

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2015年10月22日(22.10.2015)



(10) 国際公開番号  
WO 2015/159648 A1

- (51) 国際特許分類:  
B22D 11/00 (2006.01) B22D 11/115 (2006.01)  
B22D 11/04 (2006.01) B22D 27/02 (2006.01)  
B22D 11/041 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/058628
- (22) 国際出願日: 2015年3月20日(20.03.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2014-083532 2014年4月15日(15.04.2014) JP
- (71) 出願人: 株式会社神戸製鋼所(KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBELCO STEEL, LTD.)) [JP/JP]; 〒6518585 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番4号 Hyogo (JP).
- (72) 発明者: 黒澤 瑛介(KUROSAWA Eisuke). 中岡 威博(NAKAOKA Takehiro). 大山 英人(OYAMA Hideto). 金橋 秀豪(KANAHASHI Hidetaka).
- (74) 代理人: 特許業務法人栄光特許事務所, 外 (EIKOH PATENT FIRM, P.C. et al.); 〒1050003 東京

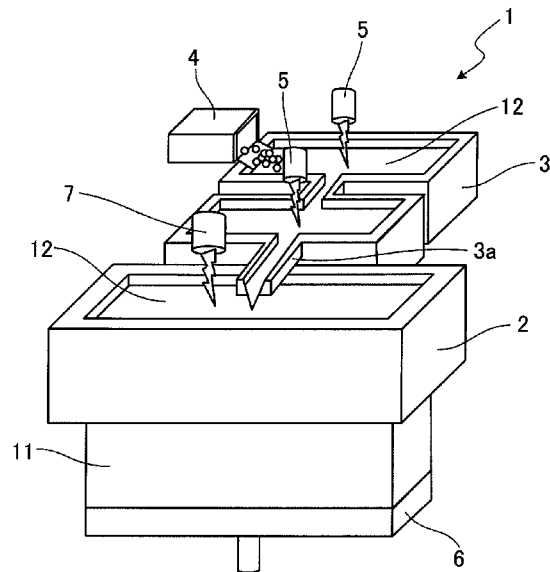
都港区西新橋一丁目7番13号 虎ノ門イーストビルディング10階 Tokyo (JP).

- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, 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) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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).

[続葉有]

(54) Title: CONTINUOUS CASTING DEVICE FOR SLAB COMPRISING TITANIUM OR TITANIUM ALLOY

(54) 発明の名称: チタンまたはチタン合金からなるスラブの連続 casting 装置



(57) Abstract: In the present invention the torch movement period is 20-40 seconds, with the torch movement period being the time required to move plasma torches (which heat the surface of molten metal in the casting mold) one time. The average heat input amount at multiple sites, which are obtained by dividing the initial solidification portion (which is where the molten metal makes contact with the casting mold and first solidifies) into multiple sites in the circumferential direction of the casting mold, is 1.0-2.0 MW/m<sup>2</sup>. The molten metal advection time, which is the time required for electromagnetically stirred molten metal to travel the length of the torch heating region of the surface of the molten metal in the length-wise direction of the casting mold, is 3.5 seconds or less.

(57) 要約: 鋳型内の溶湯の湯面を加熱するプラズマトーチを一回移動させるのに要するトーチ移動周期を20秒以上40秒以下にする。溶湯が鋳型に触れて最初に凝固する初期凝固部を鋳型の周方向に分割した複数の部位の各々における平均入熱量を1.0MW/m<sup>2</sup>以上2.0MW/m<sup>2</sup>以下にする。溶湯の湯面のうちトーチ加熱領域における鋳型の長辺方向に沿った長さを、電磁攪拌された溶湯が移流するのに要する溶湯移流時間を3.5秒以下にする。

WO 2015/159648 A1

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

発明の名称：

チタンまたはチタン合金からなるスラブの連続鋳造装置

技術分野

[0001] 本発明は、チタンまたはチタン合金からなるスラブの連続鋳造装置に関する。

背景技術

[0002] 真空アーク溶解や電子ビーム溶解によって熔融させた金属を無底の鋳型内に注入して凝固させながら下方に引抜くことで、鋳塊を連続的に鋳造することが行われている。

[0003] 特許文献1には、チタンまたはチタン合金をアルゴンガス雰囲気中でプラズマアーク溶解して鋳型内に注入して凝固させる、自動制御プラズマ溶解鋳造方法が開示されている。不活性ガス雰囲気中で行われるプラズマアーク溶解においては、真空中で行われる電子ビーム溶解とは異なり、純チタンだけでなく、チタン合金も鋳造することが可能である。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：日本国特許第3077387号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、鋳造された鋳塊の鋳肌に凹凸や傷があると、圧延前に表面を切削する等の前処理が必要となり、歩留り低減や作業工数の増加の原因となる。そこで、鋳肌に凹凸や傷が無い鋳塊を鋳造することが求められている。

[0006] 本発明の目的は、鋳肌の状態が良好なスラブを鋳造することが可能なチタンまたはチタン合金からなるスラブの連続鋳造装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明者らは、前記課題を解決すべく試行錯誤した結果、トーチ移動周期、平均入熱量、および、溶湯移流時間をそれぞれ所定の数値範囲に調整すれば、鑄肌の状態が良好なスラブを鑄造することができることを見出した。

[0008] 即ち、本発明は、チタンまたはチタン合金を溶解させた溶湯を断面矩形で無底の鑄型内に注入して凝固させながら下方に引抜くことで、チタンまたはチタン合金からなるスラブを連続的に鑄造する連続鑄造装置であって、前記鑄型の上方に設けられ、前記溶湯の湯面上において所定の移動パターンで移動されながら、前記鑄型内の前記溶湯の湯面を加熱するプラズマトーチと、前記鑄型の側方に設けられ、電磁攪拌によって、前記溶湯の少なくとも湯面を攪拌する電磁攪拌装置と、を有し、前記スラブの水平断面の長辺の長さを $2W$ 、前記プラズマトーチの本数を $A$ 、前記プラズマトーチを前記所定の移動パターンで移動させたときの平均移動速度を $V_t$ としたときに、前記プラズマトーチを前記所定の移動パターンで一回移動させるのに要する時間であって、 $T = 4W / (A \cdot V_t)$ で算出されるトーチ移動周期 $T$ が、20秒以上40秒以下であり、前記溶湯が前記鑄型に触れて最初に凝固する部分である初期凝固部を前記鑄型の周方向に複数に分割してなる複数の部位の各々において、前記部位への入熱量を前記部位の前記鑄型に沿った長さ方向に平均した平均入熱量が、 $1.0 \text{ MW/m}^2$ 以上 $2.0 \text{ MW/m}^2$ 以下であり、前記溶湯の湯面のうち前記プラズマトーチの各々が加熱する領域であるトーチ加熱領域の、前記鑄型の長辺方向に沿った長さ $L$ を、電磁攪拌された前記溶湯が移流するときの平均流速を $V_m$ としたときに、前記鑄型の長辺方向に沿った前記トーチ加熱領域の長さ $L$ を前記溶湯が移流するのに要する時間であって、 $T_m = L / V_m$ で算出される溶湯移流時間 $T_m$ が、3.5秒以下であることを特徴とする。

### 発明の効果

[0009] 本発明によれば、プラズマトーチを所定の移動パターンで一回移動させるのに要する時間であるトーチ移動周期を、20秒以上40秒以下にする。これにより、プラズマトーチの移動による溶湯の湯面への入熱量の時間変化お

よび空間変動による不均一性を低減させることができる。また、初期凝固部を鑄型の周方向に複数に分割してなる複数の部位の各々における平均入熱量を、1. 0 MW/m<sup>2</sup>以上2. 0 MW/m<sup>2</sup>以下にする。これにより、溶湯の湯面の周縁部の全周にわたって入熱量の不均一性を低減させることができる。また、鑄型の長辺方向に沿ったトーチ加熱領域の長さを溶湯が移流するのに要する時間である溶湯移流時間を、3. 5秒以下にする。これにより、スラブの表面温度を均一化することができる。このように、溶湯の湯面の周縁部において、全周にわたって入熱量を均一にすることで、鑄肌の状態が良好なスラブを鑄造することができる。

### 図面の簡単な説明

- [0010] [図1]連続鑄造装置を示す斜視図である。
- [図2]連続鑄造装置を示す断面図である。
- [図3A]表面欠陥の発生メカニズムを表す説明図である。
- [図3B]表面欠陥の発生メカニズムを表す説明図である。
- [図4A]スラブの表面写真である。
- [図4B]スラブの表面写真である。
- [図5A]鑄型を上方から見たモデル図である。
- [図5B]鑄型を上方から見たモデル図である。
- [図6]鑄型を上方から見たモデル図である。
- [図7A]鑄型を上方から見たモデル図である。
- [図7B]鑄型を上方から見たモデル図である。
- [図8]鑄型を上方から見たモデル図である。
- [図9]鑄型を上方から見たモデル図である。
- [図10]鑄型を上方から見たモデル図である。
- [図11]鑄型を上方から見たモデル図である。
- [図12]初期凝固部を複数の部位に分割した各部位における平均入熱量を示すグラフである。
- [図13]鑄型を上方から見たモデル図である。

[図14] 鑄型を上方から見たモデル図である。

[図15] 溶湯移流時間と凹凸発生頻度指数との関係を示すグラフである。

### 発明を実施するための形態

[0011] 以下、本発明の好適な実施の形態について、図面を参照しつつ説明する。

[0012] (連続鑄造装置の構成)

本実施形態によるチタンまたはチタン合金からなるスラブの連続鑄造装置(連続鑄造装置) 1は、プラズマアーク溶解させたチタンまたはチタン合金の溶湯を断面矩形で無底の鑄型内に注入して凝固させながら下方に引抜くことで、チタンまたはチタン合金からなるスラブを連続的に鑄造する連続鑄造装置である。この連続鑄造装置 1は、斜視図である図 1、および、断面図である図 2に示すように、鑄型 2と、コールドハース 3と、原料投入装置 4と、プラズマトーチ 5と、スターティングブロック 6と、プラズマトーチ 7と、電磁攪拌装置 8と、コントローラ(制御装置) 9と、を有している。なお、図 1においては、電磁攪拌装置 8およびコントローラ 9の図示を省略している。連続鑄造装置 1のまわりは、アルゴンガスやヘリウムガス等からなる不活性ガス雰囲気になされている。

[0013] 原料投入装置 4は、コールドハース 3内にスポンジチタンやスクラップ等のチタンまたはチタン合金の原料を投入する。プラズマトーチ 5は、コールドハース 3の上方に設けられており、プラズマアークを発生させてコールドハース 3内の原料を溶融させる。コールドハース 3は、原料が溶融した溶湯 1 2を所定の流量で注湯部 3 aから鑄型 2内に注入する。

[0014] 鑄型 2は、銅製であって、無底で断面形状が矩形に形成されており、角筒状の壁部の少なくとも一部の内部を循環する水によって冷却されるようになっている。スターティングブロック 6は、図示しない駆動部によって上下動され、鑄型 2の下側開口部を塞ぐことが可能である。プラズマトーチ 7は、鑄型 2の上方に設けられており、図示しない移動手段により溶湯 1 2の湯面上において所定の移動パターンで移動されながら、鑄型 2内に注入された溶湯 1 2の湯面をプラズマアークで加熱する。コントローラ 9は、プラズマト

ーチ 7 の移動を制御する。

[0015] 電磁攪拌装置 8 は、コイル鉄心に EMS コイルを巻回したものであって、鋳型 2 の側方に設けられており、交流電流による電磁攪拌によって、鋳型 2 内の溶湯 1 2 の少なくとも湯面を攪拌する。コントローラ 9 は、電磁攪拌装置 8 による電磁攪拌を制御する。

[0016] 以上の構成において、鋳型 2 内に注入された溶湯 1 2 は、水冷式の鋳型 2 との接触面から凝固していく。そして、鋳型 2 の下側開口部を塞いでいたスターティングブロック 6 を所定の速度で下方に引き下ろしていくことで、溶湯 1 2 が凝固した角柱状のスラブ 1 1 が下方に引抜かれながら連続的に鋳造される。

[0017] ここで、真空雰囲気での電子ビーム溶解では微量成分が蒸発するために、チタン合金の鋳造は困難である。これに対して、不活性ガス雰囲気でのプラズマアーク溶解では、純チタンだけでなく、チタン合金も鋳造することが可能である。

[0018] なお、連続鋳造装置 1 は、鋳型 2 内の溶湯 1 2 の湯面に固相あるいは液相のフラックスを投入するフラックス投入装置を有していてもよい。ここで、真空雰囲気での電子ビーム溶解では、フラックスが飛散するのでフラックスを鋳型 2 内の溶湯 1 2 に投入するのが困難である。これに対して、不活性ガス雰囲気でのプラズマアーク溶解では、フラックスを鋳型 2 内の溶湯 1 2 に投入することができるという利点を有する。

[0019] (操業条件)

ところで、チタンまたはチタン合金からなるスラブ 1 1 を連続鋳造した際に、スラブ 1 1 の表面(鋳肌)に凹凸や傷があると、次工程である圧延過程で表面欠陥となる。そのため、圧延する前にスラブ 1 1 表面の凹凸や傷を切削等で取り除く必要があり、歩留まりの低下や作業工程の増加など、コストアップの要因となる。そのため、鋳肌に凹凸や傷が無いスラブ 1 1 を鋳造することが求められている。

[0020] 表面欠陥の発生メカニズムを表す説明図である図 3 A および図 3 B に示す

ように、鋳型2との境界近傍では、プラズマアークや電子ビームにより加熱される溶湯12の湯面近傍（湯面から湯面下10mm程度までの領域）においてのみ鋳型2と凝固シェル13の表面とが接触している。そして、これより深い領域ではスラブ11が熱収縮することで、鋳型2との間にエアギャップ14が発生する。そして、図3Aに示すように、溶湯12の湯面の周縁部に位置する初期凝固部15（溶湯12が鋳型2に触れて最初に凝固する部分）への入熱が過多の場合、凝固シェル13が薄くなりすぎるために強度不足により凝固シェル13の表面が引きちぎられる「ちぎれ欠陥」が発生する。一方、図3Bに示すように、初期凝固部15への入熱が不足すると、成長した（厚くなった）凝固シェル13上に溶湯12が被ることで「湯被り欠陥」が発生する。「ちぎれ欠陥」が発生した鋳塊の表面写真を図4Aに、「湯被り欠陥」が発生した鋳塊の表面写真を図4Bに、それぞれ示す。

[0021] したがって、溶湯12の湯面近傍における初期凝固部15への入熱状況が鋳肌の性状に大きな影響を与えると推定される。そこで、溶湯12の湯面近傍における初期凝固部15への入熱状態を適切に制御することで、良好な鋳肌のスラブ11が得られると考えられる。

[0022] ここで、鋳型2を上方から見たモデル図である図5A、図5Bに示すように、プラズマアーク溶解により、例えば250×1500mmといった大型サイズのスラブ11を連続鋳造する場合には、プラズマトーチ7の加熱範囲に限界がある。そのため、出力が大きいプラズマトーチ7を複数用いて、湯面全体を加熱する必要がある。図5A、図5Bにおいては、出力が大きいプラズマトーチ7を2本用いている。また、スラブ11の厚みが厚いため、鋳型2の短辺側やコーナー部において凝固シェル13の成長を抑制するには、鋳型2に沿ってプラズマトーチ7を巡回移動させる必要がある。ここで、図5A、図5Bに示す矢印は、プラズマトーチ7が移動する経路を示している。各プラズマトーチ7は、鋳型2の鋳壁から62.5mmほど内側で時計回りに巡回される。各プラズマトーチ7の出力は、例えば750kWである。

[0023] ところが、鋳型2の長辺側ではプラズマトーチ7の滞留時間が長いために

、初期凝固部15への入熱が大きく、凝固シェル13が薄くなる。一方、鋳型2の短辺側やコーナー部では、プラズマトーチ7の滞留時間が短いために、初期凝固部15への入熱が不足し凝固シェル13が成長する（厚くなる）。これにより、スラブ11の位置によって凝固挙動が不均一となり、鋳肌性状の悪化につながる。

[0024] そこで、鋳型2を上方から見たモデル図である図6に示すように、鋳型2の側方に配置した図示しない電磁攪拌装置8で鋳型2内の溶湯12の少なくとも湯面を電磁誘導により攪拌する。電磁攪拌装置8による電磁攪拌によって、水平方向に旋回する流れ（旋回流）を溶湯12の湯面もしくは湯面近傍に生じさせる。この旋回流によって、鋳型2の長辺部に滞留する熱い溶湯12が、凝固シェル13が成長しやすい鋳型2の短辺部やコーナー部に移流される。これにより、プラズマトーチ7の滞留時間が長い鋳型2の長辺側での温度上昇、および、プラズマトーチ7の滞留時間が短い鋳型2の短辺側やコーナー部での温度低下が緩和される。

[0025] なお、溶湯12の少なくとも湯面における旋回流の方向は、プラズマトーチ7の旋回方向と一致していてもよいし、逆方向であってもよい。ただし、プラズマトーチ7の旋回方向とは逆方向に溶湯12の少なくとも湯面を旋回させることで、スラブ11の表面温度の変動幅を小さくすることができる。

[0026] ここで、大型サイズのスラブ11を連続鋳造する場合、電磁攪拌によって湯面全体に熱を移流させるためには、大きな攪拌力によって溶湯12の流速を速める必要がある。

[0027] 一方、鋳型2を上方から見たモデル図である図7A、図7Bに示すように、プラズマアーク溶解により、例えば125×375mmといった小型サイズのスラブ11を連続鋳造する場合には、湯面の面積が小さいため、出力が小さい1本のプラズマトーチ7で湯面全体を加熱することが可能である。また、スラブ11の厚みが薄いため、同一線上においてプラズマトーチ7を往復移動させることで、鋳型2の短辺側やコーナー部において凝固シェル13の成長を抑制することが可能である。ここで、図7A、図7Bに示す矢印は

、プラズマトーチ7が移動する経路を示している。プラズマトーチ7の出力は、例えば200～250kWである。

[0028] また、鋳型2を上方から見たモデル図である図8に示すように、小型サイズのスラブ11を連続鋳造する場合、電磁攪拌による攪拌力が小さくて溶湯12の流速が遅めであっても、旋回流によって湯面全体に熱を移流させることが可能である。

[0029] このように、鋳造するスラブ11のサイズによって、鋳肌を平滑化するために必要なプラズマトーチ7の本数や出力、移動パターンが異なる。また、鋳造するスラブ11のサイズによって、鋳肌を平滑化するために必要な電磁攪拌の攪拌力が異なる。

[0030] これを前提として、本発明者らは、鋳肌の状態が良好なスラブ11を鋳造しようと試行錯誤した結果、トーチ移動周期、平均入熱量、および、溶湯移流時間をそれぞれ所定の数値範囲に調整すれば、鋳肌の状態が良好なスラブ11を鋳造することができることを見出した。

[0031] 具体的には、トーチ移動周期を20秒以上40秒以下、平均入熱量を1.0MW/m<sup>2</sup>以上2.0MW/m<sup>2</sup>以下、溶湯移流時間を3.5秒以下にそれぞれ調整すれば、鋳肌の状態が良好なスラブ11を鋳造することができることを見出した。

[0032] (トーチ移動周期)

トーチ移動周期とは、プラズマトーチ7を湯面上において所定の移動パターンで一回移動させるのに要する時間である。具体的には、トーチ移動周期は、プラズマトーチ7の一回分の移動距離をプラズマトーチ7の平均移動速度で割ったものである。

[0033] 図5A、図5Bに示すように、大型のスラブ11を鋳造する場合、2本のプラズマトーチ7が湯面上をそれぞれ所定の速度で巡回移動される。トーチ移動周期は、プラズマトーチ7を1周させるのに要する時間である。また、図7A、図7Bに示すように、小型のスラブ11を鋳造する場合、プラズマトーチ7が湯面上を所定の速度で往復移動される。トーチ移動周期は、プラ

ズマトーチ7を1往復させるのに要する時間である。

[0034] 鋳型2を上方から見たモデル図である図9、図10に示すように、スラブ11の水平断面の長辺の長さ(スラブ幅)を $2W$ とする。ここで、図9に図示されている鋳型2は、大型のスラブ11を鋳造するためのものであって、図5A、図5Bに示す鋳型2に対応している。また、図10に図示されている鋳型2は、小型のスラブ11を鋳造するためのものであって、図7A、図7Bに示す鋳型2に対応している。また、プラズマトーチ7の本数を $A$ 、プラズマトーチ7を所定の移動パターンで移動させたときの平均移動速度を $V_t$ とすると、トーチ移動周期 $T$ は、 $T = 4W / (A \cdot V_t)$ で算出される。

[0035] ここで、図5A、図5B、図7A、図7Bに示すように、溶湯12の湯面の同じ箇所においてみた場合、移動するプラズマトーチ7が近づいたり離れたりすることで、時間の経過とともにその箇所における入熱量が変化する。また、溶湯12の湯面全体でみた場合、プラズマトーチ7の移動とともに、プラズマトーチ7に近くて入熱量が多い箇所と、プラズマトーチ7から遠くて入熱量が少ない箇所とが変化する。このように、プラズマトーチ7が移動することによって、溶湯12の湯面への入熱量に時間変化および空間変動による不均一性が生じる。

[0036] しかし、トーチ移動周期 $T$ を20秒(sec)以上40秒以下にすることで、溶湯12の湯面への入熱量の時間変化および空間変動による不均一性を低減させることができる。

[0037] (流動凝固計算)

ここで、流動凝固計算により、全周にわたって鋳肌が良好なスラブ11を得るためのトーチ移動周期 $T$ を算出した。その結果を表1に示す。

[0038]

[表1]

スラブ幅 2W[mm]	プラズマトーチの本数 A[-]	平均移動速度 Vt[mm/sec]	トーチ移動周期 T[sec]
750	1	50	30
1000	1	50	40
1000	2	50	20
1250	2	50	25
1500	2	50	30

[0039] 平均移動速度  $V_t$  の最大値は  $50 \text{ mm/sec}$  程度である。また、1本のプラズマトーチで casting が可能なスラブ幅の限界値は  $1000 \text{ mm}$  程度と推定される。以上から、全周にわたって鑄肌が良好なスラブを得るためには、トーチ移動周期  $T$  を  $20 \text{ 秒}$  以上  $40 \text{ 秒}$  以下にすればよいことがわかった。

[0040] (平均入熱量)

平均入熱量とは、初期凝固部 15 (溶湯 12 が鑄型 2 に触れて最初に凝固する部分) (図 3 A、図 3 B 参照) を鑄型 2 の周方向に複数に分割してなる複数の部位の各々において、ある部位への入熱量をその部位の鑄型 2 に沿った長さ方向に平均したものである。

[0041] 本実施形態においては、鑄型 2 を上方から見たモデル図である図 11 に示すように、初期凝固部 15 を鑄型 2 の内周に沿ってコーナー (1) ~ (4)、長辺 1/4 (1), (2)、長辺 1/2 (1), (2)、長辺 3/4 (1), (2)、短辺 (1), (2) の合計 12 個の部位 15 a に分割して、各部位 15 a における平均入熱量を求めている。

[0042] 上述したように、溶湯 12 の湯面近傍の凝固シェル 13 の成長は、初期凝固部 15 への入熱状況に大きく影響を受ける。図 3 A に示したように、初期凝固部 15 への入熱が過多の場合、「ちぎれ欠陥」が発生する。一方、図 3

Bに示したように、初期凝固部15への入熱が不足すると、「湯被り欠陥」が発生する。

[0043] しかし、平均入熱量を $1.0\text{ MW/m}^2$ 以上 $2.0\text{ MW/m}^2$ 以下にすることで、溶湯12の湯面の周縁部の全周にわたって入熱量の不均一性を低減させることができる。

[0044] (流動凝固計算)

ここで、流動凝固計算により、全周にわたって鑄肌が良好なスラブ11を得るための平均入熱量を算出した。その結果を図12に示す。ここで、Case(1)は、図5Aに示すように、 $250\text{ mm} \times 1500\text{ mm}$ の大型のスラブ11を鑄造する場合において、2本のプラズマトーチ7の出力をそれぞれ $750\text{ kW}$ にしたときの平均入熱量である。また、Case(2)は、図7Aに示すように、 $125\text{ mm} \times 375\text{ mm}$ の小型のスラブ11を鑄造する場合において、1本のプラズマトーチ7の出力を $200\text{ kW}$ にしたときの平均入熱量である。

[0045] 図12から、全周にわたって鑄肌が良好なスラブ11を得るためには、平均入熱量を $1.0\text{ MW/m}^2$ 以上 $2.0\text{ MW/m}^2$ 以下にすればよいことがわかった。

[0046] なお、平均入熱量の代わりに、平均入熱量に補正値をかけた値であるスラブ平均入熱量を用いてもよい。ここで、補正値は、トーチ加熱領域を鑄型2が囲む長さに基づいた値である。トーチ加熱領域は、溶湯12の湯面のうち各プラズマトーチ7が加熱する領域である。

[0047] 図9に示すように、2本のプラズマトーチ7を使用して大型のスラブ11を鑄造する場合、溶湯12の湯面の半分が、各プラズマトーチ7が加熱するトーチ加熱領域17である。一方、図10に示すように、1本のプラズマトーチ7を使用して小型のスラブ11を鑄造する場合、溶湯12の湯面の全部が、プラズマトーチ7が加熱するトーチ加熱領域17である。

[0048] ここで、図9に示すように、2本のプラズマトーチ7を使用する場合、トーチ加熱領域17は鑄型2によって3方を囲まれている。これに対して、図

10に示すように、1本のプラズマトーチ7を使用する場合、トーチ加熱領域17は鋳型2によって4方を囲まれている。そして、4方を鋳型2で囲まれているトーチ加熱領域17の方が、3方を鋳型2で囲まれているトーチ加熱領域17よりも鋳型2による冷却能力が大きい。そこで、1本のプラズマトーチ7を使用する場合、平均入熱量を補正值 $\alpha$ で補正したスラブ平均入熱量を用いる。補正值 $\alpha$ は、図7Aに示す鋳型2の長辺の長さ $2W$  (mm) 及び短辺の長さ $t$  (mm) を用いて、以下の式(1)から算出する。

[0049] 
$$\alpha = (4W + 2t) / (4W + t)$$

$$= (375 + 125 + 375 + 125) / (375 + 125 + 375) = 1.3 \dots \text{式(1)}$$

[0050] Case(2)において、この補正值 $\alpha$ をプラズマトーチ7の出力値にかけると、出力は250kWとなる。Case(2)の平均入熱量を補正值 $\alpha$ で補正したスラブ平均入熱量をCase(3)として図12に示す。各部位15aにおけるスラブ平均入熱量を $1.0\text{MW}/\text{m}^2$ 以上 $2.0\text{MW}/\text{m}^2$ 以下にすることで、溶湯12の湯面近傍の凝固シェル13の成長を好適に抑制することができる。これにより、鋳肌が良好なスラブ11を得ることができる。

[0051] (溶湯移流時間)

溶湯移流時間とは、鋳型2の長辺方向に沿ったトーチ加熱領域17の長さ(トーチ有効加熱幅)を、電磁攪拌された溶湯12が移流するのに要する時間である。具体的には、溶湯移流時間は、トーチ有効加熱幅を、電磁攪拌された溶湯12が移流するときの平均流速で除した値である。

[0052] 図9に示すように、大型のスラブ11を鋳造する場合、各プラズマトーチ7のトーチ加熱領域17は、溶湯12の湯面の半分であるので、トーチ有効加熱幅は鋳型2の長辺の $1/2$ の長さである。一方、図10に示すように、小型のスラブ11を鋳造する場合、プラズマトーチ7のトーチ加熱領域17は、溶湯12の湯面の全部であるので、トーチ有効加熱幅は鋳型2の長辺の全長である。

[0053] トーチ有効加熱幅を $L$ 、電磁攪拌された溶湯12がトーチ有効加熱幅 $L$ を移流するときの平均流速を $V_m$ とすると、溶湯移流時間 $T_m$ は、 $T_m = L / V_m$ で算出される。

[0054] ここで、鋳型2を上方から見たモデル図である図13に示すように、プラズマトーチ7が湯面の図中左側に移動すると、プラズマトーチ7から離れた図中右側の湯面において溶湯12の温度が低下する。そこで、矢印で示すように、電磁攪拌によって、湯面の左側の熱い溶湯12を湯面の右側に移流させる。これにより、電磁攪拌がない場合に比べて、溶湯12の温度低下が緩和され、スラブ表面温度が均一化される。

[0055] しかしながら、トーチ有効加熱幅を溶湯12が移流するのに要する時間である溶湯移流時間が異なると、時間の経過に伴うスラブ11の表面温度の変化の度合いが異なってくる。具体的には、溶湯移流時間が短いほどスラブ11の表面温度の時間変化が小さくなり、スラブ11の表面温度が均一化される。

[0056] そこで、溶湯移流時間 $T_m$ を、3.5秒(sec)以下にすることで、スラブ11の表面温度を均一化することができる。

[0057] (流動凝固計算)

ここで、流動凝固計算により、全周にわたって鋳肌が良好なスラブ11を得るための溶湯移流時間を算出した。ここで、鋳型2を上方から見たモデル図である図14に示すように、鋳型2の内面から10mm離れた位置での $X$ 方向の流速(絶対値)の、 $-2L/5 \leq x \leq 2L/5$ の範囲での平均値を用いて、溶湯移流時間を求めた。

[0058] 溶湯移流時間と凹凸発生頻度指数との関係を図15に示す。ここで、Case(1)は、図5Aに示すように、250mm×1500mmの大型のスラブ11を鋳造する場合において、2本のプラズマトーチ7の出力をそれぞれ750kWにしたときの計算結果である。また、Case(2)は、図7Aに示すように、125mm×375mmの小型のスラブ11を鋳造する場合において、1本のプラズマトーチ7の出力を200kWにしたときの計算

結果である。また、Case (3) は、Case (2) におけるプラズマトーチ7の出力値を補正值で補正して250kWにしたときの計算結果である。

[0059] また、この関係図では、電磁攪拌の攪拌力を変化させて、それぞれの攪拌力における計算結果をプロットしている。ここで、電磁攪拌の攪拌力が強いほど溶湯12の流速が速くなって溶湯移流時間が短くなる。また、凹凸発生頻度指数が小さいほど鑄肌の性状が良好になる。そこで、凹凸発生頻度指数が10以下となる範囲を目標範囲とした。

[0060] 図15から、全周にわたって鑄肌が良好なスラブ11を得るためには、溶湯移流時間を3.5秒以下にすればよいことがわかった。

[0061] (効果)

以上に述べたように、本実施形態に係るチタンまたはチタン合金からなるスラブの連続鑄造装置1によると、プラズマトーチ7を所定の移動パターンで一回移動させるのに要する時間であるトーチ移動周期を、20秒以上40秒以下にする。これにより、プラズマトーチ7の移動による溶湯12の湯面への入熱量の時間変化および空間変動による不均一性を低減させることができる。また、初期凝固部15を鑄型2の周方向に複数に分割してなる複数の部位15aの各々における平均入熱量を、1.0MW/m<sup>2</sup>以上2.0MW/m<sup>2</sup>以下にする。これにより、溶湯12の湯面の周縁部の全周にわたって入熱量の不均一性を低減させることができる。また、鑄型2の長辺方向に沿ったトーチ加熱領域17の長さを溶湯12が移流するのに要する時間である溶湯移流時間を、3.5秒以下にする。これにより、スラブ11の表面温度を均一化することができる。このように、溶湯12の湯面の周縁部において、全周にわたって入熱量を均一にすることで、鑄肌の状態が良好なスラブ11を鑄造することができる。

[0062] (本実施形態の変形例)

以上、本発明の実施形態を説明したが、具体例を例示したに過ぎず、特に本発明を限定するものではなく、具体的構成などは、適宜設計変更可能であ

る。また、発明の実施の形態に記載された、作用及び効果は、本発明から生じる最も好適な作用及び効果を列挙したに過ぎず、本発明による作用及び効果は、本発明の実施の形態に記載されたものに限定されるものではない。

[0063] 本出願は2014年4月15日出願の日本国特許出願（特願2014-83532）に基づくものであり、その内容はここに参照として取り込まれる。

### 符号の説明

- [0064]
- 1 連続鋳造装置
  - 2 鋳型
  - 7 プラズマトーチ
  - 8 電磁攪拌装置
  - 9 コントローラ
  - 12 溶湯
  - 15 初期凝固部
  - 15a 部位
  - 17 トーチ加熱領域

## 請求の範囲

### [請求項1]

チタンまたはチタン合金を溶解させた溶湯を断面矩形で無底の鑄型内に注入して凝固させながら下方に引抜くことで、チタンまたはチタン合金からなるスラブを連続的に鑄造する連続鑄造装置であって、

前記鑄型の上方に設けられ、前記溶湯の湯面上において所定の移動パターンで移動されながら、前記鑄型内の前記溶湯の湯面を加熱するプラズマトーチと、

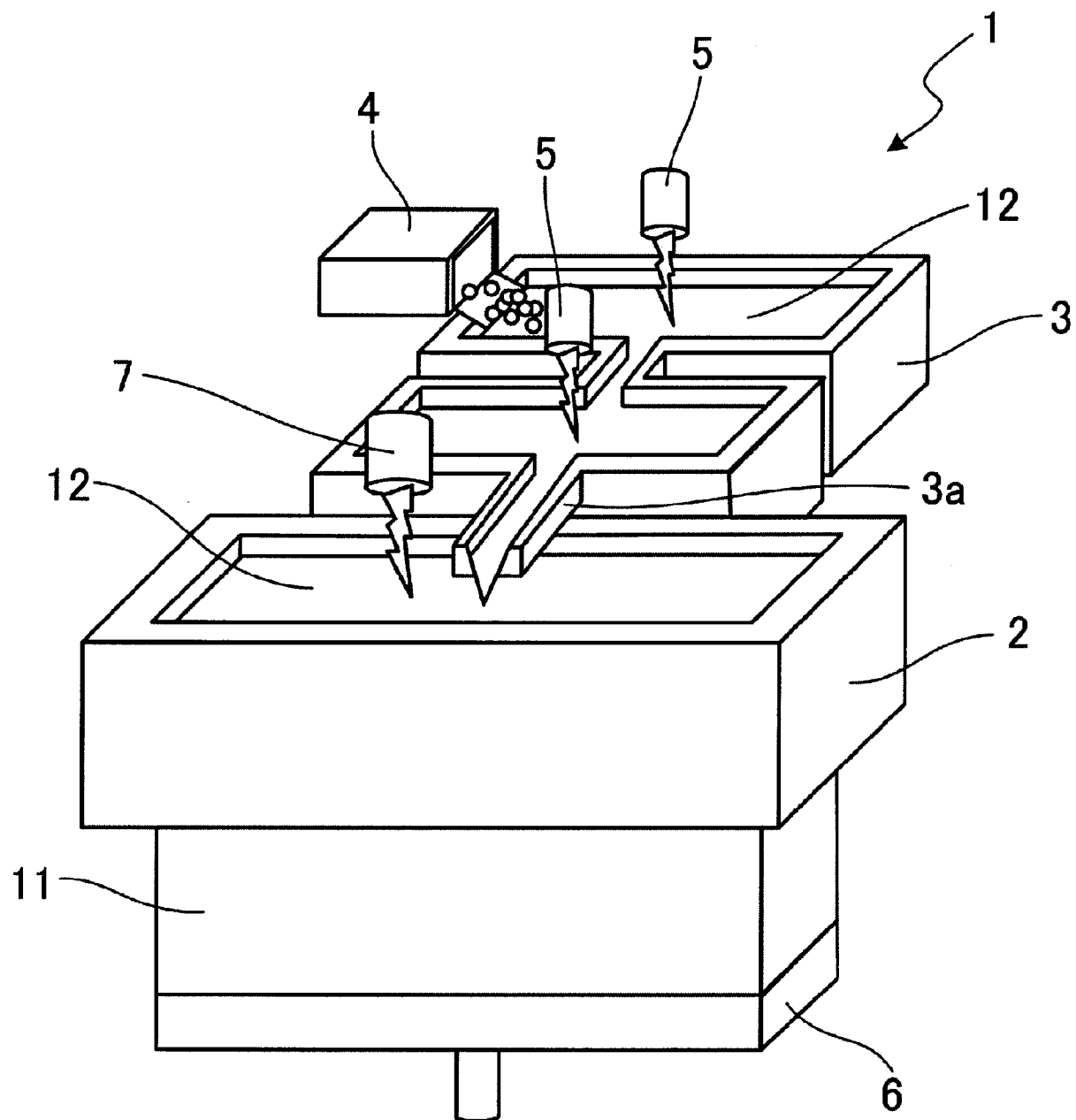
前記鑄型の側方に設けられ、電磁攪拌によって、前記溶湯の少なくとも湯面を攪拌する電磁攪拌装置と、  
を有し、

前記スラブの水平断面の長辺の長さを $2W$ 、前記プラズマトーチの本数を $A$ 、前記プラズマトーチを前記所定の移動パターンで移動させたときの平均移動速度を $V_t$ としたときに、前記プラズマトーチを前記所定の移動パターンで一回移動させるのに要する時間であって、 $T = 4W / (A \cdot V_t)$ で算出されるトーチ移動周期 $T$ が、20秒以上40秒以下であり、

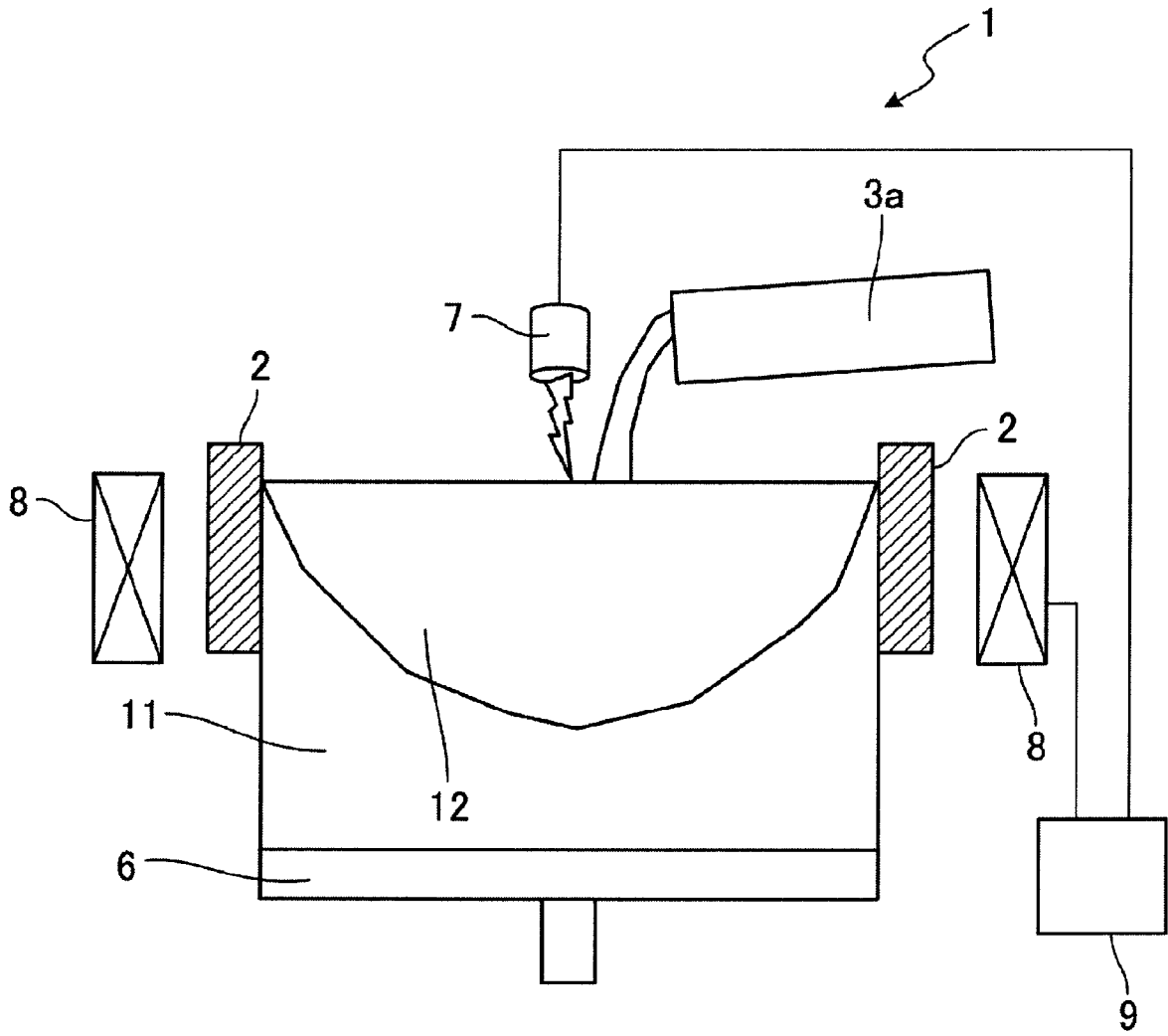
前記溶湯が前記鑄型に触れて最初に凝固する部分である初期凝固部を前記鑄型の周方向に複数に分割してなる複数の部位の各々において、前記部位への入熱量を前記部位の前記鑄型に沿った長さ方向に平均した平均入熱量が、 $1.0 \text{ MW/m}^2$ 以上 $2.0 \text{ MW/m}^2$ 以下であり、

前記溶湯の湯面のうち前記プラズマトーチの各々が加熱する領域であるトーチ加熱領域の、前記鑄型の長辺方向に沿った長さ $L$ を、電磁攪拌された前記溶湯が移流するときの平均流速を $V_m$ としたときに、前記鑄型の長辺方向に沿った前記トーチ加熱領域の長さ $L$ を前記溶湯が移流するのに要する時間であって、 $T_m = L / V_m$ で算出される溶湯移流時間 $T_m$ が、3.5秒以下であることを特徴とするチタンまたはチタン合金からなるスラブの連続鑄造装置。

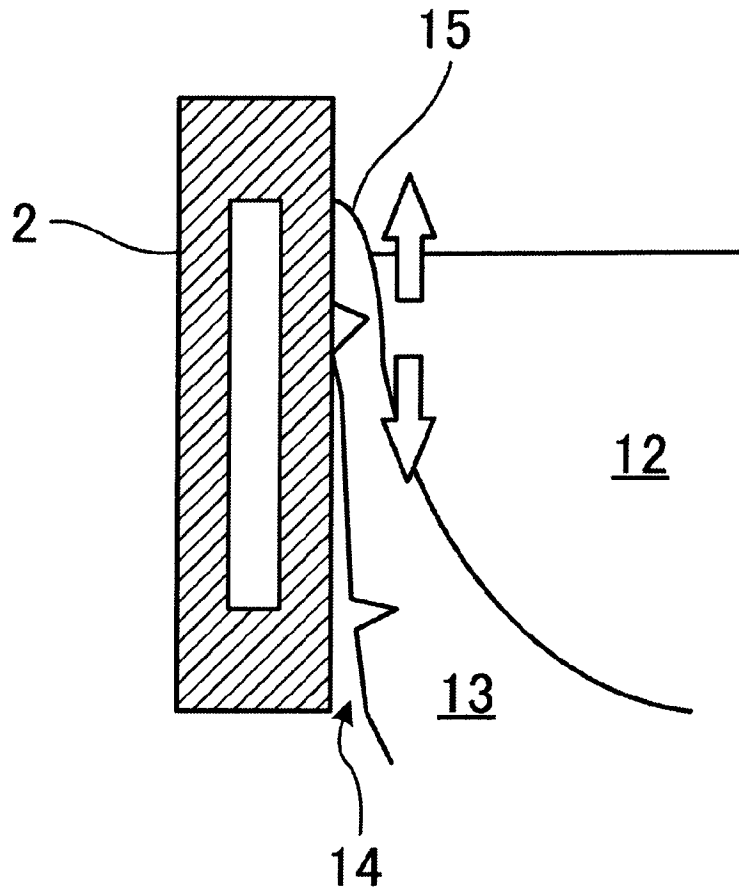
[図1]



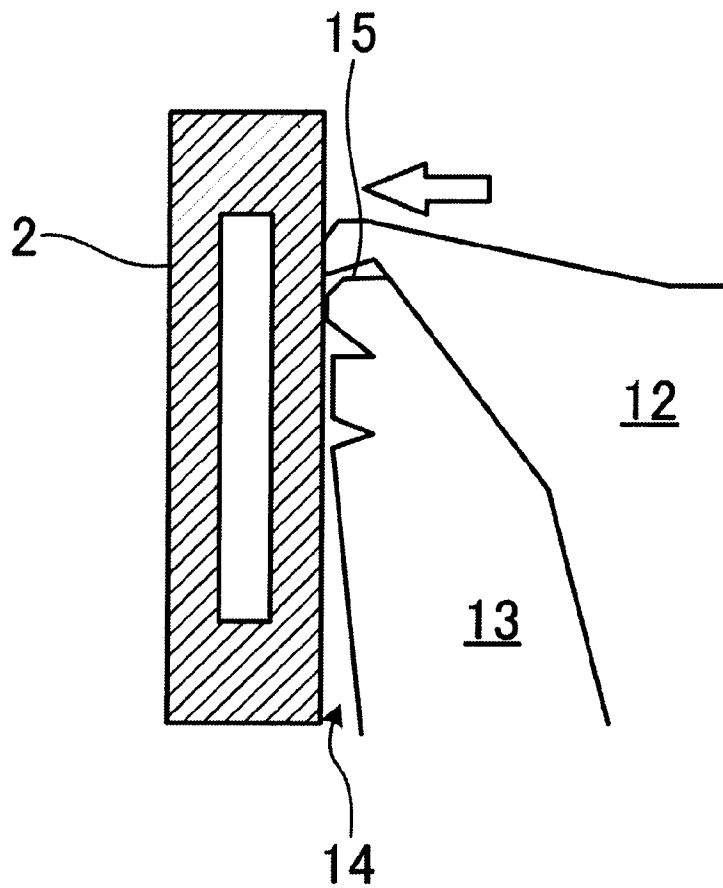
[図2]



[図3A]

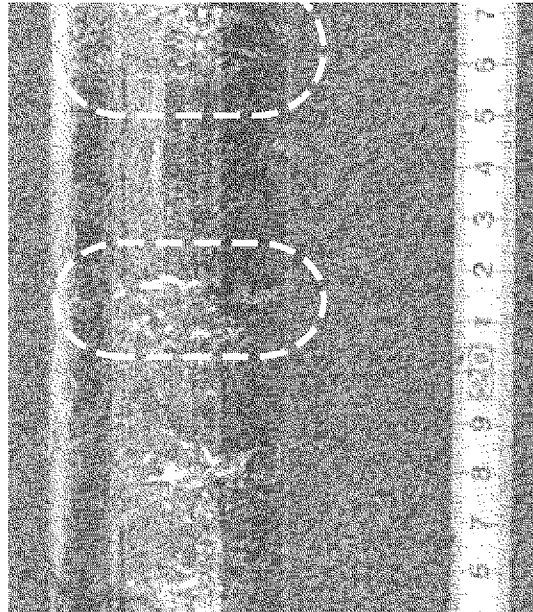


[図3B]



[図4A]

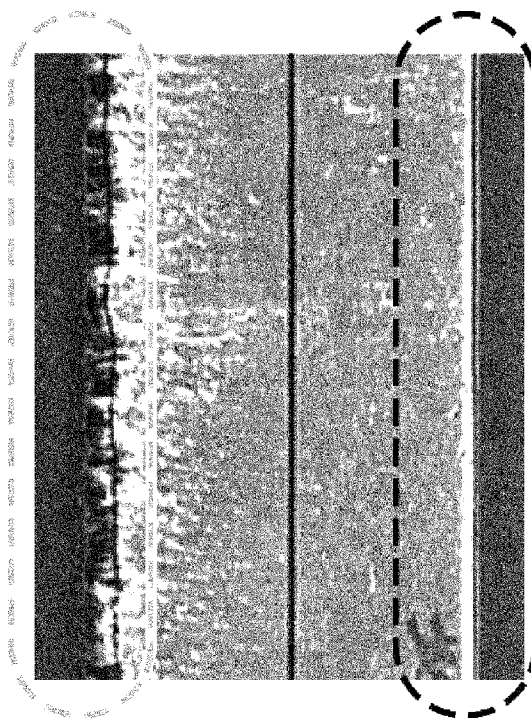
ちぎれ欠陥



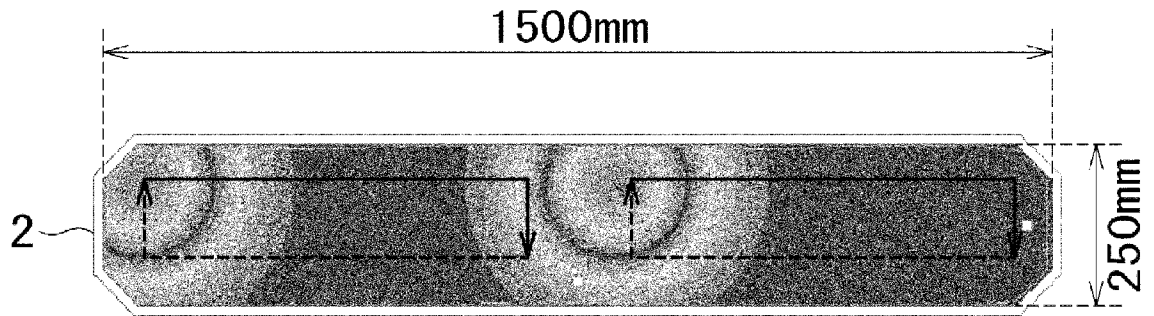
[図4B]

湯被り欠陥

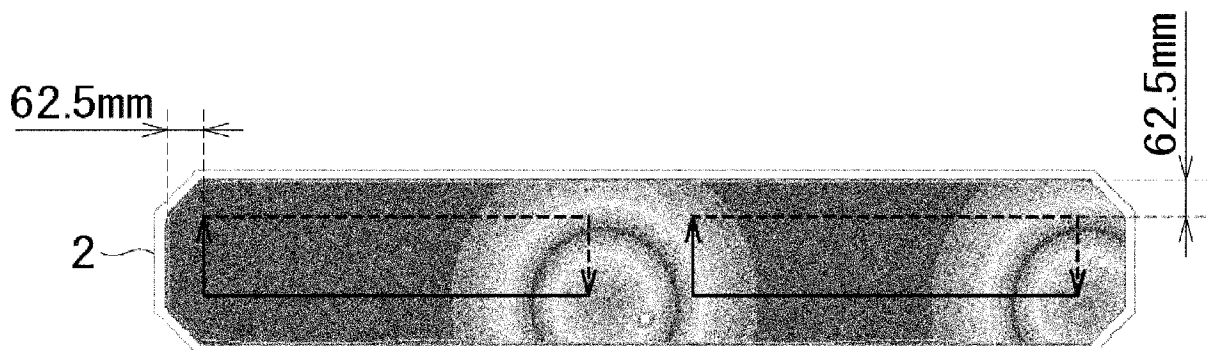
良好な鑄肌



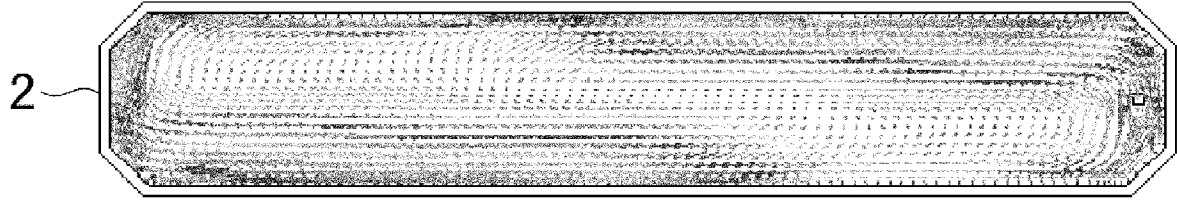
[図5A]



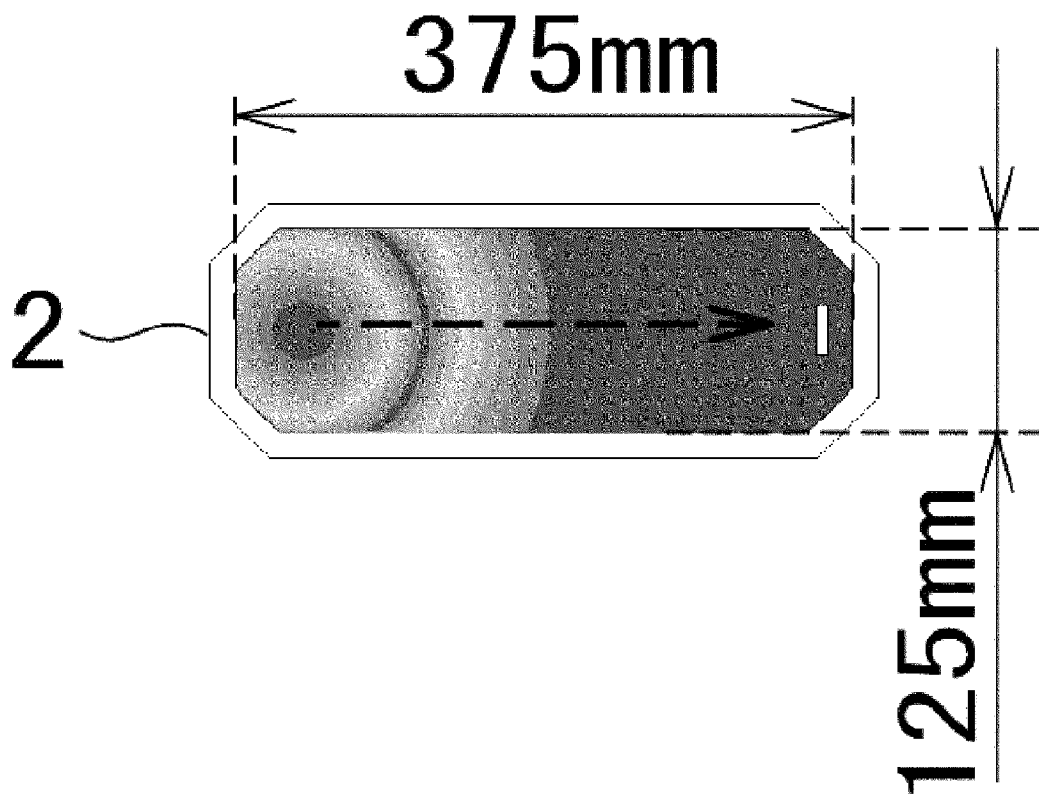
[図5B]



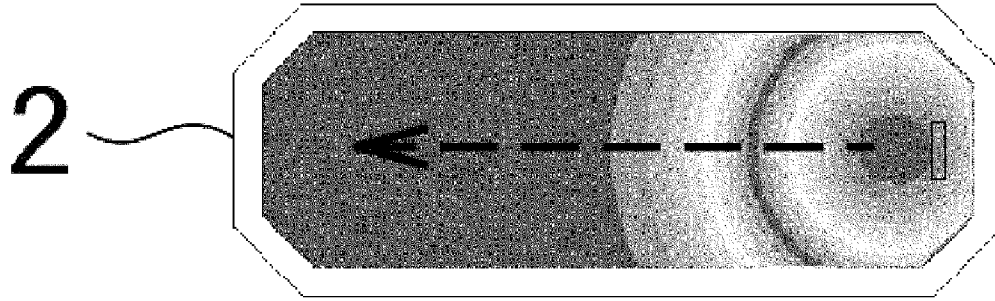
[図6]



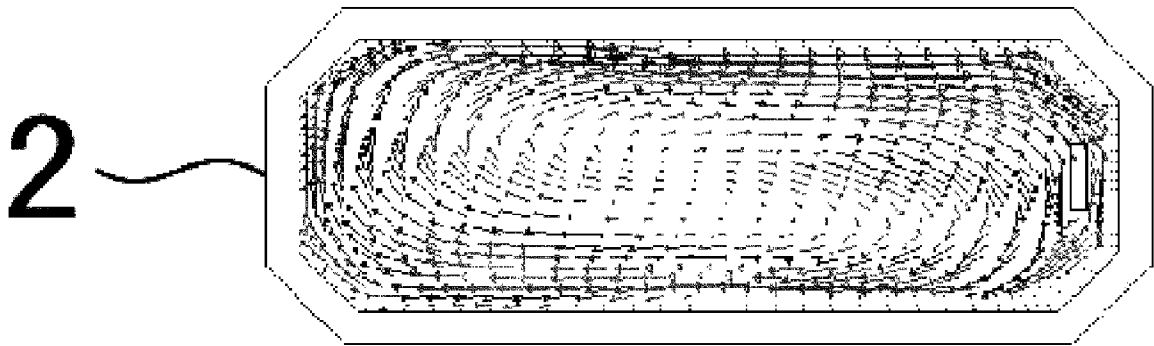
[図7A]



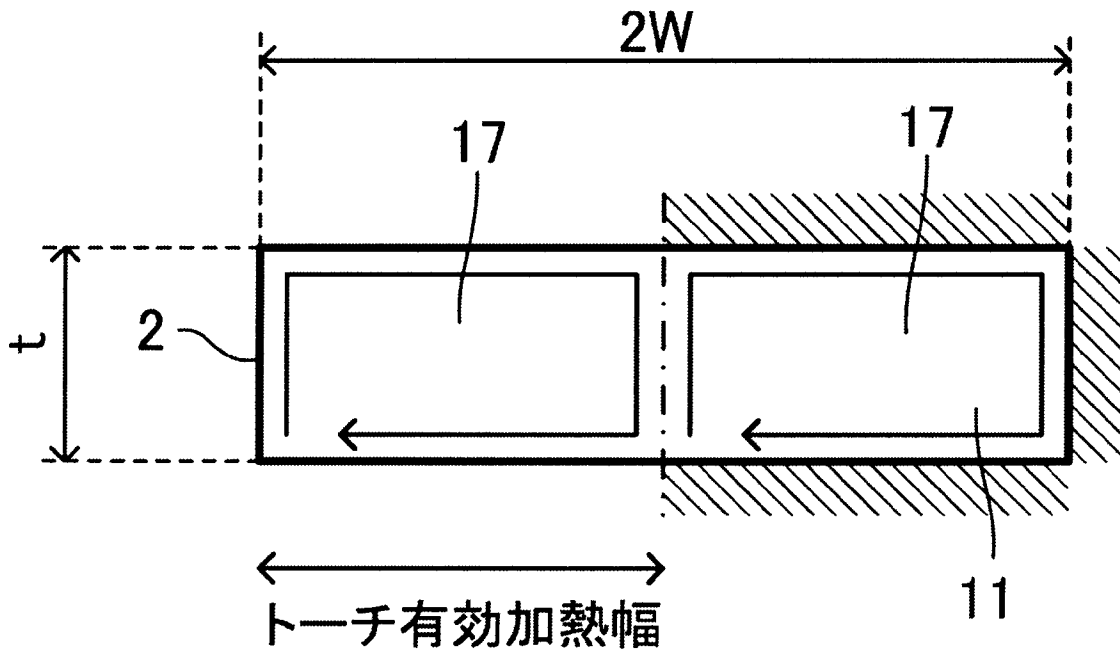
[図7B]



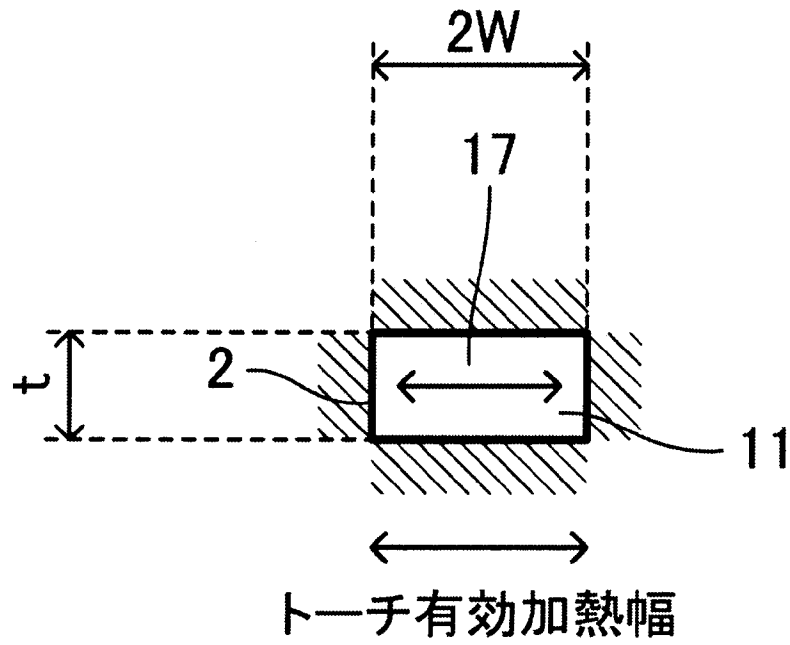
[図8]



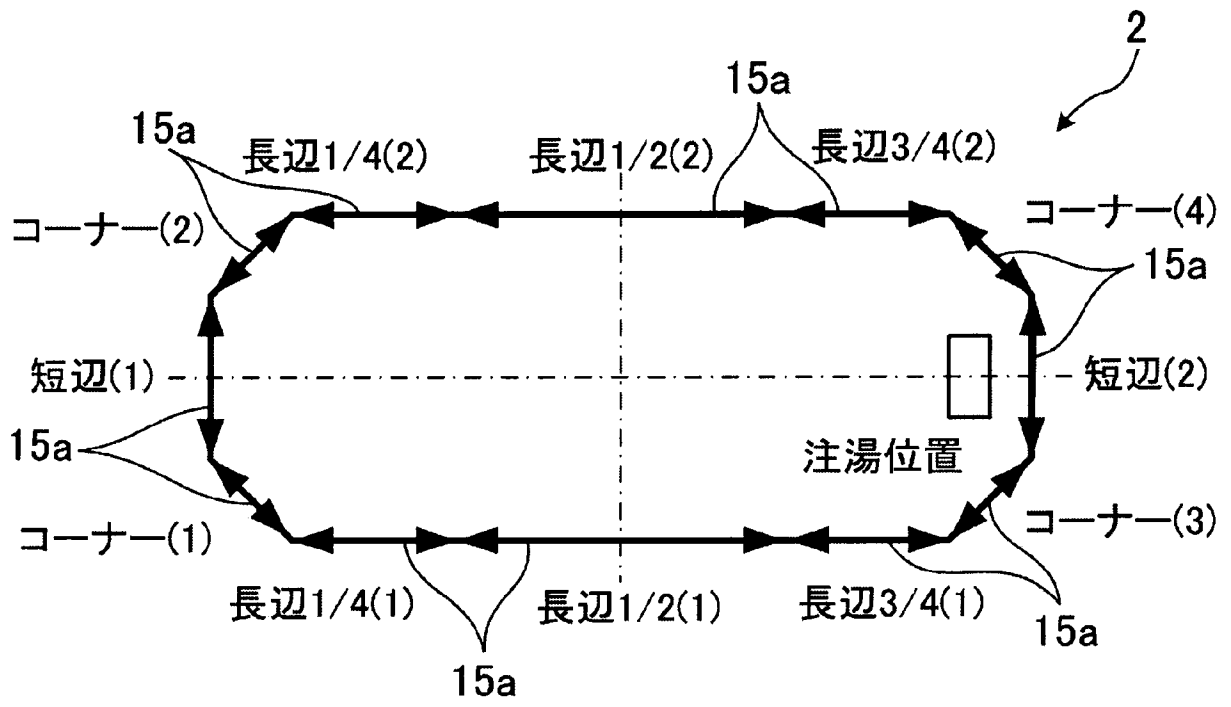
[図9]



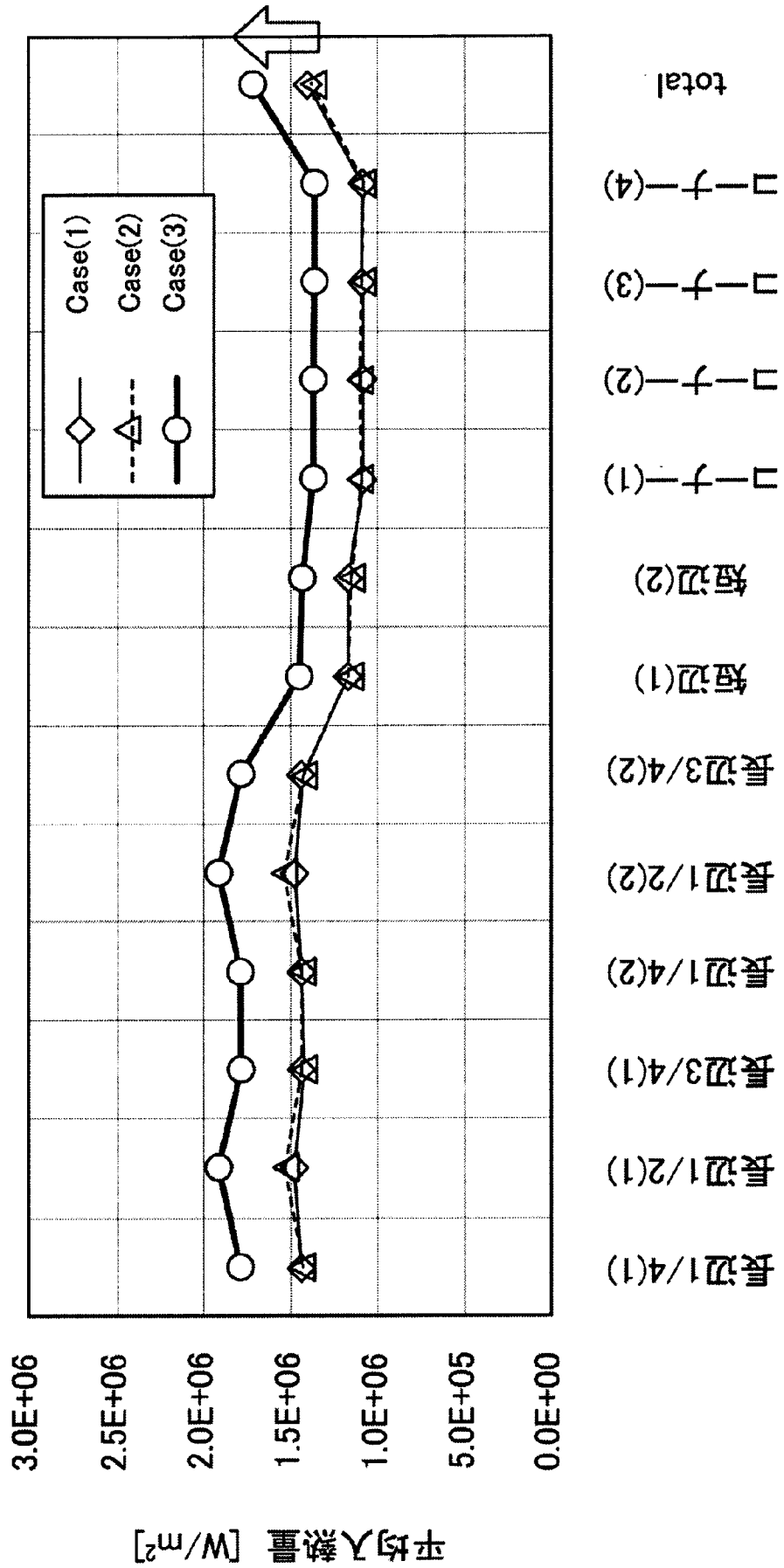
[図10]



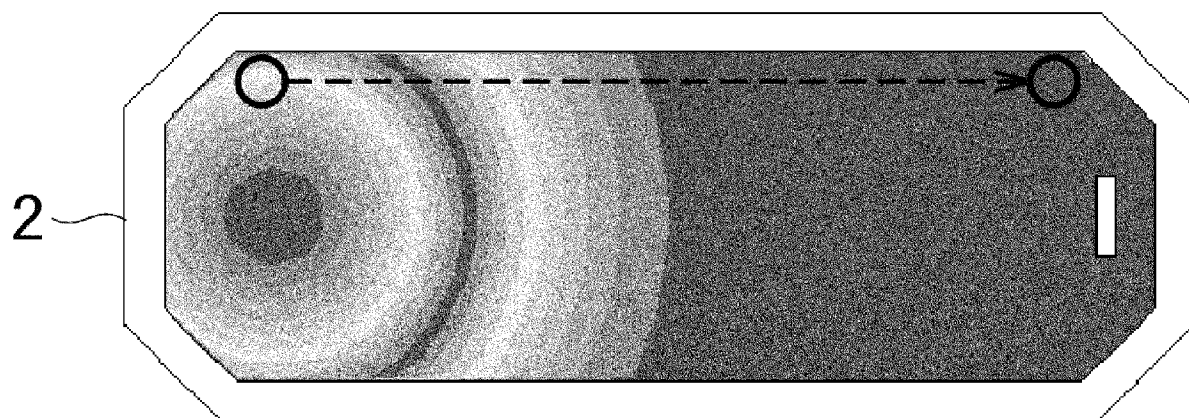
[図11]



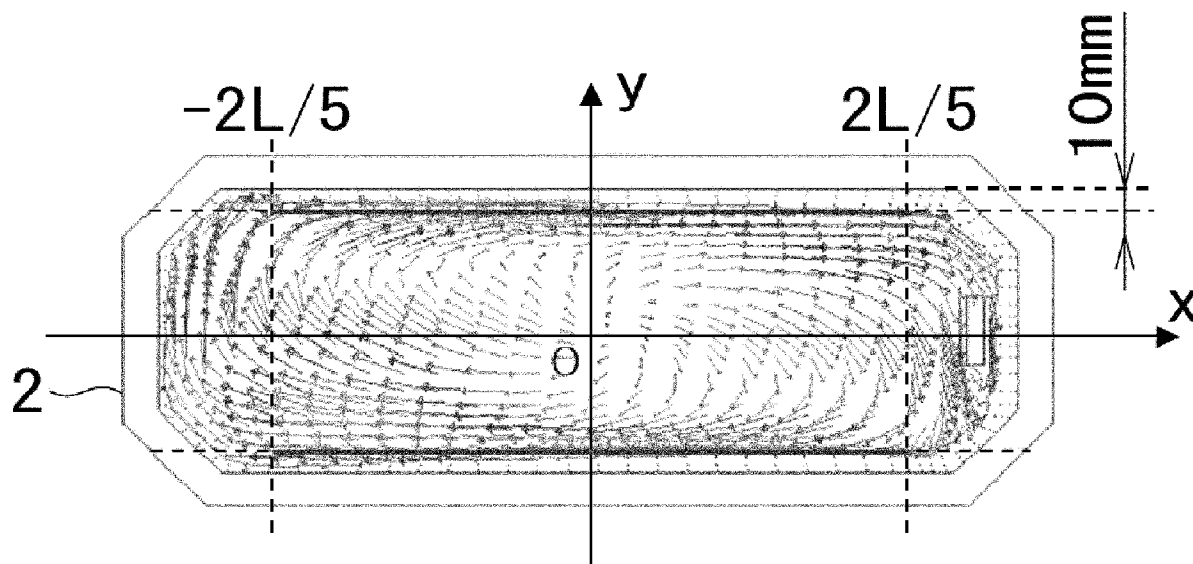
[図12]



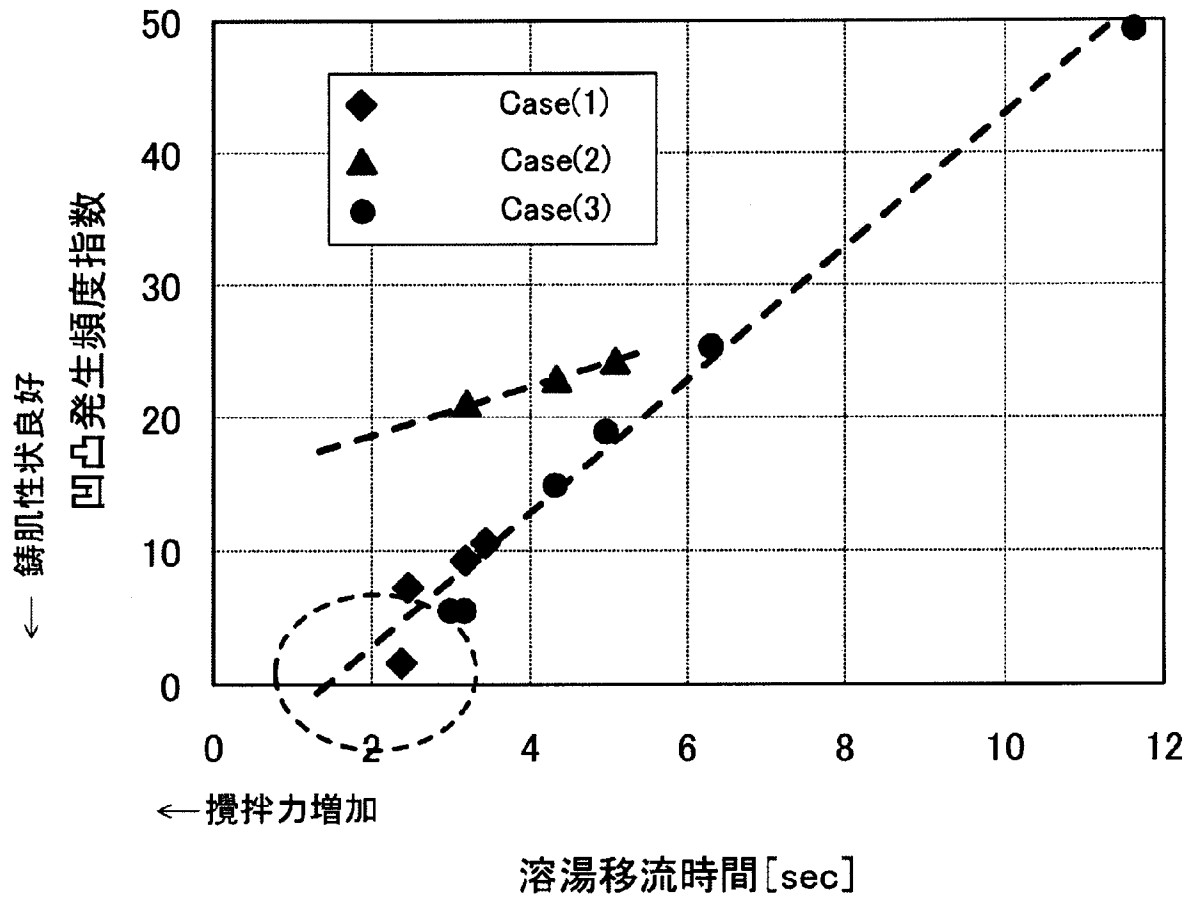
[図13]



[図14]



[図15]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2015/058628

<p><b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>  <i>B22D11/00(2006.01)i, B22D11/04(2006.01)i, B22D11/041(2006.01)i, B22D11/115(2006.01)i, B22D27/02(2006.01)i</i></p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>												
<p><b>B. FIELDS SEARCHED</b></p> <p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  <i>B22D11/00, B22D11/04, B22D11/041, B22D11/115, B22D27/02</i></p> <p>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  <i>Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2015          Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2015 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2015</i></p> <p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)</p>												
<p><b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td align="center">A</td> <td>JP 2013-184174 A (Kobe Steel, Ltd.), 19 September 2013 (19.09.2013), all pages; all drawings &amp; US 2014/0360694 A1 &amp; WO 2013/133332 A1</td> <td align="center">1</td> </tr> <tr> <td align="center">A</td> <td>JP 2013-81980 A (Kobe Steel, Ltd.), 09 May 2013 (09.05.2013), all pages; all drawings (Family: none)</td> <td align="center">1</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	JP 2013-184174 A (Kobe Steel, Ltd.), 19 September 2013 (19.09.2013), all pages; all drawings & US 2014/0360694 A1 & WO 2013/133332 A1	1	A	JP 2013-81980 A (Kobe Steel, Ltd.), 09 May 2013 (09.05.2013), all pages; all drawings (Family: none)	1	
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.										
A	JP 2013-184174 A (Kobe Steel, Ltd.), 19 September 2013 (19.09.2013), all pages; all drawings & US 2014/0360694 A1 & WO 2013/133332 A1	1										
A	JP 2013-81980 A (Kobe Steel, Ltd.), 09 May 2013 (09.05.2013), all pages; all drawings (Family: none)	1										
<p><input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.      <input type="checkbox"/> See patent family annex.</p>												
<p>* Special categories of cited documents:</p> <table border="0"> <tr> <td>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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)</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</td> <td>“&amp;” document member of the same patent family</td> </tr> <tr> <td>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</td> <td></td> </tr> </table>			“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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	“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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	“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)	“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	“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	“&” document member of the same patent family	“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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											
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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											
“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)	“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											
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	“&” document member of the same patent family											
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed												
<p>Date of the actual completion of the international search 09 June 2015 (09.06.15)</p>		<p>Date of mailing of the international search report 23 June 2015 (23.06.15)</p>										
<p>Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan</p>		<p>Authorized officer</p> <p>Telephone No.</p>										

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int.Cl. B22D11/00(2006.01)i, B22D11/04(2006.01)i, B22D11/041(2006.01)i, B22D11/115(2006.01)i, B22D27/02(2006.01)i		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))		
Int.Cl. B22D11/00, B22D11/04, B22D11/041, B22D11/115, B22D27/02		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの		
日本国実用新案公報	1922-1996年	
日本国公開実用新案公報	1971-2015年	
日本国実用新案登録公報	1996-2015年	
日本国登録実用新案公報	1994-2015年	
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2013-184174 A (株式会社神戸製鋼所) 2013.09.19, 全頁全図 & US 2014/0360694 A1 & WO 2013/133332 A1	1
A	JP 2013-81980 A (株式会社神戸製鋼所) 2013.05.09, 全頁全図 (ファミリーなし)	1
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <span style="margin-left: 200px;"><input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</span>		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	09.06.2015	国際調査報告の発送日
		23.06.2015
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 田代 吉成 電話番号 03-3581-1101 内線 3425	4E 9448