

(19)



(11)

EP 3 586 568 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
16.12.2020 Patentblatt 2020/51

(51) Int Cl.:
H05B 6/32 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **19721225.1**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2019/060168

(22) Anmeldetag: **18.04.2019**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2019/202111 (24.10.2019 Gazette 2019/43)

(54) **SCHWEBESCHMELZVERFAHREN**

LEVITATION MELTING

FUSION EN LÉVITATION

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

- **FRANZ, Henrik**
63579 Freigericht-Horbach (DE)
- **SEHRING, Björn**
63856 Bessenbach (DE)
- **HOLZ, Markus**
63486 Bruchköbel (DE)

(30) Priorität: **20.04.2018 DE 102018109592**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
01.01.2020 Patentblatt 2020/01

(74) Vertreter: **Fuchs Patentanwälte Partnerschaft mbB**
Westhafenplatz 1
60327 Frankfurt am Main (DE)

(73) Patentinhaber: **ALD Vacuum Technologies GmbH**
63457 Hanau (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 747 648 EP-A1- 0 935 006
WO-A2-2009/064731 US-A- 2 686 864

(72) Erfinder:
• **SPITANS, Sergejs**
60598 Frankfurt am Main (DE)

EP 3 586 568 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Diese Erfindung betrifft ein Schwebeschmelzverfahren zur Herstellung von Gusskörpern mit einem Ausgangsmaterial für mehrere Chargen. Bei dem Verfahren wird ein Ausgangsmaterial eingesetzt, das mehrere durch Bereiche mit verringertem Querschnitt abgeteilte einzelne Chargen aufweist. Durch die Chargenzufuhr über einen einzelnen Ingot kann neben einer günstigeren Herstellung der Chargenmaterialien auch ein effizienteres Aufschmelzen der Chargen erreicht werden. Während des Schmelzvorgangs kommt die Schmelze nicht mit dem Material eines Tiegels in Berührung, so dass Verunreinigungen durch das Tiegelmateriale oder durch Reaktion der Schmelze mit Tiegelmateriale vermieden werden.

[0002] Die Vermeidung solcher Verunreinigungen ist gerade bei Metallen und Legierungen mit hohen Schmelzpunkten von Bedeutung. Solche Metalle sind beispielsweise Titan, Zirkonium, Vanadium, Tantal, Wolfram, Hafnium, Niob, Rhenium und Molybdän. Doch auch bei anderen Metallen und Legierungen wie Nickel, Eisen und Aluminium ist dies von Bedeutung.

Stand der Technik

[0003] Schwebeschmelzverfahren sind aus dem Stand der Technik bekannt. So offenbart bereits DE 422 004 A ein Schmelzverfahren, bei dem das leitfähige Schmelzgut durch induktive Ströme erhitzt und gleichzeitig durch elektrodynamische Wirkung frei schwebend erhalten wird. Dort wird auch ein Gießverfahren beschrieben, bei dem das geschmolzene Gut vermittelt durch einen Magneten in eine Form gedrückt wird (elektrodynamischer Pressguss). Das Verfahren kann im Vakuum durchgeführt werden.

[0004] US 2,686,864 A beschreibt ebenfalls ein Verfahren, bei dem ein leitfähiges Schmelzgut z. B. in einem Vakuum unter dem Einfluss von einer oder mehreren Spulen ohne die Verwendung eines Tiegels in einen Schwebezustand versetzt wird. In einer Ausführungsform werden zwei koaxiale Spulen verwendet, um das Material in der Schwebe zu stabilisieren. Nach erfolgter Schmelze wird das Material in eine Form fallen gelassen bzw. abgegossen. Mit dem dort beschriebenen Verfahren ließ sich eine 60 g schwere Aluminiumportion in der Schwebe halten. Die Entnahme des geschmolzenen Metalls erfolgt durch Reduktion der Feldstärke, so dass die Schmelze nach unten durch die konisch zulaufende Spule entweicht. Wird die Feldstärke sehr schnell reduziert, fällt das Metall in geschmolzenem Zustand aus der Vorrichtung. Es wurde bereits erkannt, dass der "weak spot" solcher Spulenanordnungen in der Mitte der Spulen liegt, so dass die Menge an Material, die so geschmolzen werden kann, begrenzt ist.

[0005] Auch US 4,578,552 A offenbart eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Schwebeschmelzen. Es wird dieselbe Spule sowohl zum Heizen als auch zum Halten

der Schmelze verwendet, dabei wird die Frequenz des angelegten Wechselstroms zur Regelung der Heizleistung variiert, während die Stromstärke konstant gehalten wird.

[0006] Die besonderen Vorteile des Schwebeschmelzens bestehen darin, dass eine Verunreinigung der Schmelze durch ein Tiegelmateriale oder andere Materialien, die bei anderen Verfahren in Kontakt mit der Schmelze stehen, vermieden wird. Die schwebende Schmelze steht nur in Kontakt zu der sie umgebenden Atmosphäre, bei der es sich z. B. um Vakuum oder Schutzgas handeln kann. Dadurch, dass eine chemische Reaktion mit einem Tiegelmateriale nicht zu befürchten ist, kann die Schmelze auf sehr hohe Temperaturen erhitzt werden. Darüber hinaus wird, insbesondere im Vergleich zur Schmelze im Kalttiegel, der Ausschuss an kontaminiertem Material verringert. Dennoch hat sich das Schwebeschmelzen in der Praxis nicht durchgesetzt. Der Grund dafür ist, dass beim Schwebeschmelzverfahren nur eine verhältnismäßig kleine Menge an geschmolzenem Material in der Schwebe gehalten werden kann (vgl. DE 696 17 103 T2, Seite 2, Absatz 1).

[0007] Die Chargen an Ausgangsmateriale werden bei allen Schwebeschmelzverfahren in Form von einzelnen Ingots in den Induktionsspulenbereich eingebracht. Dies geschieht üblicherweise mittels eines Greifers, der die Ingots an einer Zufuhrposition aufnimmt, in den Induktionsspulenbereich bewegt und nach Einschalten des Magnetfeldes dann loslässt. Hierbei treten oftmals Probleme mit der Stabilität der Ingots im Magnetfeld und einem Verspritzen beim Aufschmelzen auf. Die Herstellung dieser relativ kleinen Ingots ist vergleichsweise aufwändig und teuer.

[0008] Ein weiterer Nachteil hinsichtlich der maximal erzielbaren Effizienz bei der Ausnutzung der induzierten Wirbelströme zum Aufheizen der Ingots ist prinzipbedingt. Die Lorentz Kraft der Spulenfeldes muss die Gewichtskraft der Charge kompensieren, um diese in der Schwebe halten zu können. Sie drückt die Charge dabei nach oben aus dem Spulenfeld. Dadurch sinkt die Charge nicht so tief in das Magnetfeld ein, wie es für eine optimale Ausnutzung des Magnetfeldes für das Aufheizen der Charge notwendig wäre. Sie schwebt vielmehr oberhalb dieses optimalen Niveaus.

[0009] Schließlich ist der Zeitaufwand bei der Zufuhr einzelner Ingots ein limitierender Faktor den bei erzielbaren Zykluszeiten.

[0010] Die Nachteile der aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren lassen sich wie folgt zusammenfassen. Vollswebeschmelzverfahren lassen sich nur mit kleinen Materialmengen durchführen, so dass eine industrielle Anwendung bisher noch nicht erfolgt ist. Ferner gestaltet sich das Abgießen in Gussformen schwierig. Durch das Levitationsprinzip ist das für die Erwärmung der Charge nutzbare Magnetfeld bzw. dessen Effizienz bei der Erzeugung von Wirbelströmen limitiert. Probleme mit der Stabilität der Ingots im Magnetfeld und einem Verspritzen beim Aufschmelzen können auftreten.

Die Herstellung der Ingots ist vergleichsweise aufwändig und teuer.

Aufgabe

[0011] Es ist somit eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren bereit zu stellen, das einen wirtschaftlichen Einsatz des Schwebeschmelzens ermöglicht. Insbesondere sollte das Verfahren durch eine verbesserte Effektivität des Aufschmelzvorgangs einen hohen Durchsatz ermöglichen und den Einsatz kostengünstiger Ingots für die Chargen erlauben.

Beschreibung der Erfindung

[0012] Die Aufgabe wird durch das erfindungsgemäße Verfahren gelöst. Ferner löst die Aufgabe auch die Verwendung eines erfindungsgemäßen Ausgangsmaterials in einem Schwebeschmelzverfahren. Erfindungsgemäß ist ein Verfahren zur Herstellung von Gusskörpern aus einem elektrisch leitfähigen Material, umfassend die folgenden Schritte:

- Einbringen der untersten Charge eines Ausgangsmaterials für mehrere Chargen in den Einflussbereich wenigstens eines elektromagnetischen Wechselfelds (Schmelzbereich), wobei das Ausgangsmaterial aus einem elektrisch leitfähigen Material mehrere vorseparierte, durch Bereiche mit verringertem Querschnitt getrennte Chargen aufweist und die Bereiche so ausgeführt sind, dass eine Abtrennung der vorseparierten Chargen erst beim Aufschmelzen in einem elektromagnetischen Wechselfeld erfolgt,
- Schmelzen der Charge,
- Anheben des verbliebenen ungeschmolzenen Ausgangsmaterials von der in einem Schwebezustand befindlichen geschmolzenen Charge,
- Überhitzen der schwebenden Charge,
- Positionieren einer Gussform in einem Füllbereich unterhalb der schwebenden Charge,
- Abguss der gesamten Charge in die Gussform,
- Entnahme des erstarrten Gusskörpers aus der Gussform.

[0013] Das Volumen der geschmolzenen Charge ist dabei vorzugsweise ausreichend, um die Gussform in einem für die Herstellung eines Gusskörpers ausreichenden Maße zu füllen ("Füllvolumen"). Nach dem Befüllen der Gussform wird diese abkühlen gelassen oder mit Kühlmittel abgekühlt, so dass das Material in der Form erstarrt. Danach kann der Gusskörper aus der Form entnommen werden. Der Abguss kann in einem Fallenlas-

sen der Charge bestehen, insbesondere durch Abschaltung des elektromagnetischen Wechselfeldes; oder der Abguss kann durch ein elektromagnetisches Wechselfeld verlangsamt werden, z. B. durch die Verwendung einer Spule.

[0014] Unter einem "leitfähigen Material" wird erfindungsgemäß ein Material verstanden, das eine geeignete Leitfähigkeit aufweist, um das Material induktiv zu erhitzen und in der Schwebe zu halten.

[0015] Unter einem "Schwebezustand" wird erfindungsgemäß ein Zustand des vollständigen Schwebens verstanden, so dass die behandelte Charge keinerlei Kontakt zu einem Tiegel oder einer Plattform oder dergleichen hat.

[0016] Unter einem "zylindrischen" Ingot ist im Rahmen dieser Anmeldung ein Ingot in Form der mathematischen Definition eines allgemeinen Zylinders, insbesondere eines allgemeinen geraden Zylinders, zu verstehen, wobei die Definition explizit die Sonderformen des Prismas, insbesondere des geraden Prismas, und des Quaders einschließt. Vorzugsweise handelt es sich um einen geraden Kreiszylinder oder ein gerades Prisma mit sechs- bis vierundzwanzigeckigen Grundflächen.

[0017] Unter der "untersten" Charge ist erfindungsgemäß die Charge an einem erfindungsgemäßen Ausgangsmaterial zu verstehen, die an dem Ende des Ausgangsmaterials angeordnet ist, das distal zu dem Ende ist, mit dem das Ausgangsmaterial gehalten und bewegt wird.

[0018] Die Zufuhr der Chargen über ein Ausgangsmaterial, das mehrere Chargen vereinigt, anstelle der einzelnen Chargen bietet mehrere Vorteile. Durch die Aufreihung der Chargen in der Art eines im Wesentlichen stabförmigen Gebildes kann man diese zunächst einmal tiefer in das Magnetfeld der Spulen einführen. Im Gegensatz zu einer einzelnen Charge braucht das Ausgangsmaterial nicht zu schweben, sondern wird mechanisch in Position gehalten. Das restliche Ausgangsmaterial kann die aufzuschmelzende unterste Charge in das Magnetfeld drücken. Dadurch wird die Effizienz des Aufschmelzens der Charge erhöht. Erst wenn die Charge zu schmelzen beginnt, gehen die geschmolzenen Anteile in den Schwebezustand über. Die Haltekraft des restlichen Ausgangsmaterials sorgt ferner dafür, dass die Charge im Magnetfeld stabilisiert wird. Wenn die Charge aufgeschmolzen ist, wird das restliche Ausgangsmaterial nach oben gezogen und die frei schwebende Schmelze überhitzt.

[0019] Höchst bevorzugt wird die Charge so weit in das elektromagnetische Wechselfeld eingeführt, dass der induzierte Wirbelstrom maximal ist. Auf diese Weise kann die Charge optimal erwärmt werden, was zu einer Beschleunigung des gesamten Gießvorgangs führt.

[0020] In einer höchst bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht das Ausgangsmaterial für mehrere Chargen aus einem zylindrischen Stab, der entlang seiner Längsachse über Bereiche verfügt, die einen verringerten Querschnitt aufwei-

sen, wobei die einzelnen Bereiche mit dem nicht verringerten Querschnitt jeweils der Materialmenge einer Charge entsprechen. Prinzipiell wird der erfindungsgemäße Effekt der Stabilisierung und der verbesserten Ausnutzung des erzeugten Magnetfeldes bei jeder beliebigen Form der Chargen erzielt. Stäbe in Form eines Kreiszylinders oder eines Prismas mit annähernd kreisförmiger Basisfläche lassen sich jedoch besonders einfach und kostengünstig herstellen, beispielsweise im Strangguss. Es müssen dann lediglich noch durch Drehen, Sägen oder Trennschleifen die die Chargen abtrennenden Bereiche in den Rohstab eingebracht werden.

[0021] Bei keiner Gestaltungsform des erfindungsgemäßen Ausgangsmaterials ist es notwendig, dass die Chargen gleich groß sind. In der Regel werden für eine Serienproduktion gleichartiger Teile zwar gleich große Chargen benötigt. Es ist jedoch auch denkbar, Formen mit mehreren Kavitäten im Einsatz zu haben, die unterschiedliche Füllmengen benötigen. Hierauf angepasste Ausgangsmaterialien mit unterschiedlichen Chargen werden daher von der vorliegenden Erfindung umfasst.

[0022] Die Bereiche mit verringertem Querschnitt, die die einzelnen Chargen abteilen, sorgen einerseits für eine geringere Wärmeleitung und andererseits für eine Beschränkung der induzierten Wirbelströme auf die aufzuschmelzende Charge im Magnetfeld.

[0023] Vorzugsweise ist daher bei dem Ausgangsmaterial für mehrere Chargen der Querschnitt zwischen den Chargen so weit verringert und/oder die Bereiche mit verringertem Querschnitt sind so lang, dass eine so weitgehende Eingrenzung des in einem elektromagnetischen Wechselfeld in einer Charge induzierten Wirbelstroms erfolgt, dass die benachbarte Charge nicht mit aufgeschmolzen wird. Bei der Auslegung der die Chargen verbindenden Bereiche ist dies entsprechend zu berücksichtigen, um ein optimales Verhältnis aus platzsparender Anordnung und der Gefahr des Abschmelzens der benachbarten Charge zu erzielen.

[0024] Ebenso ist entsprechend vorzugsweise bei dem Ausgangsmaterial für mehrere Chargen die Wärmeleitung der Bereiche mit dem verringerten Querschnitt so niedrig, dass beim Aufschmelzen einer Charge die benachbarte Charge nicht mit aufgeschmolzen wird.

[0025] Für das erfindungsgemäße Verfahren ist es höchst bevorzugt, wenn sind bei dem Ausgangsmaterial für mehrere Chargen die Bereiche mit dem verringerten Querschnitt mindestens so dimensioniert, dass sie eine mechanische Tragkraft aufweisen, die für das Gewicht des jeweils zu tragenden Ausgangsmaterials ausreichend ist. Da die Ausgangsmaterialien in hängender Anordnung verwendet werden, ist es vorteilhaft, wenn die die Chargen verbindenden Bereiche, die wegen des verringerten Querschnitts die geringste mechanische Festigkeit aufweisen, in der Lage sind, jeweils den gesamten Bereich unterhalb von ihnen zu tragen. Hierdurch kann vermieden werden, dass ein Zufuhrmechanismus eingesetzt werden muss, der für eine Stabilisierung des Ausgangsmaterials sorgt. Werden jeweils die minimal mög-

lichen Querschnitte eingesetzt, so nehmen diese von oben nach unten ab. Es ist nicht erforderlich, alle Querschnitte gleich zu gestalten, mithin sich an der Verbindung der obersten Charge zu orientieren.

[0026] Das erfindungsgemäß eingesetzte elektrisch leitfähige Material weist in einer bevorzugten Ausführungsform wenigstens ein hochschmelzendes Metall aus der folgenden Gruppe auf: Titan, Zirkonium, Vanadium, Tantal, Wolfram, Hafnium, Niob, Rhenium, Molybdän. Alternativ kann auch ein weniger hoch schmelzendes Metall wie Nickel, Eisen oder Aluminium eingesetzt werden. Als leitfähiges Material kann auch eine Mischung bzw. Legierung mit einem oder mehreren der vorgenannten Metalle eingesetzt werden. Vorzugsweise hat das Metall einen Anteil von wenigstens 50 Gew.-%, insbesondere wenigstens 60 Gew.-% oder wenigstens 70 Gew.-%, an dem leitfähigen Material. Es hat sich gezeigt, dass diese Metalle besonders von den Vorteilen der vorliegenden Erfindung profitieren. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist das leitfähige Material Titan oder eine Titanlegierung, insbesondere TiAl oder TiAlV. Diese Metalle bzw. Legierungen können besonders vorteilhaft verarbeitet werden, da sie eine ausgeprägte Abhängigkeit der Viskosität von der Temperatur aufweisen und darüber hinaus besonders reaktiv, insbesondere im Hinblick auf die Materialien der Gussform, sind. Da das erfindungsgemäße Verfahren ein kontaktloses Schmelzen in der Schwebe mit einem extrem schnellen Befüllen der Gussform kombiniert, kann gerade für solche Metalle ein besonderer Vorteil realisiert werden. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich Gusskörper herstellen, die eine besonders dünne oder sogar keinerlei Oxidschicht aus der Reaktion der Schmelze mit dem Material der Gussform aufweisen. Und gerade bei den hochschmelzenden Metallen macht sich die erzielte verbesserte Ausnutzung des induzierten Wirbelstroms und damit verbundene schnellere Erhitzung bei den Zykluszeiten erheblich bemerkbar.

[0027] Eine vorteilhafte Ausführungsform des Verfahrens setzt das elektrisch leitfähige Material in Pulverform ein. Sollen die Chargen beispielsweise in Kugelform gestaltet werden, so müsste beim Drehen aus einem Vollmetallstab sehr viel Material abgetragen werden. Ein Aufbau aus einzelnen Kugeln, die mit Stäben verschraubt werden, würde erhebliche Mehrarbeit verursachen bei Herstellung und Zusammenbau. Weicht man auf Pulver aus, kann man die Form jedoch einfacher herstellen. Höchst bevorzugt erfolgt dies durch Verpressen mit einem Bindemittel und/oder Sintern. Denkbare Bindemittel sind beispielsweise Paraffine, Wachse oder Polymere, die jeweils eine niedrige Arbeitstemperatur erlauben.

[0028] In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird das leitfähige Material beim Schmelzen auf eine Temperatur überhitzt, die wenigstens 10 °C, wenigstens 20 °C oder wenigstens 30 °C über dem Schmelzpunkt des Materials liegt. Durch die Überhitzung wird vermieden, dass das Material beim Kontakt mit der Gussform, deren Temperatur unterhalb der Schmelz-

temperatur liegt, augenblicklich erstarrt. Es wird erreicht, dass sich die Charge in der Gussform verteilen kann, bevor die Viskosität des Materials zu hoch wird. Es ist ein Vorteil des Schwebeschmelzens, dass kein Tiegel verwendet werden muss, der im Kontakt mit der Schmelze ist. So wird der hohe Materialverlust des Kalttiegelverfahrens genauso vermieden wie eine Kontamination der Schmelze durch Tiegelbestandteile. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Schmelze verhältnismäßig hoch erhitzt werden kann, da ein Betrieb im Vakuum oder unter Schutzgas möglich ist und kein Kontakt zu reaktionsfähigen Materialien stattfindet. Dennoch können die meisten Materialien nicht beliebig überhitzt werden, da andernfalls eine heftige Reaktion mit der Gussform zu befürchten ist. Daher ist die Überhitzung vorzugsweise auf höchstens 300 °C, insbesondere höchstens 200 °C und besonders bevorzugt höchstens 100 °C über den Schmelzpunkt des leitfähigen Materials begrenzt.

[0029] In einer vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens wird zur Konzentration des Magnetfeldes und Stabilisierung der Charge wenigstens ein ferromagnetisches Element horizontal um den Bereich angeordnet, in dem die Charge geschmolzen wird. Das ferromagnetische Element kann ringförmig um den Schmelzbereich angeordnet sein, wobei unter "ringförmig" nicht nur kreisrunde Elemente, sondern auch eckige, insbesondere vier- oder mehreckige Ringelemente verstanden werden. Das Element kann mehrere Stababschnitte aufweisen, die insbesondere horizontal in Richtung des Schmelzbereiches ragen. Das ferromagnetische Element besteht aus einem ferromagnetischen Material, vorzugsweise mit einer Amplitudenpermeabilität $\mu_a > 10$, mehr bevorzugt $\mu_a > 50$ und besonders bevorzugt $\mu_a > 100$. Die Amplitudenpermeabilität bezieht sich insbesondere auf die Permeabilität in einem Temperaturbereich zwischen 25 °C und 100 °C und bei einer magnetischen Flussdichte zwischen 0 und 400 mT. Die Amplitudenpermeabilität beträgt insbesondere wenigstens ein Hundertstel, insbesondere wenigstens 10 Hundertstel oder 25 Hundertstel der Amplitudenpermeabilität von weichmagnetischem Ferrit (z.B. 3C92). Dem Fachmann sind geeignete Materialien bekannt.

[0030] Erfindungsgemäß ist ferner auch die Verwendung eines elektrisch leitfähigen Materials als Ausgangsmaterial für ein Schwebeschmelzverfahren, bei dem das Ausgangsmaterial mehrere vorseparierte, durch Bereiche mit verringertem Querschnitt getrennte Chargen aufweist, wobei eine Abtrennung der vorseparierten Chargen erst beim Aufschmelzen in einem elektromagnetischen Wechselfeld erfolgt.

Kurzbeschreibung der Figuren

[0031]

Figur 1 ist eine Seitenansicht von drei Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Ausgangsmaterials.

Figur 2 ist eine Seitenansicht des Aufbaus eines Schmelzbereiches mit ferromagnetischem Element, Spulen und dem unteren Teilabschnitt eines Ausgangsmaterials für mehrere Chargen.

Figurenbeschreibung

[0032] Die Figuren zeigen bevorzugte Ausführungsformen. Sie dienen allein der Veranschaulichung.

[0033] Figur 1 zeigt eine Seitenansicht von drei Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Ausgangsmaterials aus elektrisch leitfähigem Material. Bei allen dreien handelt es sich um senkrechte kreiszylindrische Formen. Am oberen Ende ist ein Bereich angeordnet, der zur Befestigung in einer Zuführeinrichtung geeignet ist. Je nach Befestigungsart kann dieser Bereich glatt gestaltet sein wie in der Abbildung oder mit Löchern oder einer dreidimensionalen Oberflächenstruktur versehen sein, insbesondere einer endständigen Umfangsverbreiterung, die ein Erfassen mit einem Haken oder Greifer ermöglicht.

[0034] Das linke Ausgangsmaterial weist sechs, das mittlere fünf und das rechte acht Chargen (1) auf. Bei dem linken Ausgangsmaterial werden die einzelnen Chargen (1) durch Einkerbungen in Dreiecksform separiert. Diese Einkerbungen lassen sich beispielsweise ohne Materialverlust über eine Stanze erzeugen. Bei dem mittleren Ausgangsmaterial werden die einzelnen Chargen (1) durch breitere Bereiche mit verringertem Querschnitt beabstandet. Eine solche Ausführungsform lässt sich auf einfache und kostengünstige Weise durch Abdrehen aus einem zylindrischen Stab herstellen. Das rechte Ausgangsmaterial weist demgegenüber zur Abteilung der einzelnen Chargen (1) schmale umlaufende Einschnitte auf. Prinzipiell ist der Aufbau damit wie bei dem mittleren Ausgangsmaterial, die Distanzen sind nur verringert und der Querschnitt der im Querschnitt verringerten Bereiche ist noch weiter verringert. Durch den weiter verringerten Querschnitt kann eine bessere Beschränkung der induzierten Wirbelströme und geringere Wärmeleitung erreicht werden, um die kürzere Distanz zu kompensieren.

[0035] Figur 2 zeigt den Abschnitt der untersten drei Chargen (1) des mittleren Ausgangsmaterials aus Figur 1. Die unterste Charge (1) befindet sich im Einflussbereich von elektromagnetischen Wechselfeldern (Schmelzbereich), die mit Hilfe der Spulen (2) erzeugt werden. Unterhalb der Charge (1) befindet sich eine leere Gussform, die von einem Halter im Füllbereich gehalten wird (nicht dargestellt). Um den Einflussbereich der Spulen (2) ist ein ferromagnetisches Element (3) angeordnet. Die Charge (1) wird in dem erfindungsgemäßen Verfahren geschmolzen und in Schwebelage gebracht. Nach dem Schmelzen der Charge (1) wird das restliche Ausgangsmaterial nach oben gezogen und die Schmelze überhitzt. Danach wird die Schmelze in die Gussform abgegossen und der erstarrte Gusskörper schließlich aus der Gussform entnommen.

Bezugszeichenliste

[0036]

- 1 Charge
- 2 Spule
- 3 ferromagnetisches Element

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Gusskörpern aus einem elektrisch leitfähigen Material im Schwebeschmelzverfahren, umfassend die folgenden Schritte:

- Einbringen der untersten Charge (1) eines Ausgangsmaterials für mehrere Chargen (1) in den Einflussbereich wenigstens eines elektromagnetischen Wechselfelds, wobei das Ausgangsmaterial aus einem elektrisch leitfähigen Material mehrere vorseparierte, durch Bereiche mit verringertem Querschnitt getrennte Chargen (1) aufweist und die Bereiche so ausgeführt sind, dass eine Abtrennung der vorseparierten Chargen (1) erst beim Aufschmelzen in einem elektromagnetischen Wechselfeld erfolgt,
- Schmelzen der Charge (1),
- Anheben des verbliebenen ungeschmolzenen Ausgangsmaterials von der in einem Schwebeschmelzverfahren befindlichen geschmolzenen Charge (1),
- Überhitzen der schwebenden Charge (1),
- Positionieren einer Gussform in einem Füllbereich unterhalb der schwebenden Charge (1),
- Abguss der gesamten Charge (1) in die Gussform,
- Entnahme des erstarrten Gusskörpers aus der Gussform.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Charge (1) so weit in das elektromagnetische Wechselfeld eingeführt wird, dass der induzierte Wirbelstrom maximal ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ausgangsmaterial für mehrere Chargen (1) aus einem zylindrischen Stab besteht, der entlang seiner Längsachse über Bereiche verfügt, die einen verringerten Querschnitt aufweisen, wobei die einzelnen Bereiche mit dem nicht verringerten Querschnitt jeweils der Materialmenge einer Charge (1) entsprechen.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei dem Ausgangsmaterial für mehrere Chargen (1) der Querschnitt zwischen den Chargen (1) so weit verringert

ist und/oder die Bereiche mit verringertem Querschnitt so lang sind, dass eine so weitgehende Eingrenzung des in einem elektromagnetischen Wechselfeld in einer Charge (1) induzierten Wirbelstroms erfolgt, dass die benachbarte Charge (1) nicht mit aufgeschmolzen wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei dem Ausgangsmaterial für mehrere Chargen (1) die Bereiche mit dem verringerten Querschnitt mindestens so dimensioniert sind, dass sie eine mechanische Tragkraft aufweisen, die für das Gewicht des jeweils zu tragenden Ausgangsmaterials ausreichend ist.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei dem Ausgangsmaterial für mehrere Chargen (1) die Wärmeleitung der Bereiche mit dem verringerten Querschnitt so niedrig ist, dass beim Aufschmelzen einer Charge (1) die benachbarte Charge (1) nicht mit aufgeschmolzen wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das elektrisch leitfähige Material wenigstens ein Metall aus der folgenden Gruppe enthält: Titan, Zirkonium, Vanadium, Tantal, Wolfram, Hafnium, Niob, Rhenium, Molybdän, Nickel, Eisen, Aluminium.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Metall einen Anteil von wenigstens 50 Gew.-%, insbesondere wenigstens 60 Gew.-% oder wenigstens 70 Gew.-%, an dem leitfähigen Material hat.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das elektrisch leitfähige Material Titan oder eine Titanlegierung, insbesondere TiAl oder TiAlV, ist.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das elektrisch leitfähige Material in Pulverform eingesetzt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ausgangsmaterial für mehrere Chargen (1) aus dem elektrisch leitfähigen Material durch Verpressen mit einem Bindemittel und/oder Sintern hergestellt wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das leitfähige Material beim Schmelzen auf eine Temperatur überhitzt wird, die wenigstens 10 °C, wenigstens 20 °C oder wenigstens 30 °C über dem Schmelzpunkt des Materials liegt.

13. Verwendung eines elektrisch leitfähigen Materials als Ausgangsmaterial für ein Schwebeschmelzverfahren, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ausgangsmaterial mehrere vorseparierte, durch Bereiche mit verringertem Querschnitt getrennte Chargen (1) aufweist, wobei eine Abtrennung der vorseparierten Chargen (1) erst beim Aufschmelzen in einem elektromagnetischen Wechselfeld erfolgt.

Claims

1. Method for the production of casting bodies from an electrically conductive material by levitation melting, comprising the following steps:

- introducing of the lowest batch (1) of a starting material for several batches (1) into the sphere of influence of at least one electromagnetic alternating field, wherein the starting material is of an electrically conductive material having several pre-separated batches (1) separated by regions of reduced cross-section and the regions are designed in such a way that separation of the pre-separated batches (1) takes place only during melting in an electromagnetic alternating field,
- melting the batch (1),
- lifting the remaining unmelted starting material from the molten batch (1) in a levitating state,
- overheating the levitating batch (1),
- positioning a mould in a filling area below the levitating batch (1),
- casting the entire batch (1) into the mould,
- removal of the solidified casting body from the mould.

2. Method according to claim 1, **characterized in that** the batch (1) is introduced into the alternating electromagnetic field so far that the induced eddy current is at its maximum.

3. Method according to claim 1 or 2, **characterized in that** the starting material for several batches (1) consists of a cylindrical rod, that has along its longitudinal axis regions having a reduced cross-section, wherein the individual regions having the non-reduced cross-section each correspond to the amount of material of a batch (1).

4. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** in the starting material for several batches (1), the cross-section between the batches (1) is reduced to such an extent and/or the regions with reduced cross-section are so long that the eddy current induced in an electromagnetic alternating field in a batch (1) is delimited to such an extent that the adjacent batch (1) is not melted with it.

5. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** in the starting material for several batches (1), the regions having a reduced cross-section are dimensioned at least in such a way that they have a mechanical load-bearing capacity, which is sufficient for the respective weight of the starting material to be carried.

6. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** in the starting material for several batches (1), the heat conduction of the regions having a reduced cross-section is so low that, when a batch (1) is melted, the adjacent batch (1) is not melted with it.

7. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the electrically conductive material contains at least one metal from the following group: titanium, zirconium, vanadium, tantalum, tungsten, hafnium, niobium, rhenium, molybdenum, nickel, iron, aluminium.

8. Method according to claim 7, **characterized in that** the metal has a proportion of at least 50% by weight, in particular at least 60% by weight or at least 70% by weight, of the conductive material.

9. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the electrically conductive material is titanium or a titanium alloy, in particular TiAl or TiAlV.

10. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the electrically conductive material is used in powder form.

11. Method according to claim 10, **characterized in that** the starting material for several batches (1) is produced from the electrically conductive material by pressing with a binding agent and/or sintering.

12. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the conductive material is superheated during melting to a temperature, which is at least 10 °C, at least 20 °C or at least 30 °C above the melting point of the material.

13. Use of an electrically conductive material as starting material for a levitation melting method, **characterized in that** the starting material has several pre-separated batches (1) separated by regions with a reduced cross-section, wherein a separation of the pre-separated batches (1) takes place only during melting in an electromagnetic alternating field.

Revendications

1. Procédé de fabrication de corps moulés à partir d'un matériau électriquement conducteur dans le procédé de fusion en lévitation, comprenant les étapes consistant à :
 - introduire la charge la plus inférieure (1) d'un matériau de base pour plusieurs charges (1) dans la zone d'influence d'au moins un champ alternatif électromagnétique, dans lequel le matériau de base, en un matériau électriquement conducteur, présente plusieurs charges (1) pré-séparées, distinguées via des zones à section transversale réduite, et les zones sont conçues de sorte qu'une séparation des charges pré-séparées (1) ne survient que par fusion dans un champ alternatif électromagnétique,
 - faire fondre la charge (1),
 - soulever le matériau de base non fondu restant à partir de la charge fondue (1) se trouvant dans un état en suspension,
 - surchauffer la charge en suspension (1),
 - positionner un moule dans une zone de remplissage en dessous de la charge en suspension (1),
 - couler l'ensemble de la charge (1) dans le moule,
 - retirer le corps coulé solidifié à partir du moule.
 2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la charge (1) est introduite tellement loin dans le champ alternatif électromagnétique que le courant de Foucault induit est au maximum.
 3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le matériau de base pour plusieurs charges (1) est constitué d'une tige cylindrique, qui comporte le long de son axe longitudinal des zones qui présentent une section transversale réduite, dans lequel les zones individuelles à section transversale non réduite correspondent chacune à la quantité de matériau d'une charge (1).
 4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** concernant le matériau de base pour plusieurs charges (1), la section transversale entre les charges (1) est réduite à un tel point et/ou les zones à section transversale réduite sont si longues qu'un courant de Foucault induit dans un champ alternatif électromagnétique dans une charge (1) est limité, de sorte que la charge voisine (1) ne soit pas fondue en même temps.
 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** concernant le matériau de base pour plusieurs charges (1), les zones à section transversale réduite sont au moins dimen-
- sionnées pour qu'elles présentent une capacité de charge mécanique suffisante pour le poids du matériau de base respectif à transporter.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** concernant le matériau de base pour plusieurs charges (1), la conduction thermique des zones à section transversale réduite est si faible que lorsqu'une charge (1) est fondue, la charge adjacente (1) n'est pas fondue avec celle-ci.
 7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le matériau électriquement conducteur contient au moins un métal du groupe suivant : titane, zirconium, vanadium, tantale, tungstène, hafnium, niobium, rhénium, molybdène, nickel, fer, aluminium.
 8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** la proportion du métal est d'au moins 50 % en poids, en particulier d'au moins 60 % en poids ou d'au moins 70 % en poids, du matériau conducteur.
 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le matériau électriquement conducteur est du titane ou un alliage de titane, en particulier TiAl ou TiAlV.
 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le matériau électriquement conducteur est utilisé sous forme de poudre.
 11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** le matériau de base pour plusieurs charges (1) est réalisé à partir du matériau électriquement conducteur par pressage avec un liant et/ou frittage.
 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le matériau conducteur est surchauffé lors de la fusion à une température qui est au moins 10°C, au moins 20°C ou au moins 30°C au-dessus du point de fusion du matériau.
 13. Utilisation d'un matériau électriquement conducteur comme matériau de base pour un procédé de fusion en lévitation, **caractérisée en ce que** le matériau de base comporte plusieurs charges pré-séparées (1), distinguées par des zones à section réduite, dans laquelle séparation des charges pré-séparées (1) ne survient que par fusion dans un champ alternatif électromagnétique.

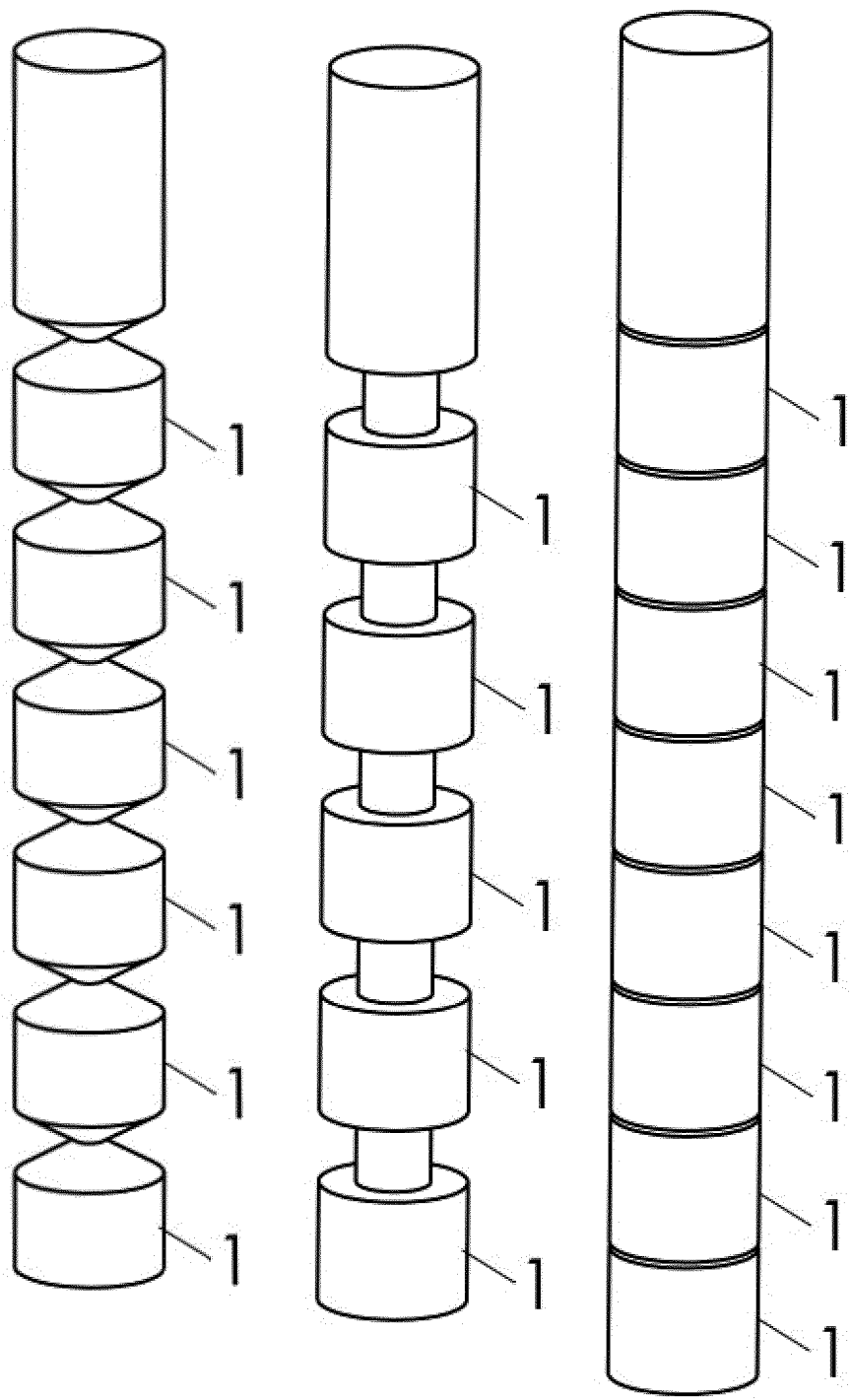


Fig. 1

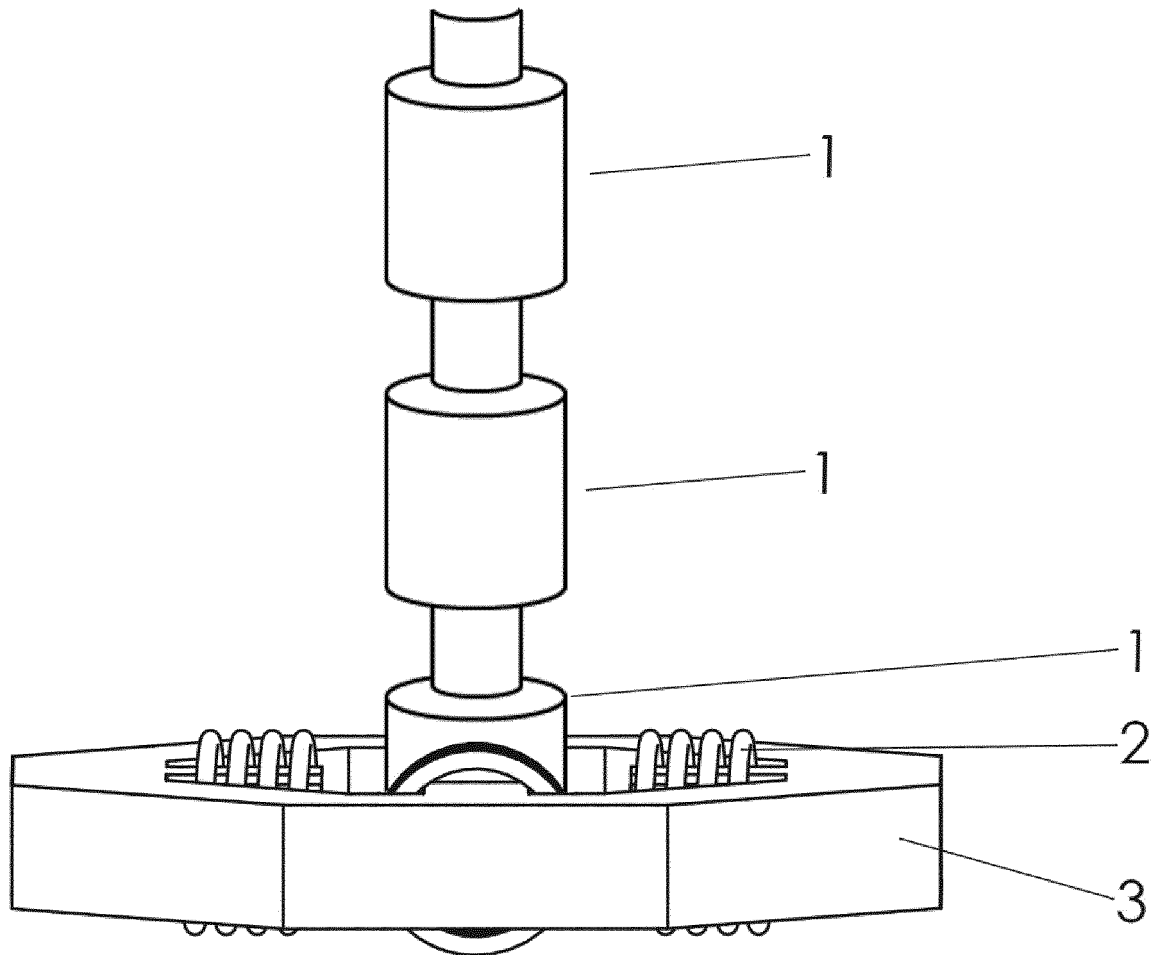


Fig. 2

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 422004 A [0003]
- US 2686864 A [0004]
- US 4578552 A [0005]
- DE 69617103 T2 [0006]