

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 3 部門第 4 区分

【発行日】令和 5 年 4 月 28 日(2023.4.28)

【国際公開番号】WO2017/011900

【公表番号】特表 2018-528328(P2018-528328A)

【公表日】平成 30 年 9 月 27 日(2018.9.27)

【出願番号】特願 2018-521450(P2018-521450)

【国際特許分類】

B 2 2 F 9/14(2006.01)

B 2 2 F 1/00(2022.01)

C 2 2 C 14/00(2006.01)

C 2 2 C 16/00(2006.01)

【F I】

B 2 2 F 9/14 Z

B 2 2 F 1/00 R

B 2 2 F 1/00 M

B 2 2 F 1/00 N

B 2 2 F 1/00 P

C 2 2 C 14/00 Z

C 2 2 C 16/00

10

20

【誤訳訂正書】

【提出日】令和 5 年 4 月 5 日(2023.4.5)

【誤訳訂正 1】

【訂正対象書類名】特許請求の範囲

【訂正対象項目名】全文

【訂正方法】変更

【訂正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プラズマアトマイズ化金属粉末製造方法であって、

加熱された金属源を提供することと、

前記加熱された金属源を少なくとも 1 つのプラズマ源のプラズマと位置合わせすることであって、前記位置合わせは、前記加熱された金属源を前記少なくとも 1 つのプラズマ源の出口ノズルから最大で 5 センチメートル以内に位置決めすることを含む、位置合わせすることと、

前記加熱された金属源を、前記加熱された金属源のアトマイズ化を引き起こすのに有効な条件下で前記少なくとも 1 つのプラズマ源の前記プラズマと接触させることと、アトマイズゾーンに向かって二次高圧ガスを供給することと、前記プラズマと接触し予めアトマイズされた金属源と前記二次高圧ガスを接触させ、二次アトマイズを生成することと、を含み、前記加熱された金属源は、チタン、チタン合金、ジルコニウム、ジルコニウム合金、コバルト超合金、ニッケル超合金、マグネシウム、マグネシウム合金、ニオブ、ニオブ合金、アルミニウム、アルミニウム合金、モリブデン、モリブデン合金、タングステンおよびタングステン合金のうちの 1 つから選択された少なくとも 1 つの部材を備え、前記アトマイズ化はアトマイズゾーンへの前記金属源の質量速度 (Kg/s) に対して注入されるガスの単位時間当たりの質量 (Kg/s) が 20 未満で実行され、それにより、ASTM B 214 にしたがって測定して、少なくとも 80 重量%の 0 ~ 106 ミクロン粒経分布収率を有する原料金属粉末を得る、プラズマアトマイズ化金属粉末製造方法。

【請求項 2】

30

40

50

前記金属源の質量速度 (Kg/s) に対して注入される前記ガスの単位時間当たりの質量 (Kg/s) は、17 未満である、請求項 1 に記載の製造方法。

【請求項 3】

前記金属源の質量速度 (Kg/s) に対して注入される前記ガスの単位時間当たりの質量 (Kg/s) は、5 ~ 15 である、請求項 1 に記載の製造方法。

【請求項 4】

前記金属源の質量速度 (Kg/s) に対して注入される前記ガスの単位時間当たりの質量 (Kg/s) は、2 ~ 10 である、請求項 1 に記載の製造方法。

【請求項 5】

前記金属源の質量速度 (Kg/s) に対して注入される前記ガスの単位時間当たりの質量 (Kg/s) は、5 ~ 10 である、請求項 1 に記載の製造方法。 10

【請求項 6】

前記金属源の質量速度 (Kg/s) に対して注入される前記ガスの単位時間当たりの質量 (Kg/s) は、10 ~ 20 である、請求項 1 に記載の製造方法。

【請求項 7】

前記金属源の質量速度 (Kg/s) に対して注入される前記ガスの単位時間当たりの質量 (Kg/s) は、10 ~ 15 である、請求項 1 に記載の製造方法。

【請求項 8】

前記原料金属粉末は、ASTM B214 に従って測定される、少なくとも 90 重量 % の 0 ~ 106 ミクロン粒径分布収率を有する、請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の製造方法。 20

【請求項 9】

前記原料金属粉末は、ASTM B214 に従って測定される、少なくとも 85 重量 % の 0 ~ 75 ミクロン粒径分布収率を有する、請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の製造方法。

【請求項 10】

前記原料金属粉末は、ASTM B214 に従って測定される、少なくとも 50 重量 % の 0 ~ 45 ミクロン粒径分布収率を有する、請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の製造方法。

【請求項 11】

前記原料金属粉末は、ASTM B214 に従って測定される、少なくとも 60 重量 % の 0 ~ 45 ミクロン粒径分布収率を有する、請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の製造方法。 30

【請求項 12】

前記加熱された金属源は、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の頂点で前記プラズマと接触する、請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の製造方法。

【請求項 13】

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の少なくとも 1 つの個別ノズルから放出される、請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の製造方法。

【請求項 14】

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の複数の個別ノズルから放出され、前記個別ノズルは、前記加熱された金属源の周りに角度を付けて位置決めされる、請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の製造方法。 40

【請求項 15】

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の環状ノズルから放出される、請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の製造方法。

【請求項 16】

前記加熱された金属源は、ワイヤ、ロッド、および熔融流から選択される、請求項 1 ~ 15 のいずれか 1 項に記載の製造方法。

【請求項 17】

前記加熱された金属源は、抵抗加熱、アーク放電、および誘導加熱のうちの少なくとも1つによって加熱されたワイヤである、請求項1～15のいずれか1項に記載の製造方法。

【請求項18】

前記加熱された金属源は、抵抗加熱、アーク放電、および誘導加熱のうちの少なくとも1つによって加熱されたロッドである、請求項1～15のいずれか1項に記載の製造方法。

【請求項19】

前記加熱された金属源は、スカル熔融または水冷るつぼから得られた加熱された熔融流である、請求項1～15のいずれか1項に記載の製造方法。

10

【請求項20】

前記加熱された金属源は、チタン、チタン合金、ジルコニウム、ジルコニウム合金、アルミニウム、およびアルミニウム合金から選択される、請求項1～19のいずれか1項に記載の製造方法。

【請求項21】

前記加熱された金属源は、チタン合金から選択される、請求項1～19のいずれか1項に記載の製造方法。

【請求項22】

前記加熱された金属源は、Ti-6Al-4Vである、請求項1～19のいずれか1項に記載の製造方法。

20

【請求項23】

前記加熱された金属源は、Ti-6Al-4V、Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo、Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr、およびチタンアルミナイドから選択される、請求項1～19のいずれか1項に記載の製造方法。

【請求項24】

前記加熱された金属源は、非合金Tiグレード、PdまたはRuで改質されたTi合金、アルファ型およびニア(near)アルファ型Ti合金、アルファ-ベータ型Ti合金、およびニア(near)ベータ型およびベータ型Ti合金から選択される、請求項1～19のいずれか1項に記載の製造方法。

【請求項25】

前記加熱された金属源を少なくとも1つのプラズマ源の前記プラズマと位置合わせさせることは、前記加熱された金属源を前記少なくとも1つのプラズマ源の前記出口ノズルから最大で2.5センチメートル以内に位置決めすることを含む、請求項1～24のいずれか1項に記載の製造方法。

30

【請求項26】

前記加熱された金属源を少なくとも1つのプラズマ源の前記プラズマと位置合わせさせることは、前記加熱された金属源を前記少なくとも1つのプラズマ源の前記出口ノズルから最大で1.9センチメートル以内に位置決めすることを含む、請求項1～24のいずれか1項に記載の製造方法。

【誤訳訂正2】

40

【訂正対象書類名】明細書

【訂正対象項目名】全文

【訂正方法】変更

【訂正の内容】

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、2015年7月17日に提出された米国仮出願第62/193,622号および2015年11月5日に提出された米国仮出願第62/251,476号に対する優

50

先権を主張する。これらの文書は、その全体が参考として組み込まれる。

【 0 0 0 2 】

本開示は、金属球状粉末などの球状粉末の生産の分野に関する。より具体的には、本開示は、プラズマトマイズ法によって金属粉末を調製するための方法および装置に関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 3 】

典型的には、高品質の反応性金属粉末の所望の特徴は、高い真球度、密度、純度、流動性および低い量のガス閉じ込め空隙率の組み合わせである。微粉末は、3D印刷、粉末射出成形、熱間静水圧プレスおよびコーティングなどの用途に有用である。そのような微粉末は、航空宇宙、生物医学および産業分野の用途に使用される。

10

【 0 0 0 4 】

これまで、プラズマトマイズ法を経て金属粉末を調製する方法および装置に関してこれまでも様々な解決策が提案されている。しかし、それらの提案された解決策にはいくつかの問題が発生している。例えば、提案された方法および装置のいくつかは、十分な微細粒径分布を有する球状粉末を得ることができない。

【 0 0 0 5 】

さらに、提案された解決策には依然として高い生産コストと低い生産速度が伴う。

【 0 0 0 6 】

生産された原料金属粉末中の0～106ミクロンの粒子の割合に関して、いくつかの他の課題が発生している。実際、これまでのところ、高い0～106ミクロン粒径分布収率を有する原料金属粉末を生産することを可能にする技術は多くなかった。実際に、いくつかの技術は、非常に少量しか0～106ミクロンのサイズを有する粒子を生産できなかった。例えば、いくつかの技術は、0～106ミクロングレードの粉体は20～40%しか生産せず、一方他の技術は約60～70%を上回らない。したがって、それらの先行技術は、高い0～106ミクロン粒径分布収率を有する原料金属粉末を調製することを可能としていない。収率が低いと生産コストが大幅に上昇し、多くの廃棄物が発生する。さらに、EIGA法のような典型的な方法は、0～106ミクロンのサイズを有する粒子の70%の収率を達成するために、非常に大量のアトマイズガスを必要とすることがある。例えば、EIGA法におけるガス対金属比は、約33に達し得る。これにより、生産コストがさらに上昇する可能性がある。

20

30

【 発明の概要 】

【 0 0 0 7 】

したがって、既存の技術の欠点に少なくとも部分的に対処する装置、システムまたは方法が提供されることが大いに望ましい。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 8 】

本明細書に記載された実施形態は、一態様において、プラズマトマイズ金属粉末製造方法であって、

加熱された金属源を提供することと、

40

前記加熱された金属源を、前記加熱された金属源のアトマイズを引き起こすのに有効な条件下で、少なくとも1つのプラズマ源のプラズマと接触させることと、を含む、プラズマトマイズ金属粉末製造方法を提供する。

【 0 0 0 9 】

本明細書に記載された実施形態は、別の態様において、プラズマトマイズ金属粉末製造方法であって、

加熱された金属源を提供することと、

前記加熱された金属源を、前記加熱された金属源のアトマイズを引き起こすのに有効な条件下で、少なくとも1つのプラズマ源のプラズマと接触させ、それにより、ASTM B214に従って測定される、少なくとも80%の0～106ミクロン粒径分布収率を有

50

する原料金属粉末を得ることと、を含む、プラズマアトマイズ金属粉末製造方法を提供する。

【 0 0 1 0 】

本明細書に記載された実施形態は、別の態様において、加熱された金属源を提供することと、前記加熱された金属源を、前記加熱された金属源のアトマイズを引き起こすのに有効な条件下で、少なくとも1つのプラズマ源のプラズマと接触させることと、を含むプラズマアトマイズ金属粉末製造方法を提供し、ここで前記アトマイズは、約20未満のガス対金属比を使用することによって実行され、それにより、ASTM B214に従って測定される、少なくとも80%の0~106ミクロン粒径分布収率を有する原料金属粉末を得る。

10

【 0 0 1 1 】

本明細書に記載された実施形態は、別の態様において、加熱された金属源を提供することと、前記加熱された金属源を、前記加熱された金属源のアトマイズを引き起こすのに有効な条件下で、少なくとも1つのプラズマ源のプラズマと接触させることと、を含むプラズマアトマイズ金属粉末製造方法を提供し、ここで前記アトマイズは、約20未満のガス対金属比を使用することによって実行され、それにより、少なくとも80%の0~106ミクロン分布を有する金属粉末を得る。

【 0 0 1 2 】

本明細書に記載された実施形態は、別の態様において、加熱された金属源を提供することと、加熱された金属源を少なくとも1つのプラズマ源のプラズマと位置合わせすることと、加熱された金属源を、前記加熱された金属源のアトマイズを引き起こすのに有効な条件下で、少なくとも1つのプラズマ源のプラズマと接触させることと、を含むプラズマアトマイズ製造方法を提供する。

20

【 0 0 1 3 】

本明細書に記載された実施形態は、さらに別の態様において、金属源を給送するための給送装置と、金属源を加熱するための少なくとも1つの加熱システムと、加熱した後の金属源を、加熱された金属源のアトマイズを引き起こすのに有効な条件下で、プラズマと接触させるように構成された少なくとも1つのプラズマ源と、少なくとも1つのプラズマ源の上流に位置決めされた位置合わせシステムであって、前記位置合わせシステムは少なくとも1つのプラズマ源に対して金属源の配向を調整するように適合されている、位置合わせシステムと、を備えるアトマイズシステムを提供する。

30

【 0 0 1 4 】

以下の図面は、非限定的な例を表している。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 5 】

【図1】図1は、本開示の第1の例示的实施形態によるアトマイズシステムの断面図である。

【図2】図2は、本開示の例示的一実施形態によるアトマイズシステムの位置合わせシステムの概略図である。

【図3】図3は、本開示の例示的一実施形態によるガイド付アトマイズシステムのガイドの断面図である。

40

【図4】図4は、本開示の例示的一実施形態による誘導加熱要素を有するガイドの断面図である。

【図5】図5は、本開示の別の例示的实施形態による電極加熱素子を有するガイドの断面図である。

【図6】図6は、本開示の第1の例示的实施形態によるガイド付アトマイズシステムの断面図である。

【図7】図7は、本開示の第2の例示的实施形態によるガイド付アトマイズシステムの断面図である。

【図8】図8は、本開示の第3の例示的实施形態によるガイド付アトマイズシステムの断

50

面図である。

【図 9】図 9 は、本開示の一例のアトマイズ法による金属粒子 (T i - 6 A 1 - 4 V) の 2 5 0 倍の倍率での S E M 画像である。

【図 1 0】図 1 0 は、本開示の一例のアトマイズ法による金属粒子 (T i - 6 A 1 - 4 V) の 5 0 0 倍の倍率での S E M 画像である。

【図 1 1】図 1 1 は、本開示の一例のアトマイズ法による金属粒子 (T i - 6 A 1 - 4 V) の 2 0 0 0 倍の倍率での S E M 画像である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 6 】

以下の実施例は、非限定的仕方では提示される。

10

【 0 0 1 7 】

単語「1つの (a)」または「1つの (a n)」は、請求項および / または明細書において用語「備える」と併せて使用されるとき「1」を意味することがあるが、それはまた内容が明確に別に指示しない限り、「1つ以上」、「少なくとも1つ」、および「1つまたは1つ以上」の意味とも一致する。同様に、「別の」という単語は、内容が明確に別に指示しない限り、少なくとも2番目のまたはそれ以上の、を意味してもよい。

【 0 0 1 8 】

本明細書および請求項で使用されているように、「備える (c o m p r i s i n g)」(および「備える (c o m p r i s e)」かつ「備える (c o m p r i s e s)」などの任意の形態の含む (c o m p r i s i n g))、「有する (h a v i n g)」(および「有する (h a v e)」かつ「有する (h a s)」などの任意の形態の有する (h a v i n g))、「含む (i n c l u d i n g)」(および「含む (i n c l u d e)」かつ「含む (i n c l u d e s)」などの任意の形態の含む (i n c l u d i n g))、または「含有する (c o n t a i n i n g)」(および「含有する (c o n t a i n)」かつ「含有する (c o n t a i n s)」などの任意の形態の含有する (c o n t a i n i n g)) は、包括的または拡張可能であって、追加の、列挙されていない要素または方法のステップを除外しない。

20

【 0 0 1 9 】

本明細書で使用する表現「アトマイズゾーン」は、金属粉末を調製するための方法、装置またはシステムに言及する場合、材料が材料の液滴にアトマイズされるゾーンのことを言う。当業者であれば、アトマイズゾーンの寸法は、アトマイズ手段の温度、アトマイズ手段の速度、アトマイズ手段の材料、アトマイズ手段の電力、アトマイズゾーンに入る前の材料の温度、材料の性質、材料の寸法、材料の電気抵抗率等などの様々なパラメータにしたがって変化するであろうことを理解するであろう。

30

【 0 0 2 0 】

「金属粉末は、A S T M B 2 1 4 に従って測定される、少なくとも T % の X ~ Y ミクロン粒径分布収率を有する」という表現は、得られた粉末の少なくとも T % が約 X ~ 約 Y ミクロンの粒径分布を有する金属粉末のことを言う。この値は、A S T M B 2 1 4 規格にしたがって測定される。

【 0 0 2 1 】

40

「A S T M B 2 1 4 にしたがって測定された、少なくとも 8 0 % の 0 ~ 1 0 6 ミクロンの粒径分布収率を有する金属粉末」という表現は、得られた粉末の少なくとも 8 0 % が約 0 ~ 約 1 0 6 ミクロンの粒径分布を有する金属粉末のことを言う。この値は、A S T M B 2 1 4 規格にしたがって測定される。

【 0 0 2 2 】

本明細書で使用する「ガス対金属比」という表現は、アトマイズゾーンへの金属源の質量速度 (K g / s) のために注入されたガスの単位時間当たりの質量 (K g / s) のことを言う。

【 0 0 2 3 】

本明細書で使用する「反応性金属粉末」という表現は、近位連結ノズルが使用される

50

古典的ガスアトマイズ法を経て効率的に調製することのできない金属粉末のことを言う。例えば、そのような反応性金属粉末は、チタン、チタン合金、ジルコニウム、ジルコニウム合金、マグネシウム、マグネシウム合金、ニオブ、ニオブ合金、アルミニウム、アルミニウム合金、モリブデン、モリブデン合金、タングステン、タングステン合金、酸素反応性金属、および窒素反応性金属のうちの1つから選ばれた少なくとも1つの部材を備える粉末であることができる。

【0024】

本明細書で使用される「原料金属粉末」という用語は、ふるい分けまたは分類手法のような後処理ステップなしでアトマイズ法から直接得られる金属粉末のことを言う。

【0025】

本明細書に記載された様々な例示的实施形態は、低い生産コストを維持しながら、所与の分布の原料金属粉末の高い収率を提供する。廃棄物を最小限にすることによって、およびアトマイズ法で使用されるガス流量（すなわちガス量）を低減することによって、生産コストは低く保たれる。例えば、本明細書に記載の方法およびシステムに従うガス対金属比は30未満である。

【0026】

様々な例示的实施形態にしたがって、金属源が提供される。この金属源のアトマイズから原料金属粉末が形成される。金属源は、アトマイズゾーンに入る前に予熱される。

【0027】

いくつかの例示的实施形態では、金属源は、アトマイズゾーンに給送される前に既に加熱されている。しかしながら、金属源は、金属源がアトマイズされる前に十分な温度に達するようにアトマイズゾーンの直ぐ上流でさらに加熱される。十分な温度に達すると、金属源は、加熱された金属源のアトマイズを引き起こすのに有効な条件下で、少なくとも1つのプラズマ源からのプラズマによって接触されることによってアトマイズされる。

【0028】

例えば、水冷るつば（スカル溶融）内で原料を溶融させることができる。次いで、金属源は、アトマイズされるべく少なくとも1つのプラズマ源からのプラズマと接触するようにさらに加熱されてアトマイズゾーンに給送される溶融流となる。

【0029】

例えば、金属源は、最初は金属ワイヤまたは金属ロッドとして給送されてもよい。アトマイズに先立って、金属ワイヤまたは金属ロッドは、抵抗加熱、アーク放電、誘導加熱、またはそれらの任意の組み合わせによってさらに加熱されてもよい。加熱された後、金属ワイヤまたは金属ロッドは、アトマイズされるべく少なくとも1つのプラズマ源からのプラズマと接触するようにアトマイズゾーンに給送される。

【0030】

アトマイズおよび適切な位置合わせの前に金属源を十分に加熱することにより、アトマイズされる原料金属粉末の高収率を達成することができる。この高い収率は、プラズマトーチのエネルギーコストと比較して生産コストを大幅に増加させることなく達成することができる。例えば、アトマイズ前の金属源の温度は、材料の融点の近くにあることができる。例えば、温度は、融点温度の約75%～約110%または融点温度の約85%～約95%にすることができる。

【0031】

例えば、微粉末の高収率は、アトマイズゾーン内に注入される少量の非常に高温のガス流に対して達成される。注入されたガスはしばしば不活性ガスであることが理解されよう。注入されるガスの量を減らすことは、生産コスト、特にリサイクルガスのコストを大幅に減少することができる。

【0032】

様々な例示的实施形態によれば、本明細書で提供される収率を達成するために、少なくとも1つのプラズマ源からのプラズマは、アトマイズ中に金属源に十分な加熱エネルギーおよび運動量を提供しなければならない。プラズマガス流は、約10kg/hのチタンの

10

20

30

40

50

質量給送速度のために、典型的にはトーチ当たり 100 s l m より大きく、より好ましくは 3 つの収束プラズマトーチに対して 150 s l m より大きい。トーチ当たりの電力は、約 25 kW、より好ましくは約 30 kW 以上である。

【0033】

少なくとも 1 つのプラズマ源から必要とされる熱量を提供するためには、増加した量の電力およびエネルギーが必要であることが理解されよう。様々な例示的实施形態によれば、アトマイズの間に注入されるガスの量を低下させることから得られるコスト削減（収率）は、少なくとも 1 つのプラズマ源によるより高い電力消費から増加するコストを大きく上回ることが観察されている。

【0034】

様々な例示的实施形態によれば、原料金属粉末は、約 20 未満のガス対金属比を使用しながら金属源をアトマイズすることから形成され得る。

【0035】

様々な例示的实施形態によれば、原料金属粉末は、約 5 ~ 約 15 のガス対金属比を使用しながら金属源をアトマイズすることから形成され得る。

【0036】

様々な例示的实施形態によれば、原料金属粉末は、約 2 ~ 約 10 のガス対金属比を使用しながら金属源をアトマイズすることから形成され得る。

【0037】

様々な例示的实施形態によれば、原料金属粉末は、約 5 ~ 約 10 のガス対金属比を使用しながら金属源をアトマイズすることから形成され得る。

【0038】

様々な例示的实施形態によれば、原料金属粉末は、約 10 ~ 約 20 のガス対金属比を使用しながら金属源をアトマイズすることから形成され得る。

【0039】

様々な例示的实施形態によれば、原料金属粉末は、約 10 ~ 約 15 のガス対金属比を使用しながら金属源をアトマイズすることから形成され得る。

【0040】

様々な例示的实施形態によれば、アトマイズから得られる原料金属粉末は、少なくとも 80 % の 0 ~ 106 ミクロン粒径分布収率を有する。

【0041】

様々な例示的实施形態によれば、アトマイズから得られる原料金属粉末は、少なくとも 85 % の 0 ~ 106 ミクロン粒径分布収率を有する。

【0042】

様々な例示的实施形態によれば、アトマイズから得られる原料金属粉末は、少なくとも 90 % の 0 ~ 106 ミクロン粒径分布収率を有する。

【0043】

様々な例示的实施形態によれば、アトマイズから得られる原料金属粉末は、少なくとも 85 % の 0 ~ 75 ミクロン粒径分布収率を有する。

【0044】

様々な例示的实施形態によれば、アトマイズから得られる原料金属粉末は、少なくとも 50 % の 0 ~ 45 ミクロン粒径分布収率を有する。

【0045】

様々な例示的实施形態によれば、アトマイズから得られる原料金属粉末は、少なくとも 60 % の 0 ~ 45 ミクロン粒径分布収率を有する。

【0046】

様々な例示的プラズマアトマイズ金属粉末製造方法によれば、アトマイズゾーンに給送される金属源は、プラズマおよび少なくとも 1 つのプラズマ源に対して適切に位置決めされる。

【0047】

10

20

30

40

50

例えば、アトマイズゾーンに給送される金属源および少なくとも1つのプラズマ源は、金属源がプラズマ源の頂点でプラズマと接触するように互いに対して位置決めされる。これは、プラズマ源の幾何学的頂点であってもよい。プラズマ源の頂点は、プラズマのアトマイズせん断力が最も大きい領域に対応することが観察された。

【0048】

アトマイズゾーン内の金属源と少なくとも1つのプラズマ源との適切な相対的位置取りは、プラズマ源のノズル出口をアトマイズゾーン内の金属源にごく近接して設置することが求められることがある。

【0049】

例えば、プラズマ源は、そのノズル出口が金属源の最大で約5センチメートル以内にあるように位置決めされる。 10

【0050】

例えば、プラズマ源は、そのノズル出口が金属源の最大で約3センチメートル以内にあるように位置決めされる。

【0051】

例えば、プラズマ源は、そのノズル出口が金属源の最大で約2.5センチメートル以内にあるように位置決めされる。

【0052】

例えば、プラズマ源は、そのノズル出口が金属源の最大で約2センチメートル以内にあるように位置決めされる。 20

【0053】

例えば、プラズマ源は、そのノズル出口が金属源の最大で約1.9センチメートル以内にあるように位置決めされる。

【0054】

例えば、プラズマ源は、そのノズル出口が金属源の最大で約1.75センチメートル以内にあるように位置決めされる。

【0055】

例えば、プラズマ源は、そのノズル出口が金属源の最大で約1.5センチメートル以内にあるように位置決めされる。

【0056】

様々な例示的实施形態によれば、金属源は縦給送としてアトマイズゾーンに給送される。この給送は、溶融流、金属ロッド、または金属ワイヤであってもよい。 30

【0057】

少なくとも1つのプラズマ源は、少なくとも1つの個別ノズルを有する少なくとも1つのプラズマトーチであってもよい。複数の個別ノズルが設けられている場合、これらのノズルは、金属源縦給送の周りに角度をなして位置決めされてもよい。

【0058】

代わりに、少なくとも1つのプラズマ源は、金属源縦給送の周囲に延びる環状ノズルを含んでもよい。

【0059】

様々な例示的实施形態によれば、少なくとも1つのプラズマ源の少なくとも1つのノズルは、下方に曲げられてもよい。例えば、少なくとも1つのプラズマ源は、垂直軸に対して約10°～約60°に向けられたプラズマジェットを放出してもよい。 40

【0060】

例えば、少なくとも1つのプラズマ源は、垂直軸に対して約20°～約60°に向けられたプラズマジェットを放出してもよい。

【0061】

例えば、少なくとも1つのプラズマ源は、垂直軸に対して約20°～約50°に向けられたプラズマジェットを放出してもよい。

【0062】

例えば、少なくとも1つのプラズマ源は、垂直軸に対して約20°～約30°に向けられたプラズマジェットを放出してもよい。

【0063】

例えば、少なくとも1つのプラズマ源は、垂直軸に対して約25°～約35°に向けられたプラズマジェットを放出してもよい。

【0064】

様々な例示的プラズマアトマイズ金属粉末製造方法によれば、アトマイズゾーンに給送される金属源は、少なくとも1つのプラズマ源のプラズマと位置合わせされる。位置合わせは、アトマイズゾーンに給送されているときに金属源の配向を調整することを含んでもよい。この調整は、経時的に、少なくとも1つのプラズマ源および/または少なくとも1つのプラズマ源からのプラズマに対して金属源の所望の位置取りを維持しようとする。

10

【0065】

アトマイズゾーンに給送される金属源の位置は、経時的に空間的に変動し得ることが観察されている。この空間的な変動は、別々のアトマイズ稼働の間または単一のアトマイズ稼働内で発生し得る。それで、アトマイズゾーンに給送されるとき金属源の配向は、アトマイズ稼働を開始する前に調整されてもよい。溶融したロッドから落下する溶融流は動くことがあり、正確なプラズマジェットの頂点（アトマイズ点）に常に接触するとは限らない。熱ワイヤおよび小さなロッドは曲がることがあり、最適のアトマイズ点から離れることがある。

【0066】

20

加えてまたは代わりに、アトマイズゾーンに給送されるとき金属源の配向は、進行中のアトマイズ法中に繰り返し調整されてもよい。金属源の配向の調整は、金属源とプラズマ源および/または少なくとも1つのプラズマ源からのプラズマとの所望の位置合わせを維持するために連続的にまたは断続的に実行してもよい。

【0067】

例えば、アトマイズ法の間、アトマイズゾーンに給送される金属源の配向は、人間のオペレータによって視覚的に監視されてもよい。オペレータが、金属源が空間的に変動し、もはや所望の位置合わせになっていないと知覚すると、オペレータは、（手動またはコンピュータ化されたコマンドの入力を経て）金属源の配向を所望の位置合わせに戻すように位置合わせ補正機構を操作してもよい。

30

【0068】

加えてまたは代わりに、アトマイズ法中に、アトマイズゾーンに給送される金属源の配向を、コンピュータ化された監視システムによって監視してもよい。コンピュータ化されたシステムは、プラズマおよび/または少なくとも1つのプラズマ源に対する金属源の画像を捕えてもよい。画像解析および/または処理技術を適用することによって、システムは、いつ金属源が空間的に変動してもはや所望の位置合わせにならなかったかを特定する。コンピュータ化されたシステムは、偏差の量および必要な補正をさらに決定することができる。次いで、コンピュータシステムは、金属源の配向を所望の位置合わせに戻すように位置合わせ補正機構に命令を出すことができる。

【0069】

40

例えば、所望の位置合わせは、アトマイズゾーンに給送される金属源と少なくとも1つのプラズマ源からのプラズマジェットの頂点との位置合わせであってもよい。

【0070】

例えば、本方法は、加熱された金属源を少なくとも1つのプラズマ源のプラズマと位置合わせすることを含むことができ、加熱された金属源を少なくとも1つのプラズマ源の出口ノズルから最大で5センチメートル以内に位置決めすることを含む。

【0071】

例えば、本方法は、加熱された金属源を少なくとも1つのプラズマ源のプラズマと位置合わせすることを含むことができ、加熱された金属源を少なくとも1つのプラズマ源の出口ノズルから最大で2.5センチメートル以内に位置決めすることを含む。

50

【 0 0 7 2 】

例えば、本方法は、加熱された金属源を少なくとも 1 つのプラズマ源のプラズマと位置合わせすることを含むことができ、加熱された金属源を少なくとも 1 つのプラズマ源の出口ノズルから最大で 1 . 9 センチメートル以内に位置決めすることを含む。

【 0 0 7 3 】

ここで図 1 を参照して、ここに図示するのは第 1 の例示的实施形態によるアトマイズシステム 2 の断面図である。第 1 のアトマイズシステム 2 は、上流システムから金属源 1 6 の給送を受ける容器 8 を含む。容器 8 はるつぼであってもよい。容器 8 内の金属源 1 6 は、冷却るつぼ技術（スカル溶融）のような当該技術分野で公知の様々な技術を用いて加熱してもよい。

10

【 0 0 7 4 】

容器 8 内の金属源 1 6 の加熱は、アトマイズ前の金属源 1 6 の加熱に対応することが理解されよう。容器 8 内で加熱された後、金属源 1 6 は、容器の出口 2 4 を通ってアトマイズゾーン 3 2 に給送される。例えば、加熱された金属源 1 6 は、重力の下で出口 2 4 を通って出る。

【 0 0 7 5 】

容器 8 から出てアトマイズゾーン 3 2 に給送された加熱された金属源 1 6 は、二次アトマイズを生成する高圧の冷たいガスを加熱するためにも使用される少なくとも一つのプラズマ源 4 0 からのプラズマと直ちに接触する。

【 0 0 7 6 】

図示の例によれば、プラズマ源 4 0 は、少なくとも 1 つのプラズマトーチを含む。少なくとも 1 つのプラズマトーチ 4 0 の少なくとも 1 つの傾角ノズル 4 8 は、金属源給送の中心に配置される。例えば、ノズル 4 8 の断面は、金属源給送に接触するプラズマを集中させるように金属源給送に向かって先細になっていてもよい。本明細書の他の箇所に記載されているように、プラズマの頂点が容器 8 から給送される金属源に接触するようにノズル 4 8 を位置決めしてもよい。少なくとも 1 つのプラズマ源 4 0 からのプラズマによる金属源給送の接触は、金属源のアトマイズを生じさせる。

20

【 0 0 7 7 】

複数のプラズマトーチが設けられる場合、トーチのノズルは、容器 8 からの金属源に向かって向けられたプラズマトーチの個別のノズル 4 8 である。例えば、個別のノズル 4 8 は、そこから出力されるプラズマの頂点が容器 8 からの金属源に接触するように位置決めされる。

30

【 0 0 7 8 】

アトマイズシステム 2 は、アトマイズゾーンに向かって二次高圧ガスを給送するガス源をさらに含む。二次ガス流は、プラズマアトマイズから形成された直後にその予めアトマイズされた金属源給送に接触する。例えば、ガス源（図示せず）は、高圧の冷却ガスを給送することができる。例えば、ガス源から給送されるガスは不活性ガスである。

【 0 0 7 9 】

形成された原料金属粉末 6 4 は、アトマイズゾーン 3 2 から出される。

【 0 0 8 0 】

ここで図 2 を参照して、ここに図示するのは様々な例示的实施形態によるアトマイズシステムの調整可能なガイドシステム 1 0 0 の概略図である。ガイドシステムは、貫通チャンネルを画定するガイド 1 0 8 を含む。ガイド 1 0 8 は、アトマイズゾーン 3 2 の上流に位置決めされる。上流システムから受け取られる金属源は、ガイド 1 0 8 の入口 1 1 6 に給送される。次いで、金属源は、ガイド 1 0 8 のチャンネルを通して変位される。金属源は、アトマイズゾーン 3 2 の近接に位置する出口 1 2 4 でガイド 1 0 8 を出る。

40

【 0 0 8 1 】

例えば、入口 1 1 6 に給送される金属源 1 6 は、金属ロッドの金属ワイヤの形態である。

【 0 0 8 2 】

50

ガイド１０８の配向は調整可能である。ガイド１０８の配向を調整することによって、ガイド１０８から出てアトマイズゾーン３２に給送される金属源１６の配向も調整される。それで、プラズマ源（図２には図示せず）に対するアトマイズゾーンに給送される金属源１６の位置合わせは、ガイド１０８になされる調整を経て調整され得る。

【００８３】

一例示的实施形態によれば、図示されているように、ガイド１０８は枢動点１３２の周りに枢動可能に連結されている。ガイド１０８は、アトマイズシステムの固定部分に連結されてもよい。ガイド１０８の上側部分１４０を変位させることによって、ガイド１０８の下側部分１４８は、枢動点１３２を中心に対応する仕方に変位する。

【００８４】

ガイドシステム１００は、ガイド１０８を変位させるように動作可能な位置合わせ補正機構をさらに含む。ガイド１０８の変位は、次に金属源１６を変位させる。

【００８５】

一例示的实施形態によれば、図示されているように、位置合わせ補正機構は、ガイド１０８の上側部分１４０に連結された変位可能部材１５６を備える。変位可能部材１５６は、変位可能部材１５６の変位を引き起こすことができる少なくとも１つの調整器１６４にさらに連結される。例えば、調整器１６４は、ねじ付部材１７２を経て変位可能部材１５６に連結された調整ねじである。調整ねじ１６４の回転は、ねじ付部材１７２の変位を引き起こし、変位可能部材１５６およびガイド１０８の変位をさらに引き起こす。例えば、複数の異なる方向に向けられた調整器１６４が変位可能部材１５６およびガイド１０８を異なる方向に変位させるために設けられてもよい。

【００８６】

矢印１７４は、平面内で変位可能部材１０８の変位の可能な方向を表示する。矢印１７６は、平面内でガイド部材１０８の変位を引き起こすための変位可能部材１５６の可能な変位を表示する。ガイドは複数の方向に変位し得ることが理解されよう。

【００８７】

ここで図３を参照して、ここに図示するのは一例示的实施形態によるガイド１０８の断面図である。既に説明したように、ガイド１０８は、その入口１１６と出口１２４との間に延びる貫通チャンネル１８０を画定する。貫通チャンネル１８０の内面１８８は、チャンネル１８０を通して変位する金属源１６を汚染しない材料で裏打ちされてもよい。

【００８８】

内面１８８の温度が上昇している場合、および／または反応性材料で形成されている場合、金属源１６の汚染の危険性は増加することが観察されている。例えば、貫通チャンネル１８０の内面１８８は、耐熱材料で形成されてもよい。例えば、貫通チャンネル１８０の内面１８８は、電気絶縁材料で形成されてもよい。例えば、内面１８８は、セラミック材料で形成される。セラミック材料は、アルミナオキシド、マコール、ジルコニア、イットリウム、サイアロン、酸化ケイ素およびそれらの混合物から選択することができる。

【００８９】

様々な例示的实施形態によれば、ガイド１０８は、耐熱材料で形成されてもよい。

【００９０】

様々な例示的实施形態によれば、ガイド１０８は、電気絶縁材料で形成されてもよい。

【００９１】

様々な例示的实施形態によれば、ガイド１０８は、セラミック材料で形成されてもよい。

【００９２】

様々な例示的实施形態によれば、図示されているように、ガイド１０８は、ガイドを冷却するように冷却器を含み、ガイドを通して変位する金属源１６の汚染を制限する。例えば、および図３に図示するように、ガイド１０８は、冷却ガスまたは冷却液などの冷却媒体を受け入れるための冷却入口１９６を有してもよい。ガイド１０８はまた、二重壁であり、冷却チャンネル２０４が内壁２１２と外壁２１８との間に画定される。冷却チャンネル２０

10

20

30

40

50

4 は、冷却入口 1 9 6 と流体連通している。例えば、冷却チャネル 2 0 4 は、ガイド 1 0 8 の軸の周りに角度をなして延び、また、ガイド 1 0 8 の長さの実質的な部分にわたって延びる。冷却媒体は、冷却チャネル 2 0 4 を通って流れた後、冷却出口 2 2 0 を経て出る。ガイド 1 0 8 の冷却は、金属源がガイド 1 0 8 に入る前に既に加熱されている、および / または金属源がガイド 1 0 8 を経て変位する際に加熱される例示的实施形態によれば重要で有り得る。

【 0 0 9 3 】

例えば、図示されているように、冷却入口 1 9 6 は、ガイド 1 0 8 を通る金属源 1 6 の変位経路に沿って冷却出口 2 2 0 の下流に位置する。金属源 1 6 が加熱される場合、出口 1 2 4 に近いような下流の位置の金属源 1 6 は、入口 1 1 6 のような上流の位置よりも高い温度にあり得る。入口 1 9 6 を冷却出口 2 2 0 の下流に位置決めすることにより、入口 1 9 6 により近い部分の冷却が優先される。

10

【 0 0 9 4 】

様々な例示的实施形態によれば、ガイド 1 0 8 の下端部 2 2 8 は、取り外し可能および交換可能であってもよい。下端部 2 2 8 は、アトマイズゾーン内またはその近接の位置であることを理解されたい。それで、下端部 2 2 8 は、ガイド 1 0 8 の他の部分より高い温度にさらされ得る。このより高い温度は、ガイド 1 0 8 の他の部分よりも下端部 2 2 8 のより速い損耗および裂け目をもたらす可能性があり、下端部 2 2 8 がガイド 1 0 8 自体よりも頻繁に交換される要因となり得る。

20

【 0 0 9 5 】

様々な例示的实施形態によれば、金属源 1 6 は、ガイド 1 0 8 を通して変位するときに加熱されてもよい。

【 0 0 9 6 】

ここで図 4 を参照して、ここに図示するのは少なくとも 1 つの加熱素子を有するガイドの断面図である。図示のように、加熱素子は、貫通チャネル 1 8 0 の一部の周りに巻かれた導電コイル 2 3 6 である。導電コイル 2 3 6 を流れる電流は磁場を生成し、それはチャネル 1 8 0 を通って流れる金属源 1 6 を通る電流をさらに誘導する。金属源 1 6 の電気的特性に起因して、金属源 1 6 を通る誘導電流は金属源 1 6 を加熱させる。金属源は、誘導加熱の形態を経て加熱されることが理解されよう。さらに、電気的に絶縁性の内面 1 8 8 および / またはガイド 1 0 8 を設けることによって、導電コイル 2 3 6 によって生成された磁場は、加熱を引き起こし得る内面 1 8 8 および / またはガイド 1 0 8 を通る電流を誘導しないことが理解されよう。

30

【 0 0 9 7 】

ここで図 5 を参照して、ここに図示するのはアーク放電加熱のための電極 2 4 4 を有するガイドの断面図である。図 5 に示すガイド 1 0 8 は、冷却機構（冷却入口 1 9 6、冷却チャネル 2 0 4 および冷却出口 2 2 0）を有さないことが理解されよう。しかしながら、他の例示的实施形態では、冷却機構がガイド 1 0 8 に含まれてもよい。図示された例によれば、電極 2 4 4 は、金属源がガイド 1 0 8 の出口 1 2 4 から出るときに金属源 1 6 の近接に設置される。電極 2 4 4 と金属源 1 6 との間には電気アーク 2 5 2 が形成され、電気アーク放電によって金属源 1 6 の加熱が引き起こされる。

40

【 0 0 9 8 】

他の例示的实施形態によれば、金属源 1 6 は、出る前に抵抗加熱によってさらに加熱されてもよい。第 1 のプローブは、ガイド 1 0 8 の上流またはガイド 1 0 8 内の金属源 1 6 と接触してもよい。第 2 のプローブは、電極 2 4 4 としてガイド 1 0 8 の下流の金属源 1 6 と接触してもよい。電源が 2 つのプローブを接続し、それによって 2 つのプローブ間に延びる金属源 1 6 の部分を通して電気回路を形成する。金属源 1 6 のこの部分を通る電流は、それを加熱させる。金属源は、抵抗加熱およびアーク放電加熱を経て加熱されることが理解されよう。

【 0 0 9 9 】

ここで図 6 を参照して、ここに図示するのは一例示的实施形態によるガイド付アトマイ

50

ズシステム 300 である。金属源 16 は、ガイド 108 を通って延び、ガイド 108 内に保持される。ガイド 108 は、アトマイズゾーン 32 に給送される金属源 16 がプラズマ源 40 からのノズル 48 から排出されるプラズマジェット 49 と適切に位置合わせされるように向けられる。

【0100】

矢印 308 は、ガイド 108 および金属源 16 の動きの例示的自由度を表示する。しかしながら、金属源 16 およびガイド 108 は、他の方向にも変位されてもよいことが理解されよう。ガイド 108 の配向は、アトマイズゾーンに給送される金属源 16 とプラズマ源 40 および / またはプラズマ源のノズル 48 からのプラズマとの適切な位置合わせを維持するように調整されてもよい。

10

【0101】

図示された例は、プラズマ源 40 を、個別ノズルを有するプラズマトーチとして示す。しかしながら、他の例示的实施形態では、プラズマ源 40 は、環状ノズルからプラズマを放出してもよい。

【0102】

図示された例によれば、アトマイズシステム 300 は、ガイド 108 を通って変位するときに金属源 16 を誘導加熱するための導電コイル 236 を含む。

【0103】

図 6 に関して続けると、アトマイズシステム 300 は、アトマイズゾーン 32 の下流の収集室 324 内に存在するガスを回収するガス回収システム 316 をさらに含んでもよい。回収されたガスは、形成された原料金属粉末のためのアトマイズガスとしてアトマイズゾーン 32 に戻されてもよい。アトマイズシステム 300 によって生成された原料金属粉末は、アトマイズシステム 300 内でさらに収集されてもよい。

20

【0104】

ここで図 7 を参照して、ここに図示するのは変形の例示的实施形態によるガイド付アトマイズシステム 300 である。この変形例によれば、ガイド付アトマイズシステム 300 は、アトマイズゾーン 300 の近接に位置決めされた電極 244 を含む。電極 244 は、金属源 16 と電気アークを形成し、電流を金属源 16 に流して加熱する。例えば、電源 324 が、電流を供給し電気アークを生み出すために設けられる。

【0105】

ここで図 8 を参照して、ここに図示するのは別の変形の例示的实施形態によるガイド付アトマイズシステム 300 である。この変形例によれば、ガイド付アトマイズシステム 300 は、金属源 16 の誘導加熱を引き起こすための導電コイル 236 と、金属源のアーク放電加熱を引き起こすための電極 244 の両方を含む。

30

【0106】

本明細書に記載の様々な例示的方法およびシステムによれば、加熱された溶融源は、チタン、チタン合金、ジルコニウム、ジルコニウム合金、コバルト超合金、ニッケル超合金、マグネシウム、マグネシウム合金、ニオブ、ニオブ合金、アルミニウム、アルミニウム合金、モリブデン、モリブデン合金、タングステン、タングステン合金、酸素反応性金属、および窒素反応性金属から選択された少なくとも 1 つの部材を備えることができる。

40

【0107】

本明細書に記載の様々な例示的方法およびシステムによれば、金属源は、チタン、チタン合金、ジルコニウム、ジルコニウム合金、コバルト超合金、ニッケル超合金、マグネシウム、マグネシウム合金、ニオブ、ニオブ合金、アルミニウム、アルミニウム合金、モリブデン、モリブデン合金、タングステン、タングステン合金、酸素反応性金属、および窒素反応性金属から選択することができる。

【0108】

本明細書に記載の様々な例示的方法およびシステムによれば、溶融源は、チタン、チタン合金、ジルコニウム、ジルコニウム合金、アルミニウム、およびアルミニウム合金から選択することができる。

50

【 0 1 0 9 】

本明細書に記載の様々な例示的方法およびシステムによれば、溶融源はチタン合金から選択することができる。

【 0 1 1 0 】

例えば、溶融源はチタン合金であってもよい。

【 0 1 1 1 】

例えば、チタン合金は、Ti - 6 Al - 4 V、Ti - 6 Al - 2 Sn - 4 Zr - 2 Mo、Ti - 5 Al - 5 V - 5 Mo - 3 Cr、およびチタンアルミナイドから選択することができる。

【 0 1 1 2 】

例えば、溶融源は、非合金Tiグレード（例えば、グレード1、2、3または4）、PdまたはRuで改質されたTi合金（例えば、グレード7、11、16、17、26、または27）、アルファ型およびニア（near）アルファ型Ti合金（例えば、グレード6、9、12、18、28）、アルファ-ベータ型Ti合金（例えば、グレード5、23、または29）、ニア（near）ベータ型およびベータ型Ti合金（例えば、グレード19または20）から選択することができる。

【 0 1 1 3 】

例えば、プラズマトーチは、DCプラズマトーチ、ACプラズマトーチ、RFプラズマトーチ、マイクロ波プラズマトーチまたは3相プラズマアークトーチなどの様々なタイプのプラズマトーチで実行することができる。

【 0 1 1 4 】

実施例1：Ti - 6 Al - 4 Vアトマイズ

プラズマアトマイズの稼働は、原料としてTi - 6 Al - 4 V（gr. 23）の0.125インチ径のワイヤを使用し、垂直軸に対して約30°に向けた3つの収束プラズマジェットを使用して達成される。プラズマは、プラズマトーチノズル出口の2.5センチメートル未満の位置で金属ワイヤに接触する。各プラズマトーチは、150SLMアルゴンガス流を用いて30kWの出力で操作される。

【 0 1 1 5 】

背景シースガスもまた、金属液滴の適切な輸送を保証するために使用される。シースガス流量は550SLMである。

【 0 1 1 6 】

プラズマジェットによるアトマイズに先立って高温でワイヤを予熱するために45Vの電位で150Aから180Aまで変化する直流電流が使用され、それは8から13kg/hまで変化するワイヤ給送速度をもたらす。

【 0 1 1 7 】

プラズマトーチジェットのちょうど頂点に連続的に金属を給送することを可能にするために、ワイヤはガス冷却され調整可能なガイドを通して給送される。バッチサイズは、各稼働に対して典型的には100kgである。

【 0 1 1 8 】

これらの生産稼働におけるガス対金属比は、例えば8.7から12.9まで変化する。

【 0 1 1 9 】

得られた粒径分布は、ASTM B214にしたがって決定される。

【 0 1 2 0 】

第1のバッチ（バッチ1）は、8.7のガス対金属比およびプラズマ出口からアトマイズゾーン（プラズマと金属源との間の接触位置）へは約2.5センチメートルを使用して生成された。

【 0 1 2 1 】

第2のバッチ（バッチ2）は、12.9のガス対金属比およびプラズマ出口からアトマイズゾーン（プラズマと金属源との間の接触位置）へは約1.9センチメートルを使用して生成された。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 2 】

バッチ 1 および 2 の収率結果は、以下のとおりである。

【表 1】

ふるい (μm)	バッチ 1 (%w t.)	バッチ 2 (%w t.)
> 180 ミクロン	9. 1	3. 8
≤ 180 > 125 ミクロン	3. 8	1. 6
≤ 125 > 106 ミクロン	3. 0	1. 1
≤ 106 > 75 ミクロン	13. 7	6. 6
≤ 75 > 53 ミクロン	18. 8	14. 0
≤ 53 > 45 ミクロン	11. 7	13. 3
≤ 45 > 25 ミクロン	23. 1	31. 7
≤ 25 ミクロン	16. 8	27. 9
0 ~ 106 ミクロン	84. 1	93. 5
0 ~ 180 ミクロン	90. 9	96. 2
45 ~ 106 ミクロン	44. 2	33. 9
0 ~ 45 ミクロン	39. 9	59. 6

10

【 0 1 2 3 】

低いガス対金属比は、良好な収率の微細原料金属粉末を生成することが観察された。例えば、バッチ 2 において、ガス対金属比 12. 9 を使用して、0 ~ 106 ミクロンで 90 % を超える収率が得られ、0 ~ 45 ミクロンでほぼ 60 % の収率が得られた。

20

【 0 1 2 4 】

アトマイズゾーンとノズル出口との間の距離は、ガス速度が距離によって急速に変化するるので、重要な要因であることが観察された。

【 0 1 2 5 】

バッチ 2 と同様の条件だがより高いスループット（すなわち、9 ~ 10 とより低いガス対金属比）でも試された。これらによる粒径分布は、バッチ 2 の結果と非常に類似していた。

【 0 1 2 6 】

アトマイズによる微細原料金属粉末の高い収率は、妥当なコストで多量の粉末を供給することができるために重要であることが理解されよう。

30

【 0 1 2 7 】

プラズマアトマイズ法で生成された原料金属粉末の化学組成物は非常にきれいであり、汚染もないことがさらに観察された。いかなる特定の理論にも縛られることなく、これは汚染した表面と接触することなく金属源を溶融およびアトマイズすることに起因し得る。

【 0 1 2 8 】

Ti - 6 Al - 4 V グレード 23 の粉末について得られる典型的な化学組成物は、以下のとおりである。

40

【表 2】

粉末組成物（重量パーセント）		
元素	測定値	試験方法
酸素（O）	0.084	ASTM E 1409－不活性ガス溶融法
アルミニウム（Al）	6.35	ASTM E 2371－直流プラズマ発光分光法
鉄（Fe）	0.21	ASTM E 2371－直流プラズマ発光分光法
バナジウム（V）	3.97	ASTM E 2371－直流プラズマ発光分光法
窒素（N）	0.02	ASTM E 1409－不活性ガス溶融法
炭素（C）	0.01	ASTM E 1941－燃焼赤外線検出法
水素（H）	0.001	ASTM E 1447－不活性ガス溶融法
スズ（Sn）	0.01	ASTM E 2371－直流プラズマ発光分光法
モリブデン（Mo）	<0.01	ASTM E 2371－直流プラズマ発光分光法
銅（Cu）	<0.01	ASTM E 2371－直流プラズマ発光分光法
マンガン（Mn）	0.01	ASTM E 2371－直流プラズマ発光分光法
ジルコニウム（Zr）	<0.01	ASTM E 2371－直流プラズマ発光分光法
イットリウム（Y）	<0.001	ASTM E 2371－直流プラズマ発光分光法
亜鉛（Zn）	<0.001	ASTM E 2371－直流プラズマ発光分光法
その他、各々	<0.08	ASTM E 2371－直流プラズマ発光分光法
その他、合計1	<0.30	ASTM E 2371－直流プラズマ発光分光法
チタン（Ti）	余り	ASTM E 2371－直流プラズマ発光分光法
Sn+Mo+Cu+Mn	<0.15	

10

20

30

【0129】

生成された粉末は、非常に純粋で球状であり、レーザー付加製造および粉末射出成形のような用途に使用することができる大部分の微粉末を含有する。

【0130】

図9は、実施例の方法で（ふるい分けなしで）形成されたそのままの原料金属粉末の250倍の倍率での走査型電子顕微鏡（SEM）画像である。

【0131】

図10は、実施例の方法で（ふるい分けなしで）形成されたそのままの原料金属粉末の500倍の倍率でのSEM画像である。

【0132】

図11は、実施例の方法で（ふるい分けなしで）形成されたそのままの原料金属粉末の2000倍の倍率でのSEM画像である。

【0133】

図9～図11の非常に微細な粒子（直径数ミクロン）の存在は、レンジ0～106ミクロンの粒子サイズの収率が80%以上の粉末の生産の特徴である。これらの非常に微細な粒子は、大きなものとの物理的結合は弱い。

【0134】

実施例2 - Ti - 6Al - 2Sn - 4Zr - 2Mo - 0.08Siアトマイズ

プラズマアトマイズ稼働は、原料としてTi - 6Al - 2Sn - 4Zr - 2Mo - 0.08Siの0.125インチ径のワイヤおよび垂直軸に対して約30°に向けられた3つ

50

の収束プラズマジェットを使用して達成される。プラズマは、プラズマトーチノズル出口の 2 . 0 センチメートル未満の位置で金属ワイヤに接触する。各プラズマトーチは、1 5 0 S L M のアルゴンガス流を用いて 3 0 k W の出力で操作される。

【 0 1 3 5 】

背景シースガスもまた、金属液滴の適切な輸送を保证するために使用される。シースガス流量は 5 5 0 S L M である。

【 0 1 3 6 】

4 5 V の電位で 1 5 0 A の直流電流がプラズマジェットによるアトマイズに先立って高温でワイヤを予熱するために使用され、結果として 8 . 5 k g / h のワイヤ給送速度をもたらす。

10

【 0 1 3 7 】

プラズマトーチジェットのちょうど頂点に連続的に金属を給送することを可能にするために、ワイヤは、ガス冷却され調整可能なガイドを通して給送される。バッチサイズは、稼働に対して典型的には 1 0 0 k g である。

【 0 1 3 8 】

これらの生産稼働におけるガス対金属比は、例えば約 1 2 . 6 である。

【 0 1 3 9 】

得られた粒径分布は A S T M B 2 1 4 にしたがって決定される。

【 0 1 4 0 】

収率の結果は次のとおりである。

20

【表 3】

ふるい (μ m)	% w t .
> 1 8 0	0 . 8
$\leq$ 1 8 0 > 1 2 5	4 . 3
$\leq$ 1 2 5 > 1 0 6	3 . 9
$\leq$ 1 0 6 > 7 5	1 4 . 8
$\leq$ 7 5 > 5 3	2 1 . 1
$\leq$ 5 3 > 4 5	1 1 . 5
$\leq$ 4 5 > 2 5	2 7 . 3
$\leq$ 2 5	1 6 . 3
合計	1 0 0
0 ~ 1 0 6	9 1 . 0
0 ~ 1 8 0	9 9 . 2
4 5 ~ 1 0 6	4 7 . 4
0 ~ 4 5	4 3 . 6

30

40

【 0 1 4 1 】

T i - 6 A l - 2 S n - 4 Z r - 2 M o - 0 . 0 8 S i 粉末に対して得られる典型的な化学組成物は、以下のとおりである。

50

【表 4】

粉末組成物（重量パーセント）				
元素	測定値	試験方法		
アルミニウム、範囲	6.18	ASTM E 2371	ー直流プラズマ発光分光法	
ジルコニウム、範囲	3.98	ASTM E 2371	ー直流プラズマ発光分光法	
モリブデン、範囲	1.93	ASTM E 2371	ー直流プラズマ発光分光法	
スズ、範囲	2.07	ASTM E 2371	ー直流プラズマ発光分光法	
ケイ素、範囲	0.08	ASTM E 2371	ー直流プラズマ発光分光法	
鉄、最大	0.22	ASTM E 2371	ー直流プラズマ発光分光法	
酸素、最大	0.11	ASTM E 1409	ー不活性ガス溶融法	
炭素、最大	0.02	ASTM E 1941	ー燃焼赤外線検出法	
窒素、最大	0.01	ASTM E 1409	ー不活性ガス溶融法	
水素、最大	0.0013	ASTM E 1447	ー不活性ガス溶融法	
イットリウム、最大	<0.001	ASTM E 2371	ー直流プラズマ発光分光法	
各残余、最大	<0.10	ASTM E 2371	ー直流プラズマ発光分光法	
合計残余、最大	<0.30	ASTM E 2371	ー直流プラズマ発光分光法	
チタン	残り	ASTM E 2371	ー直流プラズマ発光分光法	

10

20

【0142】

実施例 3 - Zr アトマイズ

プラズマアトマイズ稼働は、原料としてジルコニウムの直径 0.080 インチのワイヤおよび垂直軸に対して約 30° に向けられた 3 つの収束プラズマジェットを使用して達成される。プラズマは、プラズマトーチノズル出口の 2.0 センチメートル未満の位置で金属ワイヤに接触する。各プラズマトーチは、150 SLM アルゴンガス流を用いて 30 kW の出力で操作される。

30

【0143】

背景シースガスもまた、金属液滴の適切な輸送を保証するために使用される。シースガス流量は 550 SLM である。

【0144】

45 V の電位で 115 A の直流電流がプラズマジェットによるアトマイズに先立って高温でワイヤを予熱するために使用され、結果として 6.0 kg/h のワイヤ給送速度をもたらす。プラズマトーチジェットのちょうど頂点に連続的に金属を給送することを可能にするために、ワイヤは、ガス冷却され調整可能なガイドを通して給送される。バッチサイズは、稼働に対して典型的には 50 kg である。

40

【0145】

これらの生産稼働におけるガス対金属比は、例えば約 17.8 である。

【0146】

得られた粒径分布は ASTM B214 にしたがって決定される。

【0147】

収率の結果は次のとおりである。

50

【表 5】

ふるい (μm)	% w t .
> 1 8 0	1 . 8
≤ 1 8 0 > 1 2 5	2 . 1
≤ 1 2 5 > 1 0 6	1 . 8
≤ 1 0 6 > 7 5	9 . 9
≤ 7 5 > 5 3	1 9 . 7
≤ 5 3 > 4 5	1 2 . 3
≤ 4 5 > 2 5	3 0 . 9
≤ 2 5	2 1 . 5
合計	1 0 0 . 0
0 ~ 1 0 6	9 4 . 3
0 ~ 1 8 0	9 8 . 2
4 5 ~ 1 0 6	4 1 . 9
0 ~ 4 5	5 2 . 4

10

【 0 1 4 8 】

ジルコニウム粉末に対して得られる典型的な化学組成物は、以下のとおりである。

20

【表 6】

粉末組成物 (重量パーセント)		
元素	測定値	試験方法
スズ、範囲	1 . 6 1	A S T M E 1 0 9 7
鉄、範囲	0 . 1 9	A S T M E 1 0 9 7
クロム、範囲	0 . 1 1	A S T M E 1 0 9 7
酸素	0 . 1 5 1	A S T M E 1 0 1 9
鉄+クロム	0 . 3 0	A S T M E 1 0 9 7
アルミニウム、最大	0 . 0 0 4 3	A S T M E 1 0 9 7
炭素、最大	0 . 0 0 9	A S T M E 1 0 1 9
ハフニウム、最大	< 0 . 0 0 2	A S T M E 1 0 9 7
水素、最大	0 . 0 0 1 1	A S T M E 1 4 4 7
ニオブ、最大	< 0 . 0 0 2	A S T M E 1 0 9 7
窒素、最大	< 0 . 0 0 5	A S T M E 1 0 1 9
ケイ素、最大	0 . 0 0 4 4	A S T M E 1 0 9 7
タングステン、最大	< 0 . 0 0 2	A S T M E 1 0 9 7
チタン、最大	< 0 . 0 0 0 5	A S T M E 1 0 9 7
ジルコニウム	残り	

30

40

【 0 1 4 9 】

図による説明を簡潔かつ明瞭にするために、適切であると考えられる場合には、対応するまたは類似する要素またはステップを指示するために参照番号が図面間で繰り返し得ることが理解されよう。加えて、本明細書に記載の例示的な実施形態の完全な理解を提供するために、非常に多数の特定の詳細が示されている。しかしながら、当業者には、本明細書に記載された実施形態は、これらの特定の詳細なしで実施され得ることが理解されよう。他の例では、周知の方法、手順、および構成要素は、本明細書に記載された実施形態を不明瞭にしないように詳細には記載されていない。さらに、この説明は、本明細書に記載

50

された実施形態の範囲を決して限定するものとみなされるべきではなく、単に本明細書に記載の様々な実施形態の実施を説明するものとみなされるべきである。

< 付記 1 >

< 項 1 >

プラズマアトマイズ金属粉末製造方法であって、

加熱された金属源を提供することと、

前記加熱された金属源を、前記加熱された金属源のアトマイズを引き起こすのに有効な条件下で、少なくとも 1 つのプラズマ源のプラズマと接触させることと、を含み、前記アトマイズは、約 20 未満のガス対金属比を使用することによって実行され、それにより、ASTM B214 に従って測定される、少なくとも 80 % の 0 ~ 106 ミクロン粒径分布収率を有する原料金属粉末を得る、プラズマアトマイズ金属粉末製造方法。

10

< 項 2 >

前記ガス対金属比は、約 17 未満である、< 項 1 > に記載の製造方法。

< 項 3 >

前記ガス対金属比は、約 5 ~ 約 15 である、< 項 1 > に記載の製造方法。

< 項 4 >

前記ガス対金属比は、約 2 ~ 約 10 である、< 項 1 > に記載の製造方法。

< 項 5 >

前記ガス対金属比は、約 5 ~ 約 10 である、< 項 1 > に記載の製造方法。

< 項 6 >

前記ガス対金属比は、約 10 ~ 約 20 である、< 項 1 > に記載の製造方法。

20

< 項 7 >

前記ガス対金属比は、約 10 ~ 約 15 である、< 項 1 > に記載の製造方法。

< 項 8 >

前記原料金属粉末は、ASTM B214 に従って測定される、少なくとも 90 % の 0 ~ 106 ミクロン粒径分布収率を有する、< 項 1 > ~ < 項 7 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 9 >

前記原料金属粉末は、ASTM B214 に従って測定される、少なくとも 85 % の 0 ~ 75 ミクロン粒径分布収率を有する、< 項 1 > ~ < 項 7 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

30

< 項 10 >

前記原料金属粉末は、ASTM B214 に従って測定される、少なくとも 50 % の 0 ~ 45 ミクロン粒径分布収率を有する、< 項 1 > ~ < 項 7 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 11 >

前記原料金属粉末は、ASTM B214 に従って測定される、少なくとも 60 % の 0 ~ 45 ミクロン粒径分布収率を有する、< 項 1 > ~ < 項 7 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 12 >

前記加熱された金属源は、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の頂点で前記プラズマと接触する、< 項 1 > ~ < 項 11 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

40

< 項 13 >

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の少なくとも 1 つの個別ノズルから放出される、< 項 1 > ~ < 項 11 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 14 >

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の複数の個別ノズルから放出され、前記個別ノズルは、前記加熱された金属源の周りに角度を付けて位置決めされる、< 項 1 > ~ < 項 11 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 15 >

50

前記プラズマは、前記少なくとも１つのプラズマ源の環状ノズルから放出される、＜項１＞～＜項１１＞のいずれか１項に記載の製造方法。

＜項１６＞

前記加熱された金属源は、ワイヤ、ロッド、および熔融流から選択される、＜項１＞～＜項１５＞のいずれか１項に記載の製造方法。

＜項１７＞

前記加熱された金属源は、抵抗加熱、アーク放電、および誘導加熱のうちの少なくとも１つによって加熱されたワイヤである、＜項１＞～＜項１６＞のいずれか１項に記載の製造方法。

＜項１８＞

前記加熱された金属源は、抵抗加熱、アーク放電、および誘導加熱のうちの少なくとも１つによって加熱されたロッドである、＜項１＞～＜項１６＞のいずれか１項に記載の製造方法。

＜項１９＞

前記加熱された金属源は、スカル熔融または水冷るつばから得られた加熱された熔融流である、＜項１＞～＜項１６＞のいずれか１項に記載の製造方法。

＜項２０＞

前記加熱された熔融源は、チタン、チタン合金、ジルコニウム、ジルコニウム合金、コバルト超合金、ニッケル超合金、マグネシウム、マグネシウム合金、ニオブ、ニオブ合金、アルミニウム、アルミニウム合金、モリブデン、モリブデン合金、タングステン、タン

＜項２１＞

グステン合金、酸素反応性金属、および窒素反応性金属のうちの１つから選択された少なくとも１つの部材を備える、＜項１＞～＜項１９＞のいずれか１項に記載の製造方法。

＜項２２＞

前記加熱された熔融源は、チタン合金から選択される、＜項１＞～＜項１９＞のいずれか１項に記載の製造方法。

＜項２３＞

前記加熱された熔融源は、Ti-6Al-4Vである、＜項１＞～＜項１９＞のいずれか１項に記載の製造方法。

＜項２４＞

前記加熱された熔融源は、Ti-6Al-4V、Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo、Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr、およびチタンアルミナイドから選択される、＜項１＞～＜項１９＞のいずれか１項に記載の製造方法。

＜項２５＞

前記加熱された熔融源は、非合金Tiグレード（例えば、グレード１、２、３、または４）、PdまたはRuで改質されたTi合金（例えば、グレード７、１１、１６、１７、２６、または２７）、アルファ型およびニア（near）アルファ型Ti合金（例えば、グレード６、９、１２、１８、２８）、アルファ-ベータ型Ti合金（例えば、グレード５、２３、または２９）、およびニア（near）ベータ型およびベータ型Ti合金（例えば、グレード１９または２０）から選択される、＜項１＞～＜項１９＞のいずれか１項に記載の製造方法。

＜項２６＞

前記金属粉末は、反応性金属粉末である、＜項１＞～＜項１９＞のいずれか１項に記載の製造方法。

＜項２７＞

プラズマトマイズ金属粉末製造方法であって、
加熱された金属源を提供することと、

10

20

30

40

50

前記加熱された金属源を、少なくとも１つのプラズマ源のプラズマと位置合わせさせることと、

前記加熱された金属源を、前記加熱された金属源のアトマイズを引き起こすのに有効な条件下で、前記少なくとも１つのプラズマ源の前記プラズマと接触させることと、を含む、プラズマアトマイズ金属粉末製造方法。

< 項 2 8 >

前記加熱された金属源は、金属ワイヤまたは金属ロッドのうちの１つである、< 項 2 7 > に記載の製造方法。

< 項 2 9 >

前記加熱された金属源は、前記少なくとも１つのプラズマ源の前記プラズマの頂点と位置合わせされる、< 項 2 7 > または< 項 2 8 > に記載の製造方法。 10

< 項 3 0 >

前記加熱された金属源を少なくとも１つのプラズマ源の前記プラズマと位置合わせさせることは、前記加熱された金属源を前記少なくとも１つのプラズマ源の出口ノズルから最大で５センチメートル以内に位置決めすることを含む、< 項 2 7 > ~ < 項 2 9 > のいずれか１項に記載の製造方法。

< 項 3 1 >

前記加熱された金属源を少なくとも１つのプラズマ源の前記プラズマと位置合わせさせることは、前記加熱された金属源を前記少なくとも１つのプラズマ源の出口ノズルから最大で２．５センチメートル以内に位置決めすることを含む、< 項 2 7 > ~ < 項 2 9 > のいずれか１項に記載の製造方法。 20

< 項 3 2 >

前記加熱された金属源を少なくとも１つのプラズマ源の前記プラズマと位置合わせさせることは、前記加熱された金属源を前記少なくとも１つのプラズマ源の出口ノズルから最大で１．９センチメートル以内に位置決めすることを含む、< 項 2 7 > ~ < 項 2 9 > のいずれか１項に記載の製造方法。

< 項 3 3 >

前記位置合わせは、前記加熱された金属源の配向を断続的に調整して、前記加熱された金属源と前記少なくとも１つのプラズマ源の前記プラズマとの位置合わせを維持することを含む、< 項 2 7 > ~ < 項 3 2 > のいずれか１項に記載の製造方法。 30

< 項 3 4 >

前記加熱された金属源の前記配向の前記断続的な調整は、前記少なくとも１つのプラズマ源の前記プラズマの上流に、かつその遠隔に位置決めされた枢動点を中心に前記加熱された金属源を枢動させることを含む、< 項 3 3 > に記載の製造方法。

< 項 3 5 >

前記位置合わせは、前記プラズマの上流にチャネルを画定するガイド部材を位置決めすることと、前記ガイド部材の前記チャネルを通して前記加熱された金属源を変位させることと、を含む、< 項 2 7 > ~ < 項 3 4 > のいずれか１項に記載の製造方法。

< 項 3 6 >

ガス源および液体源のうちの少なくとも１つによって前記ガイド部材を冷却することとをさらに含む、< 項 3 3 > に記載の製造方法。 40

< 項 3 7 >

前記加熱された金属源の前記配向の前記断続的な調整は、前記少なくとも１つのプラズマ源の前記プラズマの上流に、かつその遠隔に位置決めされた枢動点を中心に前記加熱された金属源を枢動させることを含む、< 項 3 5 > または< 項 3 6 > に記載の製造方法。

< 項 3 8 >

前記チャネルの出口は、前記プラズマの近接に位置決めされる、< 項 3 3 > ~ < 項 3 6 > のいずれか１項に記載の製造方法。

< 項 3 9 >

前記ガイド部材は、前記加熱された金属源の汚染を制限する、< 項 3 3 > ~ < 項 3 6 > 50

のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 4 0 >

前記チャネルを画定する前記ガイド部材の内面は、非汚染材料で形成される、< 項 3 9 > に記載の製造方法。

< 項 4 1 >

前記チャネルを画定する前記ガイド部材の内面は、電気絶縁材料で形成される、< 項 3 9 > または < 項 4 0 > に記載の製造方法。

< 項 4 2 >

抵抗加熱、アーク放電、および誘導加熱のうちの少なくとも 1 つによって前記加熱された金属源を加熱することをさらに含む、< 項 2 7 > ~ < 項 4 1 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 4 3 >

前記アトマイズは、約 2 0 未満のガス対金属比を使用することによって実行され、それにより、少なくとも 8 0 % の 0 ~ 1 0 6 ミクロン分布収率を有する金属粉末を得る、< 項 2 7 > ~ < 項 4 1 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 4 4 >

前記ガス対金属比は、約 1 7 未満である、< 項 4 3 > に記載の製造方法。

< 項 4 5 >

前記ガス対金属比は、約 5 ~ 約 1 5 である、< 項 4 3 > に記載の製造方法。

< 項 4 6 >

前記ガス対金属比は、約 5 ~ 約 1 0 である、< 項 4 3 > に記載の製造方法。

< 項 4 7 >

前記ガス対金属比は、約 2 ~ 約 1 0 である、< 項 4 3 > に記載の製造方法。

< 項 4 8 >

前記ガス対金属比は、約 1 0 ~ 約 2 0 である、< 項 4 3 > に記載の製造方法。

< 項 4 9 >

前記ガス対金属比は、約 1 0 ~ 約 1 5 である、< 項 4 3 > に記載の製造方法。

< 項 5 0 >

前記得られた原料金属粉末は、A S T M B 2 1 4 に従って測定される、少なくとも 9 0 % の 0 ~ 1 0 6 ミクロン粒径分布収率を有する、< 項 4 3 > ~ < 項 4 9 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 5 1 >

前記得られた原料金属粉末は、A S T M B 2 1 4 に従って測定される、少なくとも 3 0 % の 0 ~ 7 5 ミクロン粒径分布収率を有する、< 項 4 3 > ~ < 項 4 9 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 5 2 >

前記得られた原料金属粉末は、A S T M B 2 1 4 に従って測定される、少なくとも 5 0 % の 0 ~ 4 5 ミクロン分布収率を有する、< 項 4 3 > ~ < 項 4 9 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 5 3 >

前記得られた原料金属粉末は、A S T M B 2 1 4 に従って測定される、少なくとも 6 0 % の 0 ~ 4 5 ミクロン分布収率を有する、< 項 4 3 > ~ < 項 4 9 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 5 4 >

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の少なくとも 1 つの個別ノズルから放出される、< 項 4 3 > ~ < 項 5 3 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 5 5 >

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の複数の個別ノズルから放出され、前記個別ノズルは、前記加熱された金属源の周りに角度を付けて位置決めされる、< 項 4 3 > ~ < 項 5 3 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 5 6 >

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の環状ノズルから放出される、< 項 4 3 > ~ < 項 5 3 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 5 7 >

前記加熱された溶融源は、チタン、チタン合金、ジルコニウム、ジルコニウム合金、コバルト超合金、ニッケル超合金、マグネシウム、マグネシウム合金、ニオブ、ニオブ合金、アルミニウム、アルミニウム合金、モリブデン、モリブデン合金、タングステン、タングステン合金、酸素反応性金属、および窒素反応性金属のうちの 1 つから選択された少なくとも 1 つの部材を備える、< 項 2 7 > ~ < 項 5 6 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 5 8 >

前記加熱された溶融源は、チタン、チタン合金、ジルコニウム、ジルコニウム合金、アルミニウム、およびアルミニウム合金から選択される、< 項 2 7 > ~ < 項 5 6 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 5 9 >

前記加熱された溶融源は、チタン合金から選択される、< 項 2 6 > ~ < 項 5 6 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 6 0 >

前記加熱された溶融源は、Ti - 6 Al - 4 V である、< 項 2 7 > ~ < 項 5 6 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 6 1 >

前記加熱溶融源は、Ti - 6 Al - 4 V、Ti - 6 Al - 2 Sn - 4 Zr - 2 Mo、Ti - 5 Al - 5 V - 5 Mo - 3 Cr、およびチタンアルミナイドから選択される、< 項 2 7 > ~ < 項 5 6 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 6 2 >

前記加熱された溶融源は、非合金 Ti グレード（例えば、グレード 1、2、3、または 4）、Pd または Ru で改質された Ti 合金（例えば、グレード 7、11、16、17、26、または 27）、アルファ型およびニアアルファ型 Ti 合金（例えば、グレード 6、9、12、18、28）、アルファ - ベータ型 Ti 合金（例えば、グレード 5、23、または 29）、およびニアベータ型およびベータ型 Ti 合金（例えば、グレード 19 または 20）から選択される、< 項 2 7 > ~ < 項 5 6 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 6 3 >

前記金属粉末は、反応性金属粉末である、< 項 2 7 > ~ < 項 5 6 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 6 4 >

アトマイズシステムであって、

金属源を加熱するための少なくとも 1 つの加熱システムと、

加熱した後の前記金属源を、前記加熱された金属源のアトマイズを引き起こすのに有効な条件下で、プラズマと接触させるように構成された少なくとも 1 つのプラズマ源と、

前記少なくとも 1 つのプラズマ源の上流に位置決めされた位置合わせシステムであって、前記位置合わせシステムは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源に対して前記金属源の配向を調整するように適合されている、位置合わせシステムと、を備える、アトマイズシステム。

< 項 6 5 >

前記位置合わせシステムは、前記プラズマの上流のチャンネルを画定するガイド部材を備え、前記チャンネルは前記金属源の変位経路をさらに画定する、< 項 6 4 > に記載のアトマイズシステム。

< 項 6 6 >

前記位置合わせシステムは、前記ガイド部材を冷却するためのガス源および液体源のうちの少なくとも 1 つを受けるための入口をさらに備える、< 項 6 5 > に記載のアトマイズシステム。

10

20

30

40

50

< 項 6 7 >

前記チャネルの出口は前記プラズマの近接に位置決めされる、< 項 6 5 > または < 項 6 6 > に記載のアトマイズシステム。

< 項 6 8 >

前記ガイド部材は、前記加熱された金属源の汚染を制限する、< 項 6 5 > ~ < 項 6 7 > のいずれか 1 項に記載のアトマイズシステム。

< 項 6 9 >

前記チャネルを画定する前記ガイド部材の内面は、電気絶縁材料で形成される、< 項 6 5 > ~ < 項 6 8 > のいずれかに記載のアトマイズシステム。

< 項 7 0 >

前記ガイド部材の内面は、セラミックで形成される、< 項 6 5 > ~ < 項 6 9 > のいずれかに記載のアトマイズシステム。

< 項 7 1 >

前記ガイド部材は、前記金属源を給送するための給送装置と前記プラズマとの間に実質的に延びる、< 項 6 5 > ~ < 項 7 0 > のいずれか 1 項に記載のアトマイズシステム。

< 項 7 2 >

前記位置合わせシステムは、前記金属源に連結された変位可能部材を備え、前記変位可能部材の変位は、前記プラズマに対する前記金属源の配向の変化を引き起こす、< 項 6 4 > ~ < 項 7 1 > のいずれか 1 項に記載のアトマイズシステム。

< 項 7 3 >

前記位置合わせシステムは、前記金属源に連結された枢軸をさらに備え、前記変位可能部材の前記変位は前記金属源の前記枢軸の周りの回転を引き起こし、それによって前記金属源の前記変化する配向を引き起こす、< 項 7 2 > に記載のアトマイズシステム。

< 項 7 4 >

前記少なくとも 1 つの加熱システムは、抵抗加熱、アーク放電、および誘導加熱から選択される、< 項 6 4 > ~ < 項 7 3 > のいずれか 1 項に記載のアトマイズシステム。

< 項 7 5 >

前記少なくとも 1 つの加熱システムは、前記ガイド部材の周りまたは内部に位置決めされた抵抗加熱、アーク放電、および誘導加熱から選択される、< 項 7 1 > に記載のアトマイズシステム。

< 項 7 6 >

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の少なくとも 1 つの個別ノズルから放出される、< 項 6 4 > ~ < 項 7 5 > のいずれか 1 項に記載のアトマイズシステム。

< 項 7 7 >

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の複数の個別ノズルから放出され、前記個別ノズルは、前記加熱された金属源の周りに角度を付けて位置決めされる、< 項 6 4 > ~ < 項 7 5 > のいずれか 1 項に記載のアトマイズシステム。

< 項 7 8 >

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の環状ノズルから放出される、< 項 6 4 > ~ < 項 7 5 > のいずれか 1 項に記載のアトマイズシステム。

< 項 7 9 >

プラズマアトマイズ金属粉末製造方法であって、
加熱された金属源を提供することと、

前記加熱された金属源を、前記加熱された金属源のアトマイズを引き起こすのに有効な条件下で、少なくとも 1 つのプラズマ源のプラズマと接触させることと、を含み、それにより、ASTM B 2 1 4 に従って測定される、少なくとも 8 0 % の 0 ~ 1 0 6 ミクロン粒径分布収率を有する原料金属粉末を得る、プラズマアトマイズ金属粉末製造方法。

< 項 8 0 >

前記ガス対金属比は、約 2 0 未満である、< 項 7 9 > に記載の製造方法。

< 項 8 1 >

10

20

30

40

50

前記ガス対金属比は、約 1 7 未満である、＜項 7 9＞に記載の製造方法。

＜項 8 2＞

前記ガス対金属比は、約 5 ～ 約 1 5 である、＜項 7 9＞に記載の製造方法。

＜項 8 3＞

前記ガス対金属比は、約 2 ～ 約 1 0 である、＜項 7 9＞に記載の製造方法。

＜項 8 4＞

前記ガス対金属比は、約 5 ～ 約 1 0 である、＜項 7 9＞に記載の製造方法。

＜項 8 5＞

前記ガス対金属比は、約 1 0 ～ 約 2 0 である、＜項 7 9＞に記載の製造方法。

＜項 8 6＞

前記ガス対金属比は、約 1 0 ～ 約 1 5 である、＜項 7 9＞に記載の製造方法。

＜項 8 7＞

前記原料金属粉末は、A S T M B 2 1 4 に従って測定される、少なくとも 9 0 % の 0 ～ 1 0 6 ミクロン粒径分布収率を有する、＜項 7 9＞～＜項 8 6＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 8 8＞

前記原料金属粉末は、A S T M B 2 1 4 に従って測定される、少なくとも 8 5 % の 0 ～ 7 5 ミクロン粒径分布収率を有する、＜項 7 9＞～＜項 8 6＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 8 9＞

前記原料金属粉末は、A S T M B 2 1 4 に従って測定される、少なくとも 5 0 % の 0 ～ 4 5 ミクロン粒径分布収率を有する、＜項 7 9＞～＜項 8 6＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 9 0＞

前記原料金属粉末は、A S T M B 2 1 4 に従って測定される、少なくとも 6 0 % の 0 ～ 4 5 ミクロン粒径分布収率を有する、＜項 7 9＞～＜項 8 6＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 9 1＞

前記加熱された金属源は、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の頂点で前記プラズマと接触する、＜項 7 9＞～＜項 8 6＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 9 2＞

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の少なくとも 1 つの個別ノズルから放出される、＜項 7 9＞～＜項 8 6＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 9 3＞

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の複数の個別ノズルから放出され、前記個別ノズルは、前記加熱された金属源の周りに角度を付けて位置決めされる、＜項 7 9＞～＜項 8 6＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 9 4＞

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の環状ノズルから放出される、＜項 7 9＞～＜項 8 6＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 9 5＞

前記加熱された金属源は、ワイヤ、ロッド、および熔融流から選択される、＜項 7 9＞～＜項 8 6＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 9 6＞

前記加熱された金属源は、抵抗加熱、アーク放電、および誘導加熱のうちの少なくとも 1 つによって加熱されたワイヤである、＜項 7 9＞～＜項 9 5＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 9 7＞

前記加熱された金属源は、抵抗加熱、アーク放電、および誘導加熱のうちの少なくとも 1 つによって加熱されたロッドである、＜項 7 9＞～＜項 9 5＞のいずれか 1 項に記載の

10

20

30

40

50

製造方法。

< 項 9 8 >

前記加熱された金属源は、スカル熔融または水冷るつばから得られた加熱された熔融流である、< 項 7 9 > ~ < 項 9 5 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 9 9 >

前記加熱された熔融源は、チタン、チタン合金、ジルコニウム、ジルコニウム合金、コバルト超合金、ニッケル超合金、マグネシウム、マグネシウム合金、ニオブ、ニオブ合金、アルミニウム、アルミニウム合金、モリブデン、モリブデン合金、タングステン、タングステン合金、酸素反応性金属、および窒素反応性金属のうちの 1 つから選択された少なくとも 1 つの部材を備える、< 項 7 9 > ~ < 項 9 5 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

10

< 項 1 0 0 >

前記加熱された熔融源は、チタン、チタン合金、ジルコニウム、ジルコニウム合金、アルミニウム、およびアルミニウム合金から選択される、< 項 7 9 > ~ < 項 9 5 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 1 0 1 >

前記加熱された熔融源は、チタン合金から選択される、< 項 7 9 > ~ < 項 9 5 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 1 0 2 >

前記加熱された熔融源は、Ti - 6 Al - 4 V である、< 項 7 9 > ~ < 項 9 5 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

20

< 項 1 0 3 >

前記加熱された熔融源は、Ti - 6 Al - 4 V、Ti - 6 Al - 2 Sn - 4 Zr - 2 Mo、Ti - 5 Al - 5 V - 5 Mo - 3 Cr、およびチタンアルミナイドから選択される、< 項 7 9 > ~ < 項 9 5 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 1 0 4 >

前記加熱された熔融源は、非合金 Ti グレード (例えば、グレード 1、2、3、または 4)、Pd または Ru で改質された Ti 合金 (例えば、グレード 7、11、16、17、26、または 27)、アルファ型およびニアアルファ型 Ti 合金 (例えば、グレード 6、9、12、18、28)、アルファ - ベータ型 Ti 合金 (例えば、グレード 5、23、または 29)、およびニアベータ型およびベータ型 Ti 合金 (例えば、グレード 19 または 20) から選択される、< 項 7 9 > ~ < 項 9 5 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

30

< 項 1 0 5 >

前記金属粉末は、反応性金属粉末である、< 項 7 9 > ~ < 項 9 5 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 付記 2 >

< 項 1 >

プラズマアトマイズ化金属粉末製造方法であって、

加熱された金属源を提供することと、

前記加熱された金属源を少なくとも 1 つのプラズマ源のプラズマと位置合わせすることであって、前記位置合わせは、前記加熱された金属源を前記少なくとも 1 つのプラズマ源の出口ノズルから最大で 5 センチメートル以内に位置決めすることを含む、位置合わせすることと、

40

前記加熱された金属源を、前記加熱された金属源のアトマイズ化を引き起こすのに有効な条件下で前記少なくとも 1 つのプラズマ源の前記プラズマと接触させことと、を含み、前記アトマイズ化は約 20 未満の総ガス対金属質量比を使用することによって実行され、それにより、ASTM B 214 にしたがって測定して、少なくとも 80 % の 0 ~ 106 ミクロン粒経分布収率を有する原料金属粉末を得る、プラズマアトマイズ化金属粉末製造方法。

< 項 2 >

前記総ガス対金属質量比は、約 17 未満である、< 項 1 > に記載の製造方法。

50

< 項 3 >

前記総ガス対金属質量比は、約 5 ~ 約 15 である、< 項 1 > に記載の製造方法。

< 項 4 >

前記総ガス対金属質量比は、約 2 ~ 約 10 である、< 項 1 > に記載の製造方法。

< 項 5 >

前記総ガス対金属質量比は、約 5 ~ 約 10 である、< 項 1 > に記載の製造方法。

< 項 6 >

前記総ガス対金属質量比は、約 10 ~ 約 20 である、< 項 1 > に記載の製造方法。

< 項 7 >

前記総ガス対金属質量比は、約 10 ~ 約 15 である、< 項 1 > に記載の製造方法。

< 項 8 >

前記原料金属粉末は、ASTM B 214 に従って測定される、少なくとも 90 % の 0 ~ 106 ミクロン粒径分布収率を有する、< 項 1 > ~ < 項 7 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 9 >

前記原料金属粉末は、ASTM B 214 に従って測定される、少なくとも 85 % の 0 ~ 75 ミクロン粒径分布収率を有する、< 項 1 > ~ < 項 7 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 10 >

前記原料金属粉末は、ASTM B 214 に従って測定される、少なくとも 50 % の 0 ~ 45 ミクロン粒径分布収率を有する、< 項 1 > ~ < 項 7 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 11 >

前記原料金属粉末は、ASTM B 214 に従って測定される、少なくとも 60 % の 0 ~ 45 ミクロン粒径分布収率を有する、< 項 1 > ~ < 項 7 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 12 >

前記加熱された金属源は、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の頂点で前記プラズマと接触する、< 項 1 > ~ < 項 11 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 13 >

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の少なくとも 1 つの個別ノズルから放出される、< 項 1 > ~ < 項 11 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 14 >

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の複数の個別ノズルから放出され、前記個別ノズルは、前記加熱された金属源の周りに角度を付けて位置決めされる、< 項 1 > ~ < 項 11 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 15 >

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の環状ノズルから放出される、< 項 1 > ~ < 項 11 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 16 >

前記加熱された金属源は、ワイヤ、ロッド、および熔融流から選択される、< 項 1 > ~ < 項 15 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 17 >

前記加熱された金属源は、抵抗加熱、アーク放電、および誘導加熱のうちの少なくとも 1 つによって加熱されたワイヤである、< 項 1 > ~ < 項 15 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 18 >

前記加熱された金属源は、抵抗加熱、アーク放電、および誘導加熱のうちの少なくとも 1 つによって加熱されたロッドである、< 項 1 > ~ < 項 15 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

10

20

30

40

50

< 項 1 9 >

前記加熱された金属源は、スカル熔融または水冷るつばから得られた加熱された熔融流である、< 項 1 > ~ < 項 1 5 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 2 0 >

前記加熱された金属源は、チタン、チタン合金、ジルコニウム、ジルコニウム合金、コバルト超合金、ニッケル超合金、マグネシウム、マグネシウム合金、ニオブ、ニオブ合金、アルミニウム、アルミニウム合金、モリブデン、モリブデン合金、タングステン、タングステン合金、酸素反応性金属、および窒素反応性金属のうちの 1 つから選択された少なくとも 1 つの部材を備える、< 項 1 > ~ < 項 1 9 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 2 1 >

前記加熱された金属源は、チタン、チタン合金、ジルコニウム、ジルコニウム合金、アルミニウム、およびアルミニウム合金から選択される、< 項 1 > ~ < 項 1 9 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 2 2 >

前記加熱された金属源は、チタン合金から選択される、< 項 1 > ~ < 項 1 9 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 2 3 >

前記加熱された金属源は、Ti - 6 Al - 4 V である、< 項 1 > ~ < 項 1 9 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 2 4 >

前記加熱された金属源は、Ti - 6 Al - 4 V、Ti - 6 Al - 2 Sn - 4 Zr - 2 Mo、Ti - 5 Al - 5 V - 5 Mo - 3 Cr、およびチタンアルミナイドから選択される、< 項 1 > ~ < 項 1 9 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 2 5 >

前記加熱された金属源は、非合金 Ti グレード、Pd または Ru で改質された Ti 合金、アルファ型およびニア (near) アルファ型 Ti 合金、アルファ - ベータ型 Ti 合金、およびニア (near) ベータ型およびベータ型 Ti 合金から選択される、< 項 1 > ~ < 項 1 9 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 2 6 >

前記金属粉末は、反応性金属粉末である、< 項 1 > ~ < 項 1 9 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 2 7 >

前記加熱された金属源を少なくとも 1 つのプラズマ源の前記プラズマと位置合わせさせることは、前記加熱された金属源を前記少なくとも 1 つのプラズマ源の前記出口ノズルから最大で 2 . 5 センチメートル以内に位置決めすることを含む、< 項 1 > ~ < 項 2 6 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 2 8 >

前記加熱された金属源を少なくとも 1 つのプラズマ源の前記プラズマと位置合わせさせることは、前記加熱された金属源を前記少なくとも 1 つのプラズマ源の前記出口ノズルから最大で 1 . 9 センチメートル以内に位置決めすることを含む、< 項 1 > ~ < 項 2 6 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 2 9 >

プラズマアトマイズ化金属粉末製造方法であって、

加熱された金属源を提供することと、

前記加熱された金属源を、前記加熱された金属源のアトマイズ化を引き起こすのに有効な条件下で少なくとも 1 つのプラズマ源のプラズマと接触させことと、

前記アトマイズ化の間、前記加熱された金属源を、前記加熱された金属源を受け入れるガイド部材によって位置合わせすることと、を含み、前記位置合わせは、前記ガイドの向きをガイドに連結された変位可能な部材で調節することによって、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の前記プラズマとの前記加熱された金属源の位置合わせを維持するように前記

10

20

30

40

50

加熱された金属源の向きを調節することを含む、プラズマアトマイズ化金属粉末製造方法。

< 項 3 0 >

前記加熱された金属源は、金属ワイヤまたは金属ロッドのうちの 1 つである、< 項 2 9 > に記載の製造方法。

< 項 3 1 >

前記加熱された金属源は、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の前記プラズマの頂点と位置合わせされる、< 項 2 9 > または < 項 3 0 > に記載の製造方法。

< 項 3 2 >

前記加熱された金属源を前記少なくとも 1 つのプラズマ源の前記プラズマと位置合わせすることは、前記加熱された金属源を前記少なくとも 1 つのプラズマ源の出口ノズルから最大で 5 センチメートル以内に位置決めすることを含む、< 項 2 9 > ~ < 項 3 1 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。 10

< 項 3 3 >

前記加熱された金属源を前記少なくとも 1 つのプラズマ源の前記プラズマと位置合わせすることは、前記加熱された金属源を前記少なくとも 1 つのプラズマ源の出口ノズルから最大で 2 . 5 センチメートル以内に位置決めすることを含む、< 項 2 9 > ~ < 項 3 1 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 3 4 >

前記加熱された金属源を前記少なくとも 1 つのプラズマ源の前記プラズマと位置合わせすることは、前記加熱された金属源を前記少なくとも 1 つのプラズマ源の出口ノズルから最大で 1 . 9 センチメートル以内に位置決めすることを含む、< 項 2 9 > ~ < 項 3 1 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。 20

< 項 3 5 >

前記加熱された金属源の前記配向の前記調整は、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の前記プラズマの上流に、かつその遠隔に位置決めされた枢動点を中心に前記加熱された金属源を枢動させることを含む、< 項 2 9 > または < 項 3 4 > に記載の製造方法。

< 項 3 6 >

前記位置合わせは、

前記プラズマの上流にチャンネルを画定するガイド部材を位置決めすることと、 30

前記ガイド部材の前記チャンネルを通して前記加熱された金属源を変位させることと、を含む、< 項 2 9 > ~ < 項 3 5 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 3 7 >

ガス源および液体源のうちの少なくとも 1 つによって前記ガイド部材を冷却することをさらに含む、< 項 3 6 > に記載の製造方法。

< 項 3 8 >

前記位置合わせは、

前記プラズマの上流にチャンネルを規定するガイド部材を位置決めすることと、

前記ガイド部材の前記チャンネルを通して前記加熱された金属源を変位させることと、を含み、 40

前記チャンネルの出口は前記プラズマの近傍に位置決めされる、< 項 2 9 > に記載の製造方法。

< 項 3 9 >

前記ガイド部材は、前記加熱された金属源の汚染を制限する、< 項 3 4 > ~ < 項 3 7 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 4 0 >

前記チャンネルを画定する前記ガイド部材の内面は、非汚染材料で形成される、< 項 3 9 > に記載の製造方法。

< 項 4 1 >

前記チャンネルを画定する前記ガイド部材の内面は、電気絶縁材料で形成される、< 項 3 50

9 > に記載の製造方法。

< 項 4 2 >

抵抗加熱、アーク放電、および誘導加熱のうちの少なくとも1つによって前記加熱された金属源を加熱することをさらに含む、< 項 2 9 > ~ < 項 4 1 > のいずれか1項に記載の製造方法。

< 項 4 3 >

前記アトマイズは、約20未満の総ガス対金属質量比を使用することによって実行され、それにより、少なくとも80%の0~106ミクロン分布収率を有する金属粉末を得る、< 項 2 9 > ~ < 項 4 1 > のいずれか1項に記載の製造方法。

< 項 4 4 >

前記総ガス対金属質量比は、約17未満である、< 項 4 3 > に記載の製造方法。

< 項 4 5 >

前記総ガス対金属質量比は、約5~約15である、< 項 4 3 > に記載の製造方法。

< 項 4 6 >

前記総ガス対金属質量比は、約5~約10である、< 項 4 3 > に記載の製造方法。

< 項 4 7 >

前記総ガス対金属質量比は、約2~約10である、< 項 4 3 > に記載の製造方法。

< 項 4 8 >

前記総ガス対金属質量比は、約10~約20である、< 項 4 3 > に記載の製造方法。

< 項 4 9 >

前記総ガス対金属質量比は、約10~約15である、< 項 4 3 > に記載の製造方法。

< 項 5 0 >

前記得られた金属粉末は、ASTM B214に従って測定される、少なくとも90%の0~106ミクロン粒径分布収率を有する、< 項 4 3 > ~ < 項 4 9 > のいずれか1項に記載の製造方法。

< 項 5 1 >

前記得られた金属粉末は、ASTM B214に従って測定される、少なくとも30%の0~75ミクロン粒径分布収率を有する、< 項 4 3 > ~ < 項 4 9 > のいずれか1項に記載の製造方法。

< 項 5 2 >

前記得られた金属粉末は、ASTM B214に従って測定される、少なくとも50%の0~45ミクロン分布収率を有する、< 項 4 3 > ~ < 項 4 9 > のいずれか1項に記載の製造方法。

< 項 5 3 >

前記得られた金属粉末は、ASTM B214に従って測定される、少なくとも60%の0~45ミクロン分布収率を有する、< 項 4 3 > ~ < 項 4 9 > のいずれか1項に記載の製造方法。

< 項 5 4 >

前記プラズマは、前記少なくとも1つのプラズマ源の少なくとも1つの個別ノズルから放出される、< 項 4 3 > ~ < 項 5 3 > のいずれか1項に記載の製造方法。

< 項 5 5 >

前記プラズマは、前記少なくとも1つのプラズマ源の複数の個別ノズルから放出され、前記個別ノズルは、前記加熱された金属源の周りに角度を付けて位置決めされる、< 項 4 3 > ~ < 項 5 3 > のいずれか1項に記載の製造方法。

< 項 5 6 >

前記プラズマは、前記少なくとも1つのプラズマ源の環状ノズルから放出される、< 項 4 3 > ~ < 項 5 3 > のいずれか1項に記載の製造方法。

< 項 5 7 >

前記加熱された金属源は、チタン、チタン合金、ジルコニウム、ジルコニウム合金、コバルト超合金、ニッケル超合金、マグネシウム、マグネシウム合金、ニオブ、ニオブ合金

10

20

30

40

50

、アルミニウム、アルミニウム合金、モリブデン、モリブデン合金、タングステン、タングステン合金、酸素反応性金属、および窒素反応性金属のうちの1つから選択された少なくとも1つの部材を備える、＜項29＞～＜項56＞のいずれか1項に記載の製造方法。

＜項58＞

前記加熱された金属源は、チタン、チタン合金、ジルコニウム、ジルコニウム合金、アルミニウム、およびアルミニウム合金から選択される、＜項29＞～＜項56＞のいずれか1項に記載の製造方法。

＜項59＞

前記加熱された金属源は、チタン合金から選択される、＜項28＞～＜項56＞のいずれか1項に記載の製造方法。

＜項60＞

前記加熱された金属源は、Ti-6Al-4Vである、＜項29＞～＜項56＞のいずれか1項に記載の製造方法。

＜項61＞

前記加熱金属源は、Ti-6Al-4V、Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo、Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr、およびチタンアルミナイドから選択される、＜項29＞～＜項56＞のいずれか1項に記載の製造方法。

＜項62＞

前記加熱された金属源は、非合金Tiグレード、PdまたはRuで改質されたTi合金、アルファ型およびニアルファ型Ti合金、アルファ-ベータ型Ti合金、およびニアルファ-ベータ型およびベータ型Ti合金から選択される、＜項29＞～＜項56＞のいずれか1項に記載の製造方法。

＜項63＞

前記金属粉末は、反応性金属粉末である、＜項29＞～＜項56＞のいずれか1項に記載の製造方法。

＜項64＞

アトマイズシステムであって、

金属源を加熱するための少なくとも1つの加熱システムと、

加熱した後の前記加熱された金属源を、前記加熱された金属源のアトマイズ化を引き起こすのに有効な条件下でプラズマと接触させるように構成された少なくとも1つのプラズマ源と、

前記アトマイズ化の間に前記プラズマに対する前記加熱された金属源の向きの変化を引き起こすために前記少なくとも1つのプラズマ源の上流に位置決めされた位置合わせシステムであって、前記位置合わせシステムは、前記加熱された金属源に連結された変位可能な部材と前記加熱された金属源に連結された枢動点とを備え、前記変位可能な部材の変位は、前記加熱された金属源が前記枢動点の周りで回転するのを引き起こす、位置合わせシステムと、を備える、アトマイズシステム。

＜項65＞

前記位置合わせシステムは、前記プラズマの上流のチャンネルを画定するガイド部材を備え、前記チャンネルは前記加熱された金属源の変位経路をさらに画定する、＜項64＞に記載のアトマイズシステム。

＜項66＞

前記位置合わせシステムは、前記ガイド部材を冷却するためのガス源および液体源のうちの少なくとも1つを受けるための入口をさらに備える、＜項65＞に記載のアトマイズシステム。

＜項67＞

前記チャンネルの出口は前記プラズマの近接に位置決めされる、＜項65＞または＜項66＞に記載のアトマイズシステム。

＜項68＞

前記ガイド部材は、前記加熱された金属源の汚染を制限する、＜項65＞～＜項66＞

10

20

30

40

50

のいずれか 1 項に記載のアトマイズシステム。

< 項 6 9 >

前記チャネルを画定する前記ガイド部材の内面は、電気絶縁材料で形成される、< 項 6 5 > ~ < 項 6 8 > のいずれかに記載のアトマイズシステム。

< 項 7 0 >

前記ガイド部材の内面は、セラミックで形成される、< 項 6 5 > ~ < 項 6 8 > のいずれかに記載のアトマイズシステム。

< 項 7 1 >

前記ガイド部材は、前記金属源を給送するための給送装置と前記プラズマとの間に実質的に延びる、< 項 6 5 > ~ < 項 7 0 > のいずれか 1 項に記載のアトマイズシステム。

10

< 項 7 2 >

前記少なくとも 1 つの加熱システムは、抵抗加熱、アーク放電、および誘導加熱から選択される、< 項 6 4 > ~ < 項 7 1 > のいずれか 1 項に記載のアトマイズシステム。

< 項 7 3 >

前記少なくとも 1 つの加熱システムは、前記ガイド部材の周りまたは内部に位置決めされた抵抗加熱、アーク放電、および誘導加熱から選択される、< 項 7 1 > に記載のアトマイズシステム。

< 項 7 4 >

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の少なくとも 1 つの個別ノズルから放出される、< 項 6 4 > ~ < 項 7 3 > のいずれか 1 項に記載のアトマイズシステム。

20

< 項 7 5 >

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の複数の個別ノズルから放出され、前記個別ノズルは、前記加熱された金属源の周りに角度を付けて位置決めされる、< 項 6 4 > ~ < 項 7 3 > のいずれか 1 項に記載のアトマイズシステム。

< 項 7 6 >

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の環状ノズルから放出される、< 項 6 4 > ~ < 項 7 3 > のいずれか 1 項に記載のアトマイズシステム。

< 項 7 7 >

プラズマアトマイズ化金属粉末製造方法であって、

チタンおよびチタン合金から選択された少なくとも 1 つの部材を備える加熱された金属源を提供することと、

30

前記加熱された金属源を少なくとも 1 つのプラズマ源のプラズマと位置合わせすることであって、前記位置合わせは、前記加熱された金属源を前記少なくとも 1 つのプラズマ源の出口ノズルから最大で 2 . 5 センチメートル以内に位置決めすることを含む、位置合わせすることと、

前記加熱された金属源を、前記加熱された金属源のアトマイズ化を引き起こすのに有効な条件下で前記少なくとも 1 つのプラズマ源の前記プラズマと接触させることと、を含み、前記アトマイズ化は、約 2 0 未満の総ガス対金属質量比を使用することによって実行され、それにより、ASTM B 2 1 4 にしたがって測定して、少なくとも 8 0 % の 0 ~ 1 0 6 ミクロン粒経分布収率を有する原料チタン含有粉末を得る、プラズマアトマイズ化金属粉末製造方法。

40

< 項 7 8 >

前記総ガス対金属質量比は約 2 0 未満である、< 項 7 7 > に記載の製造方法。

< 項 7 9 >

前記総ガス対金属質量比は約 1 7 未満である、< 項 7 7 > に記載の製造方法。

< 項 8 0 >

前記総ガス対金属質量比は約 5 から約 1 5 である、< 項 7 7 > に記載の製造方法。

< 項 8 1 >

前記総ガス対金属質量比は約 2 から約 1 0 である、< 項 7 7 > に記載の製造方法。

< 項 8 2 >

50

前記総ガス対金属質量比は約 5 から約 10 である、＜項 7 7＞に記載の製造方法。

＜項 8 3＞

前記総ガス対金属質量比は約 10 から約 20 である、＜項 7 7＞に記載の製造方法。

＜項 8 4＞

前記総ガス対金属質量比は約 10 から約 15 である、＜項 7 7＞に記載の製造方法。

＜項 8 5＞

前記原料チタン粉末は、ASTM B 2 1 4 にしたがって測定して、少なくとも 90 % の 0 ～ 106 ミクロン粒経分布収率を有する、＜項 7 7＞～＜項 8 4＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 8 6＞

前記原料チタン粉末は、ASTM B 2 1 4 にしたがって測定して、少なくとも 85 % の 0 ～ 75 ミクロン粒経分布収率を有する、＜項 7 7＞～＜項 8 4＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 8 7＞

前記原料チタン粉末は、ASTM B 2 1 4 にしたがって測定して、少なくとも 50 % の 0 ～ 45 ミクロン粒経分布収率を有する、＜項 7 7＞～＜項 8 4＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 8 8＞

前記原料チタン粉末は、ASTM B 2 1 4 にしたがって測定して、少なくとも 60 % の 0 ～ 45 ミクロン粒経分布収率を有する、＜項 7 7＞～＜項 8 4＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 8 9＞

前記加熱された金属源は、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の頂点で前記プラズマと接触する、＜項 7 7＞～＜項 8 4＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 9 0＞

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の少なくとも 1 つの個別ノズルから放出される、＜項 7 7＞～＜項 8 4＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 9 1＞

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の複数の個別ノズルから放出され、前記個別ノズルは、前記加熱された金属源の周りに角度を付けて位置決めされる、＜項 7 7＞～＜項 8 4＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 9 2＞

前記プラズマは、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の環状ノズルから放出される、＜項 7 7＞～＜項 8 4＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 9 3＞

前記加熱された金属源は、ワイヤ、ロッド、および熔融流から選択される、＜項 7 7＞～＜項 8 4＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 9 4＞

前記加熱された金属源は、抵抗加熱、アーク放電、および誘導加熱のうちの少なくとも 1 つによって加熱されたワイヤである、＜項 7 7＞～＜項 9 2＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 9 5＞

前記加熱された金属源は、抵抗加熱、アーク放電、および誘導加熱のうちの少なくとも 1 つによって加熱されたロッドである、＜項 7 7＞～＜項 9 2＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 9 6＞

前記加熱された金属源は、スカル熔融または水冷るつぽから得られた加熱された熔融流である、＜項 7 7＞～＜項 9 2＞のいずれか 1 項に記載の製造方法。

＜項 9 7＞

前記加熱された金属源はチタン合金である、＜項 7 7＞～＜項 9 3＞のいずれか 1 項に

10

20

30

40

50

記載の製造方法。

< 項 9 8 >

前記加熱された金属源は、チタン合金から選択される、< 項 7 7 > ~ < 項 9 3 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 9 9 >

前記加熱された金属源は、Ti - 6 Al - 4 V である、< 項 7 7 > ~ < 項 9 3 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 1 0 0 >

前記加熱された金属源は、Ti - 6 Al - 4 V、Ti - 6 Al - 2 Sn - 4 Zr - 2 Mo、Ti - 5 Al - 5 V - 5 Mo - 3 Cr、およびチタンアルミナイドから選択される、
< 項 7 7 > ~ < 項 9 3 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 1 0 1 >

前記加熱された金属源は、非合金 Ti グレード、Pd または Ru で改質された Ti 合金、アルファ型およびニアアルファ型 Ti 合金、アルファ - ベータ型 Ti 合金、およびニアベータ型およびベータ型 Ti 合金から選択される、< 項 7 7 > ~ < 項 9 3 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 1 0 2 >

前記金属粉末は、反応性金属粉末である、< 項 7 7 > ~ < 項 9 3 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 1 0 3 >

前記加熱された金属源は、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の前記出口ノズルから最大で 1 . 9 センチメートル以内に位置決めされる、< 項 7 7 > ~ < 項 1 0 2 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 1 0 4 >

前記位置合わせは、

前記加熱された金属源と前記少なくとも 1 つのプラズマ源の前記プラズマとの位置合わせを維持するために、前記加熱された金属源の向きを断続的に調節することを含む、< 項 7 7 > ~ < 項 1 0 3 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 1 0 5 >

前記加熱された金属源の前記向きの前記断続的な調節は、前記少なくとも 1 つのプラズマ源の前記プラズマの上流で遠隔に位置決めされた枢動点の周りで前記加熱された金属源を枢動させることを含む、< 項 1 0 4 > に記載の製造方法。

< 項 1 0 6 >

前記位置合わせは、

前記プラズマの上流にチャンネルを規定するガイド部材を位置決めすることと、

前記ガイド部材の前記チャンネルを通して前記加熱された金属源を変位させることと、を含む、< 項 7 7 > ~ < 項 1 0 5 > のいずれか 1 項に記載の製造方法。

< 項 1 0 7 >

ガス源および液体源のうちの少なくとも 1 つによって前記ガイド部材を冷却することをさらに含む、< 項 1 0 6 > に記載の製造方法。

< 項 1 0 8 >

前記加熱された金属源は、グレード 1、2、3 または 4 の非合金 Ti である、< 項 2 5 >、< 項 6 2 > または < 項 1 0 1 > に記載の製造方法。

< 項 1 0 9 >

前記加熱された金属源は、グレード 7、11、16、17、26 または 27 の Pd または Ru で改質された Ti 合金である、< 項 2 5 >、< 項 6 2 > または < 項 1 0 1 > に記載の製造方法。

< 項 1 1 0 >

前記加熱された金属源は、グレード 6、9、12、18 または 28 のアルファ型およびニア (n e a r) アルファ型 Ti 合金である、< 項 2 5 >、< 項 6 2 > または < 項 1 0 1

10

20

30

40

50

> に記載の製造方法。

< 項 1 1 1 >

前記加熱された金属源は、グレード 5、23 または 29 のアルファ - ベータ型 Ti 合金である、< 項 2 5 >、< 項 6 2 > または < 項 1 0 1 > に記載の製造方法。

< 項 1 1 2 >

前記加熱された金属源は、グレード 19 または 20 のニア (n e a r) ベータ型およびベータ型 Ti 合金である、< 項 2 5 >、< 項 6 2 > または < 項 1 0 1 > に記載の製造方法。
。

10

20

30

40

50