

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-145495

(P2017-145495A)

(43) 公開日 平成29年8月24日(2017.8.24)

(51) Int.Cl.
B22F 9/08 (2006.01)F1
B22F 9/08テーマコード(参考)
4K017

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2016-30404 (P2016-30404)
(22) 出願日 平成28年2月19日(2016.2.19)(71) 出願人 000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(74) 代理人 100091292
弁理士 増田 達哉
(74) 代理人 100091627
弁理士 朝比 一夫
(72) 発明者 兼田 裕樹
青森県八戸市大字河原木字海岸4-4-4
エプソンアトミックス株式会社内
(72) 発明者 赤澤 敏樹
青森県八戸市大字河原木字海岸4-4-4
エプソンアトミックス株式会社内

最終頁に続く

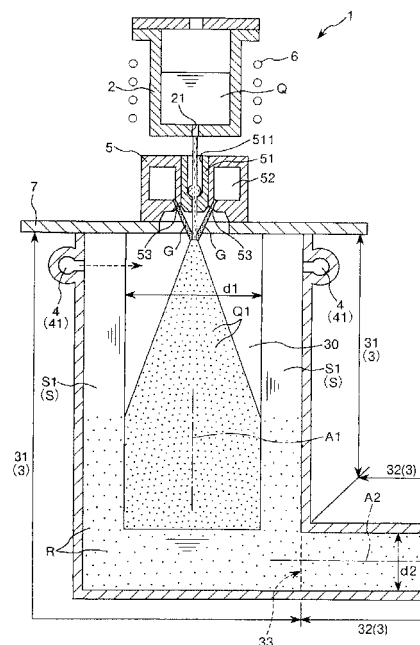
(54) 【発明の名称】 金属粉末製造装置

(57) 【要約】

【課題】意図しない性状変化が少なく、かつ、十分な球形化が図られている金属粉末を製造可能な金属粉末製造装置を提供すること。

【解決手段】金属粉末製造装置1(本発明の金属粉末製造装置)は、熔融金属Qを流下させる熔融金属供給部2と、熔融金属供給部2の下方に設置され、軸線A1と鉛直線VLとのなす角度が 0° 以上 20° 以下であり、かつ、内周面に螺旋状の溝が形成されている部分を含む筒状体3と、熔融金属Qに向けて気体G(流体)を噴射する流体噴射部5と、上部31の内周面に沿って冷却液Sを流出させる冷却液流出部4と、を有し、螺旋状の溝に沿って任意の物体を重力によって移動させ物体が移動する様子を鉛直上方から見たときの物体の回転方向と、鉛直上方から見たときの冷却液Sの回転方向とが、互いと同じになるように溝および冷却液流出部4が構成されている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

溶融金属を流下させる溶融金属供給部と、
前記溶融金属供給部の下方に設置され、軸線と鉛直線とのなす角度が 0° 以上 20° 以下であり、かつ、内周面に螺旋状の溝が形成されている部分を含む筒状体と、
前記溶融金属供給部から供給される溶融金属に向けて流体を噴射する流体噴射部と、
前記筒状体の前記部分の内周面に沿って冷却液を流出させる冷却液流出部と、
を有し、
前記螺旋状の溝に沿って任意の物体を重力によって移動させ前記物体が移動する様子を鉛直上方から見たときの前記物体の回転方向と、前記筒状体の前記部分の内壁面に沿って前記冷却液を流出させる様子を鉛直上方から見たときの前記冷却液の回転方向とが、互いに同じになるように前記溝および前記冷却液流出部が構成されていることを特徴とする金属粉末製造装置。

10

【請求項 2】

前記筒状体の軸に直交する平面と前記溝とのなす角度と、前記平面と前記冷却液の流出方向とのなす角度と、が互いに等しい請求項 1 に記載の金属粉末製造装置。

【請求項 3】

前記溝の幅は、前記筒状体の前記部分の内径の 0.01% 以上 1% 以下である請求項 1 または 2 に記載の金属粉末製造装置。

【請求項 4】

前記溝の深さは、前記溝の幅の 10% 以上 500% 以下である請求項 3 に記載の金属粉末製造装置。

20

【請求項 5】

前記溝の横断面形状は、三角形または半円形である請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の金属粉末製造装置。

【請求項 6】

前記流体は、不活性ガスである請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の金属粉末製造装置。

【請求項 7】

前記筒状体は、前記部分からなる上部と、前記上部の下端に連続して設けられる下部であってその軸線と鉛直線とのなす角度が前記上部の軸線と鉛直線とのなす角度よりも大きくなるように傾けられている下部と、を含む請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の金属粉末製造装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、金属粉末製造装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、いわゆる水アトマイズ法を用いて金属粉末を製造する方法が知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

40

【0003】

特許文献 1 に記載されている金属粉末の製造方法では、溶融金属流に液体流を吹き付けて噴霧する液体噴霧法として、水アトマイズ法が用いられている。水アトマイズ法では、噴霧後の冷却速度が速いため、溶融金属が表面張力によって球形化する前に固化させることができる。このため、得られた粉末は不規則形状になり易い。

【0004】

このような課題に対し、特許文献 1 に記載の発明では、形成された粉末を、融点以上に加熱させた領域を通過させ球形化させるという工程を付加することで解決を試みている。融点以上に加熱された領域とは、プラズマ領域や燃焼ガス領域のことである。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2001-64703号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献1に記載された方法では、プラズマ領域や燃焼ガス領域を設ける必要があり、装置の大型化や高コスト化が避けられない。また、この方法では、一旦固化した金属粉末を再び溶融するため、意図しない組成変化を招くおそれがある他、例えばアモルファス金属の粉末を製造する場合、意図しない結晶化を招くおそれがある。

10

【0007】

本発明の目的は、意図しない性状変化が少なく、かつ、十分な球形化が図られている金属粉末を製造可能な金属粉末製造装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

このような目的は、下記の本発明により達成される。

本発明の金属粉末製造装置は、溶融金属を流下させる溶融金属供給部と、

前記溶融金属供給部の下方に設置され、軸線と鉛直線とのなす角度が 0° 以上 20° 以下であり、かつ、内周面に螺旋状の溝が形成されている部分を含む筒状体と、

20

前記溶融金属供給部から供給される溶融金属に向けて流体を噴射する流体噴射部と、

前記筒状体の前記部分の内周面に沿って冷却液を流出させる冷却液流出部と、を有し、

前記螺旋状の溝に沿って任意の物体を重力によって移動させ前記物体が移動する様子を鉛直上方から見たときの前記物体の回転方向と、前記筒状体の前記部分の内壁面に沿って前記冷却液を流出させる様子を鉛直上方から見たときの前記冷却液の回転方向とが、互いに同じになるように前記溝および前記冷却液流出部が構成されていることを特徴とする。

【0009】

これにより、意図しない組成変化が少なく、かつ、十分な球形化が図られている金属粉末を製造可能な金属粉末製造装置が得られる。

30

【0010】

本発明の金属粉末製造装置では、前記筒状体の軸に直交する平面と前記溝とのなす角度と、前記平面と前記冷却液の流出方向とのなす角度と、が互いに等しいことが好ましい。

【0011】

これにより、溝と冷却液の流れとが一致することとなり、冷却液における乱流の発生を最小限に留めることができる。その結果、冷却液層のさらなる安定化を図ることができる。

【0012】

本発明の金属粉末製造装置では、前記溝の幅は、前記筒状体の前記部分の内径の 0.01% 以上 1% 以下であることが好ましい。

40

【0013】

これにより、冷却液層の周速に応じて、溝の幅が最適化される。その結果、冷却液層を特に安定化させることができる。

【0014】

本発明の金属粉末製造装置では、前記溝の深さは、前記溝の幅の 10% 以上 500% 以下であることが好ましい。

【0015】

これにより、冷却液層の周速に応じて、溝の深さが最適化される。その結果、冷却液層を特に安定化させることができる。

【0016】

50

本発明の金属粉末製造装置では、前記溝の横断面形状は、三角形または半円形であることが好ましい。

【0017】

これにより、溝に対して冷却液の入れ替わり易さを高めることができる。このため、金属粉末の品質の均質性をより高めることができる。

【0018】

本発明の金属粉末製造装置では、前記流体は、不活性ガスであることが好ましい。

これにより、比較的熱容量の小さい流体によって溶融金属を分断することができるので、粉末化を図りつつ、その最中に金属が酸化するのを抑制することができる。その結果、液滴の酸化や著しい変形を抑えつつ、溶融金属を分断することができるので、意図しない組成変化がより少なく抑えられ、かつ、球形化が十分に図られた金属粉末を製造することができる。

【0019】

本発明の金属粉末製造装置では、前記筒状体は、前記部分からなる上部と、前記上部の下端に連続して設けられる下部であってその軸線と鉛直線とのなす角度が前記上部の軸線と鉛直線とのなす角度よりも大きくなるように傾けられている下部と、を含むことが好ましい。

【0020】

これにより、上部と下部との接続部において軸線が不連続になるため、上部に供給された冷却液は、上部の内周面に沿って流下した後、上部と下部との接続部において流下速度が低下する。その結果、上部と下部との接続部では冷却液が滞留した状態が継続することとなる。このため、筒状体の内部空間では、側面に加え底面にも十分な厚さの冷却液層が形成されることとなる。そして、溶融金属の液滴が、高い確率で十分な体積の冷却液に突入することができ、意図しない性状変化が抑えられる。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本発明の金属粉末製造装置の実施形態を示す模式図（縦断面図）である。

【図2】本発明の金属粉末製造装置の実施形態を示す模式図（縦断面図）である。

【図3】図1に示す筒状体の一部を拡大して示す部分断面図である。

【図4】図3に示す筒状体に、冷却液の流れを模式的に書き加えた図である。

【図5】図3の一部をさらに拡大して示す部分断面図である。

【図6】図5に示す溝の変形例を示す部分断面図である。

【図7】図5に示す溝の変形例を示す部分断面図である。

【図8】図1に示す金属粉末製造装置のうち、流体噴射口近傍を拡大して示す斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

以下、本発明の金属粉末製造装置について、添付図面に示す好適実施形態に基づいて詳細に説明する。

【0023】

図1および図2は、それぞれ本発明の金属粉末製造装置の実施形態を示す模式図（縦断面図）である。なお、図2では、装置の構成を一部簡略化して図示している。

【0024】

図1に示す金属粉末製造装置1は、それぞれ溶融金属Qをアトマイズ法により粉末化した後、冷却固化させ、金属粉末Rを得るための装置である。この金属粉末製造装置1は、溶融金属Qを供給する溶融金属供給部2（タンディシュ）と、溶融金属供給部2の下方に設けられた筒状体3（冷却容器）と、筒状体3内に冷却液Sを流出させる冷却液流出部4と、流下する溶融金属Qに向けて気体G（流体）を噴射する流体噴射部5（ノズル）と、を有している。以下、各部の構成について詳述する。

【0025】

図 1 に示すように、溶融金属供給部 2 は、有底筒状をなす部分を有している。この溶融金属供給部 2 内には、製造すべき金属粉末の原材料を溶融した溶融金属 Q が一時的に収容される。このような溶融金属供給部 2 は、例えば、黒鉛や窒化ケイ素等の耐火性材料で構成されている。また、溶融金属供給部 2 の外周には、溶融金属 Q を加熱し保温するための誘導コイル 6 が設けられている。

【0026】

溶融金属 Q は、いかなる元素を含んでいてもよく、例えば Ti および Al の少なくとも一方を含んでいるものも用いることができる。これらの元素は活性が高いため、溶融金属 Q がこれらの元素を含む場合、空気との接触が短時間であっても容易に酸化してしまい、微細化することが難しくなる。これに対し、金属粉末製造装置 1 を用いることにより、このような元素を含む溶融金属 Q であっても、容易に粉末化することができ、意図しない組成変化が少なく、かつ、十分な球形化が図られている金属粉末を製造することができる。

【0027】

また、溶融金属供給部 2 の底部の中央部には、吐出口 21 が設けられている。この吐出口 21 からは、溶融金属供給部 2 内の溶融金属 Q が下方に向かって自然落下により吐出される。

【0028】

このような溶融金属供給部 2 の下方には、内部空間 30 を含む筒状体 3 が設けられている。

【0029】

筒状体 3 は、円筒状をなしている。そして、筒状体 3 の軸線の長さは、内径よりも長くなっている。このため、筒状体 3 は、鉛直方向に細長い円筒状をなしている。

【0030】

この筒状体 3 の内部空間 30 には、後述するように、流体噴射部 5 からの気体 G により溶融金属 Q を分断（飛散）させて形成された多数の液滴 Q1 が供給されるとともに、冷却液流出部 4 から供給された冷却液 S により冷却液層 S1 が形成されている。液滴 Q1 が冷却液層 S1 に接触すると、液滴 Q1 が冷却され、固化に至る。

【0031】

なお、筒状体 3 の軸線に直交する方向で切断したときの内径側の断面形状は、例えば真円、楕円、長円等の円形とされるが、好ましくは真円とされる。

【0032】

このような筒状体 3 の上側（上端部付近）には、環状の蓋部材 7 が設けられている。この蓋部材 7 上には、蓋部材 7 の中央部の開口を通じて筒状体 3 の内部空間 30 に気体 G を噴射し得るように流体噴射部 5 が設けられている。

【0033】

また、筒状体 3 の上端部付近には、その周方向に沿って冷却液流出部 4 が設けられている。冷却液流出部 4 は、蓋部材 7 の周方向に沿ってほぼ等間隔で並設された複数の冷却液流出口 41 で構成されている。

【0034】

各冷却液流出口 41 は、筒状体 3 の内周面の接線方向に向けて冷却液 S を流出させることにより、冷却液 S を筒状体 3 の周方向に旋回させることができる。これにより、冷却液 S は筒状体 3 の内壁面に冷却液層 S1 を形成する。

【0035】

このように各冷却液流出口 41 を構成することで、筒状体 3 内での冷却液 S の流れを安定化させることができる。その結果、筒状体 3 内において十分な厚さの冷却液層 S1 を形成することができ、液滴 Q1 を効率よく冷却することができる。

【0036】

なお、冷却液流出口 41 から流出する冷却液 S の流出方向は、筒状体 3 の内周面の接線方向に限定されず、鉛直線と平行な方向（鉛直方向）であってもよく、接線方向と鉛直方向の双方に傾斜した方向であってもよい。また、冷却液流出口 41 の設置数も、特に限定

10

20

30

40

50

されず、３個以上であってもよい。

【００３７】

また、冷却液Ｓには、水や油等が用いられ、必要に応じて、還元剤等の添加剤が添加されていてもよい。

【００３８】

なお、図示しないが、各冷却液流出口４１は、冷却液供給管を介して冷却液タンクと接続されており、冷却液供給管の途中にはポンプが設けられている。これにより、ポンプを作動させることで、冷却液タンク内の冷却液Ｓを冷却液供給管を介して各冷却液流出口４１に供給することができ、加圧された冷却液Ｓを各冷却液流出口４１から流出（噴射）させることができる。

【００３９】

冷却液流出部４の上方には、流体噴射部５（ガスジェットノズル）が設けられている。

流体噴射部５から噴射される流体としては、気体または液体が挙げられる。気体としては、例えば窒素ガス、アルゴンガスのような不活性ガス、アンモニア分解ガスのような還元性ガス、空気等が挙げられる。一方、液体としては、例えば水や水に添加剤を添加したもの等が挙げられる。

【００４０】

このうち、流体としては、気体を用いるのが好ましく、特に不活性ガスを用いるのがより好ましい。これにより、比較的熱容量の小さい流体によって熔融金属Ｑを分断することができるので、流体として液体を用いる場合に比べて冷却速度を適度に抑えつつ、粉末化を図ることができるとともに、その最中に金属が酸化するのを抑制することができる。その結果、液滴Ｑ１の酸化や著しい変形を抑えつつ、熔融金属Ｑを分断することができるので、意図しない組成変化がより少なく抑えられ、かつ、球形化が十分に図られた金属粉末を製造することができる。

【００４１】

流体噴射部５は、図１に示すように、前述した熔融金属供給部２の吐出口２１と同軸上に設けられた溶湯ノズル５１と、溶湯ノズル５１の外周に沿って設けられたガス室５２と、ガス室５２に連通する複数の流体噴射口５３と、を備えている。

【００４２】

溶湯ノズル５１は、鉛直方向に沿って貫通するように形成された溶湯ノズル孔５１１を有している。また、溶湯ノズル５１は、耐火材で構成されている。

【００４３】

このような溶湯ノズル５１は、前述した熔融金属供給部２の吐出口２１から流下した熔融金属Ｑを一旦受け止め、その後、溶湯ノズル孔５１１を通じて筒状体３内へ流下させる。溶湯ノズル孔５１１を通過した熔融金属Ｑの横断面形状および横断面積は、溶湯ノズル孔５１１の横断面積および横断面形状に応じたものとなる。

【００４４】

このような溶湯ノズル５１の外周側には、その周方向に沿って環状をなすガス室５２が設けられている。このガス室５２には、外部から図示しないガス供給管を介して、高圧の気体Ｇが供給されるようになっている。

【００４５】

また、ガス室５２の下側には、その周方向に沿って並設された複数の流体噴射口５３が設けられている。各流体噴射口５３は、前述したガス室５２に連通しており、気体Ｇを噴射するようになっている。

【００４６】

本実施形態に係る複数の流体噴射口５３は、後に詳述するが、溶湯ノズル５１の軸線を中心とする同一円周上に設けられている。このような複数の流体噴射口５３は、いずれも、これらの下方における溶湯ノズル５１の軸線上のほぼ同位置に向けて気体Ｇを噴射するように形成されている。

【００４７】

10

20

30

40

50

溶湯ノズル 5 1 の溶湯ノズル孔 5 1 1 から流下した溶融金属 Q は、複数の気体 G が集中（集束）している位置において、気体 G と衝突し、分断されて複数の液滴 Q 1 となる。複数の液滴 Q 1 は、落下して冷却液層 S 1 に衝突し、さらに分断されて微細化されるとともに冷却固化し、金属粉末 R（複数の金属粒子の集合体）が得られる。

【0048】

ここで、本実施形態では、筒状体 3 が、蓋部材 7 の下方に位置する上部 3 1 と、上部 3 1 の下端に連続して設けられた下部 3 2 と、を含んでいる。そして、上部 3 1 と下部 3 2 とは接続部 3 3 を介して連続しており、これにより全体としては、途中で軸が屈曲した筒状体 3 が構成されている。上部 3 1 および下部 3 2 は、それぞれ円筒状をなしている。なお、本明細書における接続部 3 3 とは、上部 3 1 と下部 3 2 との境界面のことを指す。

10

【0049】

このうち、上部 3 1 は、その軸線 A 1 が、鉛直方向に沿うように構成されている。具体的には、軸線 A 1 と鉛直線 V L とのなす角度が 0° 以上 20° 以下になるように、上部 3 1 が配置されている。なお、図 1 では、一例として、軸線 A 1 と鉛直線 V L とのなす角度が 0° である金属粉末製造装置 1 について図示している。

【0050】

また、図 2 では、別の例として、軸線 A 1 と鉛直線 V L とのなす角度 $\theta 1$ が 0° 超（ただし 20° 以下）である金属粉末製造装置 1 について図示している。すなわち、図 2 は、角度 $\theta 1$ が異なる以外、図 1 に示す金属粉末製造装置 1 と同様である。

【0051】

20

なお、本明細書における軸線 A 1 は、円筒状をなす上部 3 1 の軸を含む直線のことをいい、鉛直線 V L は、重力の方向を示す直線のことをいう。また、以下の説明では、軸線 A 1 と鉛直線 V L とのなす角度を「軸線 A 1 の傾斜角度」ともいう。

【0052】

図 3 は、図 1 に示す筒状体 3 の一部を拡大して示す部分断面図である。

筒状体 3 は、上部 3 1 の内周面 3 4 に形成された螺旋状の溝 3 5 を含んでいる。螺旋状の溝 3 5 は、その螺旋の軸が筒状体 3 の上部 3 1 の軸と一致するように形成される。したがって、図 1 の場合、螺旋の軸と鉛直線とのなす角度は、前述した角度 $\theta 1$ と等しく、かつ、 0° 以上 20° 以下となる。

【0053】

30

また、図 3 に示す例では、溝 3 5 の横断面形状が三角形をなしており、隣り合う溝 3 5 同士は互いに接している。

【0054】

ここで、螺旋状の溝 3 5 の構成は、前述した冷却液流出部 4 の構成と関連している。

具体的には、溝 3 5 に沿って任意の物体を重力によって鉛直下方に向けて移動させたと仮定し、その物体が移動する様子を鉛直上方から見たときの物の回転方向を、「溝 3 5 の回転方向」という。一方、冷却液流出部 4 から冷却液 S を流出させる様子を鉛直上方から見たときの冷却液 S の回転方向を、「冷却液 S の回転方向」という。本実施形態では、溝 3 5 の回転方向と冷却液 S の回転方向とが互いに同じになるように、溝 3 5 および冷却液流出部 4 がそれぞれ構成されている。

40

【0055】

このような筒状体 3 が設けられた金属粉末製造装置 1 によれば、意図しない性状変化が少なく、かつ、十分な球形化が図られている金属粉末 R を製造することができる。

【0056】

また、上部 3 1 の軸線 A 1 と鉛直線 V L とのなす角度 $\theta 1$ が前記範囲内であることにより、液滴 Q 1 の飛行距離を比較的長く確保することができる。これは、軸線 A 1 と鉛直線 V L とのなす角度 $\theta 1$ が前記範囲内であれば、軸線 A 1 が鉛直方向と平行に近い状態で上部 3 1 が配置されることとなる。このような状態では、液滴 Q 1 の自然落下による飛行方向が、軸線 A 1 とほぼ平行になるため、筒状体 3 の上下方向に沿って十分な飛行距離を確保することができる。換言すれば、上部 3 1 の内周面 3 4 には冷却液層 S 1 が形成されて

50

いるので、その分、水平方向の飛行距離が短くなる。これに対し、筒状体 3 の上下方向では、鉛直方向に細長い形状を最大限に利用することができるので、十分な飛行距離が確保される。その結果、液滴 Q 1 は、十分に長い飛行距離を飛行することとなり、それによって十分に長い飛行時間が確保される。このため、飛行の間に、表面張力による液滴 Q 1 の球形化が十分に進行し、最終的に十分な球形化が図られた金属粉末 R が得られる。

【0057】

なお、軸線 A 1 と鉛直線 V L とがなす角度 $\theta 1$ は、 0° 以上 20° 以下とされるが、好ましくは 0° 以上 10° 以下とされる。軸線 A 1 と鉛直線 V L とがなす角度 $\theta 1$ が前記上限値を上回ると、軸線 A 1 が鉛直線 V L に対して比較的大きく傾いた状態となる。このため、熔融金属 Q が気体 G に衝突して飛散するときの広がり方を考慮すれば、液滴 Q 1 の多くが上部 3 1 の内壁のうち、側面に形成された冷却液層 S 1 に突入する確率が高くなるおそれがある。その結果、十分に長い飛行距離を確保することができなくなり、液滴 Q 1 の球形化が不十分になるため、最終的に得られる金属粉末 R の球形化が不十分になるおそれがある。

【0058】

図 3 に示す例では、溝 3 5 の回転方向 R 1 が反時計回り（左回り）になっている。

一方、図 4 は、図 3 に示す筒状体 3 に、冷却液 S の流れを模式的に書き加えた図である。図 4 に示す例では、冷却液 S の回転方向 R 2 も反時計回り（左回り）になっている。

【0059】

このように溝 3 5 の回転方向と冷却液 S の回転方向とが互いに同じになるように、溝 3 5 および冷却液流出部 4 を構成することにより、上部 3 1 の内周面 3 4 上を流れる冷却液 S に乱流が発生し難くなる。これにより、冷却液 S は、内周面 3 4 上を円滑に流れることができ、形成される冷却液層 S 1 をより安定化させることができる。このような現象は、溝 3 5 の回転方向と冷却液 S の回転方向とが互いに同じであることにより、冷却液 S が溝 3 5 に沿って流れ易くなるため、冷却液層 S 1 が十分な厚さを確保し易くなること等に由来するものと考えられる。

【0060】

また、溝 3 5 が設けられることにより、その内面が、重力によって落下しようとする冷却液 S に抗力を付与することができる。換言すれば、冷却液層 S 1 は、溝 3 5 に引っ掛かるように振る舞うため、重力による落下速度が緩和される。これにより、落下速度が低下するため、かかる観点からも冷却液層 S 1 に十分な厚さを与えることができる。

【0061】

その結果、冷却液層 S 1 による安定した冷却作用が発揮されることとなり、製造される金属粉末 R の性状のバラツキを抑えることができる。例えば、酸化量（酸素含有率）等の組成や結晶性のバラツキ、粒度分布の広がりを最小限に留めることができ、金属粉末 R の品質および流動性を高めることができる。

【0062】

また、軸線 A 1 と直交する平面を仮想したとき、この平面と溝 3 5 とのなす角度と、前記平面と冷却液 S の流出方向とのなす角度とが、互いに異なってもよいが、好ましくは互いに等しくなるように溝 3 5 および冷却液流出部 4 が構成されている。これにより、溝 3 5 と冷却液 S の流れとが一致することとなり、冷却液 S における乱流の発生を最小限に留めることができる。その結果、冷却液層 S 1 のさらなる安定化を図ることができる。

【0063】

なお、前記平面と溝 3 5 とのなす角度と前記平面と冷却液 S の流出方向とのなす角度が互いに等しいとは、双方の角度差が 10° 以下の状態を含む。

【0064】

また、双方の角度差が 10° 超であってもよいが、その場合でも 30° 以下であれば、冷却液層 S 1 についてある程度の安定化が見込める。

【0065】

また、前記平面と溝 3 5 とのなす角度は、溝 3 5 の全体において一定である必要はなく

、部分的に異なってもよい。例えば、鉛直下方に向かうにつれて前記平面と溝 3 5 とのなす角度が徐々に大きくなるように構成されていてもよく、反対に、鉛直下方に向かうにつれて前記平面と溝 3 5 とのなす角度が徐々に小さくなるように構成されていてもよい。

【0066】

また、溝 3 5 の幅は、上部 3 1 の内径や冷却液 S の流出速度等に応じて適宜設定されるが、上部 3 1 の内径の 0.01% 以上 1% 以下であるのが好ましく、0.05% 以上 0.5% 以下であるのがより好ましい。これにより、上部 3 1 に形成される冷却液層 S 1 の周速に応じて、溝 3 5 の幅が最適化される。その結果、冷却液層 S 1 を特に安定化させることができる。

10

【0067】

なお、溝 3 5 の幅が前記下限値を下回ると、上部 3 1 の内径が小さい場合、冷却液層 S 1 の周速も小さくなるので、溝 3 5 の幅が狭くなり過ぎて溝 3 5 による効果が限定的になるおそれがある。一方、溝 3 5 の幅が前記上限値を上回ると、上部 3 1 の内径が小さい場合、前記平面と溝 3 5 とのなす角度をある程度大きくせざるを得なくなるおそれがある。

【0068】

また、溝 3 5 の幅は、0.1 mm 以上 20 mm 以下程度であるのが好ましく、0.5 mm 以上 10 mm 以下程度であるのがより好ましい。

【0069】

なお、溝 3 5 の幅は、溝 3 5 の全体において一定である必要はなく、部分的に異なってもよい。

20

【0070】

図 5 は、図 3 の一部をさらに拡大して示す部分断面図である。

溝 3 5 の幅とは、図 5 に示すように、溝 3 5 の延在方向に直交する方向における長さ W のことをいう。

【0071】

一方、溝 3 5 の深さも、上部 3 1 の内径や冷却液 S の流出速度等に応じて適宜設定されるが、溝 3 5 の幅の 10% 以上 500% 以下であるのが好ましく、20% 以上 300% 以下であるのがより好ましい。これにより、上部 3 1 に形成される冷却液層 S 1 の周速に応じて、溝 3 5 の深さが最適化される。その結果、冷却液層 S 1 を特に安定化させることができる。

30

【0072】

なお、溝 3 5 の深さが前記下限値を下回ると、上部 3 1 の内径が小さい場合、冷却液層 S 1 の周速も小さくなるので、溝 3 5 が浅くなり過ぎて溝 3 5 による効果が限定的になるおそれがある。一方、溝 3 5 の深さが前記上限値を上回ると、溝 3 5 の底部において特に冷却液 S が入れ替わり難くなるので、一部の金属粉末 R の冷却速度が低下するおそれがある。

【0073】

また、溝 3 5 の深さは、溝 3 5 の全体において一定である必要はなく、部分的に異なってもよい。

40

溝 3 5 の深さとは、図 5 に示すように、溝 3 5 の最大深さ d のことをいう。

【0074】

また、溝 3 5 の横断面形状は、特に限定されず、異形状であってもよいが、真円の一部分、楕円の一部分、長円の一部のような半円形や、三角形、四角形のような多角形等が挙げられる。このうち、半円形または三角形であれば、溝 3 5 に対して冷却液 S の入れ替わり易さを高めることができる。このため、金属粉末 R の品質の均質性をより高めることができる。なお、多角形には、その角を丸めた形状も含められる。

【0075】

図 6、7 は、それぞれ図 5 に示す溝 3 5 の変形例を示す部分断面図である。

図 6 に示す溝 3 5 は、その横断面形状が半円形をなしている。

50

【0076】

一方、図7に示す溝35は、その横断面形状が三角形に準じた形状をなしている。具体的には、図7に示す溝35の横断面形状は、三辺のうちの二辺が内側に凹没するように湾曲した弧になった三角形をなしている。

このような形状の溝35であっても、上記のような効果を奏する。

【0077】

また、溝35の横断面形状は、溝35の全体において一定である必要はなく、部分的に異なってもよい。

【0078】

一方、本実施形態に係る下部32は、その軸線A2が、上部31の軸線A1よりも鉛直方向に対してより大きく傾いている。すなわち、下部32の軸線A2と鉛直線VLとのなす角度 θ_2 は、上部31の軸線A1と鉛直線VLとのなす角度 θ_1 よりも大きくなっている。なお、本明細書における軸線A2は、円筒状をなす下部32の軸を含む直線のことをいう。また、以下の説明では、軸線A2と鉛直線VLとのなす角度を「軸線A2の傾斜角度」ともいう。

【0079】

また、下部32の軸線A2と鉛直線VLとのなす角度 θ_2 が上部31の軸線A1と鉛直線VLとのなす角度 θ_1 よりも大きいことにより、上部31と下部32との接続部33において軸線が不連続になる。このため、上部31に供給された冷却液Sは、上部31の内周面34に沿って流下した後、上部31と下部32との接続部33において流下速度が低下する。その結果、上部31と下部32との接続部33では冷却液Sが滞留した状態が継続することとなる。このため、筒状体3の内部空間30では、側面に加え底面にも十分な厚さの冷却液層S1が形成されることとなる。したがって、内部空間30に飛散する液滴Q1は、高い確率で十分な体積の冷却液Sに突入することができ、短時間で均一に冷却されるため、液滴Q1の意図しない組成変化や組織変化が抑えられる。すなわち、例えば酸化量（酸素含有率）等の組成や結晶性のバラツキを最小限に留めることができる。

【0080】

なお、角度 θ_1 とは、軸線A1と鉛直線VLとがなす角度のうち、鋭角側の角度のことを指す。同様に、角度 θ_2 とは、軸線A2と鉛直線VLとがなす角度のうち、鋭角側の角度のことを指す。

【0081】

一方、角度 θ_2 が角度 θ_1 よりも小さい場合には、下部32の軸線A2は、より鉛直方向と平行に近い状態となる。このため、冷却液Sが特に流下し易い状態となってしまう、上部31と下部32との接続部33において冷却液Sが滞留し難くなる。その結果、上部31の底面には十分な厚さの冷却液層S1を形成することができず、冷却速度が低下したり十分に冷却されなかったりするため、液滴Q1において意図しない組成変化が生じるおそれがある。

【0082】

なお、軸線A2の傾斜角度は、特に限定されず、軸線A1の傾斜角度と等しくてもよい。具体的には、軸線A2の傾斜角度と軸線A1の傾斜角度とが等しい場合、図1に示す上部31と下部32とは、共通の軸に沿って鉛直方向に連続することとなるが、そのような場合であっても、溝35を設けることによる効果が得られる。

【0083】

また、角度 θ_2 は、角度 θ_1 より大きければ、両者の角度差は特に限定されないものの、角度 θ_2 が角度 θ_1 よりも 5° 以上 90° 以下大きいのが好ましく、 20° 以上 90° 以下大きいのがより好ましく、 45° 以上 90° 以下大きいのがさらに好ましく、 60° 以上 90° 以下大きいのが特に好ましい。角度 θ_2 と角度 θ_1 との角度差が前記範囲内であれば、上部31や下部32の内径が比較的大きい場合であっても、上部31と下部32との接続部33において冷却液Sがより滞留し易くなり、上部31の内部空間の底面に十分な厚さの冷却液層S1をより確実に形成することができるようになる。このため、内部

空間 30 に飛散する液滴 Q1 は、より短時間で均一に冷却され、液滴 Q1 の意図しない組成変化がより確実に抑えられる。

【0084】

また、下部 32 の内径は、上部 31 の内径より大きくても同じでもよいが、好ましくは上部 31 の内径より小さいことが好ましい。これにより、下部 32 における冷却液 S の最大流量は、上部 31 における冷却液 S の最大流量よりも小さくなり、上部 31 と下部 32 との接続部 33 において冷却液 S が貯留され易くなる。このため、筒状体 3 の内部空間 30 では、底面において、より十分な厚さの冷却液層 S1 が形成されることとなる。このため、内部空間 30 に飛散する液滴 Q1 は、より短時間で均一に冷却され、液滴 Q1 の意図しない組成変化がより確実に抑えられる。

10

【0085】

なお、下部 32 の内径が小さ過ぎると、今度は下部 32 における冷却液 S の最大流量、すなわち排出能力が小さくなり過ぎるため、上部 31 の内部に冷却液 S が溜まり過ぎるおそれがある。したがって、下部 32 の内径は、上部 31 の内径よりも小さいものの、所定の割合に収まっているのが好ましい。具体的には、下部 32 の内径 d2 は、上部 31 の内径 d1 の 0.1 倍以上 0.9 倍以下であるのが好ましく、0.2 倍以上 0.8 倍以下であるのがより好ましく、0.3 倍以上 0.7 倍以下であるのがさらに好ましい。これにより、内部空間 30 は、液滴 Q1 が球形化しつつ飛行するのに必要かつ十分な大きさを有するものとなる。

【0086】

20

さらに、下部 32 には、空気や気体 G が充填されている空間が含まれていてもよいが、冷却液 S によって充填されているのが好ましい。これにより、液滴 Q1 が冷却液層 S1 に突入した後、継続して冷却液 S に触れ続ける状態をより確実に作り出すことができる。その結果、液滴 Q1 をより長時間にわたって冷却し続けることができ、液滴 Q1 において意図しない組成変化が生じるのを抑制することができる。

【0087】

また、図 1 に示す上部 31 の内部では、側面（側方）と底面（下方）とにそれぞれ冷却液層 S1 が形成されている。すなわち、上部 31 と下部 32 との接続部 33 において冷却液 S が滞留した場合、上部 31 の内部、すなわち内部空間 30 は、上方を除いて冷却液層 S1 で囲まれた空間となる。かかる空間は、上方を除いて気密的に閉じた空間であるといえる。

30

【0088】

一方、内部空間 30 の上方からは、気体 G（流体）が噴射し続けられている。このため、内部空間 30 の側方や下方から気体が侵入してくることはなく、内部空間 30 には、常時、鉛直下方に向かう気体の流れが形成されることとなる。そして、噴射された気体 G は冷却液 S に巻き込まれて下部 32 側へ排出されるため、内部空間 30 では気体 G で充填された状態が良好に維持される。その結果、例えば非常に高温の液滴 Q1 と冷却液 S とが接触して冷却液 S が蒸発し、蒸気（例えば水蒸気等）が発生したとしても、その蒸気が上昇することを抑制することができる。このため、液滴 Q1 と蒸気とが長時間接触することによって冷却速度が低下したり、上昇気流の発生によって液滴 Q1 の降下が妨げられたりするのを抑制することができる。

40

【0089】

特に、角度 $\theta 1$ が前記上限値を上回る（軸線 A1 が鉛直線 VL に対して前記上限値を上回る角度で傾斜している）と、上部 31 における冷却液 S の流下速度が低下し、内部空間 30 内の気体が下部 32 側へ排出される速度が低下するおそれがある。この場合、内部空間 30 に酸素や蒸気等が滞留し易くなり、金属酸化のような意図しない組成変化を生じるおそれがある。

【0090】

ここで、図 8 は、図 1 に示す金属粉末製造装置 1 のうち、流体噴射口 53 近傍を拡大して示す斜視図である。

50

【0091】

前述したように、本実施形態では、複数の流体噴射口53が、溶湯ノズル51の軸線A3を中心とする同一円周上に設けられている（図8参照）。加えて、複数の流体噴射口53は、その開口面積が互いに異なっているが、本実施形態では互いに同じになっている。複数の流体噴射口53は、それぞれ同一のガス室52に連通しているため、本実施形態に係る複数の流体噴射口53からは互いに同じ流速および流量で気体Gが噴射される。そして、複数の流体噴射口53からそれぞれ噴射された気体Gは、溶湯ノズル51の軸線A3上に位置する同一の位置に集束している。このため、気体Gは、溶湯ノズル51の軸線A3と同一の軸線を有する円錐状に広がることとなる。

【0092】

その上で、気体Gの集束位置に溶融金属Qが衝突すると、形成された液滴Q1は、気体Gとともに円錐状に広がる。

【0093】

一方、前述したように、筒状体3の上部31の軸線A1と鉛直線VLとのなす角度 $\theta 1$ は、比較的小さい角度範囲に収まっている。このため、気体Gとともに円錐状に広がった液滴Q1が自然落下するとき、内部空間30の形状を利用して適度な飛行距離（飛行時間）が確保される。その結果、液滴Q1の多くについて十分な球形化を図ることができる。

【0094】

なお、図1では、円筒状をなす上部31の側壁に下部32が接続されている形態が図示されているが、筒状体3の形態はこれに限定されず、例えば上部31の底部に下部32が接続されている形態であってもよい。

また、流体噴射口53の構成も、図3に示すものに限定されない。

【0095】

また、下部32の下流側、すなわち上部31とは反対側には、金属粉末Rを冷却液Sとともに排出するための排出管（図示せず）が接続されていてもよい。この排出管は、図示しない回収タンクに接続される。

【0096】

そして、回収タンクに回収された金属粉末Rと冷却液Sとの混合物は、脱液装置等により、金属粉末Rを分離することができる。分離された金属粉末Rは、乾燥装置等で乾燥される。

【0097】

以上説明したような金属粉末製造装置1によれば、意図しない性状変化が少なく、かつ、十分な球形化が図られている金属粉末Rを得ることができる。

【0098】

以上、本発明の金属粉末製造装置について、図示の実施形態に基づいて説明したが、本発明は、これらに限定されるものではない。

【0099】

例えば、本発明の金属粉末製造装置では、前記実施形態に係る各部の構成は、同様の機能を発揮する任意の構成のものに置換することができ、また、任意の構成を付加することもできる。

【実施例】

【0100】

次に、本発明の具体的実施例について説明する。

1. 金属粉末の製造

（実施例1）

<1>まず、図1に示す金属粉末製造装置を用意した。なお、金属粉末製造装置の構成については表1に示す通りであり、筒状体には、横断面形状が三角形をなす溝を内周面に形成したものを使用した。また、流体噴射部から噴射する流体には窒素ガスを用い、冷却液流出部から流出させる冷却液には水道水を使用した。そして、筒状体内に常時空間ができるように流速を調整した。

10

20

30

40

50

【0101】

<2>次に、溶融金属供給部に原材料としてSUS316Lのインゴットを投入し、溶解させて溶融金属を作製した。

【0102】

<3>次に、金属粉末製造装置の作動により、金属粉末を製造した。なお、金属粉末の製造中、筒状体の下部の内部は金属粉末を含む冷却液で充填された状態が維持されていた。すなわち、筒状体の上部の内部では、側方および下方が冷却液層によって囲まれた状態になっていた。

【0103】

(実施例2～14)

金属粉末製造装置の構成を表1に示すように変更した以外は、それぞれ実施例1と同様にして金属粉末を得た。

【0104】

(比較例1、2)

金属粉末製造装置の構成を表1に示すように変更した以外は、それぞれ実施例1と同様にして金属粉末を得た。なお、比較例1、2では、筒状体の上部の傾斜角度 θ_1 が所定の条件を満たしていない。

【0105】

(比較例3～6)

金属粉末製造装置の構成を表1に示すように変更した以外は、それぞれ実施例1と同様にして金属粉末を得た。なお、比較例3～6では、溝が形成されていない筒状体を使用するようにした。

【0106】

2. 金属粉末の評価

2.1 球形度の評価

各実施例および各比較例で製造した金属粉末に分級処理を施した。

【0107】

次いで、分級した金属粉末について、レーザー回折式粒度分布測定装置により、質量基準の粒度分布を得た。そして、粒度分布の小径側から累積50%における粒径を平均粒径として求めたところ、各実施例および各比較例のいずれも7.5～8.5 μm の範囲内であった。

【0108】

次いで、分級した金属粉末について、タップ密度を測定した。なお、金属粉末のタップ密度は、JIS Z 2512(2012)に規定された金属粉のタップ密度測定方法に準拠する方法により測定した。また、タップ密度は、金属粉末の粒子の球形度と相関があるといえるため、タップ密度を評価することによって球形度および粒度分布を間接的に評価することができる。

測定したタップ密度を表1に示す。

【0109】

2.2 流動度の評価

各実施例および各比較例で製造した金属粉末について、JIS Z 2502:2012に規定の金属粉の流動性試験方法により流動度[秒]を測定した。

【0110】

2.3 製造歩留まり(良品率)の評価

各実施例および各比較例で製造した金属粉末について、走査型電子顕微鏡により倍率500倍で観察した。

【0111】

次いで、5つの視野について画像を撮影し、得られた画像において、球状粒子と、球状粒子以外の粒子(異形粒子)と、をそれぞれ特定した。

【0112】

そして、球状粒子の数および異形粒子の数を計測した後、下記式により良品率を算出した。

$$\text{良品率} [\%] = \text{球状粒子の数} / (\text{球状粒子の数} + \text{異形粒子の数}) \times 100$$

【0113】

なお、球状粒子および異形粒子は、画像において特定された粒子像の周囲長、および、かかる粒子像と等しい面積を持つ真円の周囲長から、以下のようにして算出された円形度に基づいて分類される。

$$\text{円形度} = (\text{粒子像と等しい面積を持つ真円の周囲長}) / (\text{粒子像の周囲長})$$

【0114】

具体的には、円形度が0.9以上のものを「球状粒子」とし、円形度が0.9未満のものを「異形粒子」とする。

【0115】

【表1】

表1

	金属粉末製造装置の構成						金属粉末の 評価結果		
	溝			筒状体 上部の 傾斜 角度 θ_1	上部と下部との関係				
	横断面 形状	溝の幅／ 上部の内径	溝の深さ／ 溝の幅		内径比 d2/d1	傾斜角度差 $\theta_2 - \theta_1$	タップ 密度	流動度	良品率
実施例 1	三角形	0.03	450	0	0.1	60	5.14	18.24	93
実施例 2	三角形	0.15	380	0	0.3	75	5.25	18.05	95
実施例 3	三角形	0.31	250	0	0.5	80	5.46	17.92	96
実施例 4	三角形	0.45	180	0	0.7	85	5.28	18.03	95
実施例 5	三角形	0.84	60	0	0.9	90	5.36	18.78	91
実施例 6	三角形	0.06	420	5	0.2	30	5.22	18.35	92
実施例 7	三角形	0.24	320	5	0.5	75	5.39	18.18	94
実施例 8	半円形	0.48	150	5	0.8	90	5.19	18.58	92
実施例 9	半円形	0.05	430	10	0.4	45	5.32	18.25	93
実施例 10	三角形	0.36	220	10	0.6	75	5.20	18.42	92
実施例 11	三角形	0.04	440	20	0.1	10	4.95	19.21	91
実施例 12	半円形	0.77	80	20	1.0	90	4.96	20.40	90
実施例 13	三角形	0.33	240	0	0.4	0	4.90	21.88	88
実施例 14	半円形	0.42	200	0	0.5	90	4.93	21.54	87
比較例 1	三角形	0.18	310	30	0.3	0	4.63	29.56	58
比較例 2	三角形	0.31	250	30	0.5	90	4.69	30.85	55
比較例 3	—	—	—	0	0.3	0	5.35	25.20	70
比較例 4	—	—	—	5	0.5	90	5.20	24.86	67
比較例 5	—	—	—	10	0.4	0	5.02	23.80	64
比較例 6	—	—	—	20	0.5	90	4.85	28.66	61

【0116】

表1から明らかなように、各実施例で製造した金属粉末は、いずれも、各比較例で製造した金属粉末に比べてタップ密度と流動度の双方が良好であることが認められた。また、各粒子の形状について着目したとき、球形度が高い粒子の割合（良品率）が高いことが認

められた。これらのことから、各実施例で製造した金属粉末は、各粒子の球形度が高いことによって、タップ密度および流動度が高くなっていると言える。

【0117】

また、表1には記載していないものの、各実施例で製造した金属粉末は、いずれも、再溶融処理を行うような従来の製造方法で製造された金属粉末に比べて、酸素濃度が低いことが認められた。

【0118】

よって、本発明によれば、意図しない性状変化が少なく、かつ、十分な球形化が図られている金属粉末を製造し得ることが認められた。

【0119】

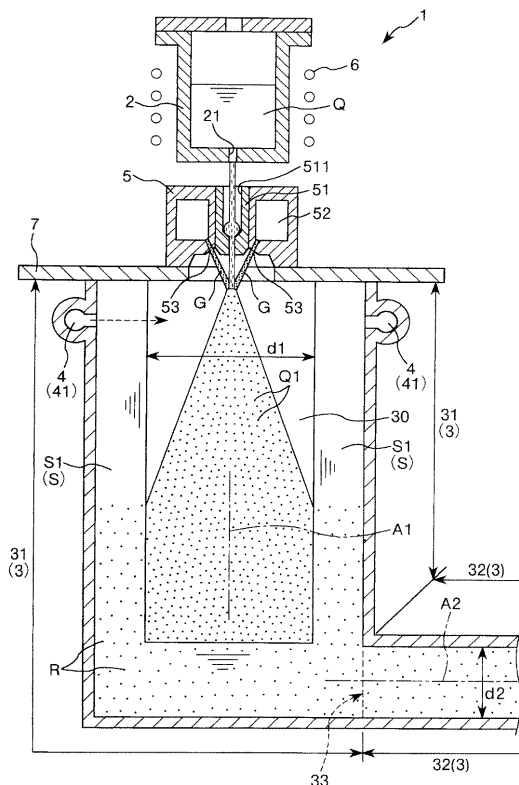
なお、流体噴射部から噴射する気体をアルゴンガスに変更した以外、各実施例および各比較例と同様にして金属粉末を製造したが、評価結果は上記と同様の傾向を示した。

【符号の説明】

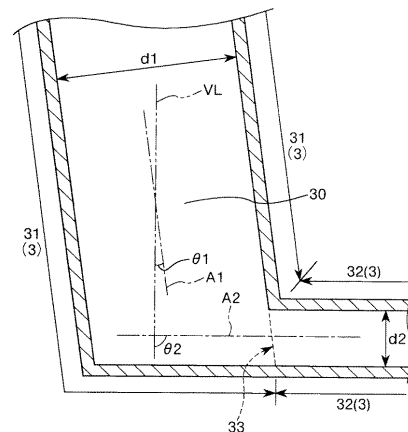
【0120】

1…金属粉末製造装置、2…溶融金属供給部、3…筒状体、4…冷却液流出部、5…流体噴射部、6…誘導コイル、7…蓋部材、21…吐出口、30…内部空間、31…上部、32…下部、33…接続部、34…内周面、35…溝、41…冷却液流出口、51…溶湯ノズル、52…ガス室、53…流体噴射口、511…溶湯ノズル孔、A1…軸線、A2…軸線、A3…軸線、G…気体、Q…溶融金属、Q1…液滴、R…金属粉末、R1…回転方向、R2…回転方向、S…冷却液、S1…冷却液層、VL…鉛直線、d1…内径、d2…内径、 $\theta 1$ …角度、 $\theta 2$ …角度

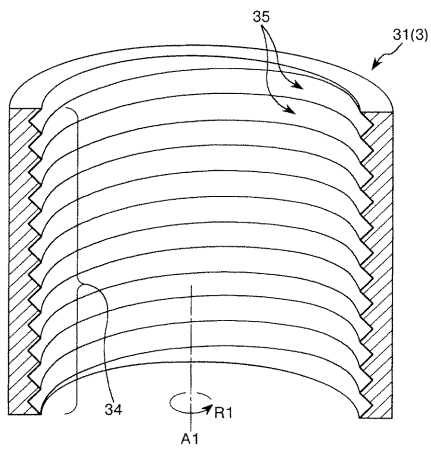
【図1】



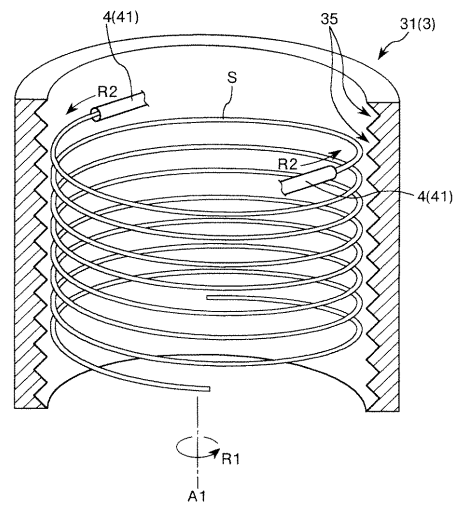
【図2】



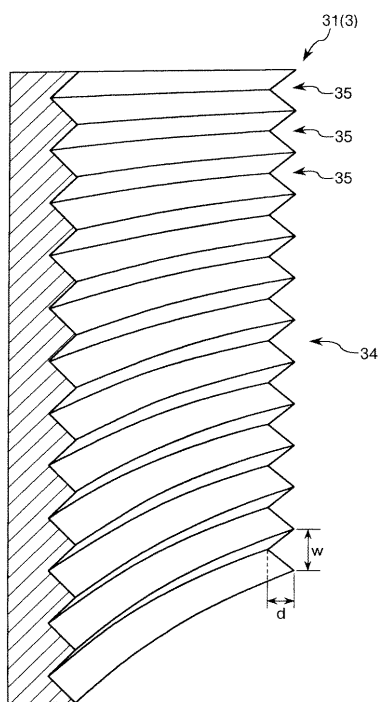
【図 3】



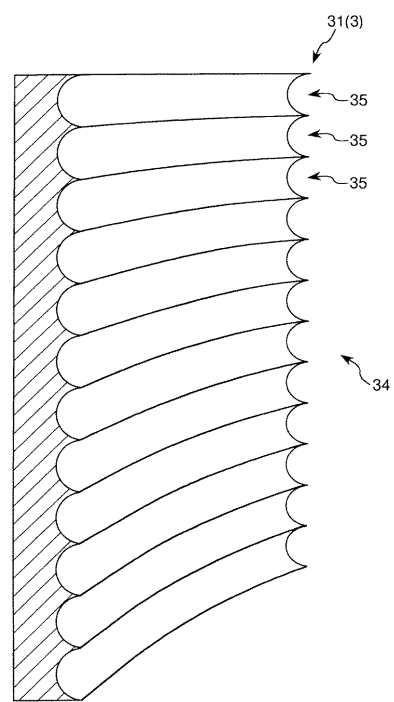
【図 4】



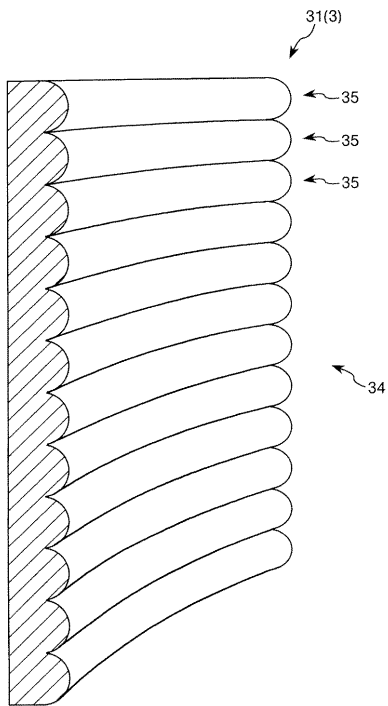
【図 5】



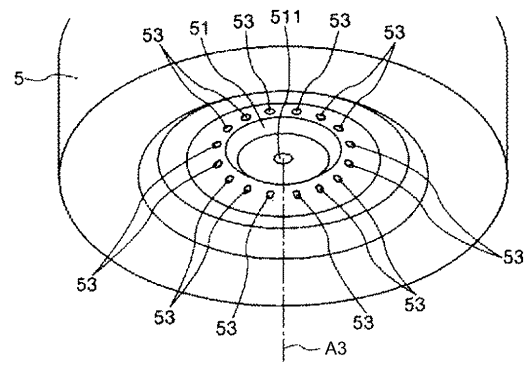
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4K017 AA02 BA01 BA06 BA10 BB04 BB06 CA01 CA07 EB07 EB21
EB22 FA14 FA15 FA16 FA17 FA24 FA25