

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4594336号
(P4594336)

(45) 発行日 平成22年12月8日(2010.12.8)

(24) 登録日 平成22年9月24日(2010.9.24)

| | | | |
|----------------|--------------|------------------|-----------------|
| (51) Int. Cl. | | F 1 | |
| B 2 2 D | 27/08 | (2006.01) | B 2 2 D 27/08 |
| B 2 2 D | 27/20 | (2006.01) | B 2 2 D 27/20 Z |
| B 2 2 D | 27/09 | (2006.01) | B 2 2 D 27/09 Z |

請求項の数 4 (全 10 頁)

| | | | |
|-----------|-------------------------------|-----------|---------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2007-9513 (P2007-9513) | (73) 特許権者 | 000003207 トヨタ自動車株式会社 |
| (22) 出願日 | 平成19年1月18日(2007.1.18) | | 愛知県豊田市トヨタ町1番地 |
| (65) 公開番号 | 特開2008-173668 (P2008-173668A) | (73) 特許権者 | 592032636 |
| (43) 公開日 | 平成20年7月31日(2008.7.31) | | 学校法人トヨタ学園 |
| 審査請求日 | 平成21年6月1日(2009.6.1) | | 愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地1 |
| | | (73) 特許権者 | 393009840 |
| | | | 大鉄産業株式会社 |
| | | | 大阪府大阪市西区新町3丁目11番10号 |
| | | (74) 代理人 | 100080621 |
| | | | 弁理士 矢野 寿一郎 |
| | | (72) 発明者 | 古川 雄一 |
| | | | 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 凝固方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

凝固過程の液体の液面から所定の距離を空けて配置した振動子により、前記液体に超音波振動を付与する非接触超音波振動工程と、

前記凝固過程の液体の液面に形成された凝固部に接触しているが溶湯には接触していない振動子により、前記液体に超音波振動を付与する接触超音波振動工程と、

を具備することを特徴とする凝固方法。

【請求項2】

前記非接触超音波振動工程における所定の距離を、超音波振動の共振が生じる第二ピーク距離とすることを特徴とする請求項1に記載の溶融金属の凝固方法。

【請求項3】

前記振動子の振動方向を液面に略垂直な方向とすることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の凝固方法。

【請求項4】

前記接触超音波振動工程において、前記液体を加圧することを特徴とする請求項1から請求項3までのいずれか一項に記載の凝固方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、溶融状態の金属や樹脂等の液体の凝固方法に関する。より詳細には、凝固組

織（液体を凝固することにより得られる結晶組織）の微細化技術に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、金属材料はその結晶組織が均一かつ微細であるほど靱性に優れることから、結晶組織を均一微細化するための種々の方法が検討されている。

【0003】

従来、金属材料の凝固組織（凝固により得られる結晶組織）の微細化を図る最も簡便な方法としては、熔融金属の冷却速度を大きくすることにより結晶粒が粗大化する前に凝固させる方法が挙げられる。

しかし、この方法は、熔融金属を凝固して得られるインゴットの表面近傍にデンドライト組織が形成され、インゴットの表面から離れた内部では等軸状組織が形成されるため、インゴットの表面近傍から内部まで均一な凝固組織を得ることが困難である。

【0004】

このような問題を解消する方法の一つとして、凝固過程の熔融金属に振動子を浸漬して超音波振動を付与することにより、熔融金属内の核生成を促進する方法が知られている。例えば、特許文献1に記載の如くである。

【0005】

しかし、この方法は、以下の問題点を有する。

【0006】

第一に、振動子を熔融金属に浸漬すると振動子が熔融金属に接触するため、熔融金属により侵食され、損耗する。また、振動子を構成する材料が熔融金属に混入して熔融金属を汚染する。

より詳細には、振動子の超音波振動により熔融金属内にキャビテーション（気泡）が発生し、当該キャビテーションにより熔融金属の液面に生成された酸化膜等が除去され、振動子と熔融金属とが酸化膜を介さずに接触する結果、熔融金属と振動子の間の反応（化学反応を含む）が促進され、振動子が損耗する。

また、鋳型の上型を振動子として用いる場合、上型の内周面（熔融金属との接触面）に塗布された離型剤がキャビテーションにより除去されてしまうため、凝固過程で熔融金属が振動子に強固に固着する。

このような問題を解消する方法としては、固着したインゴットを上型から剥がすための押し出しピン等の機構を設けることが考えられるが、上型を振動子として超音波振動させるための機構と干渉するため、設けるのが容易でない。

【0007】

第二に、熔融金属に振動子を浸漬した場合、熔融金属の全体に超音波振動を付与するためには超音波振動の出力（振動エネルギー）を大きくする必要がある。例えば、熔融状態のアルミニウム合金に振動子を浸漬して20kHzの超音波振動を付与する場合、その出力を200kW程度に設定する必要がある。

【0008】

第三に、熔融金属に振動子を浸漬して高出力で超音波振動を付与すると、振動子の近傍領域では振動が強過ぎるため、超音波振動により生成した結晶核が再び溶解する。よって、効率良く熔融金属中の結晶核を増やし、ひいては凝固組織の微細化を図ることが困難である。

【0009】

また、振動子を熔融金属に浸漬することによる振動子の損耗を防止する方法として、熔融金属および振動子との間で化学的に反応しない材質からなる熔融塩等に振動子を浸漬し、当該熔融塩等を熔融金属に接触させることにより熔融金属に超音波振動を付与する方法も知られている。例えば、特許文献2に記載の如くである。

しかし、この方法は、熔融金属の凝固後に熔融塩等を除去する工程等が必要であり、生産性が良くないこと、および熔融塩が熔融金属に溶解しなくても熔融金属中に巻き込まれて凝固するおそれがあること、という問題がある。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 0 】

また、上記問題を解消する別の方法として、振動子を用いず高周波誘導により凝固過程の溶融金属に電流および磁場を印加して溶融金属に振動を付与する方法も知られている。例えば、特許文献 3 および特許文献 4 に記載の如くである。

【特許文献 1】特許第 3 5 5 5 4 8 5 号公報

【特許文献 2】特公平 7 - 8 4 6 2 6 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 4 - 9 8 1 1 1 号公報

【特許文献 4】特許第 3 0 0 7 9 4 7 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

【 0 0 1 1 】

本発明は以上の如き状況に鑑み、振動子の損耗を防止しつつ微細な凝固組織を得ることが可能な凝固方法を提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 2 】

本発明の解決しようとする課題は以上の如くであり、次にこの課題を解決するための手段を説明する。

【 0 0 1 3 】

即ち、請求項 1 においては、

凝固過程の液体の液面から所定の距離を空けて配置した振動子により、前記液体に超音波振動を付与する非接触超音波振動工程と、

20

前記凝固過程の液体の液面に形成された凝固部に接触しているが溶湯には接触していない振動子により、前記液体に超音波振動を付与する接触超音波振動工程と、
を具備するものである。

【 0 0 1 4 】

請求項 2 においては、

前記非接触超音波振動工程における所定の距離を、超音波振動の共振が生じる第二ピーク距離とするものである。

【 0 0 1 5 】

請求項 3 においては、

前記振動子の振動方向を液面に略垂直な方向とするものである。

30

【 0 0 1 6 】

請求項 4 においては、

前記接触超音波振動工程において、前記液体を加圧するものである。

【発明の効果】

【 0 0 1 7 】

本発明においては、振動子の損耗を防止しつつ微細な凝固組織を得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 8 】

以下では、図 1 から図 6 を用いて本発明に係る凝固方法の実施の一形態について説明する。

40

図 1 および図 2 に示す如く、本発明に係る凝固方法の実施の一形態は、溶融状態の Al - Si - Mg 合金 (AC4CH) である溶湯 1 を凝固する方法であり、主として非接触超音波振動工程 S100、接触超音波振動工程 S200 を具備する。

本実施例における溶湯 1 は、自動車用の車輪や航空機用エンジン等のいわゆる高級鋳物に用いられるアルミニウム合金である Al - Si - Mg 合金 (AC4CH) を溶融状態としたものからなるが、本発明はこれに限定されず、種々の液体状 (溶融状態) の材料、例えば金属材料や樹脂材料を凝固する用途に適用可能である。

【 0 0 1 9 】

図 1 および図 2 に示す如く、非接触超音波振動工程 S100 は凝固過程の溶湯 1 の液面

50

から所定の距離 R を空けて配置した上型 2 により、非接触で溶湯 1 に超音波振動を付与する工程である。

【 0 0 2 0 】

上型 2 は本発明に係る凝固方法における振動子の実施の一形態であり、所定の周波数で超音波振動するものである。本実施例では、上型 2 は溶湯 1 を所定の形状に成型するための鑄型 10 の上半部を成す可動型（鑄型の構成部材のうち、移動可能なもの）を兼ねている。

【 0 0 2 1 】

図 2 に示す如く、非接触超音波振動工程 S 1 0 0 において、まず溶湯 1 を鑄型 10 の下半部を成す固定型である下型 3 に注ぎ入れ、凝固過程におく。

10

ここで、「凝固過程」とは、() 液体の周囲の温度（本実施例の場合、下型 3 の温度）を液体の凝固点（または、初晶の晶出温度）以下の温度に保持する、または、() 液体の周囲の温度を凝固点以下で経時的に下げる（冷却する）ことにより、所定の時間経過後には液体が凝固し得る状態（言い換えれば、液体が凝固するための駆動力が発生している状態）を指す。

【 0 0 2 2 】

次に、溶湯 1 の液面から上型 2 の下面までの距離が R となる位置に上型 2 を配置し、これを 2 0 k H z の周波数で超音波振動させ、非接触で溶湯 1 に超音波振動を付与する。

このときの上型 2 の超音波振動の出力は 2 0 k W 程度であり、溶湯に振動子を浸漬する従来の凝固方法における超音波振動の出力（2 0 0 k W 程度）の約 1 0 分の 1 である。

20

【 0 0 2 3 】

図 3 に示す如く、溶湯 1 に超音波振動が付与されると、溶湯 1 の液面近傍領域が振動するとともに、溶湯 1 の液面と上型 2 の間で空気の対流が起こって溶湯 1 の液面が冷却される。そのため、上型 2 に対向する溶湯 1 の液面の近傍領域において多数の結晶核 1 a · 1 a · · · が核生成する。また、溶湯 1 に付与される超音波振動により、溶湯 1 の内部に液面から底部に向かう緩やかな強制対流が発生する。

その結果、溶湯 1 の液面近傍において核生成した多数の結晶核 1 a · 1 a · · · は再溶解することなく強制対流に乗って溶湯 1 の底部に搬送され、そこで沈降する。

【 0 0 2 4 】

なお、非接触で超音波振動を付与する場合、媒質による振動エネルギーの損失を考慮すると液体の液面から振動子までの距離を極力短くすることが望ましい。しかし、熔融金属の液面からの輻射熱による振動子の劣化や、熔融金属が跳ねて振動子に付着することを防止するという観点からは、液体の液面から振動子までの距離を長くすることが望ましい。

30

また、振動子は点ではなく、所定の面積を有し、液面に対向する面から振動を発することから、超音波振動の共振が起こり、液体の液面から振動子までの距離によっては超音波振動が増幅され、あるいは相殺される。

従って、非接触超音波振動工程における振動子と液体の液面との間の所定の距離は、(1) 超音波振動の共振が起こり超音波振動が増幅される距離であって、かつ、(2) 振動子の劣化等の影響が抑えられる範囲内で極力短いこと、が望ましい。

【 0 0 2 5 】

ここで、超音波振動の共振が起こり、超音波振動が増幅される距離を「第 n ピーク距離 (n : 正の整数) 」という。第 n ピーク距離 R n は、超音波の波長 λ を用いて、 $R_n = (n / 2) \times \lambda$ で表される。

40

【 0 0 2 6 】

本実施例の場合、上型 2 の超音波振動の周波数は 2 0 k H z 、音速は約 3 2 0 m / s e c であるから、波長 $\lambda = (320 \times 10^3) / (20 \times 10^3) = 16 [mm]$ である。

従って、本実施例における第一ピーク距離 R 1 は 8 mm 、第二ピーク距離 R 2 は 1 6 m m である。

【 0 0 2 7 】

しかし、本実施例では、上型 2 (の下面) と溶湯 1 の液面との間の距離 R を第一ピーク

50

距離である 8 mm とした場合には溶湯 1 の液面近傍における核生成の促進効果があまり見られず、第二ピーク距離である 16 mm とした場合には溶湯 1 の液面近傍における核生成の促進効果が顕著に見られた。

従って、上型 2 (の下面) と溶湯 1 の液面との間の距離 R を第二ピーク距離 (16 mm) とすることが凝固組織の微細化の観点から望ましい。

なお、第一ピーク距離で核生成の促進効果があまり見られなかった理由としては、超音波の直進性が高いために距離が短いと共振が起こりにくいことが考えられる。

【 0 0 2 8 】

図 4 に示す如く、溶湯 1 への超音波振動の付与を開始してから所定時間が経過すると、溶湯 1 の液面に凝固部 1 b が形成される。凝固部 1 b は溶湯 1 の内部に生成した結晶核 1 a · 1 a · · · が多数集合し、液面にて凝固して固体状態または半溶融状態となったものである。

10

凝固部 1 b が形成されたら非接触超音波振動工程 S 1 0 0 を終了し、接触超音波振動工程 S 2 0 0 に移行する。

【 0 0 2 9 】

本実施例では非接触超音波振動工程 S 1 0 0 における上型 2 の超音波振動の周波数を 20 kHz としたが、本発明に係る凝固方法はこれに限定されず、例えば液体の種類 (組成) 、液体の量、液体の温度、液体の粘度、液体を充填する容器の形状等の種々の条件に応じて振動子の周波数を適宜選択することが可能である。

【 0 0 3 0 】

上型 2 の振動方向は上下方向、すなわち溶湯 1 の液面に略垂直な方向である。

20

このように構成することにより、振動子が液面に略平行な方向に振動する場合に比べて効率良く液体に超音波振動を付与することが可能であり、ひいては液体中における結晶核の核生成を促進して凝固組織を微細化することが可能である。

【 0 0 3 1 】

図 1 および図 5 に示す如く、接触超音波振動工程 S 2 0 0 は凝固過程の溶湯 1 の液面に形成された凝固部 1 b に接触した上型 2 により、溶湯 1 に超音波振動を付与する工程である。

【 0 0 3 2 】

接触超音波振動工程 S 2 0 0 においては、まず、上型 2 を下降して凝固部 1 b に接触させる。

30

この際、(1) 非接触超音波振動工程 S 1 0 0 が終了した時点で一度上型 2 の超音波振動を停止し、上型 2 を凝固部 1 b に接触させてから超音波振動を再開しても良く、(2) 非接触超音波振動工程 S 1 0 0 から接触超音波振動工程 S 2 0 0 に移行する間、上型 2 の超音波振動を継続しても良い。

【 0 0 3 3 】

図 5 に示す如く、上型 2 が凝固部 1 b に接触した状態で上型 2 を液面に略垂直な方向に超音波振動させると、凝固部 1 b を介して溶湯 1 に超音波振動が付与される。

その結果、凝固部 1 b の近傍領域においてさらに多数の結晶核 1 a · 1 a · · · が生成され、凝固部 1 b の近傍領域において微細な結晶粒からなる凝固組織が形成され始める。

40

また、凝固部 1 b の近傍領域における多数の結晶核 1 a · 1 a · · · の核生成および液面から底部に向かう強制対流も維持され、引き続き凝固部 1 b の近傍領域において核生成した結晶核 1 a · 1 a · · · が強制対流に乗って溶湯 1 の底部に搬送され、そこで沈降する。そして、溶湯 1 の底部に沈降した結晶核 1 a · 1 a · · · が成長して下型 3 の底部でも微細な結晶粒からなる凝固組織が形成され始める。

このように、接触超音波振動工程 S 2 0 0 においては溶湯 1 の上部 (液面近傍) から下部 (底部) から微細な結晶粒からなる凝固組織が形成されるため、溶湯 1 の周囲温度がそれほど低くない (凝固の駆動力があまり大きくない) 場合にはデンドライト組織が形成されないうちに溶湯 1 の全てが等軸状の微細な結晶粒からなる凝固組織で占められることとなる。

50

【 0 0 3 4 】

また、接触超音波振動工程 S 2 0 0 においては、上型 2 は固体状態または半溶融状態の凝固部 1 b に接触しているが溶湯 1 には接触していない。そのため、溶湯 1 との接触により上型 2 が侵食され、損耗することが防止（または大幅に抑制）される。

【 0 0 3 5 】

なお、仮に凝固部 1 b が生成した後も接触超音波振動工程 S 2 0 0 に移行せず、上型 2 を凝固部 1 b に接触させずに凝固部 1 b から所定の距離を空けて上型 2 を超音波振動させた場合、上型 2 の損耗は防止できるが、凝固部 1 b を介して溶湯 1 に効率良く付与することができず、それ以降の結晶核 1 a ・ 1 a ・ ・ ・ の核生成が抑制されることとなる。

【 0 0 3 6 】

本実施例の場合、接触超音波振動工程 S 2 0 0 において上型 2 を下型 3 の上面の開口部に下方に押し込むことにより、溶湯 1 に超音波振動が付与されるとともに溶湯 1 が加圧される。

そして、加圧されるとともに超音波振動が付与された状態を保持しつつ、溶湯 1 の周囲を冷却することにより、溶湯 1 が全て凝固する。

【 0 0 3 7 】

加圧することにより、鋳型 1 0 の略中央部において凝固せずに残っている溶湯 1 にさらに効率良く超音波振動を付与し、結晶核 1 a ・ 1 a ・ ・ ・ の核生成を促進することが可能である。

その結果、図 6 に示す如く、鋳型 1 0 に対応する所定の形状を有し、表面から内部に至るまで数 1 0 μ m 程度の等軸状の微細な結晶粒からなる凝固組織を有するインゴット 4 が得られる。

インゴット 4 の凝固組織は表面から内部まで等軸晶からなり、そのビッカース硬度は H V 6 8 である。これに対して、従来の凝固方法により得られるインゴット（超音波振動を全く用いず、冷却のみで得られるインゴット）の凝固組織は表面近傍にデンドライト組織が発達し、全体的にも結晶粒が粗大である（1 0 0 μ m 程度）とともに、ビッカース硬度が H V 5 7 であり本実施例よりも硬度が低い。

【 0 0 3 8 】

なお、溶融金属の種類や容器（鋳型）の内部の形状（大きさ）等によっては、接触超音波振動工程において液体を加圧せずに常圧で凝固しても良い。

【 0 0 3 9 】

本実施例では上型 2 が溶湯 1 を充填する容器である鋳型 1 0 の一部を兼ねる構成としたが、本発明はこれに限定されず、液体が充填される容器と振動子とが別体でも良い。

【 0 0 4 0 】

本実施例では接触超音波振動工程 S 2 0 0 において上型 2（上型）のみを超音波振動させる構成としたが、本発明はこれに限定されず、接触超音波振動工程において下型も合わせて超音波振動させる構成としても良い。

【 0 0 4 1 】

本実施例では非接触超音波振動工程 S 1 0 0、接触超音波振動工程 S 2 0 0 のいずれも同一の上型 2 により超音波振動を付与する構成としたが、本発明はこれに限定されず、工程毎にそれぞれ別の振動子を用いて超音波振動を付与する構成としても良い。

【 0 0 4 2 】

本実施例では非接触超音波振動工程 S 1 0 0、接触超音波振動工程 S 2 0 0 のいずれも超音波振動の周波数を 2 0 k H z としたが、本発明はこれに限定されず、工程毎にそれぞれ異なる周波数の超音波振動を付与する構成としても良い。

なお、非接触超音波振動工程において溶融金属からの輻射熱により振動子が劣化することを防止するという観点からは、振動子の超音波振動の周波数を極力低くすることにより超音波振動の共振が起こり、超音波振動が増幅される距離（第 n ピークとなる距離）を長くすることが望ましいが、あまり周波数を低くすると人間の可聴域と重なり、周囲の作業環境が悪化するという問題がある。従って、振動子の超音波振動の周波数の下限は 1 5 k

10

20

30

40

50

H z 程度とすることが望ましい。

【 0 0 4 3 】

本実施例では非接触超音波振動工程 S 1 0 0、接触超音波振動工程 S 2 0 0 のいずれも超音波振動の振幅（振動エネルギー）を同じとしたが、本発明はこれに限定されず、工程毎にそれぞれ異なる振幅の超音波振動を付与する構成としても良い。

【 0 0 4 4 】

また、本発明は凝固組織の全てを均一に微細化することをその主目的とするものであるが、非接触超音波振動工程および接触超音波振動工程における超音波振動の振幅や超音波振動を付与する時間、周囲温度等を適宜調整することにより、凝固組織の制御を行うことも可能である。例えば、インゴットの上部和下部で凝固組織の平均結晶粒径を変えたり、下部は等軸晶からなる凝固組織として上部はデンドライト組織とする等が挙げられる。

10

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 4 5 】

【 図 1 】 本発明に係る溶融金属の凝固方法の実施の一形態を示すフロー図。

【 図 2 】 本発明に係る溶融金属の凝固方法の実施の一形態の非接触超音波振動工程の初期段階を示す側面断面模式図。

【 図 3 】 本発明に係る溶融金属の凝固方法の実施の一形態の非接触超音波振動工程の中期段階を示す側面断面模式図。

【 図 4 】 本発明に係る溶融金属の凝固方法の実施の一形態の非接触超音波振動工程の終期段階を示す側面断面模式図。

20

【 図 5 】 本発明に係る溶融金属の凝固方法の実施の一形態の接触超音波振動工程の初期段階を示す側面断面模式図。

【 図 6 】 本発明に係る溶融金属の凝固方法の実施の一形態の接触超音波振動工程の終期段階を示す側面断面模式図。

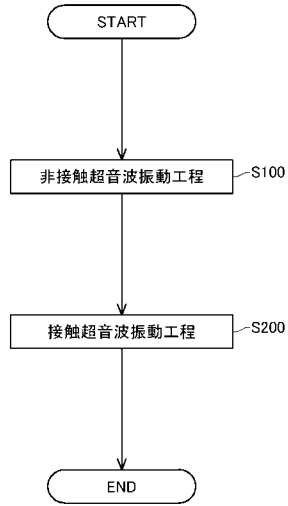
【 符号の説明 】

【 0 0 4 6 】

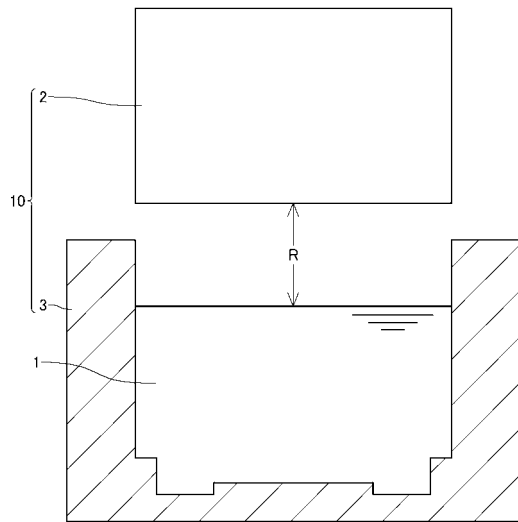
- 1 溶湯（液体）
- 1 a 結晶核
- 1 b 凝固部
- 2 上型（振動子）

30

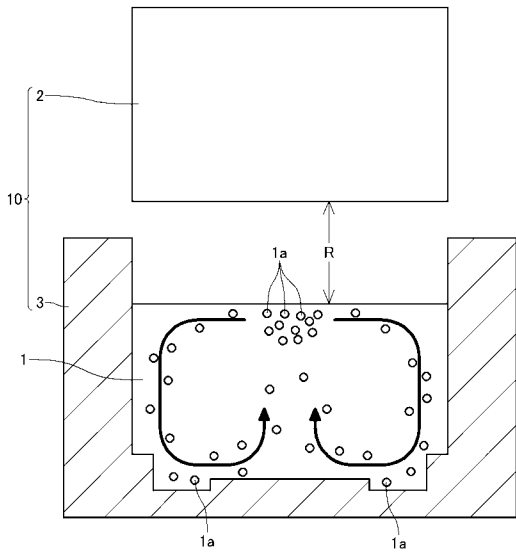
【 図 1 】



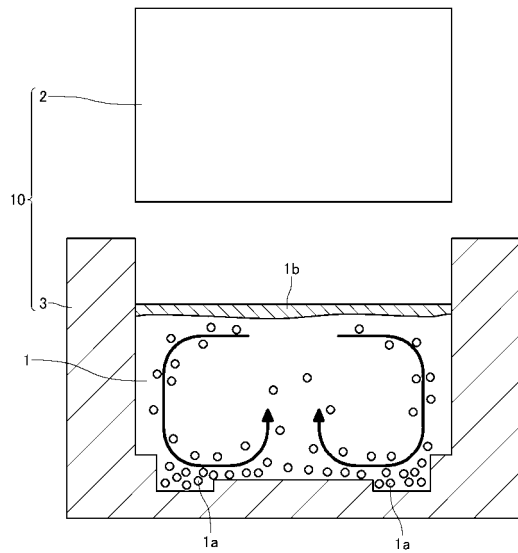
【 図 2 】



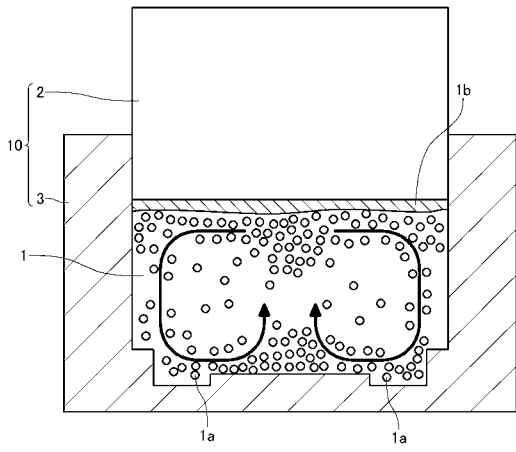
【 図 3 】



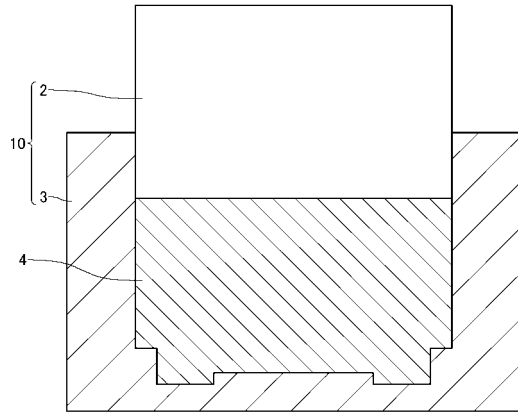
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

- (72)発明者 恒川 好樹
愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地1 学校法人トヨタ学園 豊田工業大学内
- (72)発明者 木下 禎仁
大阪府大阪市中央区今橋二丁目1番10号 大銃産業株式会社内

審査官 池ノ谷 秀行

- (56)参考文献 特開平04-262851(JP,A)
特開2006-102807(JP,A)
特開2004-209487(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B22D 27/00 - 27/20