

(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  
12. Februar 2009 (12.02.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2009/018809 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
**B22D 27/02** (2006.01) **B22D 27/04** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2008/001260

(22) Internationales Anmeldedatum:  
1. August 2008 (01.08.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2007 037 340.8 3. August 2007 (03.08.2007) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **FORSCHUNGSZENTRUM DRESDEN-ROSSENDORF E.V.** [DE/DE]; Bautzner Landstrasse 128, 01328 Dresden (DE). **TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN** [DE/DE]; Mommsenstrasse 11, 01062 Dresden (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **NIKITYUK, Petr., A.** [RU/DE]; Uhlandstrasse 12, 01069 Dresden (DE). **ECKERT, Sven** [DE/DE]; Ludwig-Kugelmanstrasse 9a, 01259 Dresden (DE). **RÄBIGER, Dirk** [DE/DE]; Wittenberger Str. 56b, 01209 Dresden (DE). **WILLERS, Bernd** [DE/DE]; Seidnitzer Str. 10, 01069 Dresden (DE). **ECKERT, Kerstin** [DE/DE]; Ludwig-Kugelman-Str. 9a, 01259 Dresden (DE). **GRUNDMANN, Roger** [DE/DE]; Am Marktsteig 1, 01729 Bannewitz (DE). **GERBETH, Gunter** [DE/DE]; Schulstr. 11, 01328 Dresden (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR THE ELECTROMAGNETIC STIRRING OF ELECTRICALLY CONDUCTIVE FLUIDS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND EINRICHTUNG ZUM ELEKTROMAGNETISCHEN RÜHREN VON ELEKTRISCH LEITENDEN FLÜSSIGKEITEN

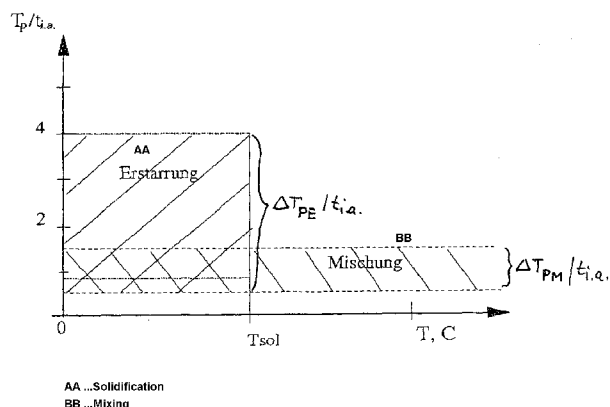


Fig. 1d

$$(III) \quad t_{i,a} = C_s \cdot \left( B_0 \sqrt{\frac{\sigma \omega}{\rho}} \right)^{-1}$$

justment time ( $t_{i,a}$ ) is specified by the equation (III) in which after an activation of the rotating magnetic field in a fluid (2; 21, 22) in the resting state the double vortex of the meridional secondary flow (18) forms, and in which  $\sigma$  is defined as the electric conductivity,  $\rho$  as the density of the fluid (2, 21, 22),  $\omega$  as the frequency,  $B_0$  as the amplitude of the magnetic field, and  $C_s$  as the constant for the influence of the size and shape of the volume of the fluid (2, 21, 22).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/018809 A1



LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

#### Erklärung gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,

#### Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht*  
 — *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen*

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zum elektromagnetischen Rühren von elektrisch leitenden Flüssigkeiten (2,21,22) im flüssigen Zustand und/oder im Zustand des Beginns der Erstarrung der Flüssigkeit (2,21,22) unter Verwendung eines in der horizontalen Ebene eine Lorentzkraft ( $F_L$ ) erzeugenden, rotierenden Magnetfeldes. Die Aufgabe besteht darin, dass eine intensive dreidimensionale Strömung im Innern der Flüssigkeit zum Durchmischen im flüssigen Zustand bis in die unmittelbare Umgebung von Erstarrungsfronten erreicht und gleichzeitig eine ungestörte, freie Oberfläche der Flüssigkeit gewährleistet werden. Die Lösung besteht darin, dass die Drehrichtung (15,16) des in der horizontalen Ebene rotierenden Magnetfeldes in regelmäßigen, zeitlichen Abständen in Form einer Periodendauer ( $T_P$ ) gewechselt wird, wobei die Frequenz des Richtungswechsels der Bewegung des Magnetfeldvektors derart eingestellt wird, dass im Zustand der Durchmischung der flüssigen Flüssigkeit (2,21,22) eine Periodendauer ( $T_P$ ) zwischen zwei Richtungswechseln des Magnetfeldes in einem Zeitintervall ( $\Delta T_{PM}$ ) in Abhängigkeit von der Einstellzeit ( $t_{i,a}$ ) mit der Bedingung (I)  $0.5 \cdot t_{i,a} < T_{PM} < 1.5 \cdot t_{i,a}$  vorgesehen wird, und dass zu Beginn des Zustandes der Erstarrung der Flüssigkeit (2,21,22) eine Periodendauer ( $T_P$ ) zwischen zwei Richtungswechseln des Magnetfeldes in einem Zeitintervall ( $\Delta T_{PE}$ ) in Abhängigkeit von der Einstellzeit  $t_{i,a}$  mit der Bedingung (II)  $0.8 \cdot t_{i,a} < T_{PE} < 4 \cdot t_{i,a}$  eingestellt wird, wobei die Einstellzeit ( $t_{i,a}$ ) durch die Gleichung (III) gegeben wird, in der sich nach einem Zuschalten des rotierenden Magnetfeldes in einer sich im Ruhezustand befindenden Flüssigkeit (2,21,22) der Doppelwirbel der meridionalen Sekundärströmung (18) ausbildet, und  $\sigma$  als elektrische Leitfähigkeit,  $\rho$  als Dichte der Flüssigkeit (2,21,22),  $\omega$  als Frequenz und  $B_0$  als Amplitude des Magnetfeldes und  $C_9$  als Konstante für den Einfluss von Größe und Form des Volumens der Flüssigkeit (2,21,22) definiert werden.

5

10

15

20

Verfahren und Einrichtung zum elektromagnetischen Rühren  
von elektrisch leitenden Flüssigkeiten

25

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zum elektromagnetischen Rühren von elektrisch leitenden Flüssigkeiten im flüssigen Zustand und/oder während der Erstarrung der Flüssigkeiten unter Verwendung eines in  
30 der horizontalen Ebene eine Lorentzkraft erzeugenden, rotierenden Magnetfeldes.

Aufgrund ihrer kontaktlosen Wechselwirkung mit elektrisch leitfähigen Flüssigkeiten eröffnen zeitabhängige elektromagnetische Felder eine Möglichkeit zum Mischen von beispielsweise flüssigen Metallschmelzen. Über die Parameter Magnetfeldamplitude und -frequenz kann das elektromagnetische Feld in einfacher Weise unmittelbar und genau geregelt werden.

Die vorliegende Erfindung betrifft magnetische, meist in horizontaler Richtung umlaufende Wanderfelder, auch als rotierende Magnetfelder bezeichnet.

Die Anwendung eines rotierenden Magnetfeldes beispielsweise auf einen mit flüssiger Metallschmelze gefüllten zylindrischen Behälter ruft eine in weiten Bereichen nahezu starre Rotationsbewegung der Metallschmelze hervor, welche kaum zum konvektiven Austausch im Volumen der Schmelze beiträgt. Für die zu beobachtenden Mischvorgänge ist im Wesentlichen die sogenannte meridionale Sekundärströmung verantwortlich, die in der meridionalen Ebene (r-z-Ebene) aufgrund des Druckunterschieds zwischen der Mitte des Behälters und den Randschichten am Boden und an der freien Oberfläche entsteht und deren Amplitude in Abhängigkeit von der Geometrie der betrachteten Strömung etwa um den Faktor Fünf bis Zehn geringer als die rotierende azimuthale Strömung ausfällt. In der meridionalen Ebene, wie in der Druckschrift P.A. Nikrityuk, M. Ungarish, K. Eckert and R. Grundmann: Spin-up of a liquid metal flow driven by a rotating magnetic field in a finite cylinder: A numerical and analytical study, Phys. Fluids, 2005, vol. 17, 067101), beschrieben ist, bildet sich eine sogenannte Doppelwirbelstruktur aus, d.h. im Bereich der horizontalen Mittelebene des Behälters wird die flüssige Metallschmelze radial nach außen transportiert, strömt an den Seitenwänden nach oben bzw. unten und fließt am Boden und unterhalb der freien Oberfläche wieder zurück zur Achse. Die Richtung der sekundären Zirkulation stellt sich für beide Drehrichtungen des Magnetfeldes in derselben Weise ein.

30

Ein wesentliches Problem im Hinblick auf die Anwendung eines rotierenden Magnetfeldes für das elektromagnetische Rühren besteht darin, dass der überwiegende Anteil der Bewegungsenergie der Schmelze für die primäre azimuthale

Rotationsbewegung aufgebracht wird, die aber nur in geringem Maße zur Durchmischung der Schmelze beiträgt. Eine Intensivierung des Mischvorganges ist in erster Linie durch eine Verstärkung der meridionalen Sekundärströmung möglich. Eine Erhöhung von Magnetfeldstärke oder Magnetfeldfrequenz bewirkt  
5 eine Anfachung der Sekundärströmung, d.h. eine Zunahme der Geschwindigkeitswerte in axialer und radialer Richtung sowie die Erzeugung zusätzlicher Verwirbelung, z.B. das Auftreten von Taylor-Görtler-Wirbeln, wie in den Druckschriften P.A. Nikrityuk, K. Eckert, R. Grundmann: Magnetohydrodynamics, 2004, 40, pp. 127-146. und P.A. Nikrityuk, K. Eckert, R. Grundmann: CD Proceeding of the Conference on Turbulence and Interactions TI2006, France,  
10 2006, May 28-June 2, 2006, beschrieben ist, in der Nähe der Seitenwände. Dies führt zu einer intensiveren Durchmischung der flüssigen Metallschmelze.

Ein Problem besteht darin, dass gleichzeitig aber auch die Rotationsbewegung  
15 verstärkt wird und deutliche Störungen und Auslenkungen der freien Oberfläche der flüssigen Metallschmelze hervorruft. In der Folge kann es zu unerwünschten Effekten wie den Einschlüssen von Schlacke in der Schmelze oder der Aufnahme von Sauerstoff aus der Atmosphäre kommen.

20 Ein weiteres Problem tritt für das elektromagnetische Rühren beim Übergang von dem flüssigen Zustand in den Zustand der Erstarrung, d.h. während der gerichteten Erstarrung von metallischen Legierungen oder Halbleiterschmelzen, auf. In unmittelbarer Umgebung einer voranschreitenden Erstarrungsfront entmischt sich die Schmelze aufgrund der unterschiedlichen Löslichkeit einzelner  
25 Komponenten in der flüssigen bzw. festen Phase. Eine Strömung in unmittelbarer Umgebung der Erstarrungsfront wirkt dem Aufbau einer ausgedehnten Konzentrationsgrenzschicht entgegen, indem angereicherte Schmelze von der Erstarrungsfront weg transportiert wird. Strömt die Schmelze dabei ausschließlich in eine Richtung, kann es aber in anderen Volumenbereichen zu Entmischungen  
30 kommen, welche die mechanischen Eigenschaften des resultierenden Festkörpers merklich verschlechtern.

Rotierende Magnetfelder kommen bereits in metallurgischen Prozessen, wie dem Stranggießen von Stahl zum Einsatz. In der Druckschrift DE AS 1 962 341 wird dazu eine Anordnung einer mehrphasigen elektromagnetischen Wicklung zur Erzeugung eines Wanderfeldes senkrecht zur Gießrichtung an einer Stranggießanlage beschrieben.

Ein Verfahren zum Rühren der Stahlschmelze beim Stranggießen ist auch in der Druckschrift US 2003/0106667 beschrieben, bei dem zwei übereinander angeordnete und gegenläufig rotierende Magnetfelder eingesetzt werden. Während das untere Magnetfeld die eigentliche Funktion des Rührers übernimmt, kommt dem oberen Magnetfeld die Aufgabe zu, die rotierende Schmelze im Bereich der freien Oberfläche auf sehr kleine Geschwindigkeitswerte abzubremesen, um die negativen Auswirkungen des Rührens - eine Auslenkung und Verwirbelung der freien Oberfläche - zu kompensieren.

Ein Problem besteht darin, dass mit zwei Magnetrührern - einem unteren Magnetprüher und einem oberen Magnetprüher - gearbeitet wird. Dies bedeutet im Vergleich zum Gebrauch nur eines Magnetsystems einen höheren apparativen und regelungstechnischen Aufwand. Gleichzeitig weist ein derartiges Verfahren eine ungünstige Energiebilanz auf. Mit Hilfe des unteren Magnetrührers wird mechanische Energie in die Stahlschmelze gebracht und die Stahlschmelze in Rotation versetzt. Da aber im oberen Bereich der Stranggussanlage vom Anwender eine weit weniger intensive Rotation der Schmelze gewünscht wird, muss bei dieser Herangehensweise zusätzliche Energie im oberen Magnetprüher aufgewendet werden, um die Strömung dort zu bremsen.

In den Druckschriften DE 2 401 145 und DE 3 730 300 sind jeweils Verfahren zum elektromagnetischen Rühren in Stranggusskokillen beschrieben, bei denen eine periodische Änderung des Stromes in der Spulenanordnung vorgenommen wird. In der Druckschrift DE 2 401 145 ist beschrieben, dass mit dieser Verfahrensweise die Ausbildung von sekundären Weißbändern und Sekundärdendriten vermieden werden kann.

- Mit dem in der Druckschrift DE 3 730 300 beschriebenen Verfahren wird eine Beruhigung der freien Badoberfläche erreicht. Es wird davon ausgegangen, dass das resultierende Magnetfeld im Innern der Schmelze gleichzeitig eine intensive Rührbewegung aufrechterhält. In beiden zuletzt genannten Druckschriften werden für die Zykluszeiten, in denen die Stromrichtung gewechselt werden soll, sehr weite Bereiche, namentlich zwischen einer Sekunde und 30 Sekunden angegeben. Die Zykluszeit, auch Periodendauer genannt, oder die Frequenz des Vorzeichenwechsels des Stroms ist ein wichtiger Parameter mit großem Einfluss auf die sich ausbildende Strömung.
- 5    Ein Problem besteht darin, dass in beiden Druckschriften keine Details über eine vorgebbare Periodendauer in Abhängigkeit von der Magnetfeldstärke, der Geometrie der Anordnung von Induktionsspulen oder den Materialeigenschaften der flüssigen Metallschmelze beschrieben sind.
- 10    Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Einrichtung zum elektromagnetischen Rühren von elektrisch leitfähigen Flüssigkeiten anzugeben, die derart geeignet ausgebildet sind, dass eine intensive dreidimensionale Strömung im Innern der Flüssigkeit zum Durchmischen im flüssigen Zustand bis in die unmittelbare Umgebung von Erstarrungsfronten erreicht und gleichzeitig eine ungestörte, freie Oberfläche der Flüssigkeit gewährleistet werden.
- 15    Die Aufgabe wird durch die Merkmale der Patentansprüche 1 und 9 gelöst.
- 20    In dem Verfahren zum elektromagnetischen Rühren von elektrisch leitenden Flüssigkeiten im flüssigen Zustand und/oder im Zustand des Beginns der Erstarrung der Flüssigkeit unter Verwendung eines in der horizontalen Ebene eine Lorentzkraft  $F_L$  erzeugenden, rotierenden Magnetfeldes, werden im Kennzeichenteil gemäß dem Patentanspruch 1
- 25    - die Drehrichtung des in der horizontalen Ebene rotierenden Magnetfeldes in regelmäßigen, zeitlichen Abständen in Form einer Periodendauer  $T_P$  gewechselt, wobei die Frequenz des Richtungswechsels der Bewegung des Magnetfeldvektors derart eingestellt wird,
- 30

- im Zustand der Durchmischung der Flüssigkeit eine Periodendauer  $T_P$  zwischen zwei Richtungswechseln des Magnetfeldes in einem Zeitintervall  $\Delta T_{PM}$  in Abhängigkeit von der Einstellzeit  $t_{i,a.}$  mit Bedingung

$$(I) \quad 0.5 \cdot t_{i,a.} < T_{PM} < 1.5 \cdot t_{i,a.} \quad \text{eingestellt, und}$$

5 - zu Beginn des Zustandes der Erstarrung der Flüssigkeit eine Periodendauer  $T_P$  zwischen zwei Richtungswechseln des Magnetfeldes in einem Zeitintervall  $\Delta T_{PE}$  in Abhängigkeit von der Einstellzeit  $t_{i,a.}$  mit Bedingung

$$(II) \quad 0.8 \cdot t_{i,a.} < T_{PE} < 4 \cdot t_{i,a.} \quad \text{eingestellt,}$$

wobei die Einstellzeit  $t_{i,a.}$  durch die Gleichung

$$10 \quad (III) \quad t_{i,a.} = C_g \cdot \left( B_0 \sqrt{\frac{\sigma \omega}{\rho}} \right)^{-1} \quad \text{gegeben wird,}$$

in der sich nach einem Zuschalten des rotierenden Magnetfeldes in einer sich im Ruhezustand befindenden Flüssigkeit der Doppelwirbel der meridionalen Sekundärströmung ausbildet, und  $\sigma$  als elektrische Leitfähigkeit,  $\rho$  als Dichte der Flüssigkeit,  $\omega$  als Frequenz und  $B_0$  als Amplitude des Magnetfeldes und  $C_g$  als  
 15 Konstante für den Einfluss von Größe und Form des Volumens der Flüssigkeit definiert werden.

Zur Ausbildung des rotierenden Magnetfeldes kann ein Drehstrom  $I_D$  in Form eines Drei-Phasenwechselstroms an mindestens drei an einem zylindrischen,  
 20 die Flüssigkeit enthaltenden Behälter platzierte Paare von Induktionsspulen angelegt werden.

In dem Behälter können als elektrisch leitende Flüssigkeiten metallische oder Halbleiterschmelzen eingefüllt werden.

25

Bei der Durchmischung einer sich abkühlenden Schmelze wird demzufolge eine Periodendauer  $T_P$  nach Bedingung (I) mit  $0.5 \cdot t_{i,a.} < T_{PM} < 1.5 \cdot t_{i,a.}$  gewählt, solange die Schmelze noch vollständig flüssig ist, während mit Beginn des Zustandes der Erstarrung die Periodendauer  $T_P$  so vergrößert wird, so dass nach Bedingung (II)  $0.8 \cdot t_{i,a.} < T_{PE} < 4 \cdot t_{i,a.}$  erfüllt wird.  
 30



Entsprechend der sich im Verlauf des Zustands der gerichteten Erstarrung ver-  
ringernden Höhe  $H_0$  des Volumens der Schmelze kann die Amplitude  $B_0$  des  
Magnetfeldes nachgeregelt werden.

- 5 Im Zustand einer temperaturkontrolliert gerichteten Erstarrung ist die Amplitude  
 $B_0$  des Magnetfeldes so zu erhöhen, dass mindestens das Maximum der beiden  
Werte

$$B_1 = \sqrt{\frac{\rho}{\sigma\omega}} \cdot \frac{100 \cdot V_{sol}}{H_0} \quad (\text{IV}) \quad \text{und}$$

$$B_2 = \sqrt{\frac{\rho}{\sigma\omega}} \cdot \frac{40 \cdot V_{sol}^{3/2}}{\sqrt{H_0\nu}} \quad (\text{V})$$

- 10 erreicht wird, wobei  $\nu$  als kinematische Viskosität der Schmelze,  $V_{sol}$  als Erstar-  
rungsgeschwindigkeit,  $H_0$  als Höhe des Schmelzenvolumens, und  $B_1$  und  $B_2$  als  
untere Grenzwerte der Amplitude  $B_0$  des Magnetfeldes definiert werden, die sich  
im Verlauf der Erstarrung in Abhängigkeit der Parameter  $\nu$ ,  $V_{sol}$  und  $H_0$  verän-  
dern können.

15

Die jeweiligen Periodendauern werden bei Durchmischung  $T_{PM}$  und bei Erstar-  
rungsbeginn  $T_{PE}$ , in denen das Magnetfeld zugeschaltet anliegt, durch Pausen  
der Pausendauer  $T_{Pause}$ , in denen kein Magnetfeld an der Schmelze anliegt, un-  
terbrochen, wobei die Pausendauer  $T_{Pause}$  zur jeweiligen Periodendauer  $T_P$  mit

- 20  $T_{Pause} \leq 0.5 \cdot T_P$  eingestellt wird.

- Bei der Modulierung des Verlaufs der elektromagnetischen Kraft  $F_L$  können an-  
stelle der Rechteckfunktion andere Pulsformen, wie beispielsweise Sinus, Drei-  
eck oder Sägezahn, realisiert werden, wobei der Verlauf und der Maximalwert  
25 der Amplitude  $B_0$  des Magnetfeldes so festgelegt werden, dass sich für die ver-  
schiedenen Pulsformen ein identischer Energieeintrag ergibt.

- Die Einrichtung zum elektromagnetischen Rühren von elektrisch leitenden Flüs-  
sigkeiten im flüssigen Zustand und/oder im Zustand des Beginns der Erstarrung  
30 der Flüssigkeit unter Verwendung eines in der horizontalen Ebene eine Lorentz-

kraft  $F_L$  erzeugenden, rotierenden Magnetfeldes und unter Kontrolle des Temperaturverlaufs der Flüssigkeit mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens enthält zumindest

- einen zylindrischen Behälter,
  - 5     - eine den Behälter umgebende zentralsymmetrische Anordnung von mindestens drei Paaren von Induktionsspulen zur Ausbildung eines eine Lorentzkraft  $F_L$  erzeugenden, rotierenden Magnetfeldes,
  - mindestens einen Temperatursensor zur Temperaturmessung der Flüssigkeit im Behälter,
- 10   wobei gemäß dem Kennzeichenteil des Patentanspruchs 9 die Paare der Induktionsspulen mit einer Steuer- und Regeleinheit in Verbindung stehen, die über eine angeschlossene Stromversorgungseinheit einen Drehstrom  $I_D$  an die Paare von Induktionsspulen weiterleitet, wobei die Phasenlage des die Paare der Induktionsspulen speisenden Drehstromes  $I_D$  in regelmäßigen, zeitlichen Abständen und entsprechend der vorgegebenen Periodendauer  $T_{PM}$  für die Durchmischung im flüssigen Zustand oder  $T_{PE}$  für die Durchmischung ab Beginn der Erstarrung um  $180^\circ$  verschoben wird und damit eine Umkehrung der Drehrichtung des Magnetfeldes und der die Strömung antreibenden Lorentzkraft  $F_L$  erreicht wird, wobei die Steuer-/Regeleinheit mit dem
- 15   Temperatursensor in Verbindung steht, dessen Temperaturdaten zum Zeitpunkt des Erstarrungsbeginns das Umschalten der Periodendauer von  $T_{PM}$  zu  $T_{PE}$  auslösen.
- 20

Der Drehstrom  $I_D$  kann ein Drei-Phasenwechselstrom sein.

- 25   Der Behälter mit der elektrisch leitenden Flüssigkeit, die insbesondere eine Schmelze sein kann, kann vorzugsweise konzentrisch innerhalb der Induktionsspulen angeordnet sein.
- 30   Der Behälter kann mit einer Heizeinrichtung und/oder Kühleinrichtung versehen sein, die mit einem fest installierten Metallkörper in Verbindung stehen können.

Der Behälterboden kann in direktem Kontakt mit einem festen Metallkörper stehen, welcher im Innern von einem Kühlmedium durchflossen wird.

Die Seitenwände des Behälters können thermisch isoliert sein.

5

Der Kühlkörper kann mit einem Thermostaten in Verbindung stehen.

Zwischen dem Kühlkörper und dem Behälter kann sich ein Flüssigmetallfilm befinden, um einen stabilen Wärmeübergang bei geringem Übergangswiderstand zu erzielen.

10

Der Flüssigmetallfilm kann aus einer Galliumlegierung bestehen.

In der Bodenplatte und/oder den Seitenwänden des Behälters, in dem sich die Schmelze befindet, kann mindestens ein Temperatursensor z.B. in Form eines Thermoelements positioniert sein, welches ein Informationssignal über den Zeitpunkt des Beginns der Erstarrung liefert und mit der Steuer- und Regeleinheit verbunden ist.

15

Die Verwendung der erfindungsgemäßen Einrichtung zum elektromagnetischen Rühren von elektrisch leitenden Flüssigkeiten kann nach den Ansprüchen 9 bis 18 in Form von metallischen Schmelzen in metallurgischen Prozessen oder in Form von Halbleiterschmelzen in der Kristallzüchtung, zur Reinigung von Metallschmelzen, beim Stranggießen oder bei der Erstarrung metallischer Werkstoffe mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens nach Anspruch 1 bis 8 erfolgen.

20  
25

Die Richtung des rotierenden Magnetfeldes wird in ganz bestimmten, regelmäßigen Zeitabständen umgekehrt. Die Umkehr erfolgt mittels der Steuereinrichtung zur Verschiebung der Phasen eines Drei-Phasenwechselstroms, wodurch sich die Drehrichtung der rotierenden Phasen eines Drei-Phasenwechselstromes und damit sich die Drehrichtung des rotierenden Magnetfeldes umkehrt.

30

Im Zeitraum der Umkehr der Strömungsrichtung tritt eine intensive meridionale Sekundärströmung bei gleichzeitig abgeschwächt ausgeprägter azimuthaler Rotationsbewegung auf, wobei durch den ständig wiederkehrenden Richtungswechsel eine intensive Durchmischung erfolgt. Die effiziente Einstellung der Dauer der Periode  $T_P$  zwischen zwei Richtungswechseln spielt dabei die entscheidende Rolle.

Erfindungsgemäß gilt folgende Festlegung:

Für eine intensive Durchmischung der Schmelze bei gleichzeitig geringem Energieaufwand gilt die Bedingung:

$$(I) \quad 0.5 \cdot t_{i.a.} < T_P < 1.5 \cdot t_{i.a.}$$

oder

für eine kontrollierte Erstarrung unter Vermeidung der Ausbildung von Entmischungszonen im Erstarrungsgefüge gilt die Bedingung:

$$(II) \quad 0.8 \cdot t_{i.a.} < T_P < 4 \cdot t_{i.a.}$$

Der Parameter  $t_{i.a.}$  stellt eine Einstellzeit (engl. initial adjustment time) dar, in der sich nach einem abrupten Zuschalten eines rotierenden Magnetfeldes in einer Schmelze, die sich zuvor im Ruhezustand befand, der für die meridionale Sekundärströmung typische Doppelwirbel herausgebildet hat.

Die charakteristische Einstellzeit  $t_{i.a.}$  errechnet sich nach einer Formel aus den Variablen elektrische Leitfähigkeit der Schmelze, Dichte der Schmelze sowie Frequenz und Amplitude des Magnetfeldes. Eine zugehörige Konstante berücksichtigt den Einfluss von Größe und Form des Schmelzvolumens und kann Zahlenwerte zwischen Drei und Fünf annehmen. Damit liegt gegenüber dem Stand der Technik, insbesondere gegenüber der Druckschrift DE 3 730 300 ein definierter Bereich für die Periodendauer  $T_P$  vor, in dem der Drehrichtungswechsel einstellbar ist.

Ein wesentliches Merkmal der Erfindung besteht darin, dass die Richtung des rotierenden Magnetfeldes in regelmäßigen, zeitlichen Abständen umgekehrt wird, wobei mit der Periodendauer  $T_P$  des Richtungswechsels ein wichtiger Parameter existiert, der spezifiziert werden kann, um das Rühren intensiv zu ge-

stalten. Ein wesentliches Kriterium für den Erfolg des Verfahrens ist die Möglichkeit einer gezielten Kontrolle der Sekundärströmung. Für verschiedene Zielstellungen sind unterschiedliche Strömungsformen vorteilhaft.

- 5 Die vorliegende Erfindung kann in vorteilhafter Weise für das effiziente Rühren von Schmelzen und bei der gerichteten Erstarrung mehrkomponentiger Schmelzen eingesetzt werden. Um einen dabei eintretenden Mischungseffekt, z.B. bei der Reinigung oder dem Entgasen von Schmelzen, zu maximieren, ist es notwendig, die Intensität der volumengemittelten meridionalen Sekundärströmung  
10 im Vergleich zur primären azimuthalen Rotationsbewegung zu verstärken. Die Zielstellung bei einer Anwendung des Verfahrens bei der gerichteten Erstarrung metallischer Legierungen besteht darin, dass neben einer thermischen Homogenisierung der Schmelze die Richtung der Strömung in unmittelbarer Umgebung der Erstarrungsfront im Zeitverlauf so variiert werden soll, dass sich ein  
15 zeitlicher Mittelwert für die radiale Geschwindigkeitskomponente nahe Null ergibt.

Die vorliegende Erfindung zeigt, dass das Geschwindigkeitsfeld der meridionalen Sekundärströmung in deutlicher und nachvollziehbarer Weise von Variationen des Parameters  $T_P$  abhängt.  
20

Es wird offensichtlich, dass für eine effiziente Ausgestaltung des Verfahrens zum Rühren die zutreffende Einstellung der Periodendauer  $T_P$  im Hinblick auf die Zielstellung der jeweiligen Anwendung entscheidend ist. Bei der Spezifizierung von  $T_P$  sind die Stärke des Magnetfeldes, die Abmessungen und die Form  
25 des Schmelzenvolumens sowie die Materialeigenschaften der Schmelze einzubeziehen.

Die Erfindung wird nachstehend an zwei Ausführungsbeispielen mittels mehrerer Zeichnungen näher beschrieben.

30 Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Einrichtung zum elektromagnetischen Rühren zur Durchmischung einer flüssigen

Schmelze in Verbindung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren, wobei

- Fig. 1a einen schematischen Aufbau der Einrichtung in Vorderansicht,
- 5 Fig. 1b eine Draufsicht auf die Einrichtung nach Fig. 1a,
- Fig. 1c eine schematische Darstellung der Strömungsarten in einem in der horizontalen Ebene rotierenden Magnetfeld,
- Fig. 1d eine Periodendauer ( $T_P$ )-Temperatur ( $T$ )-Darstellung der Schmelze im flüssigen Zustand und im Übergang zur Erstarrung, wobei  $T_{sol}$  die Temperatur des Behälterbodens zu Beginn der Erstarrung bezeichnet, und
- 10 Fig. 1e eine Lorentzkraft ( $F_L/F_{LO}$ )-Zeit( $t$ )-Darstellung,
- Fig. 2 zwei schematische zylindrische Behälter mit flüssigen Metallschmelzen, wobei
- 15 Fig. 2a eine flüssige Schmelze eines Metalls und
- Fig. 2b zwei übereinander befindliche Schmelzen zweier unterschiedlicher Metalle im Ruhezustand (im entmischten Zustand)
- 20 zeigen,
- Fig. 3 die experimentell ermittelte Abhängigkeit der Intensität der meridionalen Sekundärströmung von der Periodendauer  $T_P$ ,
- 25 Fig. 4 Ergebnisse numerischer Simulationen zur Mischung von flüssigem Blei (Pb) und flüssigem Zinn (Sn): Mischungsverhalten bei gleicher Zeit nach Beginn der Mischung ( $t/t_{spin-up}=1.92$ ), wobei
- Fig. 4a kontinuierliches RMF,  $T_P = \infty$
- Fig. 4b  $T_P/t_{i.a.} = 1.03$ .
- 30 Fig. 4c  $T_P/t_{i.a.} = 2$ .
- zeigen.
- Fig. 5 Darstellung der Ergebnisse numerischer Simulationen zur Mischung

der Zinn-Konzentration in der unteren Behälterhälfte: Zeitliche Entwicklung der volumengemittelten Sn-Konzentration im unteren Behältervolumen für verschiedene Szenarios.

$$5 \quad \langle C_{Sn} \rangle = \frac{4 \int_0^{H_0/2} \int_0^{R_0} C_{Sn} r dr dz}{R_0^2 H_0}$$

- Fig. 6 Erstarrung einer Al-Si-Legierung unter Magnetfeldeinfluss,  $B_0 = 6.5 \text{ mT}$ , (Makrogefüge), wobei
- 10 Fig. 6a kontinuierliches RMF,  $T_p = \infty$   
 Fig. 6b  $T_p/t_{i.a.} = 1.67$  . .  
 Fig. 6c  $T_p/t_{i.a.} = 0.95$   
 zeigen, und
- 15 Fig. 7 Erstarrung einer Al-Si-Legierung unter Magnetfeldeinfluss (Mikrogefüge), wobei  
 Fig. 7a kontinuierliches RMF,  $T_p = \infty$   
 Fig. 7b  $T_p/t_{i.a.} = 1.67$   
 zeigen.
- 20 Fig. 8 eine radiale Verteilung des Flächenanteils an Primärkristallen in Al-7wt%Si-Proben (mit sieben Gewichtsanteilen Si), die unter Magnetfeldeinfluss mit Variation der Pulsdauer  $T_p$  erstarrt wurden.
- 25 In Fig. 1,1a,1b ist in einer schematischen Darstellung eine erfindungsgemäße Einrichtung 1 zum Rühren einer im flüssigen Zustand befindlichen Flüssigkeit in Form einer metallischen Schmelze 2 unter Verwendung eines in der horizontalen Ebene eine Lorentzkraft  $F_L$  erzeugenden, rotierenden Magnetfeldes gezeigt, wobei die Einrichtung 1 zumindest enthält
- 30 - einen zylindrischen Behälter 13 mit der darin befindlichen flüssigen Schmelze 2, wie in Fig. 2a gezeigt ist, oder 21,22, wie in Fig. 2b gezeigt ist,

- eine den Behälter 13 umgebende zentralsymmetrische Anordnung 3 von mindestens drei Paaren 31,32,33 von Induktionsspulen zur Ausbildung eines Lorentzkraft  $F_L$  erzeugenden, rotierenden Magnetfeldes und
- mindestens einen Temperatursensor 10 zur Temperaturmessung der Flüssigkeit 2,21,22 im Behälter 13.

Erfindungsgemäß stehen die Paare 31,32,33 der Induktionsspulen mit einer Steuer-/Regeleinheit 12 in Verbindung, die über eine angeschlossene Stromversorgungseinheit 11 einen Drehstrom  $I_D$  an die Paare 31,32,33 von Induktionsspulen weiterleitet, wobei die Phasenlage des die Paare 31,32,33 der Induktionsspulen speisenden Drehstromes  $I_D$  in regelmäßigen, zeitlichen Abständen entsprechend der vorgegebenen Periodendauer  $T_{PM}$  für die Durchmischung im flüssigen Zustand oder  $T_{PE}$  für die Durchmischung ab Beginn der Erstarrung um  $180^\circ$  verschoben wird und damit eine Umkehrung der Drehrichtung des Magnetfeldes und der die Strömung antreibenden Lorentzkraft  $F_L$  erreicht wird, wobei die Steuer-/Regeleinheit 12 mit dem Temperatursensor 10 in Verbindung steht, dessen Temperaturdaten zum Zeitpunkt des Erstarrungsbeginns das Umschalten der Periodendauer von  $T_{PM}$  zu  $T_{PE}$  auslösen.

Der zylindrische Behälter 13 ist mit der flüssigen, elektrisch leitfähigen ersten Schmelze 2 gefüllt. Der Behälter 13 befindet sich zentralsymmetrisch inmitten der Anordnung 3 der Induktionsspulenpaare 31,32,33, wie in Fig. 1b gezeigt ist. Die Induktionsspulenpaare 31,32,33 werden von einer Stromversorgungseinheit 11 mit einem Drehstrom  $I_D$  in Form eines Drei-Phasenwechselstroms gespeist und erzeugen ein um die Symmetrieachse 14 des Behälters 13 rotierendes, mit der Drehrichtung 15 (Pfeilrichtung) horizontal ausgerichtetes Magnetfeld. Die zeitliche Änderung der Magnetfeldstärke erzeugt eine Lorentzkraft  $F_L$  mit einer dominierenden azimuthalen Komponente, welche die Schmelze 2 in Fig. 2a oder 21,22 in Fig. 2b in eine Drehbewegung versetzt. Die Stromversorgungseinheit 11 der Induktionsspulenpaare 31,32,33 ist mit der Steuer-/Regeleinheit 12 verbunden, welche in vorgegebenen zeitlichen Abständen eine Verschiebung der Phasen des Drei-Phasenwechselstromes  $I_D$  bewirkt. Die Phasenverschiebung hat zur Folge, dass sich die Drehrichtung 15 des horizontal ausgerichteten



Magnetfeldes während des Phasenwechsels in die Drehrichtung 16 umkehrt, wie in Fig. 1b gezeigt ist.

Das Verfahren kann eingesetzt werden, beispielsweise um die Temperaturverteilung in einer einkomponentigen Schmelze 2, wie in Fig. 2a gezeigt ist, zu homogenisieren oder um einen Konzentrationsausgleich in entmischten mehrkomponentigen Schmelzen 21,22, wie in Fig. 2b gezeigt ist, herbeizuführen, wobei sich die Schmelze 22 mit der höheren Dichte vor Beginn des Mischens im unteren Teil des Behälters 13 befindet und von der leichteren Schmelze 21 bedeckt wird.

Die Funktionsweise der Einrichtung 1 wird gemäß der Fig. 1 und der Fig. 2a,2b näher erläutert.

Das Verfahren zum elektromagnetischen Rühren basiert auf einer periodischen Umkehr der Richtung der die Strömung antreibenden Lorentzkraft  $F_L$ . Der Charakter der Strömung wird durch einen periodischen Wechsel der Drehrichtung 15-16,16-15 des Magnetfeldes  $B_0$  bestimmt. Zum Zeitpunkt der Richtungsumkehr wird die Strömung gebremst und die Schmelze 2;21,22 in die entgegengesetzte Richtung beschleunigt. Die Lorentzkraft  $F_L$  variiert in axialer Richtung mit der zugehörigen Kraftkomponente und besitzt ein Maximum in der Mittelebene 17 des Behälters 13. Bei einer Umpolung der Drehrichtung 15 des Magnetfeldes wird die Schmelze 2;21,22 in der Umgebung der Mittelebene 17 stärker abgebremst und in die Gegenrichtung 16 beschleunigt als dies in der Nähe des Bodens 4 des Behälters 13 und der freien Oberfläche 5 der Fall ist. Die Ungleichzeitigkeiten bei der Richtungsumkehrung 15-16,16-15 der Strömung erzeugen starke Gradienten der Rotationsbewegung in axialer Richtung der Symmetrieachse 14. Das Auftreten derartiger Gradienten führt, wie in Fig. 1c gezeigt ist, zu einer Anfachung der meridionalen Sekundärströmung 18. Im Zeitraum der Umkehr der Strömungsrichtung tritt somit eine intensive Sekundärströmung 18 bei gleichzeitig schwach ausgeprägter Rotationsbewegung 19 auf. Die Durchmischung der Schmelze 2;21,22 wird umso effizienter, je besser die Intensitäten von primärer azimuthaler Rotationsbewegung 19 und der meridionalen Sekundärströmung 18 einander angenähert werden können. Erreicht werden kann

dies über einen längeren Zeitraum hinweg durch ständig wiederkehrende Richtungswechsel des Magnetfeldes  $B_0$ . In diesem Zusammenhang spielt, wie in Fig. 1d,1e gezeigt ist, die Einstellung der Periodendauer  $T_P$  eine entscheidende Rolle. Ist die Periodendauer  $T_P$  zu lang, nimmt die primäre azimuthale Rotationsbewegung 19 im Vergleich zur meridionalen Sekundärströmung 18 deutlich an Intensität zu. Eine kürzere Periodendauer  $T_P$  ist von Vorteil, da häufigere Richtungswechsel 15-16,16-15 die Sekundärströmung 18 verstärken. Wird die Periodendauer  $T_P$  aber zu klein, kann die Schmelze 2;21,22 nicht ausreichend beschleunigt werden, sowohl primäre Rotationsbewegung 19 als auch Sekundärströmung 18 verlieren an Intensität. Somit existiert, wie in Fig. 1e gezeigt ist, ein bestimmter optimaler Wert der Periodendauer  $T_P$ , der von der Magnetfeldstärke  $B_0$ , Größe und Form des Volumens und den Materialeigenschaften der Schmelze 2;21,22 abhängt.

- 15 Ein effizientes Rühren der flüssigen Schmelze 2;21,22, d.h. eine maximierte Rührwirkung bei möglichst geringem Energieaufwand, wird erreicht, wenn die Periodendauer  $T_P$  gemäß Fig. 1d wie folgt festgelegt wird:

$$0.5 \cdot t_{i.a.} < T_P < 1.5 \cdot t_{i.a.} \quad (I)$$

- 20 Der Parameter  $t_{i.a.}$  ist die sogenannte Einstellzeit (engl. initial adjustment time) und bezeichnet die Zeitskala, in der sich nach einem abrupten Zuschalten eines rotierenden Magnetfeldes in einer Schmelze 2;21,22, die sich zuvor im Ruhezustand befand, der für die meridionale Sekundärströmung 18 typische Doppelwirbel herausbildet. Die Einstellzeit  $t_{i.a.}$  wird durch folgende Gleichung definiert

$$25 \quad t_{i.a.} = C_g \cdot \left( B_0 \sqrt{\frac{\sigma \omega}{\rho}} \right)^{-1}, \quad (III)$$

wobei die Variablen  $\sigma$ ,  $\rho$ ,  $\omega$  und  $B_0$  die elektrische Leitfähigkeit und die Dichte der Schmelze, die Frequenz und die Amplitude des Magnetfeldes bezeichnen, während die Konstante  $C_g$  den Einfluss von Größe und Form des Schmelzenvolumens beschreibt und Zahlenwerte zwischen Drei und Fünf annehmen kann.

30

In einem Plexiglaszylinder 13 mit einem Durchmesser  $2r$  und einer Höhe von je 60mm wurde die Strömung einer GaInSn-Schmelze 21,22 mit Hilfe des Ultra-

schall-Doppler-Verfahrens vermessen. Fig. 3 zeigt den entlang einer axialen Linie bei  $r = 18\text{mm}$  gemessenen quadratischen Mittelwert der vertikalen Geschwindigkeit  $U_z^2$  in Abhängigkeit von der Periodendauer  $T_P$ . Die experimentellen Ergebnisse belegen die Existenz einer bestimmten Periodendauer  $T_P$ , bei der die Intensität der meridionalen Sekundärströmung ein Maximum erreicht. Die Lage des Maximums  $U_{z\max}^2$  variiert mit der Magnetfeldstärke und entspricht der jeweiligen Einstellzeit  $t_{i.a.}$ .

Mit der Erfindung können verschiedene Schmelzen 21,22, wie in Fig. 2b gezeigt ist, miteinander vermischt werden. Z.B. können sich in dem zylindrischen Behälter 13 je zur Hälfte flüssiges Blei 22 und flüssiges Zinn 21 befinden. Das Blei 22 ist deutlich schwerer und lagert vor Beginn des Mischens in der unteren Hälfte des Behälters 13. Zu einem definierten Zeitpunkt wird das rotierende Magnetfeld  $B_0$  zugeschaltet, dessen Drehrichtung in regelmäßigen, zeitlichen Abständen umgekehrt wird. Die Fig.4 und die Fig.4a,4b,4c enthalten die Ergebnisse numerischer Simulationen bei einem Magnetfeld von 1 mT im Hinblick auf die Konzentrationsverteilung von Blei (schwarz) 22 und Zinn (weiß) 21 in einer r-z-Halbebene nach einer bestimmten Zeit von 20s, wobei

Fig. 4a mit  $T_P = 0$

Fig. 4b mit  $T_P = 1.03 t_{i.a.}$

Fig. 4c mit  $T_P = 2 t_{i.a.}$

Ein Vergleich der in Fig. 5 dargestellten Ergebnisse numerischer Simulationen zur Mischung der Zinn-Konzentration  $C_{Sn}$  in der unteren Behälterhälfte für eine zeitliche Entwicklung der volumengemittelten Sn-Konzentration im unteren Behältervolumen für verschiedene Szenarios in Bezug auf die Strömungen in Fig. 4a,4b,4c

$$\langle C_{Sn} \rangle = \frac{4 \int_0^{H_0/2} \int_0^{R_0} C_{Sn} r dr dz}{R_0^2 H_0}$$

für verschieden eingestellte Werte für die Periodendauer  $T_P$  zeigt, dass die Durchmischung am schnellsten für die Periodendauer  $T_P \approx t_{i.a.}$  vonstatten geht. Die Darstellung wird durch die zeitliche Entwicklung der Zinn-Konzentration 21

in der unteren Behälterhälfte ( $R_0$  – Radius,  $H_0$  – Höhe des Behälters) bestätigt, welche in Fig. 4b dargestellt ist. Besonders festzuhalten ist in diesem Zusammenhang, dass bei der Einstellung eines ungeeigneten Wertes der Periodendauer  $T_P$  im Hinblick auf eine Homogenisierung des Schmelzenvolumens schlechtere Ergebnisse erzielt werden als bei der Anwendung eines kontinuierlich rotierenden Magnetfeldes.

Die in Fig. 2 dargestellte Einrichtung 1 des mit einer elektrisch leitfähigen Schmelze 2 gefüllten zylindrischen Behälters 13 in der Anordnung 3 von Induktionsspulenpaaren 31,32,33, wie in Fig. 1,1a,1b gezeigt ist, kann durch eine Kühleinrichtung 23 für die Erstarrung metallischer Schmelzen 2 ergänzt sein. Die Kühleinrichtung 23 enthält einen Metallblock 6, in dessen Innern Kühlkanäle 7 vorhanden sind. Der Behälter 13 steht auf dem Metallblock 6. Die im Innern des Metallblocks 6 befindlichen Kühlkanäle 7 werden während des Erstarrungsprozesses von einem Kühlmittel durchflossen. Mittels der Kühleinrichtung 23 wird der Schmelze 2 die Wärme nach unten entzogen. Eine thermische Isolierung 8 des Behälters 13 verhindert Wärmeverluste in radialer Richtung. Am Boden 4 und den Seitenwänden 20 des Behälters 13 ist mindestens ein Temperatursensor 10, z.B. in Form eines Thermoelements angebracht. Die Temperaturmessungen ermöglichen eine Überwachung des Beginns und des Verlaufs des Zustandes der Erstarrung und ermöglichen eine zeitnahe Anpassung der Magnetfeldparameter (z.B.  $B_0$  und  $T_P$ ) durch die mittels der Steuer-/Regeleinheit 12 gesteuerte Stromversorgungseinheit 11 an die einzelnen Stadien des Erstarrungsprozesses.

25

Zum weiterführenden Rühren der erstarrenden Schmelze 2 wird die periodische Umkehr der Richtung der die Strömung antreibenden Lorentzkraft  $F_L$  fortgesetzt. Die Periodendauer  $T_{PE}$  wird, wie in Fig.1d gezeigt ist, derart eingestellt, dass die Schmelze 2 gut durchmischt wird und die Richtung der meridionalen Sekundärströmung 18 in der Umgebung der Erstarrungsfront einem ständigen Richtungswechsel unterliegt.

30

Al-Si-Legierungen 21,22 können in der erfindungsgemäßen Einrichtung 1 gemäß Fig. 1,2b temperaturkontrolliert gerichtet erstarren. Die erhaltenen Gefügeeigenschaften werden anhand der Fig. 6a, 6b, 6c, 7a, 7b und 8 bezüglich der Ausbildung kolumnarer Dendriten, der Kornfeinung und der Entmischung näher erläutert:

Fig. 6 zeigt das Makrogefüge im Längsschnitt zylindrischer Blöcke einer Al-7wt%Si-Legierung, z.B. bei einem Durchmesser von 50mm und einer Höhe von 60mm, die unter Einwirkung eines rotierenden Magnetfeldes bei einer Feldstärke  $B_0$  von 6.5mT gerichtet erstarrt wurden. Im hier vorliegenden Fall wurde das Magnetfeld mit einer zeitlichen Verzögerung von 30s nach Beginn der Erstarrung am Behälterboden eingeschaltet. Im Zeitraum bis zum Einsetzen der elektromagnetisch angetriebenen Strömung wächst ein grobes kolumnares Gefüge parallel zur Symmetrieachse des Behälters. Im Fall eines kontinuierlich wirkenden rotierenden Magnetfeldes bildet sich zunächst ein modifiziertes kolumnares Gefüge, wie in Fig. 7a gezeigt, heraus, d.h. die kolumnaren Körner werden feiner und wachsen zur Seite geneigt. In der Mitte des Probekörpers ist ein Morphologieübergang vom kolumnaren zum equiaxialen Kornwachstum zu beobachten. An der Erstarrungsfront transportiert die Sekundärströmung Si-reiche Schmelze zur Symmetrieachse 14 hin. Dies führt zu typischen Entmischungsmustern, die eine Verarmung eutektischer Phasen in den Randzonen und eine Konzentration im Bereich der Symmetrieachse 14 aufweisen. Dies ist gleichbedeutend mit einer Erhöhung des Anteils an Primärkristallen nahe der Seitenwände und Reduzierung des Anteils an Primärkristallen im Zentrum der Probe.

In Fig. 8 ist eine radiale Verteilung des Flächenanteils an Primärkristallen in Al-7wt%Si-Proben (mit sieben Gewichtsanteilen Si), die unter Magnetfeldeinfluss mit Variation der Pulsdauer  $T_P$  erstarrt wurden.

Die Fig. 6 bis 8 zeigen, dass im Falle des elektromagnetischen Rührens mit Richtungswechsel des Magnetfeldes mit Einschalten des Magnetfeldes ein direkter Übergang zum equiaxialen Kornwachstum erreicht werden kann. Der periodische Wechsel der Drehrichtung des Magnetfeldes führt in jedem Fall zu ei-

ner Verringerung der Entmischung, die bei geeigneter Wahl der Pulsdauer  $T_p$  auch nahezu völlig vermieden, wie in Fig. 7b gezeigt ist, werden kann.

Die Vorteile der Erfindung bestehen im Folgenden:

- 5 - Ausbildung einer intensiven, dreidimensionalen Strömung im Innern der Metallschmelze 2;21,22,
- sehr gute Durchmischung der Metallschmelze 2;21,22 durch intensive meridionale Sekundärströmung 18,
- geringerer Energieaufwand im Vergleich zum kontinuierlich rotierenden Magnetfeld, da nicht der überwiegende Teil der aufgewendeten Energie für in die  
10 Aufrechterhaltung der azimuthalen Rotationsströmung aufgebracht werden muss, und ein höherer Energieanteil in die für die Durchmischung effektivere meridionale Sekundärströmung 18 aufgebracht wird,
- die erfindungsgemäß festgelegte Frequenz der periodischen Richtungsumkehr der meridionalen Sekundärströmung 18 ermöglicht bestimmbare Werte  
15 für die Durchmischung oder bei gerichteter Erstarrung,
- Störungen und Auslenkungen der freien, in Fig. 1,2a,2b dargestellten Oberfläche 5 der Schmelze 2;21,22 mit unerwünschten Effekten, wie Schlackeneinschlüsse, werden vermieden,
- 20 - bei der gerichteten Erstarrung kann die Ausbildung von Entmischungszonen im Erstarrungsgefüge, die die mechanischen Eigenschaften verschlechtern, vermieden werden,
- nur ein Magnetsystem und damit geringerer apparativer und regelungstechnischer Aufwand gegenüber übereinander angeordneten, gegenläufig rotierenden  
25 Systemen sind erforderlich.

Die Anwendung der Erfindung kann für das Mischen von Metallschmelzen 2;21,22, für das Stranggießen, zur gerichteten Erstarrung von vermischten metallischen Legierungen und zur gerichteten Erstarrung von Halbleiterschmelzen  
30 u.a. eingesetzt werden.

Bezugszeichenliste

1 Einrichtung

- 2 erste Schmelze
- 3 Anordnung von Induktionsspulen
- 31 erstes Paar Induktionsspulen
- 32 zweites Paar Induktionsspulen
- 5 33 drittes Paar Induktionsspulen
- 4 Bodenplatte
- 5 Oberfläche
- 6 Metallblock
- 7 Kühlkanäle
- 10 8 Isolierung
- 9 Kühlkörper
- 10 Temperatursensor
- 11 Stromversorgungseinheit
- 12 Steuer-/Regeleinheit
- 15 13 Behälter
- 14 Symmetrieachse
- 15 Erste Drehrichtung
- 16 zweite Drehrichtung
- 17 Mittelebene
- 20 18 meridionale Sekundärströmung
- 19 azimutale Rotationsströmung
- 20 Seitenwände
- 21 zweite Schmelze
- 22 dritte Schmelze
- 25 23 Kühleinrichtung

- $T_P$  Periodendauer
- $T_{PM}$  Periodendauer bei Durchmischung
- $T_{PE}$  Periodendauer zu Beginn der Erstarrung
- 30  $T_{Pause}$  Pausendauer
- $t_{i.a}$  Einstellzeit

# Patentansprüche

1. Verfahren zum elektromagnetischen Rühren von elektrisch leitenden Flüssigkeiten (2,21,22) im flüssigen Zustand und/oder im Zustand des Beginns der Erstarrung der Flüssigkeit (2,21,22) unter Verwendung eines in der horizontalen Ebene eine Lorentzkraft ( $F_L$ ) erzeugenden, rotierenden Magnetfeldes,  
 5 dadurch gekennzeichnet,  
 dass die Drehrichtung (15,16) des in der horizontalen Ebene rotierenden Magnetfeldes in regelmäßigen, zeitlichen Abständen in Form einer Periodendauer ( $T_P$ ) gewechselt wird, wobei die Frequenz des Richtungswechsels der Bewegung des Magnetfeldvektors derart eingestellt wird,  
 10 dass im Zustand der Durchmischung der flüssigen Flüssigkeit (2,21,22) eine Periodendauer ( $T_P$ ) zwischen zwei Richtungswechseln des Magnetfeldes in einem Zeitintervall ( $\Delta T_{PM}$ ) in Abhängigkeit von der Einstellzeit ( $t_{i.a.}$ ) mit der Bedingung  
 15 (I)  $0.5 \cdot t_{i.a.} < T_{PM} < 1.5 \cdot t_{i.a.}$  vorgesehen wird, und  
 dass zu Beginn des Zustandes der Erstarrung der Flüssigkeit (2,21,22) eine Periodendauer ( $T_P$ ) zwischen zwei Richtungswechseln des Magnetfeldes in einem Zeitintervall ( $\Delta T_{PE}$ ) in Abhängigkeit von der Einstellzeit  $t_{i.a.}$  mit der Bedingung  
 20 (II)  $0.8 \cdot t_{i.a.} < T_{PE} < 4 \cdot t_{i.a.}$  eingestellt wird,  
 wobei die Einstellzeit ( $t_{i.a.}$ ) durch die Gleichung  
 (III)  $t_{i.a.} = C_g \cdot \left( B_0 \sqrt{\frac{\sigma \omega}{\rho}} \right)^{-1}$  gegeben wird,  
 25 in der sich nach einem Zuschalten des rotierenden Magnetfeldes in einer sich im Ruhezustand befindenden Flüssigkeit (2,21,22) der Doppelwirbel der meridionalen Sekundärströmung (18) ausbildet, und  $\sigma$  als elektrische Leitfähigkeit,  $\rho$  als Dichte der Flüssigkeit (2,21,22),  $\omega$  als Frequenz und  $B_0$  als Amplitude des Magnetfeldes und  $C_g$  als Konstante für den Einfluss von  
 30 Größe und Form des Volumens der Flüssigkeit (2,21,22) definiert werden.



2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass zur Ausbildung des rotierenden Magnetfeldes ein Drehstrom ( $I_D$ ) in  
Form eines Drei-Phasenwechselstroms an mindestens drei an einem zy-  
lindrischen, die Flüssigkeit (2,21,22) enthaltenden Behälter (13) platzierte  
5 Paare (31,32,33) von Induktionsspulen angelegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
10 dass in den Behälter (13) als elektrisch leitende Flüssigkeiten metallische  
oder Halbleiterschmelzen (2,21,22) eingefüllt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
15 dass bei der Durchmischung einer sich abkühlenden Schmelze (2,21,22)  
eine Periodendauer ( $T_P$ ) mit
  - a.  $0.5 \cdot t_{i.a.} < T_{PM} < 1.5 \cdot t_{i.a.}$  gewählt wird,solange die Schmelze (2,21,22) noch vollständig flüssig ist, während mit  
Beginn des Zustandes der Erstarrung die Periodendauer ( $T_P$ ) so vergrößert  
20 wird, dass
  - (II)  $0.8 \cdot t_{i.a.} < T_{PE} < 4 \cdot t_{i.a.}$  erfüllt wird.
5. Verfahren nach mindestens einem vorhergehenden Anspruch,  
dadurch gekennzeichnet,  
25 dass entsprechend der sich im Verlauf des Zustands der gerichteten Er-  
starrung verringernden Höhe ( $H_0$ ) des Volumens der Schmelze (2;21,22)  
die Amplitude ( $B_0$ ) des Magnetfeldes nachgeregelt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5,  
30 dadurch gekennzeichnet,  
dass im Zustand einer temperaturkontrolliert gerichteten Erstarrung die  
Amplitude ( $B_0$ ) des Magnetfeldes entsprechend dem Prozeßverlauf so er-

höht wird, dass die Amplitude ( $B_0$ ) dem jeweiligen Maximum der beiden Werte

$$B_1 = \sqrt{\frac{\rho}{\sigma\omega}} \cdot \frac{100 \cdot V_{sol}}{H_0} \quad (IV) \quad \text{und}$$

$$B_2 = \sqrt{\frac{\rho}{\sigma\omega}} \cdot \frac{40 \cdot V_{sol}^{3/2}}{\sqrt{H_0\nu}} \quad (V)$$

- 5 entspricht, wobei  $\nu$  als kinematische Viskosität der Schmelze (2,21,22),  $V_{sol}$  als Erstarrungsgeschwindigkeit und  $H_0$  als Höhe des Schmelzenvolumens und  $B_1$  und  $B_2$  als untere Grenzwerte der Amplitude des Magnetfeldes  $B_0$  definiert werden.
- 10 7. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die jeweiligen Periodendauern bei Durchmischung ( $T_{PM}$ ) und Erstarrungsbeginn ( $T_{PE}$ ), in denen das Magnetfeld zugeschaltet anliegt, durch Pausen der Pausendauer ( $T_{Pause}$ ), in denen kein Magnetfeld an der
- 15 Schmelze (2,21,22) anliegt, unterbrochen werden, wobei die Pausendauer ( $T_{Pause}$ ) zur jeweiligen Periodendauer ( $T_P$ ) mit  $T_{Pause} \leq 0.5 \cdot T_P$  eingestellt wird.
- 20 8. Verfahren nach Anspruch 1 bis 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass bei der Modulierung des Verlaufs der Lorentzkraft ( $F_L$ ) anstelle der Rechteckfunktion andere Pulsformen, wie beispielsweise Sinus, Dreieck oder Sägezahn, realisiert werden, wobei der Verlauf und der Maximalwert der Amplitude ( $B_0$ ) des Magnetfeldes so festgelegt werden, dass sich für
- 25 die verschiedenen Pulsformen ein identischer Energieeintrag ergibt.
9. Einrichtung (1) zum elektromagnetischen Rühren von elektrisch leitenden Flüssigkeiten (2,21,22) im flüssigen Zustand und/oder im Zustand des Beginns der Erstarrung der Flüssigkeit (2,21,22) unter Verwendung eines in
- 30 der horizontalen Ebene eine Lorentzkraft ( $F_L$ ) erzeugenden, rotierenden

Magnetfeldes mittels des Verfahrens nach Anspruch 1 bis 8, zumindest enthaltend

- einen zylindrischen Behälter (13),
- eine den Behälter (13) umgebende zentralsymmetrische Anordnung (3) von mindestens drei Paaren (31,32,33) von Induktionsspulen zur Ausbildung eines eine Lorentzkraft ( $F_L$ ) erzeugenden, rotierenden Magnetfeldes und
- mindestens einen Temperatursensor (10) zur Temperaturmessung der Flüssigkeit (2,21,22) im Behälter (13),

dadurch gekennzeichnet,  
dass die Paare (31,32,33) der Induktionsspulen mit einer Steuer- und Regeleinheit (12) in Verbindung stehen, die über eine angeschlossene Stromversorgungseinheit (11) einen Drehstrom ( $I_D$ ) an die Paare (31,32,33) von Induktionsspulen weiterleitet, wobei die Phasenlage des die Paare (31,32,33) der Induktionsspulen speisenden Drehstromes ( $I_D$ ) in regelmäßigen, zeitlichen Abständen entsprechend der vorgegebenen Periodendauer ( $T_{PM}$ ) für die Durchmischung im flüssigen Zustand oder ( $T_{PE}$ ) für die Durchmischung ab Beginn der Erstarrung um  $180^\circ$  verschoben wird und damit eine Umkehrung der Drehrichtung des Magnetfeldes und der die Strömung antreibenden Lorentzkraft ( $F_L$ ) erreicht wird, wobei die Steuer-/Regeleinheit (12) mit dem Temperatursensor (10) in Verbindung steht, dessen Temperaturdaten zum Zeitpunkt des Erstarrungsbeginns das Umschalten der Periodendauer von  $T_{PM}$  zu  $T_{PE}$  auslösen.

10. Einrichtung nach Anspruch 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Drehstrom ( $I_D$ ) als ein Drei-Phasenwechselstrom ausgebildet ist.

11. Einrichtung nach Anspruch 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Behälter (13) mit der Flüssigkeit in Form einer Schmelze (2;21,22) konzentrisch innerhalb der Induktionsspulen (31,32,33) angeordnet ist.

12. Einrichtung nach Anspruch 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Behälter (13) mit einer Heizeinrichtung und/oder Kühleinrichtung  
5 (23) versehen ist.
13. Einrichtung nach Anspruch 9 bis 12,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die dem Behälter (13) zugehörige Bodenplatte (4) in direktem Kontakt  
10 mit einem festen Metallkörper (9) steht, welcher im Innern von einem  
Kühlmedium durchflossen wird.
14. Einrichtung nach Anspruch 9 bis 13,  
dadurch gekennzeichnet,  
15 dass die Seitenwände (20) des Behälters (13) thermisch isoliert sind.
15. Einrichtung nach Anspruch 13,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Kühlkörper (9) mit einem Thermostaten in Verbindung steht.  
20
16. Einrichtung nach Anspruch 12 bis 15,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass sich zwischen Kühlkörper (9) und Behälter (13) ein Flüssigmetallfilm  
befindet, um einen stabilen Wärmeübergang bei geringem Übergangswi-  
25 derstand zu erzielen.
17. Einrichtung nach Anspruch 16,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Flüssigmetallfilm aus einer Galliumlegierung besteht.  
30
18. Einrichtung nach Anspruch 9 bis 17,  
dadurch gekennzeichnet,

5 dass in der Bodenplatte (4) und/oder den Seitenwänden (20) des Behälters (13), in dem sich die Schmelze (2;21,22) befindet, mindestens ein Temperatursensor (10), vorzugsweise in Form eines Thermoelements positioniert ist, welches ein Informationssignal über den Zeitpunkt des Beginns der Erstarrung liefert und mit der Steuer-/Regeleinheit (12) verbunden ist.

- 10 19. Verwendung der Einrichtung (1) zum elektromagnetischen Rühren von elektrisch leitenden Flüssigkeiten (2,21,22) nach den Ansprüchen 9 bis 18 in Form von metallischen Schmelzen in metallurgischen Prozessen oder in Form von Halbleiterschmelzen in der Kristallzüchtung, zur Reinigung von Metallschmelzen, beim Stranggießen oder bei der Erstarrung metallischer Werkstoffe mittels des Verfahrens nach Anspruch 1 bis 8.

Fig. 1

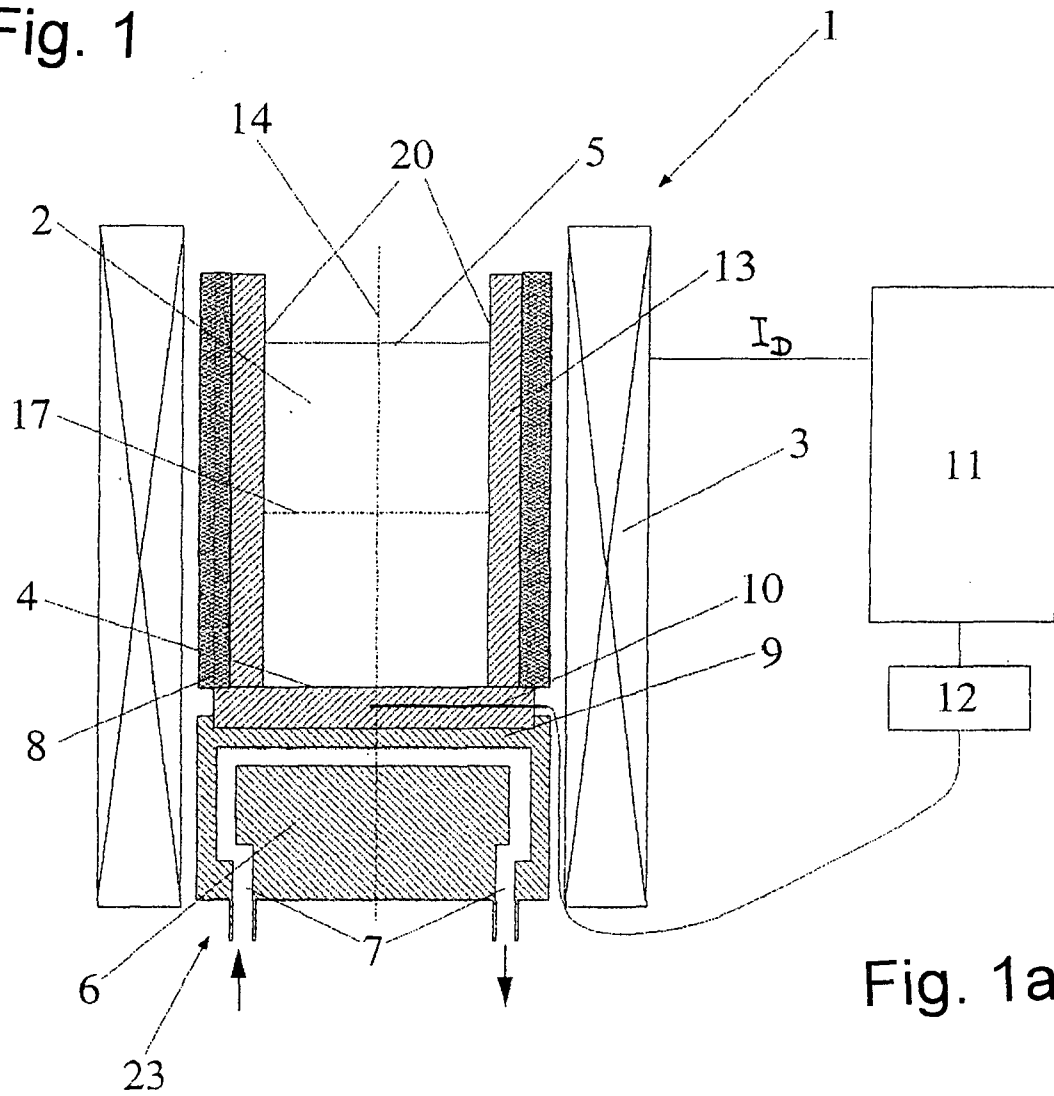


Fig. 1a

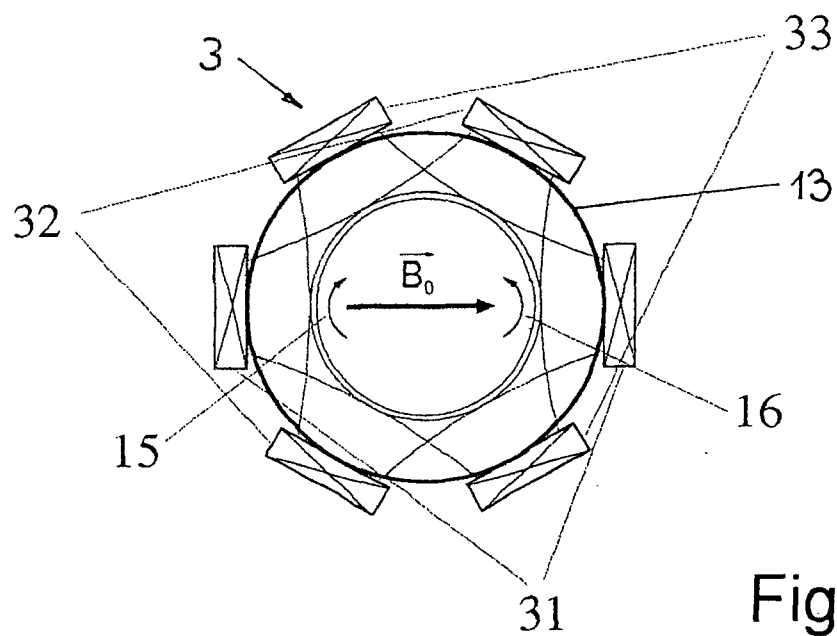


Fig. 1b

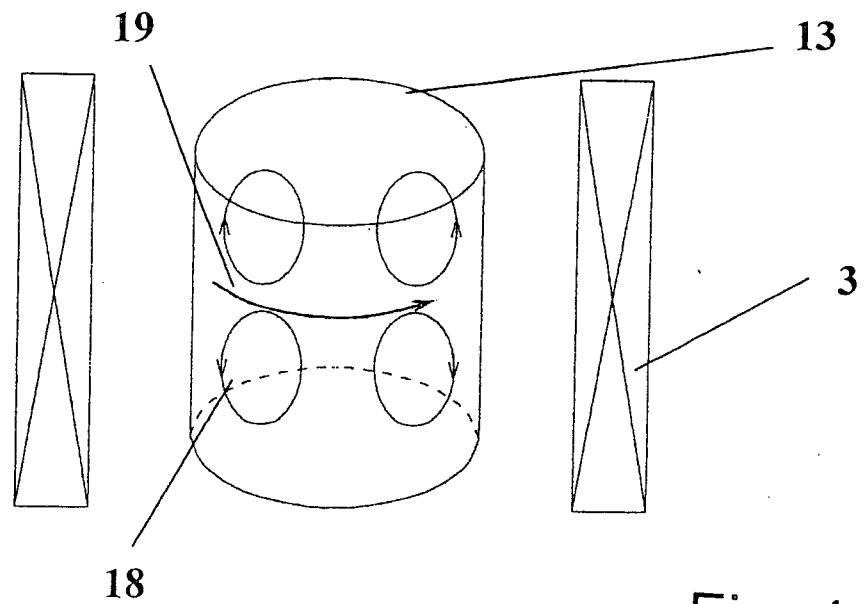


Fig. 1c

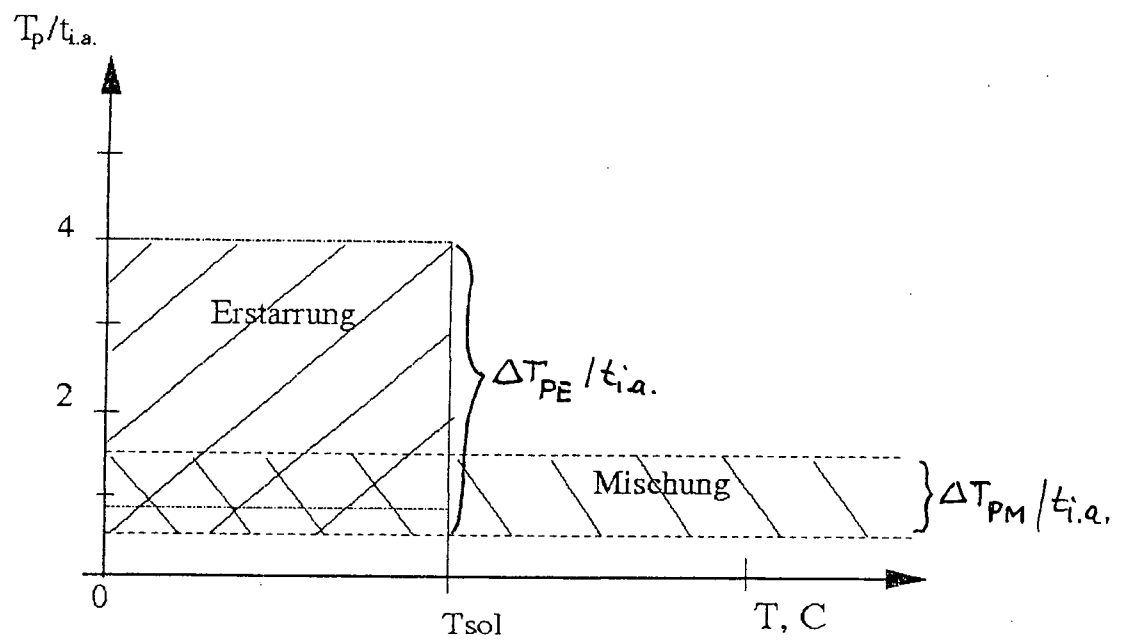


Fig. 1d

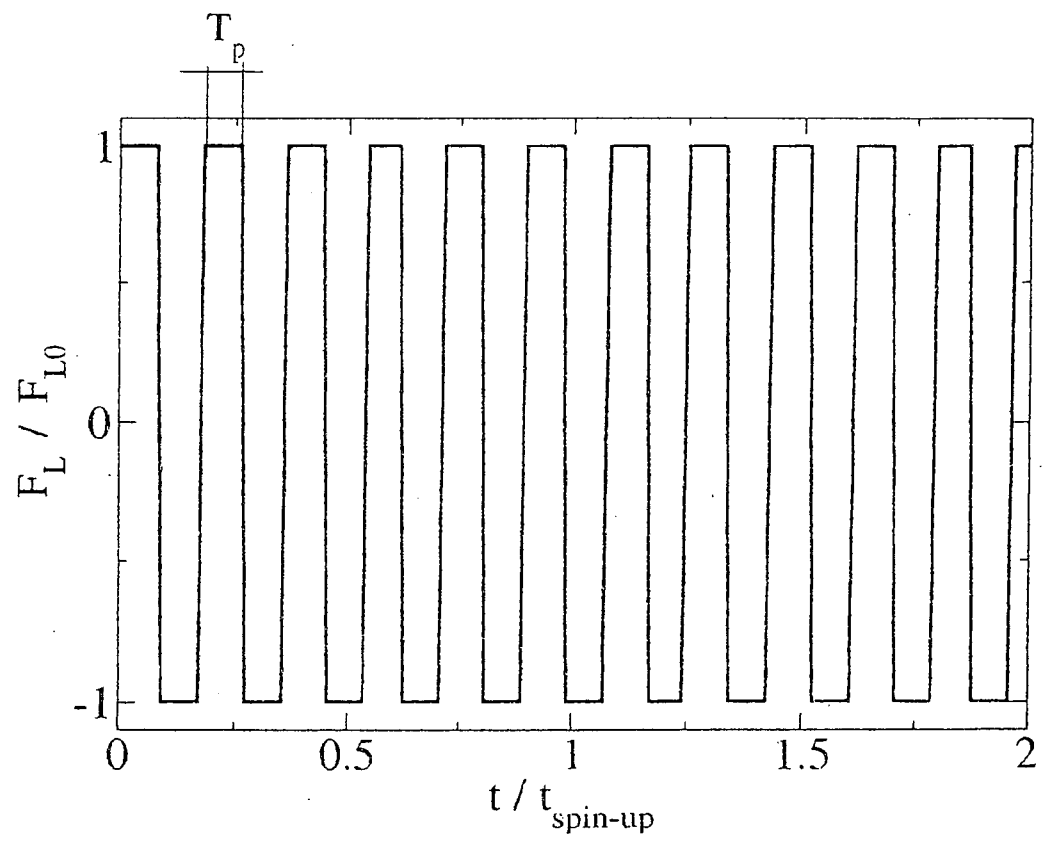


Fig. 1e



Fig. 2

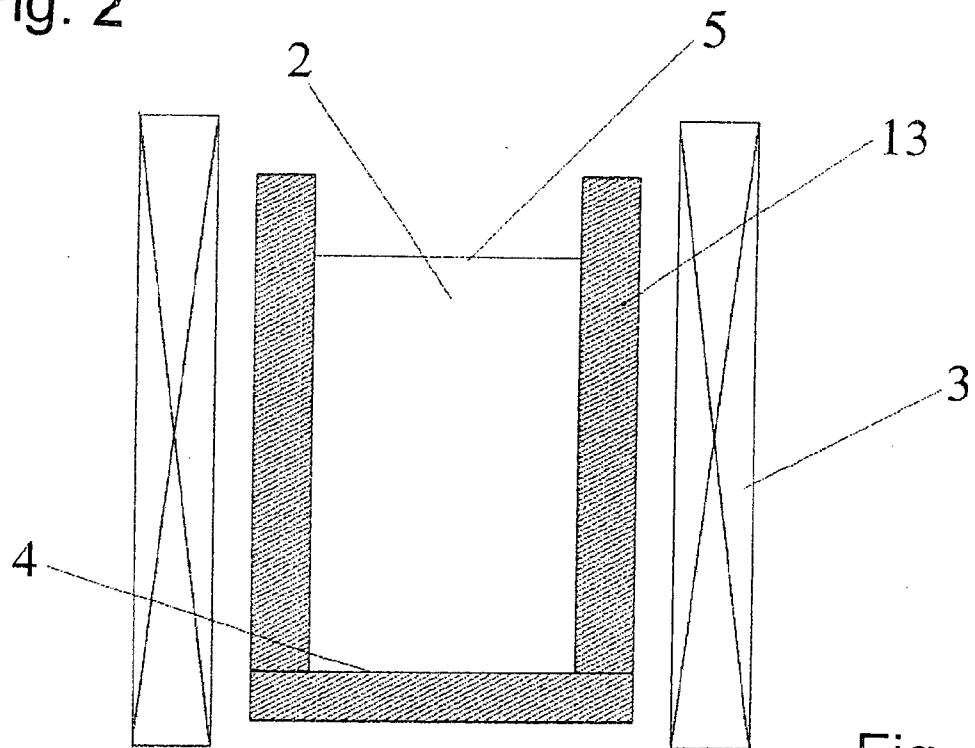


Fig. 2a

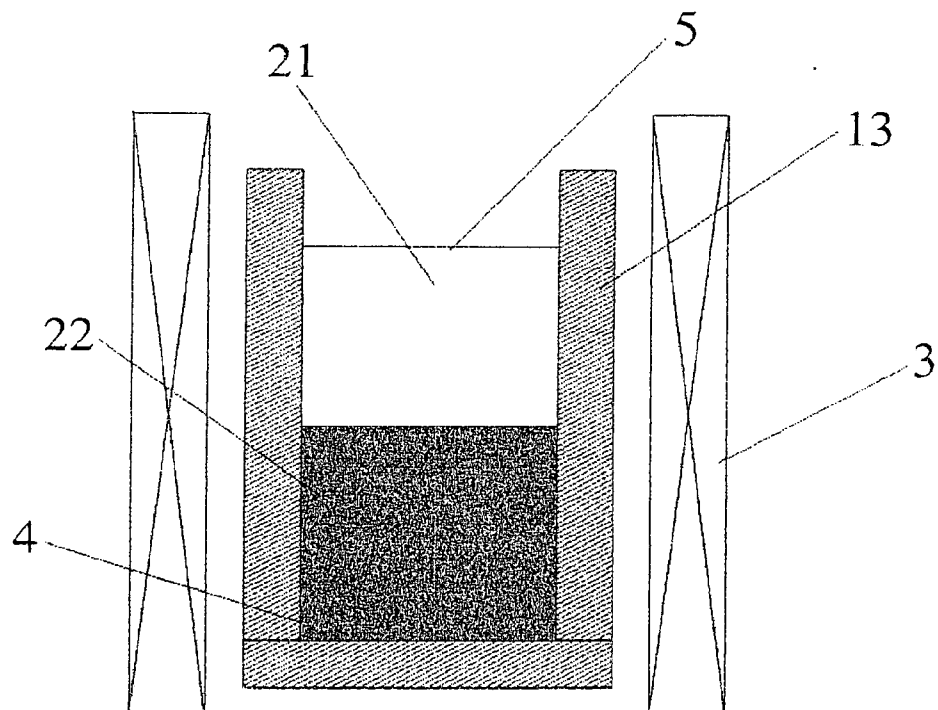


Fig. 2b

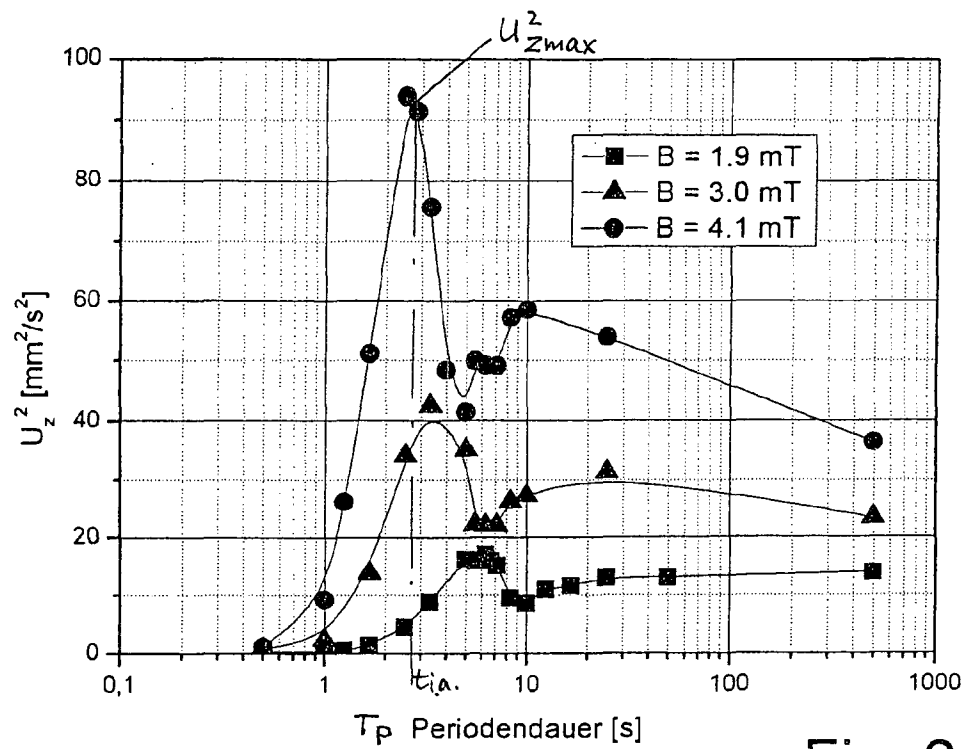


Fig. 3

Fig. 4

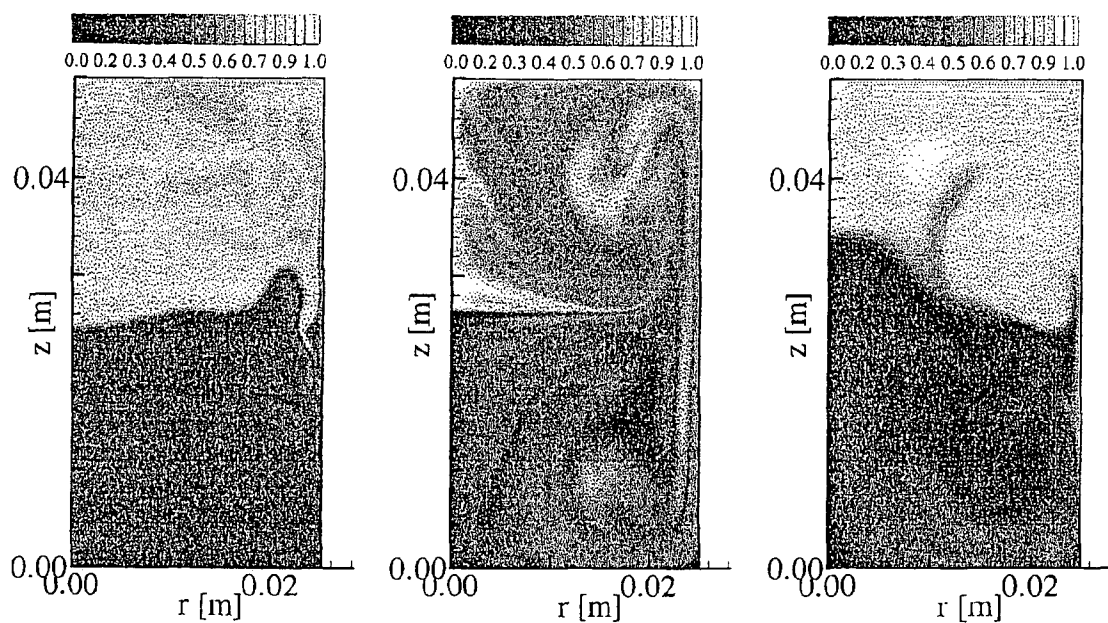


Fig. 4a

Fig. 4b

Fig. 4c

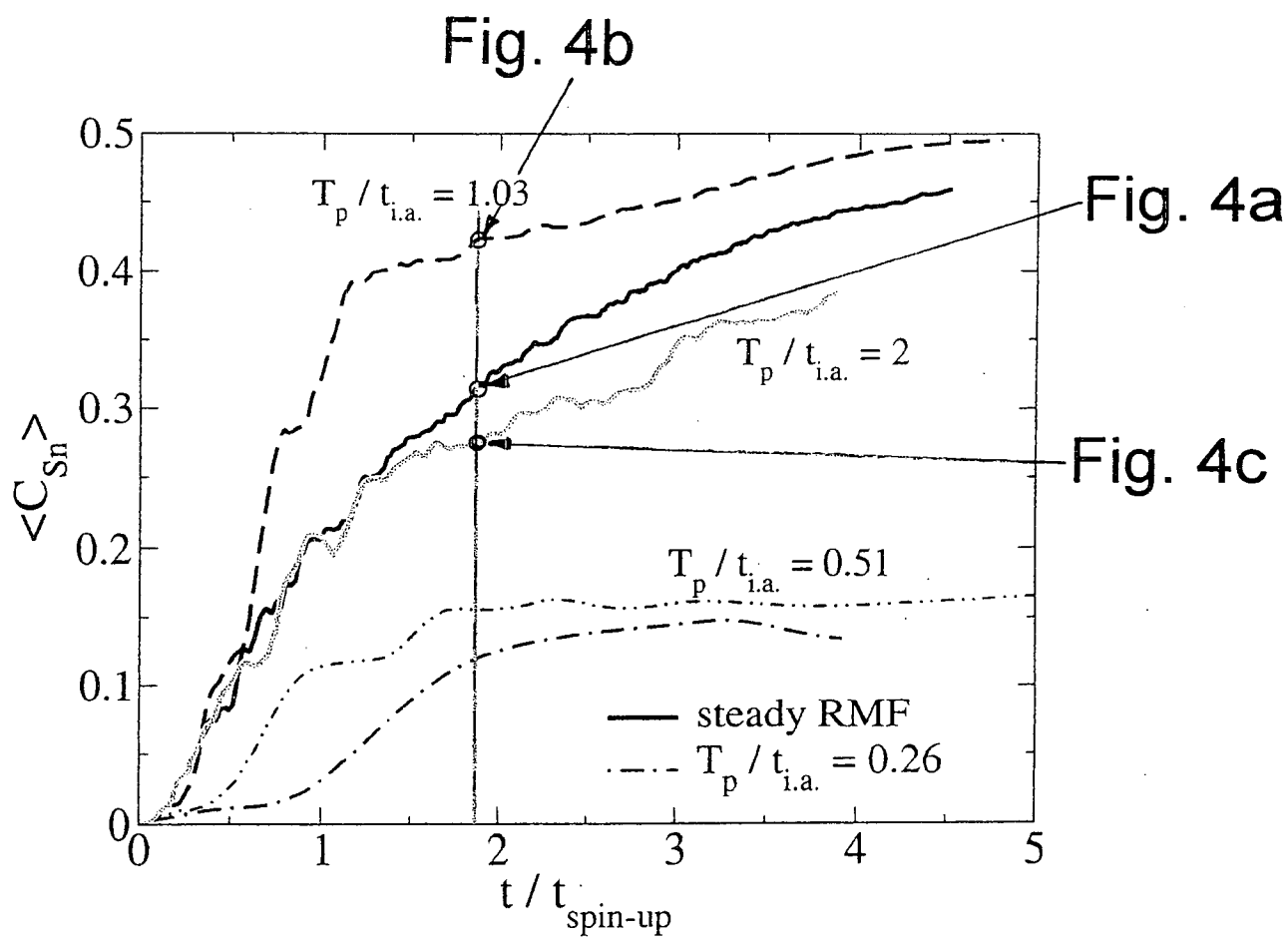


Fig. 5

Fig. 6

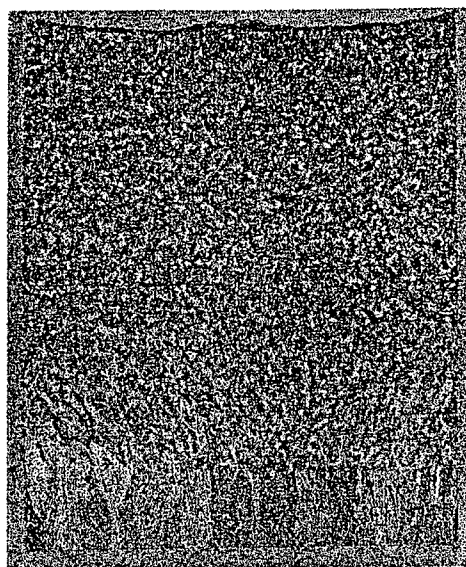


Fig. 6a

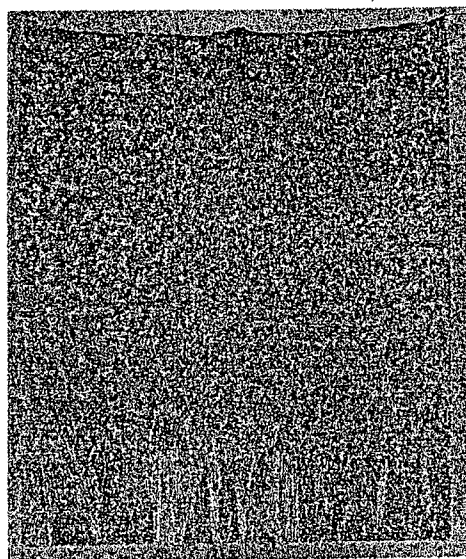


Fig. 6b

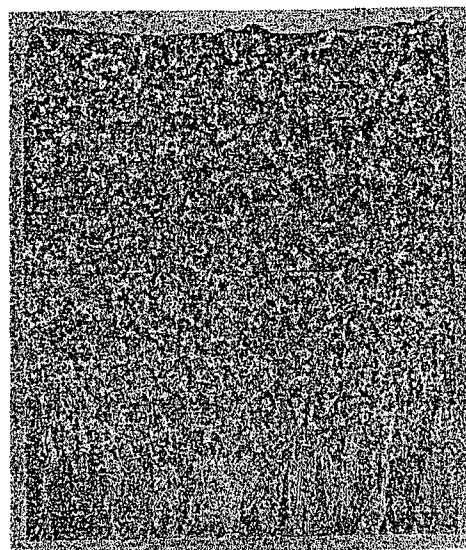


Fig. 6c

Fig. 7

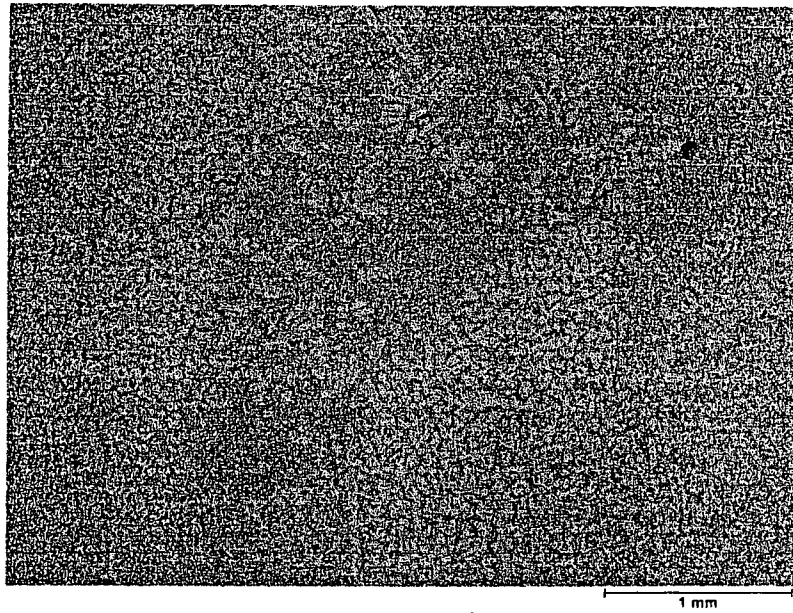


Fig. 7a

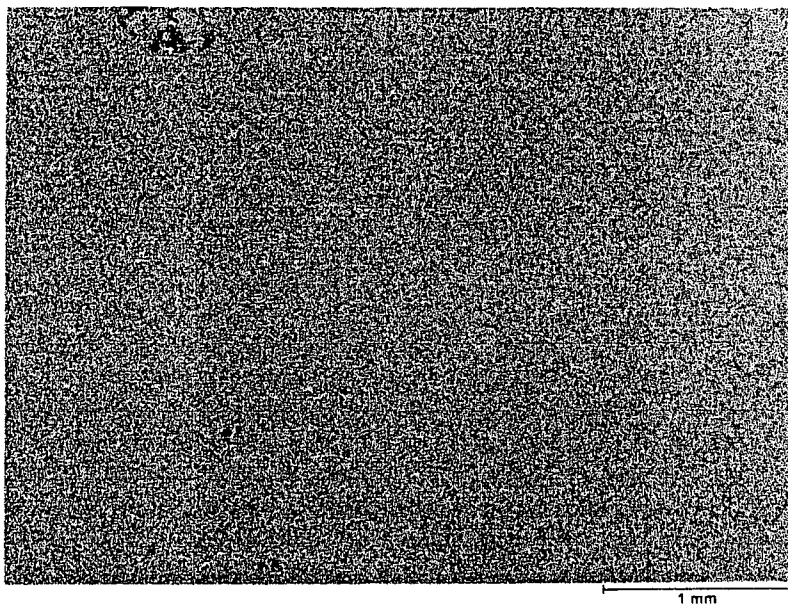


Fig. 7b

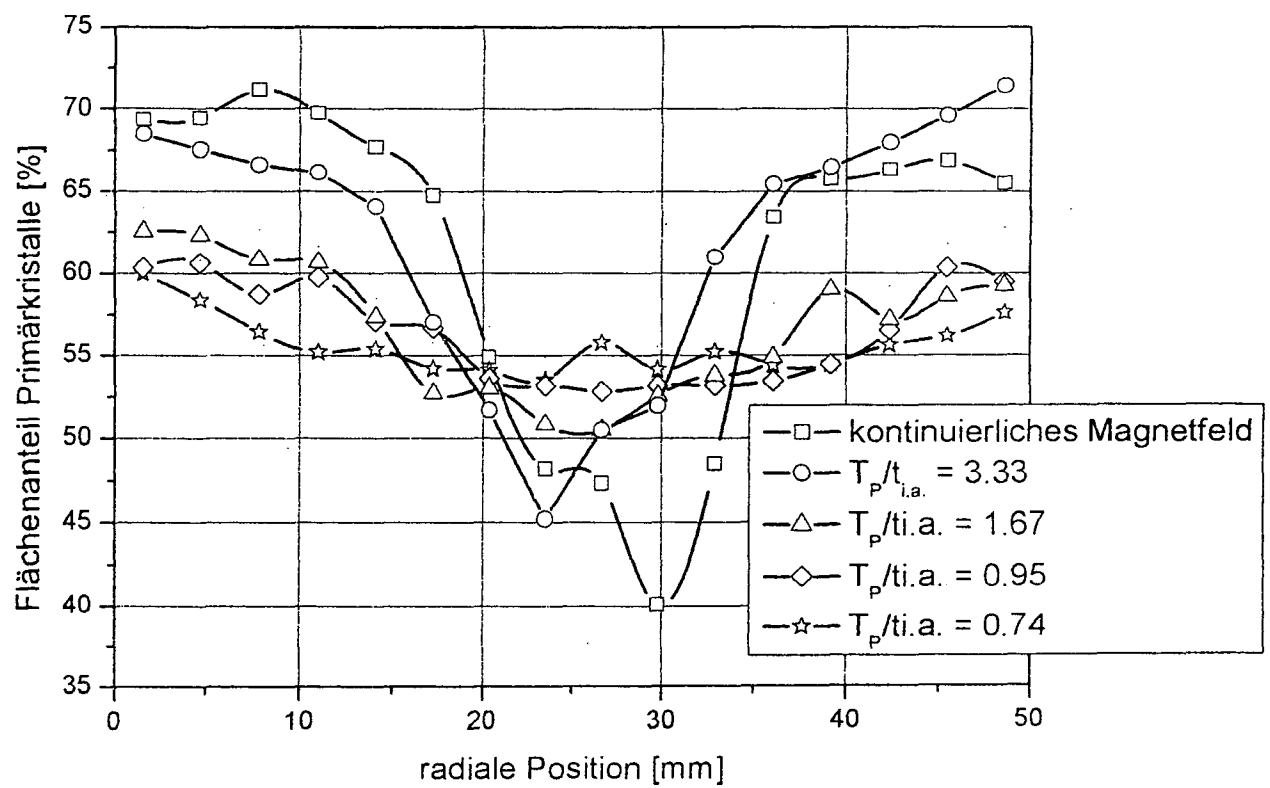


Fig. 8

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/DE2008/001260

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
INV. B22D27/02 B22D27/04

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

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 practical, 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.
X	DE 10 2004 017443 B3 (UNIV DRESDEN TECH [DE]) 21 April 2005 (2005-04-21)	9-19
A	the whole document	1
X	MOEINIPOUR K ET AL: "EINFLUSS DES ROTIERENDEN MAGNETFELDES AUF DAS GEFUEGE UND DIE DENDRITEN DER GUSSLEGIERUNG EN AC-AL SI7MG" GIESSEREI, GIESSEREI VERLAG, DUSSELDORF, DE, vol. 91, no. 12, 7 December 2004 (2004-12-07), pages 18-20,22/23, XP001236781 ISSN: 0016-9765 the whole document	9-19
	----- -/--	

☒ 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 document 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.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  18 Dezember 2008	Date of mailing of the international search report  13/01/2009
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  Scheid, Michael

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/DE2008/001260

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2002/092642 A1 (SASAI KATSUHIRO [JP] ET AL) 18 July 2002 (2002-07-18) the whole document -----	1
A	JP 09 182941 A (NIPPON STEEL CORP) 15 July 1997 (1997-07-15) the whole document -----	1
A	DE 37 30 300 A1 (AEG ELOTHERM GMBH [DE]) 23 March 1989 (1989-03-23) cited in the application the whole document -----	1



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/DE2008/001260

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102004017443 B3	21-04-2005	NONE	
US 2002092642 A1	18-07-2002	US 2002096308 A1	25-07-2002
JP 9182941 A	15-07-1997	NONE	
DE 3730300 A1	23-03-1989	CA 1310462 C FR 2620360 A1 JP 1071557 A SE 466585 B SE 8801983 A	24-11-1992 17-03-1989 16-03-1989 09-03-1992 11-03-1989

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2008/001260

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
INV. B22D27/02 B22D27/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
B22D

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.
X	DE 10 2004 017443 B3 (UNIV DRESDEN TECH [DE]) 21. April 2005 (2005-04-21)	9-19
A	das ganze Dokument	1
X	MOEINIPOUR K ET AL: "EINFLUSS DES ROTIERENDEN MAGNETFELDES AUF DAS GEFUEGE UND DIE DENDRITEN DER GUSSLEGIERUNG EN AC-AL SI7MG" GIESSEREI, GIESSEREI VERLAG, DUSSELDORF, DE, Bd. 91, Nr. 12, 7. Dezember 2004 (2004-12-07), Seiten 18-20, 22/23, XP001236781 ISSN: 0016-9765 das ganze Dokument	9-19



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\* älteres Dokument, 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 anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. Dezember 2008

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

13/01/2009

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

Scheid, Michael

## C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2002/092642 A1 (SASAI KATSUHIRO [JP] ET AL) 18. Juli 2002 (2002-07-18) das ganze Dokument -----	1
A	JP 09 182941 A (NIPPON STEEL CORP) 15. Juli 1997 (1997-07-15) das ganze Dokument -----	1
A	DE 37 30 300 A1 (AEG ELOTHERM GMBH [DE]) 23. März 1989 (1989-03-23) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2008/001260

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102004017443 B3	21-04-2005	KEINE	
US 2002092642 A1	18-07-2002	US 2002096308 A1	25-07-2002
JP 9182941 A	15-07-1997	KEINE	
DE 3730300 A1	23-03-1989	CA 1310462 C	24-11-1992
		FR 2620360 A1	17-03-1989
		JP 1071557 A	16-03-1989
		SE 466585 B	09-03-1992
		SE 8801983 A	11-03-1989