

明 細 書

発明の名称： 金属粉末製造装置

技術分野

[0001] 本発明は溶湯ノズルから流下する熔融金属に高压ガス流体を衝突させることで微粒子状の金属（金属粉末）を製造する金属粉末製造装置に関する。

背景技術

[0002] 熔融金属から微粒子状の金属（金属粉末）を製造する方法にガスアトマイズ法や水アトマイズ法を含むアトマイズ法がある。ガスアトマイズ法は、熔融金属を貯留する溶解槽の下部の溶湯ノズルから溶湯を流下させ、溶湯ノズルの周囲に配置された複数のガス噴射ノズルから不活性ガスを溶湯に吹きつける。溶湯ノズルからの熔融金属の流れは、ガス噴射ノズルからの不活性ガス流によって分断され微細な多数の金属液滴となって噴霧槽内を落下し、表面張力によって球状化しながら凝固する。これにより噴霧槽底部の採集ホッパで球状の金属粉末が回収される。

[0003] 例えば特開 2 0 1 6 - 2 1 1 0 2 7 号公報には、誘導溶解炉及びるつぼ（タンディッシ）を内部に備える溶解チャンバ（溶解槽）と、その下部に位置する噴霧チャンバ（噴霧槽）と、不活性ガスを吹きつけながらるつぼ内の金属溶湯を噴霧チャンバ内に落下させるアトマイズノズル（溶湯ノズル及びガス噴射ノズル）と、噴霧チャンバ内をガス置換させるガス導入口及びガス排出口と、噴霧チャンバ内を酸化雰囲気及び／又は窒化雰囲気とするためのガスを与える第 2 のガス導入口とを有する金属粉末の製造装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開 2 0 1 6 - 2 1 1 0 2 7 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 大量の金属粒子を積層して所望の形状の金属を造形する金属3次元プリンターの材料等をはじめとして、アトマイズ法に従前求められていた金属粉末よりも粒径の小さいもののニーズが近年高まっている。粉末冶金や溶接等に用いられる従前からの金属粉末の粒径は例えば70-100 μ m程度であったが、3次元プリンターに用いられる金属粉末の粒径は例えば20-50 μ m程度と非常に細かい。そのためこの種の微粒な金属粉末を製造するアトマイズの溶湯ノズルの最小孔径は例えば3mm以下と非常に小さくなる。

[0006] 金属粉末は、金属3次元プリンターによる造形時に高エネルギー熱源で溶融されるため、高純度であることが重要である。しかし、るつぼ内の溶融金属（溶湯）には、真空雰囲気や不活性ガス雰囲気であっても金属（溶解素材）の加熱溶融時に発生する酸化物が不純物として含まれる。酸化物は溶湯に比して軽いため溶湯の液面付近に集合する。例えば特開2016-211027号公報のように誘導溶解炉を傾倒して溶湯をるつぼに注ぐと、溶湯液面を浮遊する酸化物がるつぼ内に混入したり、注湯時にるつぼ内壁の近傍に生じる渦流れが当該内壁に付着していた酸化物を離脱させたりする。この酸化物が溶融金属（溶湯）とともに溶湯ノズルを介して噴霧槽内に導入され金属粉末に含まれると金属粉末の純度が低下してユーザの要求純度を満たさない虞が生じる。また、上記理由により溶湯ノズルの最小孔径は非常に小さくなっており酸化物が詰まりやすい構造となっている。酸化物が溶湯ノズルに詰まると溶湯ノズルの交換、場合によっては溶湯ノズルに連結されているるつぼ自体の交換が必要となり、金属粉末の製造効率が低下する虞がある。

[0007] 本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、その目的は溶融金属中の酸化物の溶湯ノズルへの侵入を容易に防止できる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] 本願は上記課題を解決する手段を複数含んでいるが、その一例を挙げるならば、溶融前の金属を受け入れ可能な第1るつぼと、前記第1るつぼ内の金属を加熱溶融するための第1加熱装置と、前記第1るつぼの底面に設けられ

た第1開口部を開閉するストッパと、前記第1るつぼの前記第1開口部に連結される一端を有し、前記第1るつぼ内の溶融金属を前記第1るつぼの外部に導く導入管と、前記導入管から流出される溶融金属を受け入れる第2るつぼと、前記第2るつぼを加熱するための第2加熱装置と、前記第2るつぼの底面に設けられた溶湯ノズルと、前記溶湯ノズルの周囲に設けられ、前記溶湯ノズルから流下される溶融金属に対してガス流体を噴出する複数のガス噴射ノズルとを備えるものとする。

発明の効果

- [0009] 本発明によれば、溶融金属中の酸化物の溶湯ノズルへの侵入を防止でき、高純度の金属粉末を効率良く製造できる。

図面の簡単な説明

- [0010] [図1]金属粉末製造装置であるガスアトマイズ装置の全体構成図。
[図2]図1のガスアトマイズ装置の金属噴霧装置200の周辺の断面図。
[図3]第1実施形態に係る溶解槽1の内部構成図であり、第1るつぼ31内の溶解素材30の溶解前の状態を示している。
[図4]第1実施形態に係る溶解槽1の内部構成図であり、第2るつぼ32から溶湯7を出湯している状態を示している。
[図5]第2実施形態に係る溶解槽1の内部構成図。
[図6]第3実施形態に係る溶解槽1の内部構成図。
[図7]第4実施形態に係る溶解槽1の内部構成図。
[図8]第5実施形態に係る導入管36の断面図。
[図9]第5実施形態に係る導入管36の断面図。
[図10]第6実施形態に係る溶解槽1の内部構成図。
[図11]第7実施形態に係る溶解槽1の内部構成図。

発明を実施するための形態

- [0011] 以下、本発明の実施の形態について図面を用いて説明する。

ーガスアトマイズ装置の全体構成ー

図1は本発明の実施形態に係るガスアトマイズ装置（金属粉末製造装置）

の全体構成図である。図1のガスアトマイズ装置は、固体状の金属（溶解素材）が加熱溶融されて溶融金属（溶湯）が生成される溶解槽1と、溶解槽1から複数の溶湯ノズル（後述）11を介して細流となって流下する溶湯に対して高圧ガス（ガス流体）を吹き付けて多数の微粒子に粉碎して溶融金属を液体噴霧する金属噴霧装置200と、金属噴霧装置200に高圧ガスを供給するための噴射ガス供給管（噴射流体供給管）3と、不活性ガス雰囲気に保持された容器であって金属噴霧装置200から噴霧された微粒子状の液体金属が落下中に急凝固される噴霧槽4と、噴霧槽4の底部に設けられ噴霧槽4での落下中に凝固した粉末状の固体金属を回収する採集ホッパ5とを備えている。

[0012] 溶解槽1には、溶融前の金属（溶解素材）を受け入れ可能な第1るつぼ31と、第1るつぼで加熱溶融された溶融金属を受け入れる第2るつぼ32が収納されている。第2るつぼ32の底面には複数の溶湯ノズル11が設けられており、第2るつぼ32内に受け入れた溶融金属（溶湯）7を溶湯流8として噴霧槽4内に導入可能になっている。溶解槽1は、密閉された容器（密閉室）になっており、真空雰囲気又は不活性ガス雰囲気に保持することが好ましい。なお、溶解槽1内の構成の詳細については後述する。

[0013] 噴霧槽4は、上部及び中部では同一の径を有する円筒状の容器であるが、採集ホッパ5による金属粉末の回収し易さの観点から、下部では採集ホッパ5に近づくほど径が小さくなるテーパ形状になっている。採集ホッパ5からは不活性ガスが適宜排気6として排出されている。

[0014] ー金属噴霧装置200ー

図2は金属噴霧装置200周辺の断面図である。なお、先の図と同じ部分には同じ符号を付して説明を省略することがある（これより後の図についても同様とする）。

[0015] 金属噴霧装置200は、噴霧槽4内に臨むその底面に、噴霧槽4内に溶融金属を液体噴霧する複数の噴霧ノズル20A、20B（以下、第1噴霧ノズル20A、第2噴霧ノズル20Bと称することがある）を備えている。複数

の噴霧ノズル 20A, 20B は、それぞれ、1本の溶湯ノズル 11と、その溶湯ノズル 11の周囲に設けられた複数のガス噴射ノズル 2とを備えている。なお、図示は一例に過ぎず噴霧ノズルは1つでも良く、3つ以上でも構わない。

[0016] 金属噴霧装置 200 には、2本の円柱状の貫通孔である第1溶湯ノズル挿入孔 12Aと第2溶湯ノズル挿入孔 12Bが設けられており、第1溶湯ノズル 11Aと第2溶湯ノズル 11Bは、第1溶湯ノズル挿入孔 12Aと第2溶湯ノズル挿入孔 12Bのそれぞれに挿入されている。溶解槽 1内の熔融金属は第1、第2溶湯ノズル 11A, 11Bの内部の孔を溶湯流 8となって流下し噴霧槽 4内に放出される。噴霧槽 4内に導入される溶湯の径の大きさに寄与する第1溶湯ノズル 11Aと第2溶湯ノズル 11Bの最小内径（例えば、孔内に設けられたオリフィスの径）としては、例えば従前より小さい3mm以下の値が選択できる。

[0017] 金属噴霧装置 200 は、側面に設けられたガス吸入孔（図示せず）に接続される噴射ガス供給管 3から高圧ガスの供給を受け、その供給された高圧ガスを金属噴霧装置 200の円形底面に設けられた複数のガス噴射ノズル（噴射孔）2を介して指向性のある噴射ガスジェット（ガス噴流）10として噴射する。複数のガス噴射ノズル 2は第1溶湯ノズル挿入孔 12Aの周囲と第2溶湯ノズル挿入孔 12Bの周囲にそれぞれ円を描くように配置されている。

[0018] 各噴霧ノズル 20A, 20Bを構成する複数のガス噴射ノズル 2からは、溶湯ノズル 11から流下される熔融金属（溶湯流 8）に対してガス流体（ガス噴流 10）が噴出される。溶湯流 8は、複数のガス噴射ノズル 2の焦点の近傍で高圧ガスが形成する逆円錐状の流体膜と衝突して多数の微粒子 15に粉砕される。第1、第2ガス噴射ノズル 2A, 2Bからの噴射ガスによって液体状の微粒子（微粒子 15）となった金属は、噴霧槽 4内の落下中に急速冷却されて凝固して多数の金属粉として採集ホッパ 5で回収される。

[0019] <第1実施形態>

以下、本発明の第1実施形態に係るガストマイズ装置における溶解槽1の構成の詳細について図面を用いて説明する。

- [0020] 図3は第1実施形態に係る溶解槽1の内部構成図であり、第1るつぼ31内の溶解素材（固体状の金属）30の溶解前の状態を示している。
- [0021] この図に示すように溶解槽1の内部には、受け入れた溶解素材（金属）30を加熱溶融するための耐熱容器である第1るつぼ31と、第1るつぼ31の周囲に巻き付けられ、第1るつぼ31内の溶解素材（金属）30を加熱溶融するための高周波加熱コイル（第1加熱装置）33と、第1るつぼ31の底面に設けられた開口部（貫通孔）である第1開口部35を開閉するストップパ34と、第1るつぼ31の第1開口部35に連結される一端（第1端部36a）を有し、第1るつぼ31内の溶融金属を第1るつぼ31の外部に導く配管である導入管36と、導入管36から流出される溶融金属を受け入れるための耐熱容器である第2るつぼ32と、第2るつぼ32の周囲に位置する間接加熱用カーボン（導電体）38と、間接加熱用カーボン38の周囲に巻き付けられ、間接加熱用カーボン38を加熱することで間接的に第2るつぼ32を加熱する高周波加熱コイル（第2加熱装置）37と、第2るつぼ32の底面に設けられ噴霧槽4内に溶融金属を流下させる複数の溶湯ノズル11が設けられている。
- [0022] 第1るつぼ31及び第2るつぼ32の上方は溶解槽1内に開放されており、第1るつぼ31及び第2るつぼ32内は溶解槽1内と同じ圧力となっている。
- [0023] 第2るつぼ32の底面には導入管36の他端（第2端部36b）に連結される第2開口部39が設けられており、この導入管36を介して第2るつぼ32は第1るつぼ31内の溶融金属を受け入れ可能になっている。第1るつぼ31と第2るつぼ32の高さ、すなわち第1開口部35と第2開口部39の高さは同一である。
- [0024] 高周波加熱コイル（第1加熱装置）33及び高周波加熱コイル（第2加熱装置）37は交流電源に接続されている。高周波加熱コイル33、37が通

電されると、被加熱物である第1るつぼ31内の金属やカーボン38の表面付近に渦電流が発生し、その際に発生するジュール熱で被加熱物が加熱される。このとき第2るつぼ32は加熱されたカーボン38によって間接的に加熱される。なお、本実施形態では高周波加熱コイル（第2加熱装置）37の被加熱物をカーボン38としたが導電体であれば他の金属などに代替可能である。

[0025] ストップ34は鉛直方向に延びる棒状の耐熱性の部材であり、ストップ34にはストップ34を上下動させる駆動機構（図示せず）が取り付けられている。駆動機構によりストップ34を下方に移動させストップ34の先端（下端）を第1るつぼ31の第1開口部35に当接させると第1開口部35が閉塞され第1るつぼ31内の溶湯の流出を停止できる。反対にストップ34を上方に移動させストップ34の先端を第1開口部35から離間させると第1開口部35が開放され導入管36に溶湯を導入できる。

[0026] 導入管36は、第1るつぼ31の第1開口部35に接続される第1端部36aと、第2るつぼ32の第2開口部39に接続される第2端部36bとを両端に備える略U字状の配管である。導入管36内の流路において最も高さの低い部分（最低部）36cの高さは、第2るつぼ32の第2開口部39に連結された第2端部36bの高さよりも低くなっている。本実施形態の導入管36の流路の高さは、第1端部36aから最低部36cに至るまで単調に減少しており、その後、最低部36cから第2端部36bに至るまで単調に増加している。導入管36と第1るつぼ31及び第2るつぼ32との接続には例えば接着剤を利用できる。

[0027] なお、溶湯7の凝固を防止する観点から、導入管36の周囲にもカーボン等の導電体を配置し、当該導電体を高周波加熱コイルにより加熱して導入管36を予熱可能な構成を採用しても良い。

[0028] ー動作・効果ー

上記のように構成される金属粉末製造装置では、金属粉末の製造に際して、まず、複数の溶湯ノズル11から流下させるための溶湯7を溶解槽1で生

成する。以下、その詳細について説明する。

- [0029] まず、ストッパ34を下ろして第1開口部35を閉塞した状態で第1るつぼ31内に溶解素材30を投入し、溶解槽1内を真空雰囲気や不活性ガス雰囲気に保持して高周波加熱コイル33に交流電流を流す。これにより溶解素材30の周囲に磁界が発生し、その磁場が溶解素材30の表面に渦電流を誘導し、その際に発生するジュール熱が溶解素材30を加熱溶融して溶湯7が生成される。このとき、溶解槽1を真空雰囲気や不活性ガス雰囲気に保持していたとしても微量の酸素が存在するため、第1るつぼ31内では溶湯7とともに酸化物40も生成される。ただし、酸化物40は溶湯7に比して軽いいため、溶湯7の流れが静止した定常状態では後述の図4に示すように溶湯7の表面付近に浮上する。
- [0030] また、第1るつぼ31の高周波加熱コイル33と同様に高周波加熱コイル37にも交流電流を流してカーボン38を加熱し、そのカーボン38の熱で第2るつぼ32を予熱する。
- [0031] 第1るつぼ31での溶湯7の生成と第2るつぼ32の予熱が完了したら、第1るつぼ31内の溶湯7を第2るつぼ32に導入し、溶湯ノズル11を介した出湯を開始する。その際の手順について図4を参照しながら説明する。図4は第1実施形態に係る溶解槽1の内部構成図であり、第2るつぼ32から溶湯7を出湯している状態を示している。
- [0032] ストッパ34を上げて第1開口部35を開放すると、第1るつぼ31内の溶湯7が第1開口部35を介して導入管36の内部に導入され、その後、第1端部36a、最低部36c及び第2端部36bを通過して第2るつぼ32内に導入される。このとき第1るつぼ31内の酸化物40は溶湯7の液面付近に浮遊した状態を保持するため第2るつぼ32内に導入されることはない。そして、第2るつぼ32内の溶湯7の液面は、第1るつぼ31内の溶湯7の液面と一致するまで上昇する。すなわち、第1るつぼ31と第2るつぼ32内の溶湯7の液面は図4に示すように同一高さとなる。これと同時に第2るつぼ32内に導入された溶湯7は、第2るつぼ32の底面に設けられた複

数の溶湯ノズル 11 を介して噴霧槽 4 に溶湯流 8 となって出湯する。

[0033] その後も溶湯 7 の出湯を継続すると、第 1 るつぼ 31 と第 2 るつぼ 32 内の溶湯 7 の液面は同じ高さを保持したまま低下していき、その液面が第 1 るつぼ 31 と第 2 るつぼ 32 の底面 45 に一致した時点で出湯が終了する。すなわち、ストッパ 34 を上げて第 1 開口部 35 から離れた状態を保持していても、溶湯 7 の液面が第 1 開口部 35 と第 2 開口部 39 の上端 45 に一致した時点で出湯が停止するため、第 1 るつぼ 31 内の酸化物 40 が導入管 36 を通過して第 2 るつぼ 32 に侵入することはない。

[0034] したがって、本実施形態の金属粉末製造装置によれば、溶湯 7 の生成時に発生した酸化物 40 が第 2 るつぼ 32 や溶湯ノズル 11 に混入することを防止できる。そのため、金属粉末に不純物が含まれることを防止できるとともに、溶湯ノズル 11 に酸化物 40 が詰まることを防止できる。その結果、高純度の金属粉末を効率良く製造できる。

[0035] なお、本実施形態は第 1 るつぼ 31 と第 2 るつぼ 32 の高さを同一にしているため、両るつぼ 31、32 の高さを異ならせている後述の他の実施形態と比較して溶解槽 1 の高さを抑制できるという点もメリットとなる。

[0036] <第 2 実施形態>

図 5 は本発明の第 2 実施形態に係る溶解槽 1 の内部構成図であり、第 1 るつぼ 31 内の溶解素材 30 の溶解前の状態を示している。

[0037] 本実施形態が第 1 実施形態と異なる主な点は、(1) 導入管 36 の第 2 端部 36b が第 2 るつぼ 32 の側面に設けられた第 2 開口部 39 に連結されている点と、(2) 導入管 36 の最低部 36c の高さが第 2 るつぼ 32 の第 2 開口部 39 に連結される第 2 端部 36b の高さと同じである点である。

[0038] 本実施形態の導入管 36 は、第 1 るつぼ 31 の第 1 開口部 35 に接続される第 1 端部 36a と、第 2 るつぼ 32 の第 2 開口部 39 に接続される第 2 端部 36b とを両端に備える略 L 字状の配管である。本実施形態の導入管 36 の流路の高さは、第 1 端部 36a から最低部 36c に至るまで単調に減少しており、その後、最低部 36c から第 2 端部 36b に至るまで一定になって

いる。換言すると、導入管36は、第1端部36aから第2端部36bに向かって、その高さがはじめて最低部36cと一致した部分（管路の折れ曲がり部分）から第2端部36bまでの間は所定の長さの水平管となっている。

[0039] このように金属粉末製造装置を構成しても、第1るつぼ31と第2るつぼ32の溶湯7の液面が第2開口部39の上端の高さ位置46よりも上に位置するまでの間は、第1るつぼ31内の酸化物40が第2るつぼ32内に侵入することを防止できる。すなわち溶湯7の液面が高さ位置46より上に在る状態でストッパ34を下ろすことが好ましい。ただし、溶湯7の液面が第2開口部39の上端の高さ位置46よりも下がったとしても、酸化物40は、溶湯7の液面の低下とともに第1るつぼ31、第1開口部35及び導入管36の直管部の内壁面に付着して少なくなっており、さらに第2開口部39に至るまでの水平管部分で留まることが予測されるため、第2るつぼ32内に実際に侵入する酸化物40の量は従前に比して充分削減できる。

[0040] したがって、本実施形態においても、溶融金属中の酸化物の溶湯ノズルへの侵入を防止でき、高純度の金属粉末を効率良く製造できる。

[0041] <第3実施形態>

図6は本発明の第3実施形態に係る溶解槽1の内部構成図であり、第1るつぼ31内の溶解素材30の溶解前の状態を示している。

[0042] 本実施形態が第1実施形態と異なる主な点は、（1）導入管36の第2端部36bが第2るつぼ32の側面に設けられた第2開口部39に連結されている点である。

[0043] 本実施形態では、導入管36の流路の高さは、第1端部36aから最低部36cに至るまで単調に減少しており、その後、最低部36cから第2端部36bに至るまでは水平管部分で一定に保持された後に単調に増加している。

[0044] このように金属粉末製造装置を構成した場合には、溶湯7の液面が第2るつぼ32の第2開口部39の下端の高さ位置47まで下がった時点で出湯が終了する。すなわち、ストッパ34を上げて第1開口部35から離れた状態

を保持していても、溶湯 7 の液面が第 2 開口部 3 9 の下端の高さ位置 4 7 に一致した時点で出湯が停止するため、第 1 るつぼ 3 1 内の酸化物 4 0 が導入管 3 6 を通過して第 2 るつぼ 3 2 に侵入することはない。

[0045] したがって、本実施形態の金属粉末製造装置においても、溶湯 7 の生成時に発生した酸化物 4 0 が第 2 るつぼ 3 2 や溶湯ノズル 1 1 に混入することを防止でき、高純度の金属粉末を効率良く製造できる。

[0046] <第 4 実施形態>

図 7 は本発明の第 4 実施形態に係る溶解槽 1 の内部構成図であり、第 1 るつぼ 3 1 内の溶解素材 3 0 の溶解前の状態を示している。

[0047] 本実施形態が第 1 実施形態と異なる主な点は、(1) 第 1 るつぼ 3 1 が第 2 るつぼ 3 2 の上方に保持されており、導入管 3 6 の第 2 端部 3 6 b が第 2 るつぼ 3 2 の上方において開口している点である。

[0048] 本実施形態でも、第 3 実施形態と同様に、導入管 3 6 の流路の高さは、第 1 端部 3 6 a から最低部 3 6 c に至るまで単調に減少しており、その後、最低部 3 6 c から第 2 端部 3 6 b に至るまでは水平管部分で一定に保持された後に単調に増加している。

[0049] このように金属粉末製造装置を構成した場合には、溶湯 7 の液面が第 2 端部 3 6 b の下端の高さ位置 4 8 まで下がった時点で出湯が終了する。すなわち、ストッパ 3 4 を上げて第 1 開口部 3 5 から離れた状態を保持していても、溶湯 7 の液面が第 2 端部 3 6 b の下端の高さ位置 4 8 に一致した時点で出湯が停止するため、第 1 るつぼ 3 1 内の酸化物 4 0 が導入管 3 6 を通過して第 2 るつぼ 3 2 に侵入することはない。

[0050] したがって、本実施形態の金属粉末製造装置においても、溶湯 7 の生成時に発生した酸化物 4 0 が第 2 るつぼ 3 2 や溶湯ノズル 1 1 に混入することを防止でき、高純度の金属粉末を効率良く製造できる。特に本実施形態は第 1 るつぼ 3 1 と第 2 るつぼ 3 2 の双方を導入管 3 6 によって接続することが不要な単純な構造となるため、第 1 実施形態と比較して製造が容易な点がメリットとなる。

[0051] なお、図7に示した導入管36（溶湯7の流通方向における最低部36cの下流側で流路の高さが単調増加する上り勾配部を備える導入管36）は図5に示した導入管36（溶湯7の流通方向における最低部36cの下流側で流路の高さが一定に保持される水平部を備える導入管36）に代替することも可能である。

[0052] <第5実施形態>

図8及び図9は本発明の第5実施形態に係る導入管36の断面図である。上記の第1、第2、第3、第4実施形態の導入管36には、導入管36の流路内壁の上部から下方に突出した浮遊物回収壁36dを設けることが好ましい。

[0053] 例えば溶湯ノズル11からの出湯の勢いが強い場合には、導入管36内の溶湯の流速が増加するため酸化物40が第2るつぼ32に侵入する可能性が高まる。しかし、本実施形態のように導入管36に浮遊物回収壁36dを設ければ、当該酸化物40が導入管36内を浮遊しながら第2端部36b（すなわち第2るつぼ32）に向かって移動する途中で、当該酸化物を浮遊物回収壁36dで捕集できる。すなわち酸化物40が第2るつぼ32に侵入することを防止できる。

[0054] なお、浮遊物回収壁36dは第2端部36bに近い部分に設けることが好ましい。すなわち図8のように水平管部を備える例では第2端部36bの近傍に設けることが好ましく、図9のように溶湯7の流通方向における最低部36cの下流側で流路の高さが単調増加する上り勾配部を備える例では当該上り勾配部の開始部分（換言すれば、水平管部の終了部分）に設けることが好ましい。

[0055] また、浮遊物回収壁36dとしては、例えば、導入管36の軸方向断面が円形の場合にはその内壁面に円弧部分が接する弓形の板を利用しても良いし、流路断面の上部だけでなく左右や下部にも壁面を有するオリフィスのような絞り形状を利用しても良い。

[0056] <第6実施形態>

図10は本発明の第6実施形態に係る溶解槽1の内部構成図であり、第1るつぼ31内の溶解素材30の溶解前の状態を示している。

[0057] 本実施形態が第1実施形態と異なる主な点は、(1)導入管36の第2端部36bに相当する第1開口部35の下端が第2るつぼ32の上方において開口している点と、(2)第2るつぼ32が第1るつぼ31の下側に設置されている点である。

[0058] このように金属粉末製造装置を構成しても、第1るつぼ31内の溶湯7の液面が第1開口部35の上端（すなわち第1るつぼ31の底面）の高さ位置45よりも上に位置する間（換言すると、第1るつぼ31内の酸化物40が溶湯7の液面付近を浮遊している間）は、第1るつぼ31内の酸化物40が第2るつぼ32内に侵入することを防止できる。すなわち溶湯7の液面が高さ位置45より上方に位置する状態でストッパ34を下ろすことが好ましい。

[0059] なお、第1開口部35の上端（すなわち第1るつぼ31の底面）の高さ位置45に所定の高さh1を加えた位置まで溶湯7の液面が低下したタイミングでストッパ34を下ろすように金属粉末製造装置を構成しても良い。高さh1は酸化物40が溶湯7の液面付近を浮遊可能な溶湯液位に基づいて定めることが好ましい。

[0060] <第7実施形態>

図11は本発明の第7実施形態に係る溶解槽1の内部構成図であり、第1るつぼ31内の溶解素材30の溶解前の状態を示している。

[0061] 本実施形態の主な特徴は、(1)第2るつぼ32が第1るつぼ31の下側に位置している点と、(2)導入管36が、略鉛直な主管36eと、主管36eから左右に分岐した2つの枝管36gを備えている点と、(3)第2端部36bに相当する2つの枝管36gの端部が第2るつぼ32の内部において開口する開口端である点と、(4)その2つの開口端（第2端部36b）の高さが導入管36の最低部36c（主管36eが2つの枝管36gに分岐する分岐部36f）の高さよりも高い点にある。以下、主に導入管36の詳細

細について説明する。

- [0062] 導入管36は、第1るつぼ31の第1開口部35に一端（第1端部36a）が連結される主管36eと、主管36eから分岐して第2るつぼ32内に開口する2つの枝管36gと、主管36eが2つの枝管36gに分岐する分岐部36fとを備えている。主管36eは、第1るつぼ31の第1開口部35と分岐部36fとを接続する略鉛直な配管である。主管36eにおける第1るつぼ31の第1開口部35との連結部分は、導入管36の一端である第1端部36aになっている。分岐部36fには、主管36eと2つの枝管36gが接続されており、導入管36内の流路において最も高さの低い最低部36cが含まれている。2つの枝管36gは、それぞれ、分岐部36との接続部から第2端部36bに向かって流路の高さが単調増加する上り勾配部となっており、第2るつぼ32内に開口している。枝管36gの開口端は導入管36の他端である第2端部36bになっており、第2端部36bの高さは導入管36の最低部36cの高さよりも高くなっている。また、図示のように分岐部36fにおける枝管36gとの接続部に図8及び図9に示した浮遊物回収壁36dを設けても良い。
- [0063] 本実施形態でも、第3、第4実施形態と同様に、導入管36の流路の高さは、第1端部36aから最低部36cに至るまで単調に減少しており、その後、最低部36cから第2端部36bに至るまでは水平管部分で一定に保持された後に単調に増加している。
- [0064] このように金属粉末製造装置を構成した場合には、溶湯7の液面が第2端部36bの下端の高さ位置48まで下がった時点で第2るつぼ32への注湯が終了する。すなわち、ストッパ34を上げて第1開口部35から離れた状態を保持していても、溶湯7の液面が第2端部36bの下端の高さ位置48に一致した時点で第2るつぼ32への注湯が停止するため、第6実施形態のように第1るつぼ31内の酸化物40が第2るつぼ32に侵入することはない。
- [0065] したがって、本実施形態の金属粉末製造装置においても、溶湯7の生成時

に発生した酸化物 4 0 が第 2 るつぼ 3 2 や溶湯ノズル 1 1 に混入することを防止でき、高純度の金属粉末を効率良く製造できる。

[0066] なお、導入管 3 6 は 3 つ以上の枝管に分岐させても良いし、第 4 実施形態の導入管 3 6 のように分岐の無い配管を本実施形態の導入管 3 6 として利用しても良い。

[0067] <その他>

本発明は、上記の実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲内の様々な変形例が含まれる。例えば、本発明は、上記の実施の形態で説明した全ての構成を備えるものに限定されず、その構成の一部を削除したものも含まれる。また、ある実施の形態に係る構成の一部を、他の実施の形態に係る構成に追加又は置換することが可能である。

[0068] 上記の各実施形態では第 2 るつぼ 3 2 の底面に 2 本の溶湯ノズル 1 1 が設けられた場合について説明したが、第 2 るつぼ 3 2 の底面に設ける溶湯ノズル 1 1 の数は 2 つに限られず、1 つでも良いし、3 つ以上でも良い。この場合、複数のガス噴射ノズル 2 は、溶湯ノズルの 1 1 のそれぞれの周囲に設けられ、溶湯ノズル 1 1 のそれぞれから流下される溶融金属に対してガス流体を噴出することとなる。

[0069] 上記の各実施形態では、第 1 るつぼ 3 1 に高周波加熱コイル（第 1 加熱装置）3 3 を巻き付けて溶解素材 3 0 を溶解する構成としたが、他のるつぼ等で溶融した溶湯を第 1 るつぼ 3 1 に注湯する構成を採用しても良い。ただし、この場合、第 1 るつぼ 3 1 を第 2 るつぼ 3 2 と同様に予熱する構成（例えばカーボン 3 8）を追加することが好ましい。

[0070] また、ガス噴射ノズル 2 A、2 B から気体（ガス流体）を噴射する場合について説明したが水などの液体を噴射しても構わない。すなわち流体を噴射するノズルであれば本発明は適用できる可能性がある。

符号の説明

[0071] 1 …溶解槽、2 …ガス噴射ノズル、3 …噴射ガス供給管、4 …噴霧槽、5 …採集ホッパ、6 …排気、7 …溶融金属（溶湯）、8 …溶湯流、10 …噴射

ガスジェット, 11 A, 11 B…溶湯ノズル, 12…溶湯ノズル挿入孔, 15…微粒子, 20 A, 20 B…噴霧ノズル, 30…溶解素材, 31…第1るつぼ, 32…第2るつぼ, 33…高周波加熱コイル(第1加熱装置), 34…ストッパ, 35…第1開口部, 36…導入管, 36 a…第1端部, 36 b…第2端部, 36 c…最低部, 36 d…浮遊物回収壁, 36 e…主管, 36 f…分岐部, 36 g…枝管, 37…高周波加熱コイル(第2加熱装置), 38…間接加熱用カーボン(導電体), 39…第2開口部, 40…酸化物, 200…金属噴霧装置

請求の範囲

- [請求項1] 溶融前の金属を受け入れ可能な第1るつぼと、
前記第1るつぼ内の金属を加熱溶融するための第1加熱装置と、
前記第1るつぼの底面に設けられた第1開口部を開閉するストッパと、
前記第1るつぼの前記第1開口部に連結される一端を有し、前記第1るつぼ内の溶融金属を前記第1るつぼの外部に導く導入管と、
前記導入管から流出される溶融金属を受け入れる第2るつぼと、
前記第2るつぼを加熱するための第2加熱装置と、
前記第2るつぼの底面に設けられた溶湯ノズルと、
前記溶湯ノズルの周囲に設けられ、前記溶湯ノズルから流下される溶融金属に対してガス流体を噴出する複数のガス噴射ノズルと、
を備えたことを特徴とする金属粉末製造装置。
- [請求項2] 請求項1の金属粉末製造装置において、
前記導入管の他端は、前記第2るつぼの底面及び側面の何れか一方に設けられた第2開口部に連結されていることを特徴とする金属粉末製造装置。
- [請求項3] 請求項2の金属粉末製造装置において、
前記導入管は、前記導入管の流路内壁の上部から下方に突出した浮遊物回収壁を有することを特徴とする金属粉末製造装置。
- [請求項4] 請求項2の金属粉末製造装置において、
前記導入管内の流路において最も高さの低い最低部の高さは、前記第2開口部に連結された前記導入管の他端の高さよりも低いことを特徴とする金属粉末製造装置。
- [請求項5] 請求項4の金属粉末製造装置において、
前記導入管は、前記導入管の流路内壁の上部から下方に突出した浮遊物回収壁を有することを特徴とする金属粉末製造装置。
- [請求項6] 請求項1の金属粉末製造装置において、

前記導入管の他端は、前記第２るつぼの上方において開口していることを特徴とする金属粉末製造装置。

- [請求項7] 請求項6の金属粉末製造装置において、
前記導入管は、前記導入管の流路内壁の上部から下方に突出した浮遊物回収壁を有することを特徴とする金属粉末製造装置。
- [請求項8] 請求項6の金属粉末製造装置において、
前記導入管内の流路において最も高さの低い最低部の高さは、前記導入管の他端の高さよりも低いことを特徴とする金属粉末製造装置。
- [請求項9] 請求項8の金属粉末製造装置において、
前記導入管は、前記導入管の流路内壁の上部から下方に突出した浮遊物回収壁を有することを特徴とする金属粉末製造装置。
- [請求項10] 請求項6の金属粉末製造装置において、
前記第２るつぼは前記第１るつぼの下側に設置されていることを特徴とする金属粉末製造装置。
- [請求項11] 請求項1の金属粉末製造装置において、
前記導入管の他端は、前記第２るつぼの内部において開口されており、
前記導入管内の流路において最も高さの低い最低部の高さは、前記他端の高さよりも低いことを特徴とする金属粉末製造装置。
- [請求項12] 請求項11の金属粉末製造装置において、
前記導入管は、前記導入管における前記一端を有する主管と、前記主管から複数に分岐して前記第２るつぼ内で開口する複数の枝管と、前記主管が前記複数の枝管に分岐する分岐部とを備え、
前記分岐部は、前記導入管内の流路において最も高さの低い位置に設けられており、
前記複数の枝管の開口端の高さは、前記分岐部の高さよりも高いことを特徴とする金属粉末製造装置。
- [請求項13] 請求項12の金属粉末製造装置において、

前記導入管は、前記導入管の流路内壁の上部から下方に突出した浮遊物回収壁を有することを特徴とする金属粉末製造装置。

[請求項14]

請求項1の金属粉末製造装置において、

前記溶湯ノズルは、前記第2るつぼの底面に設けられた複数の溶湯ノズルであり、

前記複数のガス噴射ノズルは、前記複数の溶湯ノズルのそれぞれの周囲に設けられ、前記複数の溶湯ノズルから流下される熔融金属に対してガス流体を噴出することを特徴とする金属粉末製造装置。