erwünschten Dicke einer vollständigen Hohlform durch Wiederholen der Stufen (ii) und (iii) über der verstärkenden Folie, wobei die Folie ein Muster von Löchern umfasst, das die Verbindung zwischen benachbarten Schichten der Keramikaufschlämmung und Schichten des Verputzagggregates auf Keramikgrundlage fördert, und
- (vii) Entfernen des Wachs und Glühen der Hohlform, um ihr ein gewünschtes Niveau der Zugfestigkeit zu geben.

7. Verfahren nach Anspruch 6, worin die verstärkende Folie mindestens eine von Verbindungen auf Aluminiumoxidgrundlage, Verbindungen auf Aluminatgrundlage oder Mischungen davon umfasst.

8. Verfahren nach Anspruch 7, worin die verstärkende Folie mindestens eines von Aluminiumoxid, Yttriumaluminat und Mischungen davon umfasst.

9. Verfahren nach Anspruch 6, 7 oder 8, worin die verstärkende Folie vor ihrem Aufbringen auf die Teilform-Oberfläche gemäß einem Zeit- und Temperatur-Muster geglüht wird, um eine erwünschte Foliendicthe zu liefern.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen