

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
30. November 2017 (30.11.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/202857 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B22D 2/00 (2006.01) **C22B 9/18** (2006.01)
B22D 11/18 (2006.01) **B22D 11/20** (2006.01)
B22D 23/10 (2006.01) **G01K 13/02** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/062450

(22) Internationales Anmeldedatum:
23. Mai 2017 (23.05.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 109 712.8
25. Mai 2016 (25.05.2016) DE

(71) Anmelder: **ALD VACUUM TECHNOLOGIES GMBH**
[DE/DE]; Otto-von-Guericke-Platz 1, 63457 Hanau (DE).

(72) Erfinder: **FRANZ, Henrik**; Mühlstr. 14, 63579 Freige-
richt-Horbach (DE). **BIEBRICHER, Ulrich**; Theodor Fon-
tane Str. 16, 61194 Niddatal (DE). **SCHOLZ, Harald**; Al-
bert-Einstein-Str. 2, 63517 Rodenbach (DE).

(74) Anwalt: **FUCHS PATENTANWÄLTE PART-
NERSCHAFT MBB**; Westhafenplatz 1, 60327 Frankfurt
am Main (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP,
KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,
LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI,
SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(54) Title: ELECTROSLAG REMELTING PROCESS AND MELTING VESSEL

(54) Bezeichnung: ELEKTRO-SCHLACKE-UMSCHMELZVERFAHREN UND SCHMELZGEFÄß

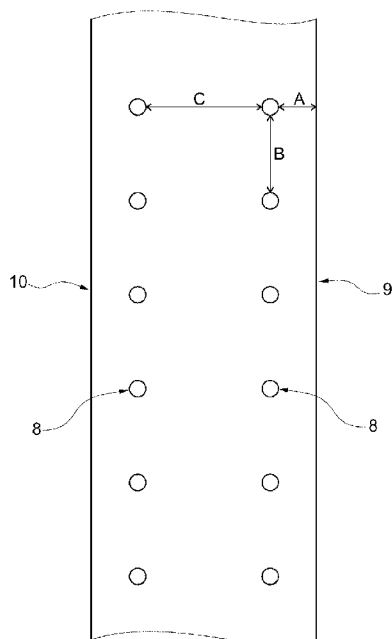


FIG. 3

(57) **Abstract:** Disclosed are a melting vessel for carrying out an electroslag melting process as well as a process of said type. According to the invention, measuring devices that measure a temperature at different heights make it possible to draw conclusions about the position and height of a slag zone in the melting vessel during the process.

(57) **Zusammenfassung:** Es wird ein Schmelzgefäß zur Durchführung eines Elektro-Schlacke-Schmelzverfahrens und ein solches Verfahren vorgestellt. Dabei werden mit Messeinrichtungen, die in unterschiedlicher Höhe eine Temperatur messen, Rückschlüsse auf Position und Höhe einer Schlackenzone in dem Schmelzgefäß während des Verfahrens möglich.

WO 2017/202857 A1

Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Elektro-Schlacke-Umschmelzverfahren und Schmelzgefäß

Die Erfindung betrifft ein Umschmelzverfahren für Metalle und Metalllegierungen. Sie betrifft auch ein geeignetes Schmelzgefäß, insbesondere eine Kokille, und Verwendungen dieses Schmelzgefäßes.

Um hochreine Materialien zu erhalten, werden Körper, die aus diesem Material bestehen, umgeschmolzen. Ein bekanntes Umschmelzverfahren ist das so genannte Elektro-Schlacke-Umschmelzverfahren. Bei diesem Umschmelzverfahren wird in der Regel ein Schmelzgefäß vorgesehen, in dem eine Schmelzelektrode umgeschmolzen wird. Das Umschmelzen der Elektrode erfolgt durch Stromfluss durch die Elektrode, wobei normalerweise sehr hohe Ströme bei relativ niedrigen Spannungen fließen. Um einen elektrolytischen Effekt zu vermeiden, der bei Gleichstrom auftreten kann, wird in der Regel Wechselstrom verwendet. Beim Elektro-Schlacke-Umschmelzen dient die Schlacke als Heizelement und Raffinationsbad. Der Strom fließt über die Elektrode durch die Schlackenzone und den Ingot. Aufgrund des Widerstands der Schlacke heizt diese die Spitze der Elektrode auf und schmilzt sie. Die resultierenden Tropfen von geschmolzenem Metall oder Metalllegierung werden raffiniert während sie durch die Schlackenzone hindurch treten. Die Spitze der Elektrode ist in die Schlackenzone eingetaucht. Die Schlackenzone schwimmt auf geschmolzenem Metall bzw. Metalllegierung. Die Schlackenzone sorgt somit auch für einen Abschluss des flüssigen Metalls gegenüber der umgebenden Atmosphäre. Als Schlacken werden üblicherweise Mischungen aus Calciumfluorid, Calciumoxid und Aluminiumoxid verwendet. Es können aber auch reine Mischungen aus Calciumoxid, Magnesiumoxid, Aluminiumoxid oder Siliciumdioxid verwendet werden. Die Schlacke muss einen niedrigen Schmelzpunkt, eine hohe Stabilität, eine geringe Flüchtigkeit und eine gute Reaktivität im Hinblick auf die Raffination aufweisen. Verunreinigungen in dem Material der Elektrode werden sowohl durch Lösung in der Schlacke als auch durch chemische Reaktion mit der Schlacke entfernt.

Bei Elektro-Schlacke-Umschmelzprozessen, in denen der Ingot aus einem geöffneten Schmelzgefäß heraus abgezogen wird beziehungsweise das Schmelzgefäß nach oben bewegt wird, ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Position der Grenzfläche zwischen Schlacke und Ingot (bzw. zwischen Schlacke und flüssigem Metall) relativ zur Kokille im Verlauf des Prozesses nahezu konstant gehalten wird, unter anderem um eine thermische Überlastung bzw. Beschädigung der Anlage zu vermeiden. Dabei besteht die Herausforderung darin, den Volumenaufbau am Ingot, der durch die Schmelzrate bestimmt wird, in entsprechender Weise durch die Abzugsgeschwindigkeit des Ingots beziehungsweise durch die Hubgeschwindigkeit der Kokille zu kompensieren. Aufgrund der unterschiedlichen (teilweise unbestimmten) Dichte

des Schmelzmaterials im Bereich der Elektrode und des Ingots weisen einfache Volumenberechnungen aus der Schmelzrate eine ungenügende Genauigkeit auf, die in letzter Konsequenz zu Drifteffekten führen kann. Für Prozess- und Betriebssicherheit sind die zuverlässige Bestimmung und Kontrolle der Positionen von entscheidender Bedeutung. Andernfalls besteht die Gefahr, dass es zu Ausläufern von Schlacke (wenn Position zu tief in dem Schmelzgefäß) oder aber zum Schlackeüberlauf kommt (wenn Position zu hoch in dem Schmelzgefäß).

Das Elektro-Schlacke-Umschmelz-Verfahren unterscheidet sich unter anderem dadurch wesentlich von anderen Prozessen, wie etwa dem Stranggießen, dass beim Elektro-Schlacke-Umschmelzen nicht nur zwei Grenzflächen zwischen Ingot und Metallschmelze sowie zwischen Schmelze und Gasphase vorhanden sind, sondern drei Grenzflächen: Ingot/Metallschmelze, Metallschmelze/Schlacke und Schlacke/Gasphase. Dabei genügt es für die Prozesskontrolle nicht, die Position einer der drei Grenzflächen zu ermitteln, da die Höhe der Schlackenzone nicht konstant ist. Vielmehr wird kontinuierlich Schlacke aus der Schlackenzone unter Bildung einer Schlackenhaut auf dem hergestellten Ingot abgeführt. Darüber hinaus ist auch die Höhe der Metallschmelze nicht konstant. Somit ist die Bestimmung der Position und Höhe der Schlackenzone beim Elektro-Schlacke-Umschmelzen äußerst komplex und insbesondere wesentlich komplexer als in Verfahren mit nur zwei Grenzflächen.

Zur Überwindung des Problems werden verschiedene Lösungen angewendet, die im Wesentlichen auf einer Überwachung des Schlackespiegels während des Umschmelzprozesses beruhen. Dabei kommen sowohl optische Messmethoden als auch radarbasierte Abstandsmessungen zum Einsatz. EP 2 386 366 A2 offenbart eine radarbasierte Messung des Schlackenspiegels. Die in früheren Zeiten genutzte Abstandsmessung unter Verwendung von Isotopenstrahlungen ist nicht mehr zeitgemäß.

Neben den Schwierigkeiten, die sich aus der volumetrischen Berechnung ergeben, wird die Positionsbestimmung noch durch den Umstand erschwert, dass permanent eine Schicht am Ingot erstarrter Schlacke aus dem System abgezogen wird und sich in Konsequenz die Masse (bzw. Höhe) der Schlacke im Prozessverlauf ändern kann. Mit den aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren lässt sich direkt nur die Position der Oberfläche der Schlackenzone, nicht aber deren Ausdehnung, also deren Höhe in dem Schmelzgefäß ermitteln.

Eine visuelle Kontrolle des Schlackenniveaus ist während des Verfahrens nicht ohne weiteres möglich, da normalerweise mit geschlossenen Anlagen gearbeitet wird, das Schmelzgefäß also mit einer Haube geschlossen ist. Eine kontinuierliche visuelle Überwachung des Schlackenniveaus wäre ohnehin nicht praktikabel, da es zu einer starken Rauchentwicklung kommt, so dass abrupte Änderungen des Schlackenniveaus nicht unmittelbar bemerkt würden. Bei ge-

geschlossenen Anlagen tritt aufgrund des verringerten Gasaustauschs eine stärkere Staubeentwicklung statt. Videosysteme, die im Stand der Technik mitunter eingesetzt wurden, neigten aufgrund der Staub- und Rauchentwicklung zu Fehlmessungen; zudem lassen der Blickwinkel der Kamera und die Temperaturen an der Innenwand eine eindeutige Bestimmung nicht zu. Ferner kann es sinnvoll sein, die Schlackenzone innerhalb bestimmter Grenzen schwanken zu lassen, um die Lebensdauer der Kokille zu erhöhen. Dies erfordert eine besonders sorgsame und kontinuierliche Bestimmung des Schlackenniveaus und kann aus dem Wärmefluss über die Gefäßwand bestimmt werden.

JP S63-72837 A beschreibt ein Verfahren zum Elektro-Schlacke-Umschmelzen, bei dem in einer Kokillenwand die Temperatur über die Höhe der Kokille gemessen wird. Daraus sollen Rückschlüsse über die Höhe und Position der Schlackenzone gezogen werden. Dieses Verfahren hat sich allerdings in der Praxis als nicht praktikabel erwiesen, da bei Verwendung nur einer Messgruppe lediglich eine Temperaturmessung stattfindet und keine Wärmebilanz erstellt werden kann. Im Unterschied zu einer bloßen Temperaturmessung kann mit Hilfe der Wärmebilanz allerdings eine viel genauere und zutreffendere Bestimmung der Lage der Schlackenzone erfolgen. Dafür sind mindestens zwei Messgruppen erforderlich, wie es hier erfindungsgemäß vorgesehen ist. Figur 3 in JP S63-72837 A zeigt ferner anschaulich, dass die Dicke der Schlackenhaut einen erheblichen Einfluss auf die Temperaturmessung hat.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein möglichst einfaches und apparativ wenig aufwendiges Verfahren bereit zu stellen, mit dem die Position und die Ausdehnung (Höhe) der Schlackenzone in einem Schmelzgefäß während eines Elektro-Schlacke-Umschmelzverfahrens bestimmt werden kann. Ferner besteht ein Bedarf an einem für solch ein Verfahren nutzbaren Schmelzgefäß.

Die Aufgabe wird durch die Gegenstände der Patentansprüche gelöst.

Erfindungsgemäß ist ein Schmelzgefäß zum Elektro-Schlacke-Umschmelzen von Metallen oder Metalllegierungen mit wenigstens einer Innenwand und einem durch die Innenwand begrenzten Schmelzraum, so dass eine Grenzfläche zwischen Innenwand und Schmelzraum vorhanden ist. Das Schmelzgefäß ist dadurch gekennzeichnet, dass es Messeinrichtungen zum Messen der Temperatur aufweist und die Messeinrichtungen in wenigstens zwei Messgruppen angeordnet sind, wobei die Messeinrichtungen innerhalb einer Messgruppe einen im Wesentlichen gleichen Abstand zur Grenzfläche zwischen Innenwand und Schmelzraum aufweisen und sich der genannte Abstand zwischen den Messeinrichtungen verschiedener Messgruppen unterscheidet und Messeinrichtungen innerhalb einer Messgruppe in unterschiedlicher Höhe über die Kokille angeordnet sind. Das Schmelzgefäß ist insbesondere eine Kokille, vorzugsweise eine Kokille,

die während des Verfahrens nicht oszilliert, bevorzugt also ortsfest ist bzw. im Verfahren nicht bewegt wird. Dies ist besonders bevorzugt, wenn auf dem Schmelzgefäß – wie erfindungsgemäß ebenfalls bevorzugt – eine Haube angeordnet ist.

Die Schlackenzone weist im Elektro-Schlacke-Umschmelzverfahren im Vergleich zu Elektrode, flüssigem Metall und Ingots die höchste Temperatur auf. Vermittelt durch ein Kühlmittel wird während des Verfahrens Wärme abgeführt. Der Erfindung liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass die Detektion des höchstens Wärmeflusses in dem Schmelzgefäß zur Bestimmung der Position und Ausdehnung der Schlackenzone in dem Schmelzgefäß nutzbar ist.

In bevorzugten Ausgestaltungen ist das Schmelzgefäß kühlmittelgekühlt, insbesondere wassergekühlt. Vorzugsweise weist das erfindungsgemäße Schmelzgefäß eine Außenwand und einen zwischen Außenwand und Innenwand verlaufenden Kühlmittelkanal auf.

Die Messeinrichtungen zum Messen der Temperatur sind vorzugsweise in der Innenwand des Schmelzgefäßes angeordnet. Insbesondere sind die Messeinrichtungen in der Innenwand angeordnet, um sie nicht den aggressiven Bedingungen im Schmelzraum des Schmelzgefäßes auszusetzen. Dennoch sollten die Messeinrichtungen möglichst nah am Schmelzraum angeordnet sein, um eine möglichst zuverlässige Messung der Temperatur zu ermöglichen. Die Innenwand hat eine Grenzfläche zum Schmelzraum und vorzugsweise eine Grenzfläche zum Kühlmittelkanal.

Die Messeinrichtungen sind vorzugsweise Thermoelemente. Thermoelemente sind deswegen besonders geeignet, weil sie die kontinuierliche Messung über einen weiten Temperaturbereich ermöglichen.

Es ist vorteilhaft, wenn diejenige Messgruppe, die im Vergleich zu anderen Messgruppen den geringsten Abstand zu der Grenzfläche Innenwand/Schmelzraum aufweist, in etwa in der Mitte der Innenwand, insbesondere in der Mitte zwischen Innenwand und Kühlmittelkanal, angeordnet ist. Jede weitere Messgruppe weist dann entsprechend einen größeren Abstand zu der Grenzfläche auf. Grund für die Anordnung der Messeinrichtungen mit genügendem Abstand zur Grenzfläche ist unter anderem die Vermeidung von Beschädigungen an den Messeinrichtungen bei der Nacharbeitung der Kokille. Ferner soll ein zu großer Einfluss des Kühlkanals auf die Messergebnisse vermieden werden. Vorzugsweise beträgt der Abstand der Messeinrichtungen zum Kühlmittelkanal wenigstens 5 mm, besonders bevorzugt wenigstens 10 mm. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist der Abstand der Messeinrichtungen zum Kühlmittelkanal größer als der Abstand zu der nächsten Messeinrichtung einer anderen Messgruppe.

Vorzugsweise sind die Messeinrichtungen mit einem Abstand von wenigstens 5 mm, insbesondere wenigstens 10 mm, zu der Grenzfläche zwischen Innenwand und Schmelzraum angeordnet. Es hat sich gezeigt, dass dieser Abstand einerseits die Messeinrichtungen nicht beeinträchtigt und andererseits für eine hohe Aussagekraft der Messungen nützlich ist. Mit dem Abstand ist in diesem Fall insbesondere der Abstand in horizontaler Richtung gemeint. Bei zu großem Abstand der Messeinrichtungen von dem Schmelzraum wird die Aussagekraft der Messergebnisse beeinträchtigt.

Vorzugsweise ist der Abstand von benachbarten Messeinrichtungen untereinander innerhalb einer Messgruppe dort minimal, wo im Betrieb des Schmelzgefäßes die Schlackenzone angeordnet ist. Insbesondere nimmt der Abstand zwischen jeweils benachbarten Messeinrichtungen mit zunehmenden Abstand zur (erwarteten) Schlackenzone zu. Die Schlackenzone liegt erfindungsgemäß bevorzugt in einem Abstand von 100 bis 600 mm, vorzugsweise 200 bis 400 mm, bevorzugt etwa 300 mm unterhalb der oberen Schmelzgefäßkante. Mit einer solchen Anordnung wird eine möglichst genaue Messung im relevanten Bereich erreicht, also dort, wo die Schlackenzone liegen soll. In einer alternativen Ausführungsform weisen benachbarte Messeinrichtungen innerhalb einer Messgruppe im Wesentlichen jeweils gleiche Abstände zueinander auf.

In einer weiteren alternativen Ausgestaltung ist der Abstand von benachbarten Messeinrichtungen innerhalb einer Messgruppe dort maximal, wo im Betrieb des Schmelzgefäßes die Schlackenzone angeordnet ist. Insbesondere nimmt der Abstand zwischen jeweils benachbarten Messeinrichtungen mit zunehmenden Abstand zur (erwarteten) Schlackenzone ab. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind die Abstände der Messeinrichtungen untereinander innerhalb einer Messgruppe dort minimal, wo im Betrieb die Grenzflächen Schlacke/Metallbad und Schlacke/Gasphase erwartet werden. Dies trägt der Tatsache Rechnung, dass Veränderungen in der Höhe oder Position der Schlackenzone insbesondere im Grenzbereich Schlacke/Metall bzw. Schlacke/Gas gemessen werden sollen.

Vorzugsweise ist zu jeder Messeinrichtung einer Messgruppe eine korrespondierende Messeinrichtung einer anderen Messgruppe auf der gleichen Höhe vorgesehen. Dadurch stehen auf einer Höhe mehrere Messeinrichtungen zur Verfügung, die sich im Hinblick auf ihren Abstand zur Grenzfläche zwischen Innenwand und Schmelzraum, nicht jedoch im Hinblick auf ihre Höhe unterscheiden.

Vorzugsweise beträgt der Abstand zwischen benachbarten Messeinrichtungen innerhalb einer Messgruppe wenigstens 5 mm und mehr bevorzugt wenigstens 10 mm oder wenigstens 30 mm. Eine Unterschreitung dieses Mindestabstands erhöht die Kosten des Schmelzgefäßes,

ohne die Qualität der Messergebnisse nennenswert zu verbessern. Der Abstand zwischen benachbarten Messeinrichtungen einer Messgruppe sollte höchstens 100 mm betragen. Dieser Abstand ist insbesondere der vertikale Abstand zwischen Messeinrichtungen. Die Messeinrichtungen innerhalb einer Messgruppe sind vorzugsweise in einer im Wesentlichen vertikalen Reihe angeordnet. Sie können aber auch anders, insbesondere spiralförmig um den Schmelzraum angeordnet sein.

Die Dicke der Innenwand beträgt vorzugsweise wenigstens 15 mm, insbesondere wenigstens 25 mm. Eine gewisse Wandstärke sollte nicht unterschritten werden, um nicht die Stabilität des Schmelzgefäßes zu beeinträchtigen. Die Innenwand besteht vorzugsweise aus Metall, insbesondere aus Kupfer oder Kupferlegierungen. Auch andere Metalle, insbesondere Stahl, sind denkbar aber weniger bevorzugt.

Das Schmelzgefäß ist insbesondere eine Kokille und kann je nach gewünschter Form des hergestellten Ingots verschiedene Querschnittsformen haben. Die Form der Ingots ist wie die Form des Schmelzgefäßes für die Funktion der Erfindung nicht entscheidend. Das Schmelzgefäß kann in alternativen Ausführungsformen ein Tiegel sein, etwa wie in DE 42 07 694 A1. In dem Fall erfolgt die Formgebung nicht in dem Schmelzgefäß, sondern in einer separaten Kokille. An die Stelle des Abziehens des Ingots tritt dann der Verfahrensschritt des Ablassens des flüssigen Metalls bzw. der flüssigen Metalllegierung.

Die Messeinrichtungen sind in zwei oder mehr Messgruppen angeordnet. Verschiedene Messeinrichtungen gehören einer Messgruppe an, wenn sie einen im Wesentlichen gleichen Abstand zur Grenzfläche zwischen Innenwand und Schmelzraum aufweisen. Gemeint ist insbesondere der horizontale Abstand zu der genannten Grenzfläche. Vorzugsweise weist das Schmelzgefäß der Erfindung wenigstens zwei Messgruppen auf. Vorzugsweise hat eine erste Messgruppe einen Abstand A zu der Grenzfläche zwischen Innenwand und Schmelzraum, der kleiner ist als der Abstand A+C einer zweiten Messgruppe zu derselben Grenzfläche. Vorzugsweise beträgt ein horizontaler Abstand C zwischen den Messeinrichtungen einer ersten Messgruppe zu den Messeinrichtungen einer zweiten Messgruppe wenigstens 3 mm, insbesondere wenigstens 5 mm. Die Messeinrichtungen einer Messgruppe sind vorzugsweise in einer vertikalen Reihe parallel zur Grenzfläche zwischen Innenwand und Schmelzraum angeordnet.

Mithilfe der Messeinrichtungen in dem Schmelzgefäß dieser Erfindung werden die Temperaturen während des Prozesses, insbesondere kontinuierlich, überwacht und aus dem gemessenen Temperaturprofil eine Wärmebilanz erstellt. Aus der Wärmebilanz werden Rückschlüsse auf die Position der Schlackenzone in dem Schmelzgefäß gezogen. Die Platzierung einer Mehrzahl von Messeinrichtungen über den relevanten Bereich des Schmelzgefäßes liefert ein integrales

Temperaturprofil, insbesondere innerhalb der Innenwand. Aus der Wärmebilanz lässt sich ein Maximum bestimmen, das in Korrelation zur Schlackenposition steht.

Bei geeigneter Anordnung der Messeinrichtungen ist eine fortlaufende Positionsbestimmung der Schlackenzone und, in Kombination mit geometrischen Berechnungen und unter Berücksichtigung der Schmelzrate, eine zuverlässige Bestimmung der einzustellenden Ingot-Abzugsgeschwindigkeit bzw. Schmelzgefäßhebegeschwindigkeit möglich.

Bei erfindungsgemäßer Verwendung von mehreren Messgruppen, die sich in unterschiedlicher Tiefe in der Innenwand befinden, ergibt sich die Möglichkeit, mehrere Temperaturprofile gleichzeitig aufzunehmen. Unter Berücksichtigung der bekannten Wärmeleitfähigkeit des Materials des Schmelzgefäßes kann auf diese Weise der lokale Wärmetransport bzw. die Wärmestromdichte durch das Schmelzgefäß bestimmt werden. Die mit diesem Verfahren ermittelte Wärmebilanz liefert eine verbesserte Positionsbeschreibung der Schlackenzone im Vergleich zu einfachen Temperaturprofilen und erlaubt weitere Rückschlüsse auf die Prozessführung, die mit den bisher beschriebenen Messverfahren nicht oder nur bedingt erzielt werden konnten.

Mit der lokalen Wärmebilanz kann die Zone erhöhten Wärmeeintrages in der Kokille während des Prozesses detaillierter erfasst und überwacht werden, als dies mit einem einfachen Temperaturprofil möglich ist. Damit sind direkte Rückschlüsse auf Betriebszustände des Prozesses (z.B. Schlackentemperatur, Höhe der Schlackenzone) möglich, die mit anderen Methoden nicht oder nur sehr eingeschränkt erzielt werden können. Gleichzeitig kann die Extrapolation des ermittelten Leistungsprofils in der Kokille zur Bestimmung der aktuellen Randbedingungen der Wärmeübertragung an den Grenzflächen der Kokille zum Schmelzraum und ggf. am Kühlkanal genutzt werden. Auf diese Weise können kritische Betriebszustände (z.B. Blasensieden) und auftretende Anomalitäten in der Prozessführung wirkungsvoll identifiziert werden. Zusätzlich liefert diese Messmethode Daten, die direkt zur Verifikation von Prozessmodellen und –simulationen genutzt werden können. Damit wird in Konsequenz eine modellbasierte Prozessführung ermöglicht. Vorzugsweise wird während des Verfahrens, insbesondere kontinuierlich, die Wärmebilanz ermittelt. Abhängig von der Wärmebilanz kann insbesondere die Eintauchtiefe der Elektrode und/oder die Menge der Schlackendosierung angepasst werden.

Das Schmelzgefäß weist vorzugsweise wenigstens zwei Messeinrichtungen, weiter bevorzugt wenigstens drei Messeinrichtungen, mehr bevorzugt wenigstens vier Messeinrichtungen und besonders bevorzugt wenigstens sechs Messeinrichtungen auf. Es hat sich gezeigt, dass mit einer nicht zu geringen Anzahl an Messeinrichtungen eine gute Positionsbestimmung der Schlackenzone innerhalb des Schmelzgefäßes möglich ist. Mit steigender Anzahl an Messeinrichtungen steigt die Aussagekraft und Genauigkeit der ermittelten Daten, aber auch die Her-

stellungskosten des Schmelzgefäßes. Vorzugsweise weist das Schmelzgefäß höchstens 100 Messeinrichtungen, insbesondere höchstens 60 Messeinrichtungen und bevorzugt höchstens 40 oder höchstens 25 Messeinrichtungen auf. Jede Messgruppe weist vorzugsweise wenigstens zwei, insbesondere wenigstens drei, wenigstens vier oder wenigstens fünf, bevorzugt wenigstens sechs Messeinrichtungen oder wenigstens acht Messeinrichtungen auf. Vorzugsweise sollte die Zahl der Messeinrichtungen pro Messgruppe nicht mehr als 25, insbesondere nicht mehr als 18 und besonders bevorzugt nicht mehr als 14 betragen. Die Verwendung einer sehr hohen Anzahl an Messeinrichtungen erhöht die Kosten der Anlage und die Komplexität des Betriebs, ohne wesentliche Vorteile hinsichtlich der Aussagekraft der Messung zu liefern.

Da sich die Messeinrichtungen in einem stromführenden Schmelzgefäß befinden, sind sie vorzugsweise elektrisch isoliert. Vorzugsweise werden die Messeinrichtungen, insbesondere aus Richtung des Kühlmittelkanals in Bohrungen, in die Innenwand geklebt. Die elektrische Isolation erfolgt vorzugsweise über den verwendeten Kleber. Der Kleber verhindert auch den Eintritt von Kühlmittel in die Bohrung.

Erfindungsgemäß ist auch ein Verfahren zum Elektro-Schlacke-Umschmelzen von Metallen oder Metalllegierungen mit den Schritten:

- A. Bereitstellen wenigstens einer Elektrode des zu schmelzenden Metalls oder der zu schmelzenden Metalllegierung in einem Schmelzgefäß dieser Erfindung,
- B. Bereitstellen von Schlacke in dem Schmelzgefäß,
- C. Schmelzen der Elektrode, so dass das geschmolzene Metall bzw. die geschmolzene Metalllegierung durch eine Schlackenzone hindurch tritt und zu einem Ingot erstarrt,

wobei mit Hilfe der über die Messeinrichtungen gewonnenen Informationen, insbesondere kontinuierlich, eine Wärmebilanz erstellt. Vorzugsweise wird während des Schmelzens die Position der Schlackenzone, insbesondere auch deren Höhe, im Schmelzgefäß über Messeinrichtungen und der daraus ermittelten Wärmeverteilung im Schmelzgefäß ermittelt.

Es ist ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens und des erfindungsgemäßen Schmelzgefäßes, dass über die Temperaturmessung mithilfe der Messeinrichtungen nicht nur eine Aussage über die Position der Schlackenzone möglich ist, sondern auch deren Ausdehnung in Höhenrichtung zuverlässig bestimmt werden kann. Zusätzlich kann die Wärmeverteilung in der Kokille visualisiert und zur Berücksichtigung der Position der Schlackenhöhe im Schmelzgefäß Verwendung finden. Da es Ausführungsformen gibt, in denen während des Prozesses laufend Schlackebestandteile über den abgezogenen Ingot entfernt werden, ist es sinn-

voll, die Menge an vorhandener Schlacke bestimmen zu können. Diese Möglichkeit ist besonders vorteilhaft in Verfahren, bei denen der Ingots während des Schmelzens aus dem Schmelzgefäß abgezogen wird. Solche Verfahren sind erfindungsgemäß aus Gründen der Koaxialität beim Stromfluss bevorzugt.

Das in dem Verfahren umzuschmelzende Metall bzw. die umzuschmelzenden Metalllegierung ist vorzugsweise ausgewählt aus Stählen (hoch- oder niedrig-legiert), Superlegierungen und Nickel-Basis-Legierungen.

In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die ermittelte Position oder Höhe der Schlackenzone mit einer Sollposition bzw. Sollhöhe verglichen und im Falle einer Abweichung der Position bzw. Höhe der Schlackenzone von der Sollposition bzw. Sollhöhe eine Beeinflussung der Position bzw. Höhe der Schlackenzone vorgenommen. Gleiches gilt insbesondere auch für die Eintauchtiefe der Elektrode in die Schlackenzone.

Die obere Schlackenzone befindet sich in etwa 100 bis 600 mm, vorzugsweise 200 bis 400 mm, bevorzugt etwa 300 mm unterhalb der oberen Schmelzgefäßkante. Die Zahlen können je nach Schmelzgefäß- und Elektrodendurchmesser etwas variieren, da die Abstrahlung nach oben berücksichtigt werden muss. Die „Schlackenzone“ ist der Bereich des Schmelzraums, der während des Betriebs mit Schlacke befüllt ist. Sie befindet sich zwischen der Grenzfläche Metallbad/Schlacke und Schlacke/Gasphase. Die Schlackenzone ist in Position und Höhe veränderlich. Die „Schlackenhöhe“ ist der vertikale Abstand zwischen den beiden genannten Grenzflächen und zwar dort, wo dieser Abstand am größten ist. Da die erfindungsgemäß erstellte Wärmebilanz eine im Vergleich zu anderen Verfahren sehr genaue Bestimmung von Position und Höhe der Schlackenzone zulässt, kann mit Schlackenhöhen im Bereich von 50 bis 500 mm, insbesondere von 75 mm bis 400 mm oder von 100 mm bis 300 mm gearbeitet werden. Insbesondere besteht nicht die Gefahr, dass die Schlackenhöhe einen zu niedrigen Wert annimmt. Eine minimale Schlackenhöhe sollte nicht unterschritten werden, um einen ausreichenden Widerstand zu erzeugen und damit der Stromverbrauch wirtschaftlich bleibt. Wird die Schlackenhöhe zu klein, kann Schlacke nachdosiert werden. Mit abnehmender Schlackenhöhe und damit einhergehendem geringeren Wärmeinhalt der Schlacke und größer werdenden elektrischen Strömen steigt das Durchbruchrisiko der Schlacke bzw. das Risiko von Metallausläufern. Die genaue Kontrolle der Schlackenzone ist für das Verfahren somit von besonderer Bedeutung.

Vorzugsweise wird im Falle einer Abweichung der Position der Schlackenzone nach unten eine Verlangsamung des Abziehens des Ingots aus dem Schmelzgefäß veranlasst. Erfindungsgemäß bevorzugt erfolgt in dem Verfahren keine Anpassung der Kühlmittelmenge bzw. des Kühlmitteldurchflusses. Eine Variation dieser Parameter würde zu einer Änderung der Form des

flüssigen Metallbades führen. Die Badform und die Badhöhe soll aber erfindungsgemäß bevorzugt möglichst konstant gehalten werden. Die Regelung der Badhöhe erfolgt über den Leistungseintrag (Schmelzenergie zum Schmelzen der Elektrode). Dabei wird die Schmelzrate vorzugsweise im Wesentlichen konstant gehalten. Mit anderen Worten kann zwar die Schmelzrate über den Leistungseintrag geregelt werden, erfindungsgemäß bevorzugt ist aber eine konstante Schmelzrate, um ein konstant flaches Metallbad zu erzielen.

Das Schlackenmaterial ist erfindungsgemäß bevorzugt ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Calciumfluorid, Calciumoxid, Magnesiumoxid, Aluminiumoxid, Siliciumdioxid und Mischungen daraus. Dem Schlackenmaterial können gegebenenfalls geringe Mengen an Titanoxid bzw. Suboxiden des Titans, Boroxid, Lanthanoxid oder anderen Seltenerdoxiden zugesetzt werden. Geringe Mengen sind insbesondere Mengen von weniger als 10 Gew.-%, bevorzugt weniger als 5 Gew.-% bezogen auf die Gesamtmenge des Schlackenmaterials zu Beginn des Verfahrens.

Im Falle einer Abweichung der Position der Schlackenzone nach oben erfolgt eine Beschleunigung des Abziehens des Ingots aus dem Schmelzgefäß. Aufgrund der während des Verfahrens stattfindenden Temperaturmessung bzw. Erstellen der Wärmebilanz über die Messeinrichtungen ist es möglich, flexibel auf den Zustand der Schlackenzone zu reagieren.

Der mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Ingot weist in einer bevorzugten Ausführungsform einen Querschnittsdurchmesser von mehr als 600 mm, insbesondere mehr als 700 mm oder mehr als 800 mm auf. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können im Vergleich zum Stranggießen besonders große Ingotsdurchmesser erzielt werden.

Es ist ein Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens, dass mit einem verhältnismäßig flachen Metallbad gearbeitet werden kann. Dies wird durch die verbesserte Kontrolle der Grenzflächen Ingot/Metallbad und Metallbad/Schlacke ermöglicht. Die „Badtiefe“ ist der vertikale Abstand zwischen den genannten Grenzflächen und zwar dort, wo dieser Abstand am größten ist. Dies ist in der Regel in der Mitte des Schmelzraums. Die Badtiefe beträgt vorzugsweise höchstens $2 \times D$, insbesondere höchstens $1,5 \times D$ oder höchstens $1 \times D$ (D = Querschnittsdurchmesser des hergestellten Ingots ohne Schlackenhaut in Millimetern). Die Badtiefe sollte allerdings vorzugsweise einen Wert von wenigstens $0,1 \times D$, mehr bevorzugt wenigstens $0,2 \times D$ oder wenigstens $0,25 \times D$ nicht unterschreiten. Die Einhaltung einer vorteilhaften Badtiefe vermeidet Fehler im Ingot. Diese Badtiefen sind verhältnismäßig klein. Insbesondere im Strangguss stellen sich aufgrund der dort verwendeten hohen Gießraten deutlich größere Badtiefen ein. Im Gegensatz dazu ist die Zufuhr flüssigen Metalls in Gestalt der Schmelzrate in dem erfindungsgemäßen Verfahren gering. In einer bevorzugten Ausführungsform überschreitet die Schmelzrate in kg/h in dem erfindungsgemäßen Verfahren nicht den Wert von $2,5 \times D$, bevorzugt $2,0 \times D$ und be-

sonders bevorzugt $1,5 \cdot D$ oder $1,0 \cdot D$. Beispiel: bei Querschnittsdurchmesser des Ingots $D = 800 \text{ mm}$, beträgt die Schmelzrate maximal $2,5 \cdot 800 = 2000 \text{ kg/h}$. Durch diese geringe Schmelzrate wird die vorteilhafte geringe Badtiefe und die gewünschte Qualität des Ingots erreicht. Die Schmelzrate kann leicht durch Wiegen der Elektrode gemessen werden.

Aufgrund der, insbesondere im Vergleich zu der Gießrate beim Stranggießen, sehr geringen Schmelzrate im erfindungsgemäßen Verfahren, bildet sich eine sogenannte „Schlackenhaut“ auf dem hergestellten Ingot aus. Diese Schlackenhaut ist eine Schicht aus erstarrter Schlacke, die sich außen auf dem hergestellten Ingot befindet. Somit sind Schmelze und hergestellter Ingot im erfindungsgemäßen Verfahren nicht in Kontakt mit der Wand des Schmelzgefäßes. Die Schlackenhaut beeinflusst die Wärmeabfuhr. Die erfindungsgemäß erstellte Wärmebilanz erlaubt auch Aussagen zu der Dicke dieser Schlackenhaut.

Die mittlere Abzugs- bzw. Hebengeschwindigkeiten betragen in dem erfindungsgemäßen Verfahren vorzugsweise maximal 10 mm/min , maximal 8 mm/min und besonders bevorzugt maximal 5 mm/min betragen. Sie betragen insbesondere wenigstens $0,1 \text{ mm/min}$, bevorzugt wenigstens $0,5 \text{ mm/min}$. Je größer die Abmessungen werden, desto geringer werden die Abzugs- bzw. Hebengeschwindigkeiten. In einer bevorzugten Ausführungsform beträgt das Produkt aus Abzugs- bzw. Hebengeschwindigkeit mit dem Innendurchmesser des Schmelzgefäßes wenigstens 1000 und höchstens $5000 \text{ mm}^2/\text{min}$, oder von 2000 bis $3500 \text{ mm}^2/\text{min}$. So hat es sich beispielsweise als vorteilhaft erwiesen, bei einem Tiegeldurchmesser von 1000 mm mit einer Geschwindigkeit von 3 mm/min abzuziehen ($3 \text{ mm/min} \cdot 1000 \text{ mm} = 3000 \text{ mm}^2/\text{min}$).

Der Innendurchmesser des Schmelzgefäßes beträgt erfindungsgemäß bevorzugt wenigstens 500 mm , insbesondere wenigstens 800 mm oder wenigstens 1000 mm . In bevorzugten Ausführungsformen beträgt dieser Durchmesser höchstens 4000 mm oder höchstens 3000 mm . Gerade bei größeren Durchmessern ist das erfindungsgemäße Verfahren vorteilhaft.

In einer bevorzugten Ausführungsform werden im Verfahren wenigstens zwei, wenigstens drei oder wenigstens vier Elektroden eingesetzt. Dies hat den Vorteil, dass bei Tausch einer der Elektroden, die anderen weiter betrieben werden können. Das erfindungsgemäße Verfahren kann dann auch zur Positionierung und Auswahl der Elektroden eingesetzt werden, was einen bedeutenden Vorteil darstellt.

Wenn in dieser Beschreibung der Begriff „Metall“ verwendet wird, so schließt dieser auch Metalllegierungen ein.

Zusammengefasst ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren die Durchführung eines, mehrerer oder aller der nachfolgend aufgezeigten Schritte:

- Erkennen von Position und Höhe der Schlackenzone,
- Starten des Ingotabzugs bei einer vorbestimmten Position der Schlackenzone (der langsam wachsende Block schiebt die Schlackenzone vor sich her nach oben),
- Optimieren des Energieeintrags beim Elektrodenwechsel um die Dicke der Schlackenhaut konstant zu halten (beim Elektrodenwechsel kann die Überhöhung an Leistungseinbringung bei der neuen Elektrode begrenzt werden anhand der Wärmelast in dem Schmelzgefäß),
- Überwachen der Schlackenhöhe (Schlackenhöhe nimmt über den Prozess ab),
- Steuerung der Zugabe von Schlackenbestandteilen, z.B. Zugabe von oxidischen Bestandteilen bei höheren Temperaturen und/oder Zugabe von Flussspat bei niedrigeren Temperaturen, um die Viskosität der Schlacke zu beeinflussen,
- Schlackenhaut über Zugabe von Schlackenbestandteilen konstant halten (zur verbesserten Steuerung des Wärmehaushaltes),
- Überwachung der Randschale der Schlacke,
- Erkennen von Schlackenausläufern beim Schopfheizen,
- Vermeidung einer Schwächung der Randschale,
- Messung der Schlackenbewegung,
- Erzielen homogener Wärmelasten (z.B. über Steuerung der Eintauchtiefe der Elektrode),
- Regelung der Leistungseinbringung beim Schopfheizen in Abhängigkeit der abgeführten Wärmelast.

Durch die Möglichkeit des Erkennens von Schlackenausläufern und der entsprechenden Regelung der Leistungseinbringung wird ein effizientes und risikoarmes Schopfheizen möglich, wodurch die Qualität des hergestellten Ingots nochmals gesteigert werden kann. Es ist somit bevorzugt, dass das Verfahren dieser Erfindung einen Schritt des Schopfheizens aufweist.

Über die Anordnung der Messeinrichtungen und der Berechnung der Wärmelast über das Schmelzgefäß kann die verbleibende Wärme im Schmelzraum (bzw. Schmelzpool) errechnet werden und über veränderliche Prozessbedingungen (z.B. Eintauchtiefe der Schmelzelektrode in die Schlacke und/oder Leistungserhöhung zum Abschmelzen der Elektrode) die Schlackendicke an der Randschale (Schmelzgefäß/Schlacke) beeinflusst werden und ein optimaler Ar-

beitspunkt (maximale Wärmeabfuhr) ermittelt werden, ohne die Randschale der Schlacke zu schwächen. So werden ungewollte Schlackenausläufer vermieden. Wird die Randschale der Schlacke zu dick oder zu dünn, besteht die Gefahr von Schlackenausläufern

Weiterhin besteht die Möglichkeit über die genaue Erfassung der Schlackenzone auf die Trennstelle Schmelzzone und Schlackenzone die Abzugsgeschwindigkeit/Hebegeschwindigkeit einzustellen und eine Erhöhung des Freibordes (Schlackenzone oben und Schmelzgefäßoberkante) zuzulassen.

Erfindungsgemäß ist auch die Verwendung eines erfindungsgemäßen Schmelzgefäßes in einem Elektro-Schlacke-Umschmelzverfahren.

Figurenbeschreibung

Die Figuren stellen vereinfachte und nicht maßstabsgetreue Zeichnungen dar. Es zeigen:

- FIG.1** Eine Schnittansicht eines Schmelzgefäßes aus dem Stand der Technik.
- FIG.2** Eine Schnittansicht der Wandungen eines erfindungsgemäßen Schmelzgefäßes.
- FIG.3** Vergrößerte Schnittansicht eines Teils einer Innenwand eines erfindungsgemäßen Schmelzgefäßes.
- FIG.4** Eine Schnittansicht eines erfindungsgemäßen Schmelzgefäßes.
- FIG.5** Drei Diagramme der gemessenen Temperatur nahe dem Schmelzraum (A), in größerem Abstand zum Schmelzraum (B) und der Wärmestromdichte (C).

Figur 1 zeigt die wesentlichen Elemente eines Schmelzgefäßes für Elektro-Schlacke-Umschmelzverfahren, wie es auch im Stand der Technik zum Einsatz kommt. Das Schmelzgefäß ist in einer vertikalen Schnittansicht dargestellt. Das Gefäß ist als Kokille ausgestaltet und weist eine Außenwand 3, eine Innenwand 4 und einen zwischen der Außenwand 3 und der Innenwand 4 angeordneten Kühlmittelkanal 5 auf. Durch den Kühlmittelkanal 5 strömt Kühlmittel, insbesondere Wasser, vorzugsweise von unten nach oben durch den Kühlmittelkanal 5 (symbolisiert durch die Pfeile). In dem Schmelzgefäß wird ein Elektro-Schlacke-Umschmelzverfahren durchgeführt, in dem eine Elektrode 1 von oben in das Schmelzgefäß eingeführt und mit der Spitze in eine Schlackenzone 6 eingetaucht ist. Vermittelt durch Stromfluss heizt sich die Schlackenzone 6 wegen ihres hohen elektrischen Widerstandes stark auf und schmilzt die Spitze der Elektrode 1, so dass geschmolzenes Metall durch die Schlackenzone 6 hindurch tritt und sich als flüssiges Metall bzw. flüssige Metalllegierung 7 in dem Schmelzgefäß sammelt, bevor

es zum Ingot 2 erstarrt. Der Ingot 2 kann nach unten aus dem Schmelzgefäß abgezogen beziehungsweise das Schmelzgefäß nach oben bewegt werden. Die Elektrode 1 kann von oben in das Schmelzgefäß nach geführt werden. Die in der Figur 1 gezeigten Merkmale finden sich vorzugsweise auch in dem Schmelzgefäß bzw. Verfahren dieser Erfindung.

Figur 2 zeigt eine vertikale Schnittansicht durch die Wandungen eines erfindungsgemäßen Schmelzgefäßes, das eine Außenwand 3, eine Innenwand 4 und einen zwischen Außenwand 3 und Innenwand 4 angeordneten Kühlmittelkanal 5 aufweist. In der Innenwand 4 ist eine Mehrzahl von Messeinrichtungen 8 in unterschiedlicher Höhe, nämlich in einer vertikalen Reihe parallel zur Grenzfläche der Innenwand zum Schmelzraum, angeordnet.

Figur 3 zeigt eine im Vergleich zu Figur 2 vergrößerte vertikale Schnittansicht durch einen Teil einer Innenwand eines erfindungsgemäßen Schmelzgefäßes. Die hier gezeigte Innenwand eines erfindungsgemäßen Schmelzgefäßes weist eine Vielzahl von Messeinrichtungen 8 auf. Die Messeinrichtungen sind in Messgruppen angeordnet, wobei die Messeinrichtungen 8 innerhalb einer Messgruppe einen im Wesentlichen gleichen Abstand zur Grenzfläche 9 zwischen Innenwand und Schmelzraum aufweisen. Eine hier gezeigte erste Messgruppe weist Messeinrichtungen 8 auf, die einen Abstand A zur Grenzfläche 9 zwischen Innenwand und Schmelzraum haben. Der Abstand dieser ersten Messgruppe zu der Grenzfläche 9 zwischen Innenwand und Schmelzraum ist kleiner als der Abstand $A+C$ einer zweiten Messgruppe zu derselben Grenzfläche.

Figur 4 zeigt eine vertikale Schnittansicht eines erfindungsgemäßen Schmelzgefäßes in Form einer Kokille. Gezeigt sind die Elektrode 1 und Ingot 2 sowie Schlackenzone 6 und geschmolzenes Metall bzw. Metalllegierung 7. Ferner ist hier eine Mehrzahl von Messeinrichtungen 8 gezeigt, die in unterschiedlicher Höhe in der Innenwand 4 angeordnet sind und durch kleine Kreise dargestellt werden. Die Pfeile symbolisieren das Nachschieben der Elektrode 1 bzw. das Abziehen des Ingots 2 gemäß einer bevorzugten Ausführungsform. Außenwand und Kühlmittelkanal sind nicht gezeigt. Gezeigt ist eine Ausführungsform mit einer Messgruppe aus Messeinrichtungen 8 in einer vertikalen Reihe, um die Position und Höhe (H) der Schlackenzone 6 zu ermitteln. Es sind auch mehrere Reihen in einer Messgruppe denkbar und erfindungsgemäß. Die Reihen müssen nicht vertikal verlaufen, sondern können auch über das Schmelzgefäß verteilt mit gleichem Abstand zum Schmelzraum in unterschiedlichen Höhen angeordnet sein.

Figur 5 zeigt drei Diagramme, die von links nach rechts mit A, B bzw. C gekennzeichnet sind. Alle Diagramme zeigen auf der X-Achse die Zeit in Stunden und auf der Y-Achse die Höhe der Kokille in Millimetern. Alle drei Diagramme zeigen Messergebnisse aus einem einzigen Schmelzprozess. Diagramm A zeigt die gemessene Temperatur von Messeinrichtungen einer

Messgruppe mit geringem Abstand zum Schmelzraum. Diagramm B zeigt die gemessene Temperatur einer Messgruppe mit etwas größerem Abstand zu dem Schmelzraum. Dabei zeigen die helleren Bereiche eine höhere Temperatur an als die dunkleren Bereiche. Im Gegensatz zu den Diagrammen A und B zeigt das Diagramm C die Wärmebilanz in Form von Wärmestromdichten über die Höhe der Kokille. Bereiche einer höheren Wärmestromdichte sind heller gezeigt als solche mit geringeren Wärmestromdichten. Die Wärmestromdichten des Diagrammes C wurden aus den Messwerten berechnet, die in den Diagrammen A und B gezeigt sind. Die beiden horizontal verlaufenden Linien zeigen die tatsächliche Lage der Schlackenzone an. Es ist erkennbar, dass die Temperaturmessungen der Diagramme A und B die höchste Temperatur nicht im Bereich der Schlackenzone zeigen, sondern suggerieren, dass die Schlackenzone höher liege als dies tatsächlich der Fall ist.

Bezugszeichenliste

- 1 Elektrode
- 2 Ingot
- 3 Außenwand
- 4 Innenwand
- 5 Kühlmittelkanal
- 6 Schlackenzone
- 7 flüssiges Metall bzw. Metalllegierung
- 8 Messeinrichtungen
- 9 Grenzfläche zum Schmelzraum
- 10 Grenzfläche zum Kühlmittelkanal

Ansprüche

1. Verfahren zum Elektro-Schlacke-Umschmelzen von Metallen oder Metalllegierungen

in einem Schmelzgefäß, insbesondere einer Kokille, mit wenigstens einer Innenwand (4) und einem durch die Innenwand (4) begrenzten Schmelzraum, so dass eine Grenzfläche (9) zwischen Innenwand (4) und Schmelzraum vorhanden ist, wobei

das Schmelzgefäß Messeinrichtungen (8) zum Messen der Temperatur aufweist und die Messeinrichtungen (8) in wenigstens zwei Messgruppen angeordnet sind,

wobei die Messeinrichtungen (8) innerhalb einer Messgruppe einen im Wesentlichen gleichen Abstand zur Grenzfläche (9) zwischen Innenwand (4) und Schmelzraum aufweisen

und sich der Abstand zur Grenzfläche (9) zwischen Innenwand (4) und Schmelzraum zwischen den Messeinrichtungen (8) verschiedener Messgruppen unterscheidet,

und Messeinrichtungen (8) innerhalb einer Messgruppe in unterschiedlicher Höhe angeordnet sind,

mit den Schritten:

- A. Bereitstellen wenigstens einer Elektrode (1) des zu schmelzenden Metalls oder der zu schmelzenden Metalllegierung in dem Schmelzgefäß,
- B. Bereitstellen von Schlacke in dem Schmelzgefäß,
- C. Schmelzen der Elektrode (1), so dass das geschmolzene Metall bzw. die Metalllegierung durch eine Schlackenzone (6) hindurch tritt und zu einem Ingot (2) erstarrt,

dadurch gekennzeichnet, dass

mit Hilfe der über die Messeinrichtungen (8) gewonnenen Informationen, insbesondere kontinuierlich, eine Wärmebilanz erstellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Ingot (2) während des Schmelzens aus dem Schmelzgefäß abgezogen wird und/oder das Schmelzgefäß in Relativbewegung zum wachsenden Ingot (2) angehoben wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Abzugs- bzw. Hebegeschwindigkeit wenigstens 0,01 cm/min und höchstens 1,0 cm/min beträgt.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei das Produkt aus Abzugs- bzw. Hebegeschwindigkeit mit dem Innendurchmesser des Schmelzgefäßes wenigstens 1000 und höchstens 5000 mm²/min beträgt.
5. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die ermittelte Position der Schlackenzone (6) mit einer Sollposition verglichen wird und im Falle einer Abweichung der Position der Schlackenzone (6) von der Sollposition eine Beeinflussung der Position der Schlackenzone (6) erfolgt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei im Falle einer Abweichung der Position der Schlackenzone (6) nach unten eine Erhöhung der Schmelzrate und/oder eine Verlangsamung des Abziehens des Ingots (2) aus dem Schmelzgefäß bzw. des Anhebens des Schmelzgefäßes erfolgt.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, wobei im Falle einer Abweichung der Position der Schlackenzone (6) nach oben eine Reduktion der Schmelzrate und/oder eine Beschleunigung des Abziehens des Ingots (2) aus dem Schmelzgefäß bzw. des Anhebens des Schmelzgefäßes erfolgt.
8. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Schlackenhöhe mit einer Sollhöhe verglichen wird und im Falle einer Abweichung der Höhe der Schlackenzone nach unten, Schlackenmaterial nachdosiert wird.
9. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei während des Schmelzens die Position der Schlackenzone (6), insbesondere auch deren Höhe, im Schmelzgefäß über Messeinrichtungen (8) ermittelt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die Eintauchtiefe der Elektrode (1) in die Schlackenzone (6) und/oder die Menge der Schlackendosierung abhängig von der Wärmebilanz korrigiert wird.
11. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der vertikale Abstand zwischen den Grenzflächen Ingot/Metallbad und Metallbad/Schlacke höchstens das Doppelte des Querschnittsdurchmessers des hergestellten Ingots beträgt.

12. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Schmelzrate den Wert von 2,5 kg/h multipliziert mit dem Querschnittsdurchmesser des hergestellten Ingots in Millimetern nicht übersteigt.
13. Schmelzgefäß, insbesondere Kokille, zum Elektro-Schlacke-Umschmelzen von Metallen oder Metalllegierungen, mit wenigstens einer Innenwand (4) und einem durch die Innenwand (4) begrenzten Schmelzraum, so dass eine Grenzfläche (9) zwischen Innenwand (4) und Schmelzraum vorhanden ist, dadurch gekennzeichnet, dass

das Schmelzgefäß Messeinrichtungen (8) zum Messen der Temperatur aufweist und die Messeinrichtungen (8) in wenigstens zwei Messgruppen angeordnet sind,

wobei die Messeinrichtungen (8) innerhalb einer Messgruppe einen im Wesentlichen gleichen Abstand zur Grenzfläche (9) zwischen Innenwand (4) und Schmelzraum aufweisen

und sich der Abstand zur Grenzfläche (9) zwischen Innenwand (4) und Schmelzraum zwischen den Messeinrichtungen (8) verschiedener Messgruppen unterscheidet,

und Messeinrichtungen (8) innerhalb einer Messgruppe in unterschiedlicher Höhe angeordnet sind.
14. Schmelzgefäß nach Anspruch 13, wobei die Messeinrichtungen (8) in der Innenwand (4) des Schmelzgefäßes angeordnet sind.
15. Schmelzgefäß nach Anspruch 13 oder 14, wobei das Schmelzgefäß eine Außenwand (3) und einen zwischen Außenwand (3) und Innenwand (4) verlaufenden Kühlmittelkanal (5) aufweist.
16. Schmelzgefäß nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 15, wobei die Messeinrichtungen (8) Thermoelemente sind.
17. Schmelzgefäß nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 16, wobei eine erste Messgruppe einen Abstand A zu der Grenzfläche (9) zwischen Innenwand (4) und Schmelzraum hat, der kleiner ist als der Abstand A+C einer zweiten Messgruppe zu derselben Grenzfläche.
18. Schmelzgefäß nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 17, wobei diejenige Messgruppe, die im Vergleich zu anderen Messgruppen den geringsten Abstand zu der Grenzfläche Innenwand/Schmelzraum aufweist, in etwa in der Mitte der Innenwand, insbesondere in der Mitte zwischen Innenwand und Kühlmittelkanal, angeordnet ist..

19. Schmelzgefäß nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 18, wobei der Abstand von benachbarten Messeinrichtungen innerhalb einer Messgruppe dort minimal ist, wo im Betrieb des Schmelzgefäßes die Grenzfläche Metallbad/Schlacke und/oder Schlacke/Gasphase angeordnet ist.
20. Schmelzgefäß nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 19, wobei ein horizontaler Abstand C zwischen den Messeinrichtungen (8) einer ersten Messgruppe zu den Messeinrichtungen (8) einer zweiten Messgruppe wenigstens 3 mm, insbesondere wenigstens 5 mm, beträgt.
21. Schmelzgefäß nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 20, wobei zu jeder Messeinrichtung einer Messgruppe eine korrespondierende Messeinrichtung einer anderen Messgruppe auf der gleichen Höhe vorgesehen ist.
22. Schmelzgefäß nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 21, wobei die Zahl der Messeinrichtungen je Messgruppe wenigstens fünf, insbesondere acht, beträgt.
23. Verwendung eines Schmelzgefäßes nach einem der Ansprüche 13 bis 22 in einem Elektro-Schlacke-Umschmelzverfahren.

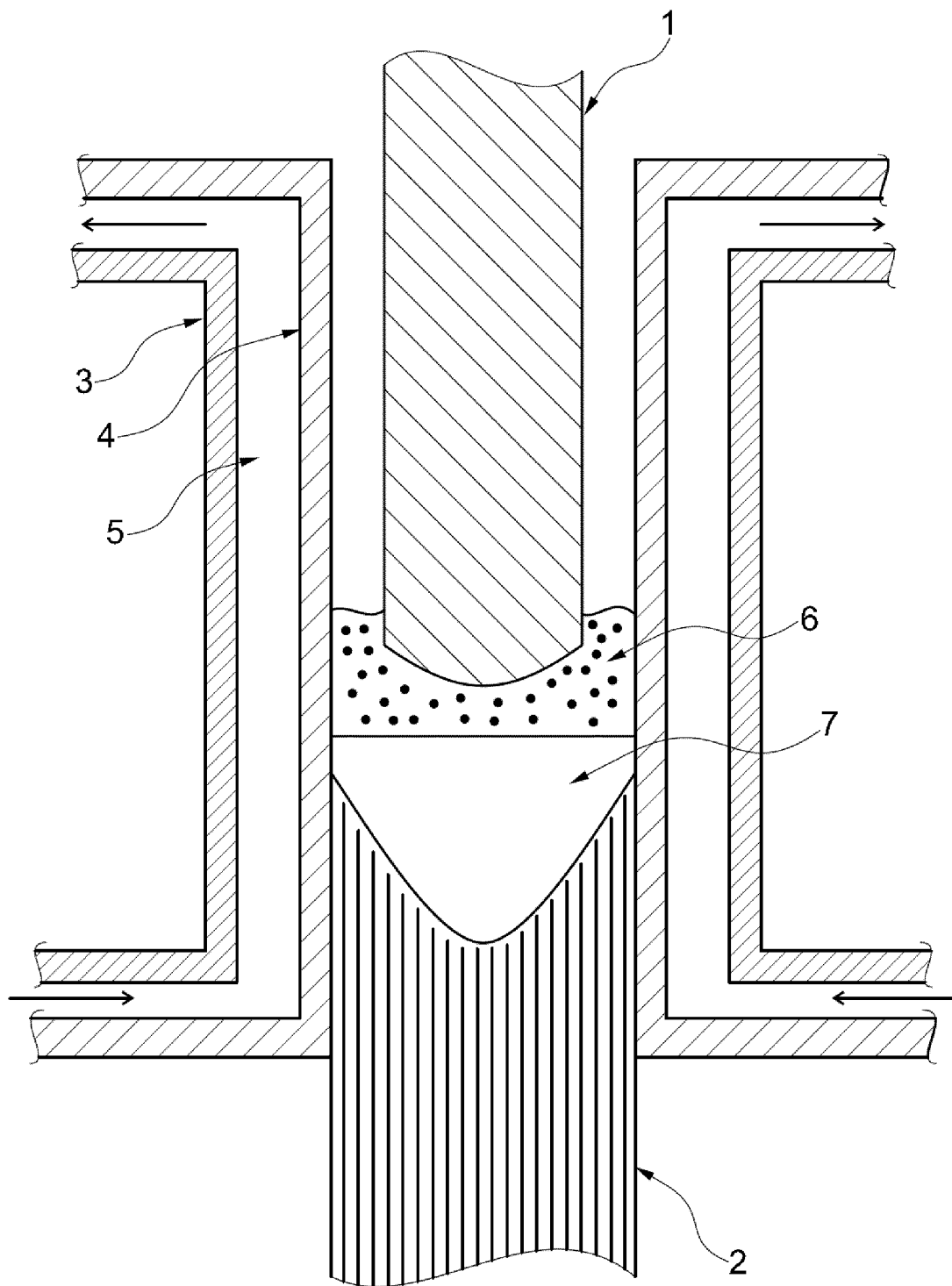


FIG.1 (Stand der Technik)

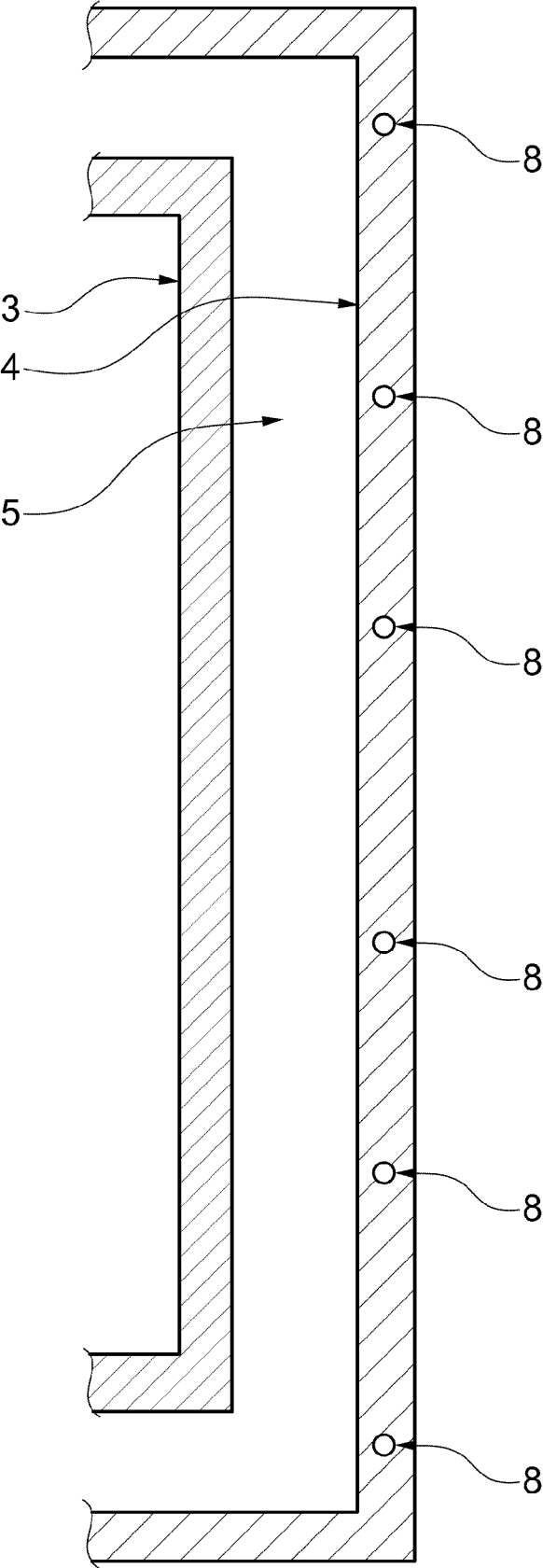


FIG.2

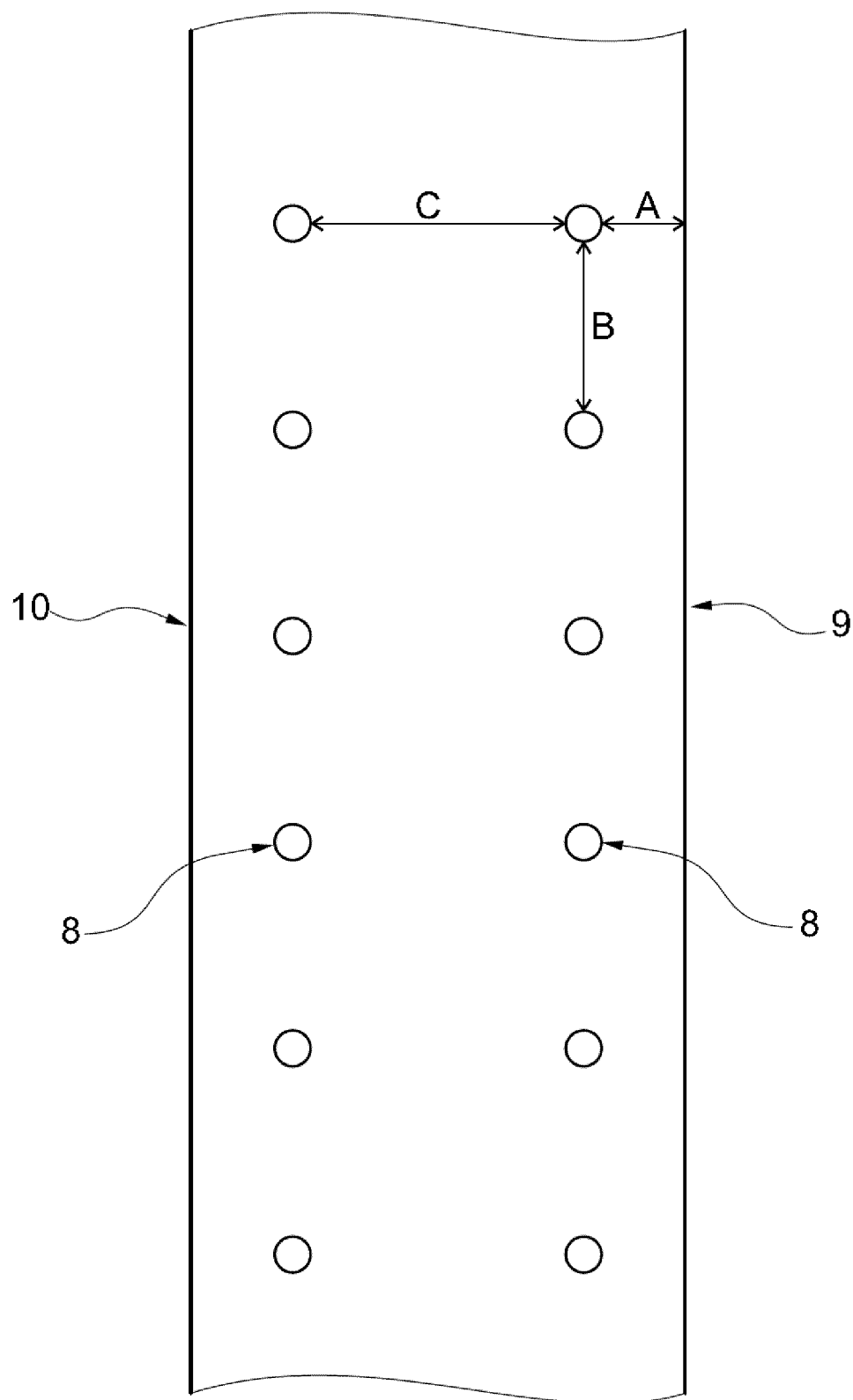


FIG.3

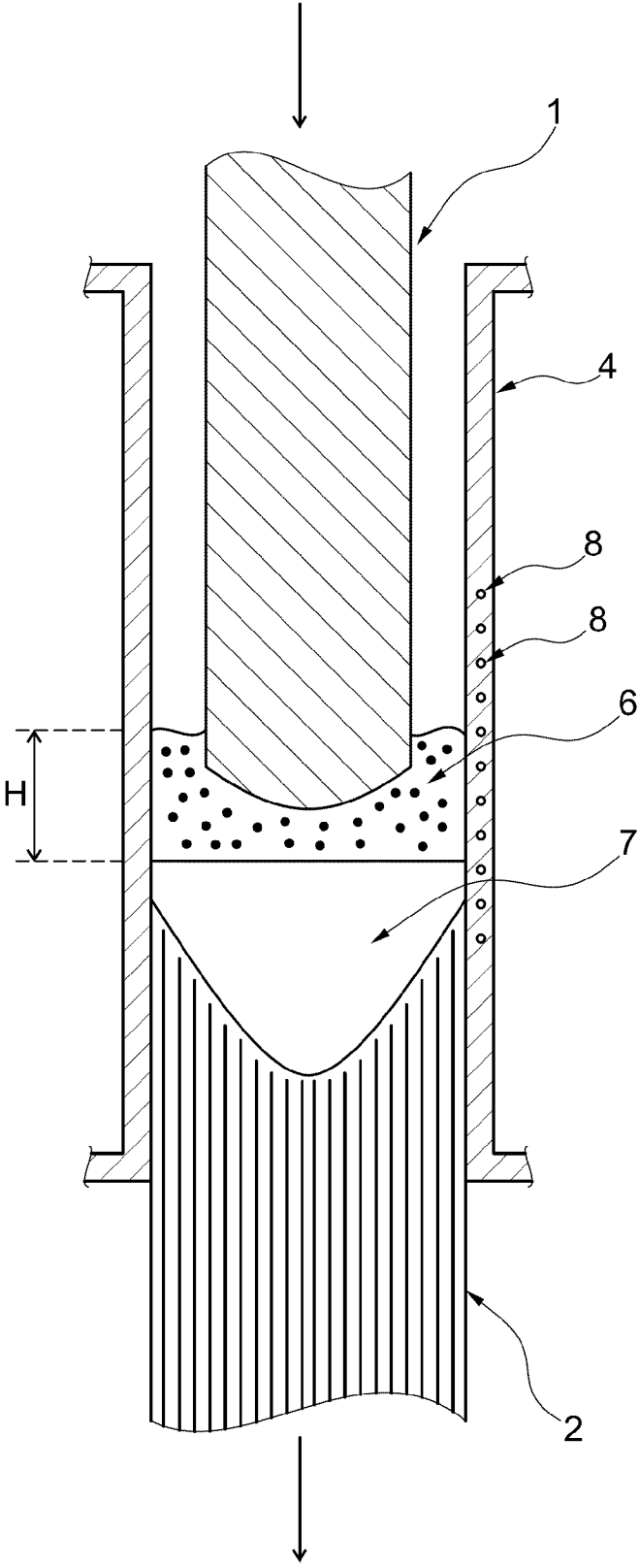


FIG.4

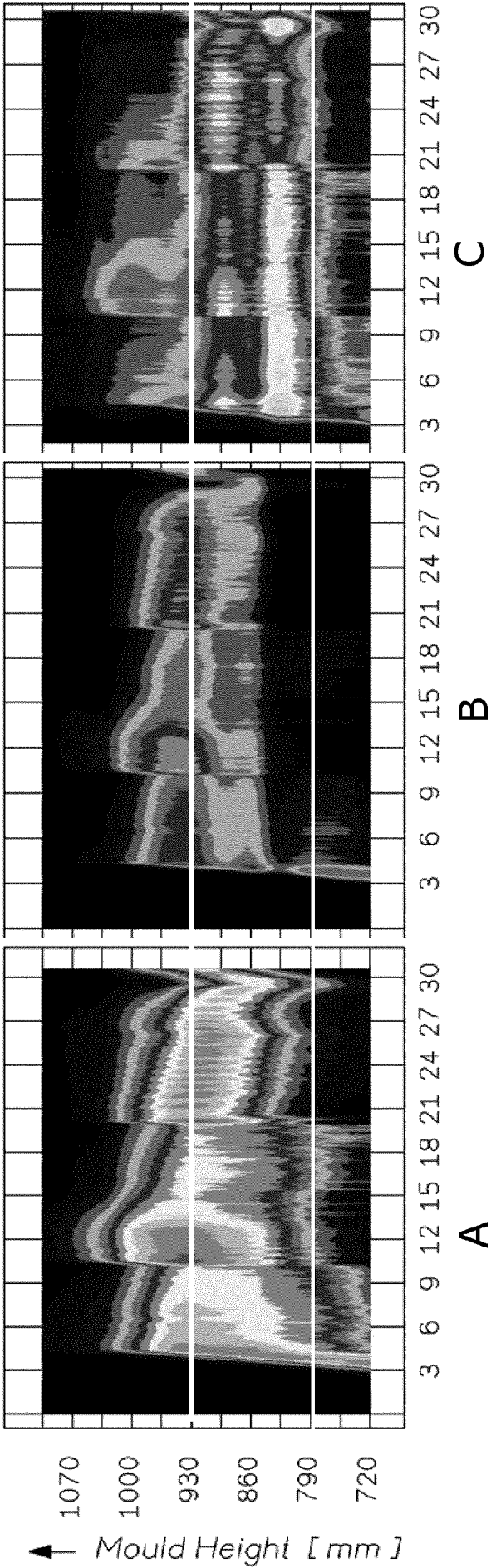


FIG.5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/062450

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. B22D2/00 B22D11/18 B22D23/10 C22B9/18 B22D11/20
G01K13/02

ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B22D C22B G01K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP S63 72837 A (DAIDO STEEL CO LTD) 2 April 1988 (1988-04-02) cited in the application abstract; figures -----	1-23



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 July 2017

Date of mailing of the international search report

03/08/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hodiamont, Susanna

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/062450

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP S6372837	A	02-04-1988	NONE

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/062450

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. B22D2/00 B22D11/18 B22D23/10 C22B9/18 B22D11/20 G01K13/02 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) B22D C22B G01K		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	JP S63 72837 A (DAIDO STEEL CO LTD) 2. April 1988 (1988-04-02) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildungen -----	1-23
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 27. Juli 2017		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 03/08/2017
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Hodiamont, Susanna

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/062450

Im Recherchenbericht
angeführtes Patentdokument

Datum der
Veröffentlichung

Mitglied(er) der
Patentfamilie

Datum der
Veröffentlichung

JP S6372837 A 02-04-1988 KEINE
