

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7490852号
(P7490852)

(45)発行日 令和6年5月27日(2024.5.27)

(24)登録日 令和6年5月17日(2024.5.17)

(51)国際特許分類		F I			
B 2 2 F	3/14 (2006.01)	B 2 2 F	3/14	1 0 1 A	
B 2 2 F	3/035(2006.01)	B 2 2 F	3/035	D	

請求項の数 3 (全19頁)

(21)出願番号	特願2023-64322(P2023-64322)	(73)特許権者	000004215
(22)出願日	令和5年4月11日(2023.4.11)		株式会社日本製鋼所
(62)分割の表示	特願2020-105151(P2020-105151))の分割	(74)代理人	100103894 弁理士 家入 健
原出願日	令和2年6月18日(2020.6.18)	(72)発明者	植田 直樹
(65)公開番号	特開2023-80196(P2023-80196A)		東京都品川区大崎一丁目11番1号 株 式会社日本製鋼所内
(43)公開日	令和5年6月8日(2023.6.8)	審査官	池ノ谷 秀行
審査請求日	令和5年4月11日(2023.4.11)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 チャンバー

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

内部を大気から遮断して所定の雰囲気とするための排気弁及び不活性ガス供給弁の少なくともいずれかを含むガス弁と、
前記内部において、一方及び他方が開口した金型に充填した粉末を、前記一方の開口部に挿入した第1パンチ及び前記他方の開口部に挿入した第2パンチにより加圧して圧粉体を成形する加圧成形部と、
前記内部において、前記金型から離型した前記圧粉体に通電して前記圧粉体を焼成する通電焼結部と、
を備えるチャンバー。

【請求項2】

信号を送信することにより、前記内部を所定の雰囲気になるように前記排気弁及び前記不活性ガス供給弁の少なくともいずれかを含むガス弁を制御する制御手段、
を備えた請求項1に記載のチャンバー。

【請求項3】

前記制御手段は、前記所定の雰囲気として、大気雰囲気、減圧雰囲気及び不活性ガス雰囲気の少なくともいずれかになるように制御する、
請求項2に記載のチャンバー。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

【0001】

本発明は、通電焼結方法及び通電焼結装置に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献1には、筒状の金型に充填した粉末を上パンチ及び下パンチで加圧しながら通電することにより焼結体を形成する通電焼結法が記載されている。通電焼結法は、放電プラズマ焼結法（Spark Plasma Sintering、以下、SPS法と呼ぶ。）、パルス通電焼結法（Pulse Electric Current Sintering）とも呼ばれる。特許文献1の通電焼結法では、粉末充填ステップ、加圧通電焼結ステップを経て、焼結体を形成している。

10

【0003】

非特許文献1には、金型に充填した粉末を上パンチ及び下パンチで加圧することにより圧粉体を形成し、形成した圧粉体を高温で加熱することにより焼結体を形成する粉末冶金法（Powder Metallurgy）が記載されている。非特許文献1の粉末冶金法では、粉末充填ステップ、加圧成形ステップ、加熱焼結ステップを経て、焼結体を形成している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2018-044207号公報

20

【非特許文献】

【0005】

【文献】「粉末冶金とは」日本粉末冶金工業会、[online]、[令和2年5月7日検索]、インターネット<https://www.jpma.gr.jp/powder_m/>

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献1の通電焼結法では、加圧通電焼結ステップにおけるパンチ変位量が大きく、金型とパンチの隙間に噛み込んだ粉末が焼結されてしまう等の不具合が起きやすい。また、高温環境下で金型とパンチが摩擦するので、金型とパンチが焼き付く等により、金型の寿命が短い。さらに、高温かつ摩耗環境下で金型を使用するため、金型やパンチの材質には、耐摩耗性を有する耐熱合金を選ぶ必要があり、金型の製作コストが高い。よって、特許文献1の通電焼結法は、生産コストを低減させることができない。非特許文献1では、加熱焼結ステップに時間がかかるので、生産性を向上させることができない。

30

【0007】

その他の課題と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

【課題を解決するための手段】

【0008】

一実施の形態にかかる通電焼結方法は、金型に充填させた粉末を加圧することにより、圧粉体を成形する加圧成形ステップと、前記金型から前記圧粉体を離型させる離型ステップと、前記金型から離型させた前記圧粉体に通電することにより、焼結体を形成する通電焼結ステップと、を備える。

40

【0009】

一実施の形態にかかる通電焼結装置は、金型に充填させた粉末を加圧することにより、圧粉体を成形する加圧成形手段と、前記金型から前記圧粉体を離型させる離型手段と、前記金型から離型させた前記圧粉体に通電することにより、焼結体を形成する通電焼結手段と、を備える。

【0010】

一実施の形態にかかる通電焼結装置は、金型に充填させた粉末を加圧することにより、

50

圧粉体を成形する加圧成形手段と、前記金型から前記圧粉体を離型させる離型手段と、前記金型から離型させた前記圧粉体に通電することにより、焼結体を形成する通電焼結手段と、前記加圧成形手段及び前記離型手段を含む加圧成形部と、前記加圧成形部に並んで配置され、前記通電焼結手段を含む通電焼結部と、前記加圧成形部から前記通電焼結部に前記圧粉体を搬送させる搬送手段と、を備える。

【発明の効果】

【0011】

前記一実施の形態によれば、生産コストを低減させることができる通電焼結方法及び通電焼結装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0012】

【図1】比較例1に係る粉末冶金法を例示した工程図である。

【図2】比較例2に係るSPS法を例示した工程図である。

【図3】実施形態1に係る通電焼結方法を例示した工程図である。

【図4】実施形態1に係る通電焼結方法を例示したフローチャート図である。

【図5】実施形態1に係る通電焼結装置を例示した構成図である。

【図6】実施形態1の別の例に係る通電焼結装置を例示した構成図である。

【図7】実施形態1のさらに別の例に係る通電焼結装置を例示した構成図である。

【図8】実施形態1に係る通電焼結装置を用いた通電焼結方法において、加圧成形ステップにおけるパンチ面圧と焼結体の充填密度の関係を例示したグラフであり、横軸は、面圧を示し、縦軸は、充填密度を示す。

20

【図9】実施形態1に係る通電焼結装置を用いた通電焼結方法において、加圧成形ステップにおけるパンチ面圧と焼結体の収縮率の関係を例示したグラフであり、横軸は、面圧を示し、縦軸は、収縮率を示す。

【図10】実施形態1に係る通電焼結装置を用いた通電焼結方法において、焼結体を例示した断面図である。

【図11】実施形態1に係る通電焼結装置を用いた通電焼結方法において、焼結体のミクロ組織を例示した断面図である。

【図12】実施形態2に係る通電焼結装置を例示した構成図である。

【図13】実施形態2に係る通電焼結装置の動作を例示したフローチャート図である。

30

【図14】比較例3に係るSPS装置を例示した構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

説明の明確化のため、以下の記載及び図面は、適宜、省略、及び簡略化がなされている。また、各図面において、同一の要素には同一の符号が付されており、必要に応じて重複説明は省略されている。

【0014】

(実施形態1)

実施形態1に係る通電焼結方法及び通電焼結装置を説明する前に、まず、比較例1及び比較例2に係る焼結方法を説明する。そして、比較例1及び比較例2の焼結方法と対比させて、本実施形態の通電焼結方法を説明する。これにより、本実施形態の通電焼結方法の特徴をより明確にする。その後、本実施形態の通電焼結装置を説明する。

40

【0015】

<比較例1：粉末冶金法>

比較例1に係る焼結方法として、粉末冶金法を説明する。粉末冶金法は、粉末をプレス機で押し固めて形成させた圧粉体を、高温で加熱することで焼結させ、高強度の素材や部品を製造する方法である。図1は、比較例1に係る粉末冶金法を例示した工程図である。図1に示すように、粉末冶金法は、粉末充填ステップ、加圧成形ステップ、離型ステップ、加熱焼結ステップ、排出ステップを備えている。用いる粉末10が複数の種類を含む場合には、粉末充填ステップの前に、粉末混合ステップを有してもよい。

50

【 0 0 1 6 】

粉末混合ステップは、粉末 1 0 を混合させる。粉末 1 0 は、所望の焼結体を形成するために必要な材料を含んでいる。粉末 1 0 は、複数の種類の材料を含んでもよい。粉末 1 0 は、例えば、鉄、銅、アルミニウム、ニッケル、クロム、タングステン、モリブデン等の金属の粉末を含んでもよいし、ステンレスのような鉄にクロムやニッケルを含ませた合金鋼、または、アルミニウム合金のようなアルミニウムに銅、マンガン、ケイ素、マグネシウム、亜鉛、ニッケルの少なくともいずれかを含ませた粉末を含んでもよい。また、粉末 1 0 は、金属に限らず、アルミナ、ジルコニアなどの酸化物、窒化ケイ素などの窒化物、炭化ケイ素、炭化チタン、炭化タングステンなどの炭化物、ヒドロキシアパタイトなどの生体セラミックス、雲母などの層状化合物、ガーネットなどのイオン伝導性を有するセラミックス等を含んでもよい。

10

【 0 0 1 7 】

また、形成された焼結体は、例えば、ナノ材料、傾斜機能材料、アモルファス材料、多孔質（ポラス）材料、金属間化合物、金属ガラス、バイオ材料、硬質材料、熱電変換材料、超電導材料、磁性材料、ファインセラミックス、金型工具、超硬合金、チタン合金、超放熱材料、スパッタリングターゲット材料、誘電体・電子デバイス材料、カーボンナノチューブ（CNT）複合材、カーボンナノファイバー（CNF）複合材、繊維強化コンクリート（FRC）、繊維強化金属（FRM）、航空宇宙部品等に用いる材料でもよい。複数の種類の粉末 1 0 は、あらかじめ、原料となる複数の種類の材料が混合機によって混合されている。

20

【 0 0 1 8 】

図 1 に示すように、粉末充填ステップは、粉末 1 0 を金型 1 1 1 に充填する。金型 1 1 1 は、例えば、上方及び下方が開口した筒状である。金型 1 1 1 の下方の開口部に下パンチ 1 1 2 を挿入する。これにより、金型 1 1 1 の内部における下パンチ 1 1 2 上にキャビティが形成される。下パンチ 1 1 2 は、複数のパンチ部材を含んでもよい。例えば、下パンチ 1 1 2 は、2 個のパンチ部材から構成されてもよい。そして、金型 1 1 1 で囲まれたキャビティ内に粉末 1 0 を充填する。粉末 1 0 が充填された金型 1 1 1 の上方の開口部に上パンチ 1 1 3 を挿入する。上パンチ 1 1 3 は、複数のパンチ部材を含んでもよい。例えば、上パンチ 1 1 3 は、3 個のパンチ部材から構成されてもよい。粉末充填ステップにおいて、金型 1 1 1 に充填された粉末 1 0 の充填密度は、例えば、5 0 [%] 程度である。

30

【 0 0 1 9 】

加圧成形ステップは、金型 1 1 1 に充填させた粉末 1 0 を加圧することにより、圧粉体 1 1 5 を成形する。具体的には、金型 1 1 1 に充填された粉末 1 0 を上パンチ 1 1 3 及び下パンチ 1 1 2 により加圧する。圧力は、例えば、1 0 0 ~ 7 0 0 [MPa] または 7 0 0 [MPa] 以上である。加圧成形ステップにおいて、意図的に温度を加えなくてもよい。温度は、例えば、3 0 0 [] であり、具体的には、室温 ~ 4 0 0 [] である。これにより、粉末 1 0 が圧縮された圧粉体 1 1 5 を形成する。加圧成形ステップにおいて、粉末充填密度を、例えば、6 0 [%] 未満から 6 0 [%] 以上に変化させる。例えば、粉末充填密度を、8 0 [%] まで変化させる。これにより、粉末 1 0 の粒子は圧粉化される。

【 0 0 2 0 】

粉末冶金法では、金属を含む材料から構成された金型 1 1 1 を使用する。このため、1 0 0 ~ 7 0 0 [MPa] または 7 0 0 [MPa] 以上の高圧をかけることができる。よって、複雑な形状のキャビティ面を有する金型 1 1 1 を用いて、金型 1 1 1 のキャビティ面の形状を高精度に反映した複雑な形状の圧粉体 1 1 5 を形成することができる。さらに、一つの金型 1 1 1 で、同じ形の圧粉体 1 1 5 を繰り返し生産することができる。これにより、同じ形の圧粉体 1 1 5 を多数生産することができる。

40

【 0 0 2 1 】

離型ステップは、金型 1 1 1 から圧粉体 1 1 5 を離型させる。例えば、加圧成形ステップによって形成された圧粉体 1 1 5 を、下パンチ 1 1 2 で金型 1 1 1 から押し出すことにより、圧粉体 1 1 5 を金型 1 1 1 から離型させる。

50

【 0 0 2 2 】

加熱焼結ステップは、圧粉体 1 1 5 を焼結する。加熱焼結ステップにおいて、圧粉体 1 1 5 は、焼結炉 1 1 6 の内部において高温で加熱される。温度は、固相焼結では粉末 1 0 に含まれるいずれの成分の融点よりも低い温度、液相焼結では粉末 1 0 に含まれる成分の一部は融点より高い温度である。温度は、例えば、好ましくは、融点の 2 / 3 ~ 3 / 4 が、それ以上である。例えば、鉄素材では、温度は、1 0 0 0 [] 程度である。このように、加熱焼結ステップでは、圧粉体 1 1 5 が溶融変形しない程度の温度で時間をかけて固める。これにより、焼結体 1 1 7 を形成する。これにより、粉末 1 0 の粒子は、例えば、焼結される。

【 0 0 2 3 】

加熱焼結ステップでは、粉末充填密度は、若干高くなる。焼結炉 1 1 6 は、ベルトコンベア等の移動手段により、多数の圧粉体 1 1 5 を連続的に加熱する。

【 0 0 2 4 】

排出ステップは、形成された焼結体 1 1 7 を排出する。一般的な粉末冶金法では、加圧成形ステップによる圧粉体 1 1 5 の加圧成形、離型、搬送、連続焼結炉 1 1 6 による加熱焼結の一連の動作が自動化されている。よって、粉末冶金法は、複雑な形状を有する焼結体 1 1 7 の部品を大量に製造することができる。

【 0 0 2 5 】

下記の表 1 は、比較例 1、比較例 2 及び実施形態 1 の焼結方法の長所及び短所を例示した表である。表 1 に示すように、比較例 1 の粉末冶金法は、複雑な形状の圧粉体 1 1 5 を加圧成形可能であり、これにより、複雑な形状の焼結体 1 1 7 を形成することができる。しかしながら、加圧成形に比べて焼結炉 1 1 6 での焼結に時間がかかる。例えば、数時間かかる。よって、自動化で大量に生産されているとしても、ある一定の生産性にとどまっている。

【 0 0 2 6 】

【表 1】

	比較例 1 粉末冶金法	比較例 2 SPS 法	実施形態 通電焼結法
長所	複雑な形状可能	焼結は短時間	複雑な形状可能 焼結は短時間 バリの抑制 金型長寿命 生産性向上
短所	成形に比べて 焼結は長時間 生産性低下	複雑な形状困難 バリの発生 型短寿命 生産性低下	

【 0 0 2 7 】

< 比較例 2 : S P S 法 >

比較例 2 に係る焼結方法として、S P S 法を説明する。S P S 法は、カーボン型に粉末 1 0 を充填し、加圧しながら通電することで、短時間に焼結を行う。図 2 は、比較例 2 に係る S P S 法を例示した工程図である。図 2 に示すように、S P S 法は、粉末充填ステップ、加圧通電焼結ステップ、離型排出ステップを備えている。なお、S P S 法も、比較例 1 の粉末冶金法と同様に、用いる粉末 1 0 が複数の種類の材料を含む場合には、粉末充填ステップの前に、粉末混合ステップを有してもよい。

【 0 0 2 8 】

S P S法における粉末充填ステップは、粉末10をカーボン型214に充填する。粉末10は、比較例1と同様のものでもよい。カーボン型214は、例えば、上方及び下方が開口した筒状でもよい。カーボン型214の下方の開口部に下パンチ212を挿入する。これにより、カーボン型214の内部における下パンチ212上にキャビティが形成される。そして、カーボン型214で囲まれたキャビティ内に粉末10を充填する。粉末10が充填されたカーボン型214の上方の開口部に上パンチ213を挿入する。粉末充填ステップにおいて、カーボン型214に充填された粉末10の充填密度は、例えば、50 [%]程度である。

【0029】

加圧通電焼結ステップは、カーボン型214に充填された粉末10に対して、上パンチ213及び下パンチ212により加圧しながら通電する。これにより、短時間に焼結体217を形成することができる。S P S法では、粉末10に通電するために、カーボンを含んだカーボン型214を使用する。粉末冶金法のような強度が高い金型111を用いることができないので、粉末10に高い圧力をかけることが困難である。圧力は、例えば、20 [MPa]程度である。加圧通電焼結ステップにおいて、粉末充填密度を、例えば、50 [%]以下から90 [%]以上に变化させる。例えば、粉末充填密度を、97 [%]に変化させる。

【0030】

また、上パンチ213及び下パンチ212を介して、粉末10に通電する。通電により、粉末10の粒子間から発生する熱、各粒子の内部から発生する熱、及び、粒子の外部から伝熱により伝わる熱等により焼結若しくは拡散接合される。粉末10の粒子間の隙間は電気抵抗が大きいので、通電により、ジュール熱が発生する。これにより、粉末冶金法に比べて、短時間に焼結体217を形成することができる。S P S法では、図1に示すような一般的な粉末冶金よりも焼結温度を低くできるので、鉄素材では、温度は、例えば、800 []以上である。

【0031】

このように、加圧通電焼結ステップでは、加圧しながら通電することによって、カーボン型214内の粉末10から焼結体217を形成することができる、この際、カーボン型214内の粉末10は、収縮を伴いながら、急激に体積が変化する。

【0032】

離型排出ステップは、カーボン型214から焼結体217を離型させる。具体的には、例えば、加圧通電焼結ステップによって形成された焼結体217を、下パンチ212でカーボン型214から押し出すことにより、焼結体217をカーボン型214から離型させる。そして、離型させた焼結体217を排出する。

【0033】

表1に示すように、比較例2のS P S法は、焼結時間を短縮することができる。例えば、加圧通電焼結ステップにおいて、焼結温度における時間は、数秒～数分、例えば、1 [min]である。しかしながら、S P S法では、カーボン型214に高圧を加圧することができないので、複雑な形状の焼結体217を成形することができない。

【0034】

また、カーボン型214内の粉末10は、焼結時に急激に収縮する。よって、加圧通電焼結ステップにおけるパンチ変位量が大きくなり、カーボン型とパンチの隙間に噛み込んだ粉末が焼結されてしまう等の不具合が起きやすい。

【0035】

また、高温環境下で金型とパンチが摩擦するので、金型とパンチが焼き付く等により、金型の寿命が短い。さらに、高温かつ摩耗環境下で金型を使用するため、金型やパンチの材質には、耐摩耗性を有する耐熱合金を選ぶ必要があり、金型の製作コストが高い。このようなことから、生産コストを低減させることが困難である。

【0036】

<実施形態：通電焼結方法>

10

20

30

40

50

次に、本実施形態に係る通電焼結方法を説明する。本実施形態の通電焼結方法は、金型に粉末充填後、低温かつ高圧で加圧することで、高密度の圧粉体を形成する。そして、形成した圧粉体を離型・通電して焼結体を形成する。図3は、実施形態1に係る通電焼結方法を例示した工程図である。図4は、実施形態1に係る通電焼結方法を例示したフローチャート図である。図3及び図4に示すように、実施形態1に係る通電焼結方法は、粉末充填ステップ、加圧成形ステップ、離型ステップ、通電焼結ステップ、排出ステップを備えている。なお、本実施形態の通電焼結法も、用いる粉末10が複数の種類の材料を含む場合には、粉末充填ステップの前に、粉末混合ステップを有してもよい。

【0037】

図3及び図4のステップS11に示すように、本実施形態における粉末充填ステップは、粉末10を金型11に充填する。粉末10は、比較例1と同様のものでもよいが、導電性の粉末10が好ましい。

10

【0038】

金型11は、例えば、上方及び下方が開口した筒状である。金型11に充填させた粉末10を鉛直方向から加圧する場合には、金型11は、上方及び下方が開口した筒状が好ましい。なお、金型11に充填させた粉末10を鉛直方向以外から加圧する場合には、加圧する方向の一方及び他方が開口した筒状でもよい。例えば、水平方向から粉末10を加圧する場合には、金型11は、例えば、左方向及び右方向が開口した筒状でもよい。

【0039】

金型11の下方の開口部に下パンチ12を挿入する。これにより、金型11の内部における下パンチ12上にキャビティが形成される。そして、金型11で囲まれたキャビティ内に粉末10を充填する。粉末10が充填された金型11の上方の開口部に上パンチ13を挿入する。粉末充填ステップにおいて、金型11に充填された粉末10の充填密度は、比較例1及び比較例2と同様に、例えば、50[%]程度である。なお、下パンチ12及び上パンチ13が複数のパンチ部材から構成されてもよいことは比較例1と同様である。

20

【0040】

次に、図3及び図4のステップS12に示すように、加圧成形ステップは、粉末10を加圧することにより圧粉体15を成形する。具体的には、金型11の一方の開口部に挿入した下パンチ12及び他方の開口部に挿入した上パンチ13により、金型11に充填された粉末10を加圧する。これにより、圧粉体15を成形する。粉末10を加圧するゲージ圧による圧力は、例えば、100~700[MPa]または700[MPa]以上である。

30

【0041】

加圧成形ステップにおいて、粉末の温度は、500[]未満である。好ましくは、意図的に温度を加えなくてもよく、例えば、300[]、具体的には、室温~400[]である。このようにして、粉末10が圧縮された圧粉体15を成形する。加圧成形ステップにおいて、粉末10の充填密度を、例えば、60[%]未満から60[%]以上に变化させる。緻密な焼結体を形成する場合には、例えば、75[%]まで变化させる。緻密な焼結体を形成する場合には、例えば、90[%]未満から90[%]以上に变化させる。具体的には、緻密な焼結体を形成する場合には、粉末10の充填密度を、50[%]程度から、例えば、95[%]に向上させる。これにより、粉末10の粒子は圧粉化される。加圧成形ステップにおいて、金型11に充填された粉末10は、大気雰囲気処理されてもよいが、真空等の減圧雰囲気または不活性ガス雰囲気での処理が好ましい。上パンチ13及び下パンチ12の上下動により粉末10に与えられる圧力は、ゲージ圧で示される。

40

【0042】

本実施形態の通電焼結法では、カーボン型以外の金型11を使用してもよい。例えば、金属を含む材料から構成された金型11を用いてもよい。このため、700[MPa]程度の高圧をかけることができる。よって、複雑な形状のキャビティ面を有する金型11を用いて、金型11のキャビティ面の形状を高精度に反映した複雑な形状の圧粉体15を形成することができる。さらに、一つの金型11で、同じ形の圧粉体15を繰り返し生産す

50

ることができる。これにより、同じ形の圧粉体 15 を多数生産することができる。

【0043】

次に、図3及び図4のステップS13に示すように、離型ステップは、金型11から圧粉体15を離型させる。例えば、下パンチ12で圧粉体15を金型11から押し出すことにより、圧粉体15を金型11から離型させる。

【0044】

次に、図3及び図4のステップS14に示すように、通電焼結ステップは、金型11から離型させた圧粉体15に通電することにより、焼結体17を形成する。例えば、上パンチ13及び下パンチ12を介して圧粉体15に通電する。通電焼結ステップにおいて、圧粉体15への通電により、圧粉体15における粉末10の各粒子は、各粒子間から発生する熱、各粒子の内部（粒子そのもの）から発生する熱、粒子の外部から伝熱により伝わる熱等により焼結若しくは拡散接合される。例えば、焼結されることにより緻密体が形成され、拡散接合されることにより多孔質体が形成される。

10

【0045】

通電焼結ステップでは、上パンチ13及び下パンチ12による加圧はしない状態で、圧粉体15に通電する。すなわち、通電焼結ステップでは、圧粉体15は、通電するための上パンチ13及び下パンチ12の接触、または、電極等の接触による不可避的なもの以外の圧力を付加されない。すなわち、装置動作に必要な最小限の圧力（荷重リミッタの下限）や不可避的な圧力は作用するが、不可避的なもの以外の圧力を付加されない。通電焼結ステップにおいて、圧粉体15を加圧する圧力は、このような不可避な圧力以外は0 [MPa]であり、圧粉体15を、意図的に加圧しない。なお、装置動作に必要な最小限の圧力（荷重リミッタの下限）は、実質的になくてもよいが、例えば、荷重リミッタの下限として、100 [kgf]作用させる場合がある。通電による圧粉体15の温度を、粉末10の材料の融点よりも低い温度にする。例えば、通電焼結ステップにおいて、圧粉体15の温度は、500 []以上である。アルミ合金の焼結の場合には、例えば、600 []以上である。鉄を主成分とする合金の場合には、圧粉体15の温度は、好ましくは、800 []以上である。アルミニウム合金の焼結体を比較例1の粉末冶金法で形成することは極めて困難であり、比較例2のSPS法または本実施形態で形成することができる。また、本実施形態の通電焼結方法は、比較例2のSPS法と異なり、加圧成形時の温度と、通電焼結時の温度はそれぞれ異なる。

20

30

【0046】

本実施形態の通電焼結ステップでは、圧粉体15に通電することにより、圧粉体15は例えば、加熱されるが、金型11を加熱しなくてもよい。よって、比較例2のSPSにおいて、粉末10とともにカーボン型214も加熱されることと異なる。このようにして、焼結体17を形成する。通電焼結ステップにおいて、粉末10の充填密度を、例えば、60 [%]以上に保つ。多孔質体の場合には、例えば、60 [%]以上に保つ。緻密な焼結体を形成する場合には、例えば、90 [%]以上に保つ。例えば、通電焼結ステップ後の焼結体17の粉末充填密度は、97 [%]である。また、通電焼結ステップにおいて、圧粉体15は、真空等の減圧雰囲気または不活性ガス雰囲気で通電されてもよい。

【0047】

次に、図3及び図4のステップS15に示すように、排出ステップは、形成された焼結体17を排出する。このようにして、焼結体17を形成することができる。

40

【0048】

表1に示すように、本実施形態の通電焼結法は、複雑な形状の圧粉体15を成形可能であり、これにより、複雑な形状の焼結体17を形成することができる。また、通電焼結であるので、短時間で焼結体17を形成することができる。例えば、通電焼結ステップにおいて、焼結温度での保持にかかる時間は、数秒～数分、例えば、1 [min]である。

【0049】

さらに、加圧成形ステップにおいて、圧縮して圧粉体15を形成するので、通電焼結ステップでは、圧粉体15は、焼結時に急激に収縮しない。よって、通電焼結ステップにお

50

いて、パンチ素材の熱膨張等による変位以外に、パンチ変位量はほとんどなく、焼結体 17 における狙い寸法や狙い形状からの乖離やパリの発生を抑制することができる。これにより、不良率を低減し、寸法精度や幾何精度を向上させることができる。

【0050】

また、金型 11 に粉末 10 が焼き付くことを抑制することができるので、金型 11 の寿命を長くすることができる。このようなことから、通電焼結による複雑な形状を有する焼結体 17 の部品を大量に生産することができ、生産コストを低減させることができる。

【0051】

<通電焼結装置>

次に、本実施形態の通電焼結装置を説明する。図 5 は、実施形態 1 に係る通電焼結装置を例示した構成図である。図 6 は、実施形態 1 の別の例に係る通電焼結装置を例示した構成図である。図 5 及び図 6 に示すように、通電焼結装置 1 及び 1a は、金型 11、上パンチ 13、下パンチ 12、加圧成形手段 18、離型手段 19、通電焼結手段 20 を備えている。また、通電焼結装置 1 は、チャンバー 21 及び粉末充填手段 22 を備えてもよいし、図示しない圧力計、温度計、電流計を有してもよい。さらに、図 6 に示すように、通電焼結装置 1a は、自動化による焼結体 17 の形成のために、制御手段 23 を備えてもよい。

10

【0052】

金型 11 は、例えば、一方及び他方が開口した筒状である。一方及び他方の開口は、例えば、下方及び上方の開口である。一方の開口部には、下パンチ 12 が挿入される。他方の開口部には上パンチ 13 が挿入される。金型 11 は、金属を含む材料から構成されている。通電焼結装置 1 がチャンバー 21 を備えている場合には、金型 11 は、チャンバー 21 の内部に配置されている。

20

【0053】

チャンバー 21 は、内部を真空等の減圧雰囲気または不活性ガス雰囲気にすることが可能である。よって、金型 11 に充填された粉末 10 は、減圧雰囲気または不活性ガス雰囲気で加圧成形されてもよい。また、離型された圧粉体 15 は、減圧雰囲気または不活性ガス雰囲気で、通電焼結されてもよい。チャンバー 21 の内部の減圧雰囲気または不活性ガス雰囲気は、チャンバー 21 に設けられた排気弁、排気ポンプ、不活性ガス供給弁等によって制御される。

【0054】

チャンバー 21 は、例えば、特許文献 1 のように、上パンチ 13 を含む上部外壁及び下パンチ 12 を含む下部外壁を有してもよい。これにより、金型 11 を含む限られた密閉空間を減圧雰囲気または不活性ガス雰囲気にしてもよい。

30

【0055】

粉末充填手段 22 は、金型 11 に粉末 10 を充填する。粉末充填手段 22 は、例えば、粉末供給機である。

【0056】

加圧成形手段 18 は、金型 11 に充填させた粉末 10 を加圧することにより、圧粉体 15 を成形する。加圧成形手段 18 は、例えば、機械式プレスを行うモータである。なお、加圧成形手段 18 は、金型 11 に充填させた粉末 10 を加圧することにより、圧粉体 15 を成形することができれば、モータに限らず、例えば、液圧式プレスを行うポンプでもよい。加圧成形手段 18 は、金型の一方の開口部に挿入した下パンチ 12 及び他方の開口部に挿入した上パンチ 13 により、粉末 10 を加圧する。加圧成形手段 18 は、粉末の温度が、500 [] 未満の状態、粉末 10 を加圧する圧力を、100 ~ 700 [MPa] または 700 [MPa] 以上にする。これにより、加圧成形手段 18 は、粉末 10 の充填密度を、例えば、60 [%] 未満から 60 [%] 以上に变化させる。

40

【0057】

離型手段 19 は、金型 11 から圧粉体 15 を離型させる。離型手段 19 は、例えば、下パンチ 12 のモータである。離型手段 19 は、下パンチ 12 で圧粉体 15 を金型 11 から押し出すことにより、圧粉体 15 を金型 11 から離型させる。この場合には、金型 11 は

50

固定されてもよい。なお、離型手段 19 は、金型 11 から圧粉体 15 を離型させることができれば、下パンチ 12 のモータに限らず、下パンチ 12 のポンプ等でもよいし、金型 11 に設けられ、金型 11 を移動させるモータまたはポンプ等でもよい。

【0058】

図 7 は、実施形態 1 のさらに別の例に係る通電焼結装置を例示した構成図である。図 7 に示すように、通電焼結装置 1b において、離型手段 19 は、圧粉体 15 を金型 11、下パンチ 12 及び上パンチ 13 から外すことにより、圧粉体 15 を金型 11 から離型させてもよい。なお、図示しないが、通電焼結装置 1b も、自動化による焼結体 17 の形成のために、制御手段 23 を備えてもよい。

【0059】

図 5 ~ 図 7 に示すように、通電焼結手段 20 は、金型 11 から離型させた圧粉体 15 を通電することにより、焼結体 17 を形成する。通電焼結手段 20 は、例えば、電源である。なお、通電焼結手段 20 は、金型 11 から離型させた圧粉体 15 を通電することにより、焼結体 17 を形成することができれば、電源に限らず、電池、バッテリーでもよい。

【0060】

図 5 及び図 6 に示すように、通電焼結手段 20 は、上パンチ 13 及び下パンチ 12 を介して、圧粉体 15 に通電してもよい。具体的には、電流が流れる通電経路は、通電焼結手段 20 から電極 24、上パンチ 13、圧粉体 15、下パンチ 12、電極 25 を経由して通電焼結手段 20 に戻る。電極 24 は、上パンチ 13 の上方に配置され、通電焼結手段 20 に接続されている。電極 25 は、下パンチ 12 の下方に配置され、通電焼結手段 20 に接続されている。上パンチ 13 及び下パンチ 12 は、圧粉体 15 に電流を流す端子の機能を有している。

【0061】

また、図 7 に示すように、圧粉体 15 を金型 11、下パンチ 12 及び上パンチ 13 から外した場合には、通電焼結手段 20 は、上パンチ 13 及び下パンチ 12 を介さずに、端子 26 及び端子 27 を介して、圧粉体 15 に通電してもよい。端子 26 は、電極 24 と圧粉体 15 との間に配置されている。端子 27 は、電極 25 と圧粉体 15 との間に配置されている。電流が流れる通電経路は、通電焼結手段 20 から電極 24、端子 26、圧粉体 15、端子 27、電極 25 を経由して通電焼結手段 20 に戻る。なお、通電経路は、電極 24 及び電極 25 を介さずに、通電焼結手段 20 から端子 26、圧粉体 15、端子 27 を経由して通電焼結手段 20 に戻ってもよい。

【0062】

通電焼結手段 20 は、粉末を加圧する圧力が、不可避な圧力以外において、0 [MPa] の状態で、粉末の温度を、500 [] 以上にしてもよい。通電焼結手段 20 は、粉末 10 の充填密度を、例えば、60 [%] 以上に保つ。多孔質体の場合には、例えば、60 [%] 以上に保つ。緻密な焼結体を形成する場合には、例えば、90 [%] 以上に保つ。通電焼結手段 20 は、圧粉体 15 における粉末 10 の各粒子を、各粒子間から発生する熱、各粒子の内部から発生する熱、及び、粒子の外部から伝熱により伝わる熱等により焼結若しくは拡散接合させる。

【0063】

図 5 に示すように、通電焼結装置 1 における加圧成形手段 18、離型手段 19、通電焼結手段 20、チャンバー 21、粉末充填手段 22 の動作は、手動によって制御されてもよい。一方、図 6 に示すように、通電焼結装置 1a は、自動化による焼結体 17 の形成のために、加圧成形手段 18、離型手段 19、通電焼結手段 20、チャンバー 21、粉末充填手段 22 の動作を制御する制御手段 23 を備えてもよい。

【0064】

制御手段 23 は、加圧成形手段 18、離型手段 19、通電焼結手段 20、チャンバー 21 及び粉末充填手段 22 に有線又は無線の信号線等により接続されている。制御手段 23 は、圧力計、温度計、電流計に信号線等により接続されてもよい。制御手段 23 は、例えば、パーソナルコンピュータ、サーバ等の情報処理装置である。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 5 】

制御手段 2 3 は、粉末充填手段 2 2 に対して信号を送信することにより、予め設定された供給量の粉末 1 0 を金型 1 1 に充填するように制御する。また、制御手段 2 3 は、加圧成形手段 1 8 に対して信号を送信することにより、予め設定された圧力で、金型 1 1 に充填させた粉末 1 0 を加圧するように制御する。そして、制御手段 2 3 は、離型手段 1 9 に対して信号を送信することにより、金型 1 1 から圧粉体 1 5 を離型させるように制御する。また、制御手段 2 3 は、通電焼結手段 2 0 に対して信号を送信することにより、金型 1 1 から離型させた圧粉体 1 5 を通電することにより、焼結体 1 7 を形成するように制御する。

【 0 0 6 6 】

制御手段 2 3 は、チャンバー 2 1 に対して信号を送信することにより、チャンバー 2 1 の内部を所定の減圧雰囲気または不活性ガス雰囲気になるように制御してもよい。制御手段 2 3 は、形成された焼結体 1 7 を排出するように制御してもよい。

【 0 0 6 7 】

制御手段 2 3 は、メモリ等の記憶装置を有し、加圧成形手段 1 8、離型手段 1 9、通電焼結手段 2 0、チャンバー 2 1 及び粉末充填手段 2 2 の動作を制御するプログラムを記憶装置に記憶させてもよい。そして、制御手段 2 3 は、プログラムに基づいて、加圧成形手段 1 8、離型手段 1 9、通電焼結手段 2 0、チャンバー 2 1 及び粉末充填手段 2 2 の動作を制御してもよい。

【 0 0 6 8 】

次に、実施例として、図 7 に示した通電焼結装置 1 b を用いて焼結体 1 7 を形成した例を説明する。図 8 は、実施形態 1 に係る通電焼結装置 1 b を用いた通電焼結方法において、加圧成形ステップにおけるパンチ面圧と焼結体の充填密度の関係を例示したグラフであり、横軸は、面圧 [M P a] を示し、縦軸は、充填密度 [%] を示す。図 8 において、黒丸 () は、圧粉後 (加圧成形後) を示し、白丸 () は、焼結後を示す。図 9 は、実施形態 1 に係る通電焼結装置 1 b を用いた通電焼結方法において、加圧成形ステップにおけるパンチ面圧と焼結体の収縮率の関係を例示したグラフであり、横軸は、面圧 [M P a] を示し、縦軸は、収縮率 [%] を示す。図 9 において、斜線の棒グラフは、加圧方向に直交する X Y 面内における収縮率を示し、白抜きの棒グラフは、加圧する Z 軸方向における収縮率を示す。図 1 0 は、実施形態 1 に係る通電焼結装置 1 b を用いた通電焼結方法において、焼結体を例示した断面図である。図 1 1 は、実施形態 1 に係る通電焼結装置 1 b を用いた通電焼結方法において、焼結体のミクロ組織を例示した断面図である。

【 0 0 6 9 】

図 8 に示すように、加圧成形ステップにおいて、2 5 0、5 0 0 及び 7 5 0 [M P a] の面圧で加圧することにより成形した圧粉体 1 5 の充填密度は、それぞれ、6 2 . 0、7 8 . 4 及び 8 2 . 2 [%] である。そのようにして成形した圧粉体 1 5 を焼結することにより形成した焼結体 1 7 の充填密度は、それぞれ、6 3 . 3、7 9 . 6 及び 8 4 . 8 [%] である。このように、本実施形態の通電焼結方法では、加圧成形ステップにおいて、粉末 1 0 の充填密度を、6 0 [%] 未満から 6 0 [%] 以上に变化させ、通電焼結ステップにおいて、粉末 1 0 の充填密度を、6 0 [%] 以上に保つ。

【 0 0 7 0 】

図 9 に示すように、加圧成形ステップにおいて、2 5 0 [M P a] の面圧で加圧することにより成形した圧粉体 1 5 の X Y 面及び Z 軸の収縮率は、それぞれ、0 . 4 0 及び 1 . 1 8 [%] である。加圧成形ステップにおいて、5 0 0 [M P a] の面圧で加圧することにより成形した圧粉体 1 5 の X Y 面及び Z 軸の収縮率は、それぞれ、0 . 4 9 及び 0 . 5 0 [%] である。加圧成形ステップにおいて、7 5 0 [M P a] の面圧で加圧することにより成形した圧粉体 1 5 の X Y 面及び Z 軸の収縮率は、それぞれ、0 . 6 9 及び 1 . 7 4 [%] である。このように、本実施形態の通電焼結方法では、5 0 0 [M P a] の場合はわずかであるが、総じて、Z 軸の収縮率は、X Y 面の収縮率よりも大きい。こうして、図 1 0 及び図 1 1 に示すように、良質な焼結体 1 7 を形成することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 1 】

次に、本実施形態の通電焼結装置 1 の効果を説明する。通電焼結装置 1 ~ 1 b は、表 1 に示す効果を有する通電焼結方法で、焼結体 1 7 を形成することができる。よって、通電焼結装置 1 ~ 1 b は、焼結体 1 7 の生産コストを低減させることができる。

【 0 0 7 2 】

また、通電焼結手段 2 0 は、上パンチ 1 3 及び下パンチ 1 2 を介して、圧粉体 1 5 に通電することができる。これにより、加圧成形から通電焼結に移行する時間を短縮することができる。一方、通電焼結手段 2 0 は、端子 2 6 及び端子 2 7 を介して、圧粉体 1 5 に通電することができる。これにより、上パンチ 1 3 及び下パンチ 1 2 を電流が流れることによる電流の損失を低下させるとともに、上パンチ 1 3 及び下パンチ 1 2 の寿命を向上させることができる。

10

【 0 0 7 3 】

本実施形態の通電焼結手段 2 0 は、通電焼結により、粉末 1 0 の各粒子を、各粒子間から発生する熱、各粒子の内部（粒子そのもの）から発生する熱、粒子の外部から伝熱により伝わる熱等により焼結させるので、粉末 1 0 の充填密度を、60 [%] 以上に保ちつつ、焼結体 1 7 を緻密化することができる。また、拡散接合させるので、粉末の充填密度を 60 [%] 以上に保ちつつ、多孔質体を形成することができる。また、比較例 2 の S P S 法と異なり、圧粉体 1 5 を加圧する圧力は、不可避な圧力以外において 0 [M P a] であるので、パンチ変位量を抑制し、焼結体 1 7 におけるパリの発生を抑制することができる。また、金型 1 1、上パンチ 1 3 及び下パンチ 1 2 の寿命を向上させることができる。

20

【 0 0 7 4 】

制御手段 2 3 によって、加圧成形手段 1 8、離型手段 1 9、通電焼結手段 2 0 等を制御することにより、通電焼結による焼結体 1 7 の形成を自動化することができる。よって、生産コストを低減させることができる。

【 0 0 7 5 】

（実施形態 2）

次に、実施形態 2 に係る通電焼結装置 2 を説明する。本実施形態の通電焼結装置は、加圧成形を行う部分と、通電焼結を行う部分と、を分けている。これにより、加圧成形及び通電焼結を並行して行うことができる。

【 0 0 7 6 】

図 1 2 は、実施形態 2 に係る通電焼結装置を例示した構成図である。図 1 2 に示すように、通電焼結装置 2 は、粉末充填部 3 1、加圧成形部 3 2、通電焼結部 3 3、排出部 3 4 及び搬送手段 3 5 を備えている。通電焼結部 3 3 は、加圧成形部 3 2 に並んで配置されている。粉末充填部 3 1 は、加圧成形部 3 2 と並んで配置されてもよいし、加圧成形部 3 2 と一体化してもよい。排出部 3 4 は、通電焼結部 3 3 と並んで配置されてもよいし、通電焼結部 3 3 と一体化してもよい。

30

【 0 0 7 7 】

また、通電焼結装置 2 は、チャンバー 2 1 を備えてもよい。チャンバー 2 1 の内部に、金型 1 1、下パンチ 1 2 及び上パンチ 1 3 が配置されてもよい。

【 0 0 7 8 】

粉末充填部 3 1 は、粉末充填手段 2 2 を有している。粉末充填部 3 1 において、粉末充填手段 2 2 は、粉末 1 0 を金型 1 1 に充填する。

40

【 0 0 7 9 】

加圧成形部 3 2 は、加圧成形手段 1 8 及び離型手段 1 9 を含んでいる。加圧成形部 3 2 において、加圧成形手段 1 8 は、金型 1 1 に充填させた粉末 1 0 を、上パンチ 1 3 及び下パンチ 1 2 を用いて加圧することにより、圧粉体 1 5 を成形する。また、加圧成形部 3 2 において、離型手段 1 9 は、金型 1 1 から圧粉体 1 5 を離型させる。

【 0 0 8 0 】

搬送手段 3 5 は、加圧成形部 3 2 から通電焼結部 3 3 に圧粉体 1 5 を搬送させる。搬送手段 3 5 は、例えば、圧粉体 1 5 を搬送する搬送ステージでもよいし、圧粉体 1 5 を搬送

50

するアームでもよい。搬送手段 3 5 は、通電焼結部 3 3 から排出部 3 4 に焼結体 1 7 を搬送させてもよい。

【 0 0 8 1 】

通電焼結部 3 3 は、通電焼結手段 2 0 を含んでいる。通電焼結部 3 3 において、通電焼結手段 2 0 は、金型 1 1 から離型させた圧粉体 1 5 を通電することにより、焼結体 1 7 を形成する。排出部 3 4 は、形成された焼結体 1 7 を通電焼結装置 2 から排出させる。通電焼結装置 2 は、加圧成形手段 1 8、離型手段 1 9、通電焼結手段 2 0 及び搬送手段 3 5 を制御する制御手段 2 3 をさらに備えてもよい。これにより、焼結体 1 7 の形成を自動化することができる。

【 0 0 8 2 】

次に、本実施形態の通電焼結装置 2 の動作を説明する。図 1 3 は、実施形態 2 に係る通電焼結装置の動作を例示したフローチャート図である。図 1 3 に示すように、通電焼結装置 2 は、圧粉体成形ステップ S 2 0 と、焼結体形成ステップ S 3 0 とを並行して行うことができる。圧粉体成形ステップ S 2 0 は、粉末充填ステップ S 2 1、加圧成形ステップ S 2 2、離型ステップ S 2 3 及び搬送ステップ S 2 4 を含んでいる。焼結体形成ステップ S 3 0 は、通電焼結ステップ S 3 1 及び排出ステップ S 3 2 を含んでいる。

【 0 0 8 3 】

圧粉体成形ステップ S 2 0 を説明する。図 1 3 の粉末充填ステップ S 2 1 において、粉末充填手段 2 2 は、粉末 1 0 を金型 1 1 に充填する。金型 1 1 は、金属を含む材料から構成され、一方及び他方が開口した筒状である。

【 0 0 8 4 】

次に、加圧成形ステップ S 2 2 において、加圧成形手段 1 8 は、金型 1 1 に充填させた粉末 1 0 を加圧することにより、圧粉体 1 5 を成形する。例えば、加圧成形手段 1 8 は、上パンチ 1 3 及び下パンチ 1 2 により、粉末 1 0 を加圧する。

【 0 0 8 5 】

次に、離型ステップ S 2 3 において、離型手段 1 9 は、金型 1 1 から圧粉体 1 5 を離型させる。例えば、離型手段 1 9 は、圧粉体 1 5 を金型 1 1、上パンチ 1 3 及び下パンチ 1 2 から外すことにより、圧粉体 1 5 を金型 1 1 から離型させる。

【 0 0 8 6 】

次に、搬送ステップ S 2 4 において、搬送手段 3 5 は、加圧成形部 3 2 から通電焼結部 3 3 に圧粉体 1 5 を搬送させる。

【 0 0 8 7 】

次に、ステップ S 2 5 において、圧粉体成形ステップ S 2 0 の処理を終了するか判断する。圧粉体成形ステップ S 2 0 をさらに継続させる場合には、ステップ S 2 1 に戻り、粉末充填ステップ S 2 1 ~ 搬送ステップ S 2 4 を継続させる。一方、ステップ S 2 5 において、圧粉体成形ステップ S 2 0 の処理を終了する場合には、処理を終了させる。

【 0 0 8 8 】

次に、焼結体形成ステップ S 3 0 を説明する。図 1 3 の通電焼結ステップ S 3 1 において、通電焼結手段 2 0 は、加圧成形部 3 2 から搬送された圧粉体 1 5 に通電することにより、焼結体 1 7 を形成する。例えば、通電焼結手段 2 0 は、端子 2 6 及び端子 2 7 を介して、搬送された圧粉体 1 5 に通電する。

【 0 0 8 9 】

次に、排出ステップ S 3 2 において、形成された焼結体 1 7 を排出する。次に、ステップ S 3 3 において、焼結体形成ステップ S 3 0 の処理を終了するか判断する。焼結体形成ステップ S 3 0 をさらに継続する場合には、ステップ S 3 1 に戻り、通電焼結ステップ S 3 1 ~ 排出ステップ S 3 2 を継続させる。一方、ステップ S 3 3 において、焼結体形成ステップ S 3 0 の処理を終了する場合には、処理を終了させる。このようにして、焼結体 1 7 を形成することができる。本実施形態の通電焼結方法では、加圧成形ステップ S 2 2 において、圧粉体 1 5 a を成形する際に、並行して、通電焼結ステップ S 3 1 において、圧粉体 1 5 a と異なる圧粉体 1 5 b に通電することにより、焼結体 1 7 を形成することがで

10

20

30

40

50

きる。具体的には、加圧成形手段 18 が圧粉体 15 a を成形する際に、並行して、通電焼結手段 20 は、圧粉体 15 b に通電することにより、焼結体 17 を形成することができる。

【0090】

次に、本実施形態の効果を説明する。本実施形態の通電焼結装置 2 は、加圧成形を行う加圧成形部 32 と、通電焼結を行う通電焼結部 33 と、を分けている。これにより、加圧成形による圧粉体 15 の成形と、通電焼結による焼結体 17 の形成と、を並行して行うことができる。よって、生産時間を短縮させることができる。

【0091】

また、加圧成形に用いる金型 11、上パンチ 13 及び下パンチ 12 と、通電焼結に用いる端子 26 及び端子 27 とを分けることができるので、各部材の寿命を向上させることができる。

10

【0092】

図 14 は、比較例 3 に係る S P S 装置を例示した構成図である。図 14 に示すように、S P S 装置 103 は、粉末充填部 331、予熱部 332、通電焼結部 333、冷却部 334 を有している。また、S P S 装置 103 は、複数の型セット 310 及び粉末充填手段 322 を有している。各型セット 310 は、カーボン型 314、上パンチ 313 及び下パンチ 312 を含んでいる。複数の型セット 310 は、粉末充填部 331 から冷却部 334 まで連続的に搬送され、粉末充填部 331、予熱部 332、通電焼結部 333 及び冷却部 334 の各部において、粉末充填処理、予熱処理、通電焼結処理及び冷却処理が行われる。粉末充填部 331 から冷却部 334 までの各部では、常時、1 つ以上の型セット 310 に

20

【0093】

比較例 3 の S P S 装置 103 は、粉末充填処理、予熱処理、通電焼結処理及び冷却処理を連続的に行うことができ、焼結体 317 の生産時間をある程度短縮させることができる。しかしながら、比較例 3 の S P S 装置 103 は、高価なカーボン型 314 を多数用意しなければならないので、生産コストが増大する。

【0094】

一方、本実施形態の通電焼結装置 2 は、高価なカーボン型 314 を必要としない。また、1 つの金型 11 で、複数の圧粉体 15 を成形することができる。よって、生産コストを抑制することができる。さらに、通電焼結の際には、圧粉体 15 を金型 11 から離型するので、金型 11 の寿命を向上させ、生産コストをさらに低減させることができる。これ以外の効果は、実施形態 1 の記載に含まれている。

30

【0095】

以上、本発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記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で種々変更可能であることはいうまでもない。

【符号の説明】

【0096】

1、1 a、1 b、2 通電焼結装置

10 粉末

40

11 金型

12 下パンチ

13 上パンチ

15、15 a、15 b 圧粉体

17 焼結体

18 加圧成形手段

19 離型手段

20 通電焼結手段

21 チャンバー

22 粉末充填手段

50

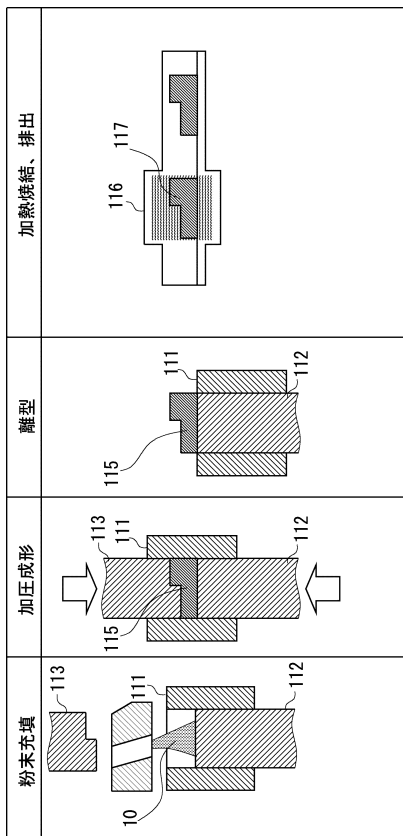
- 2 3 制御手段
- 2 4、2 5 電極
- 2 6、2 7 端子
- 3 1 粉末充填部
- 3 2 加圧成形部
- 3 3 通電焼結部
- 3 4 排出部
- 3 5 搬送手段
- 1 0 3 S P S 装置
- 1 1 1 金型
- 1 1 2 下パンチ
- 1 1 3 上パンチ
- 1 1 5 圧粉体
- 1 1 6 焼結炉
- 1 1 7 焼結体
- 2 1 2 下パンチ
- 2 1 3 上パンチ
- 2 1 4 カーボン型
- 2 1 7 焼結体
- 3 1 0 型セット
- 3 2 2 粉末充填手段
- 3 3 1 粉末充填部
- 3 3 2 予熱部
- 3 3 3 通電焼結部
- 3 3 4 冷却部

10

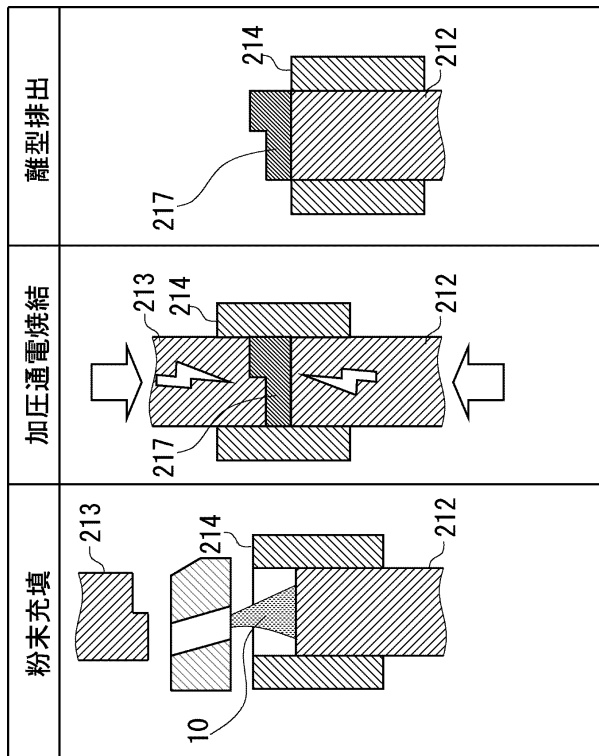
20

【図面】

【図 1】



【図 2】

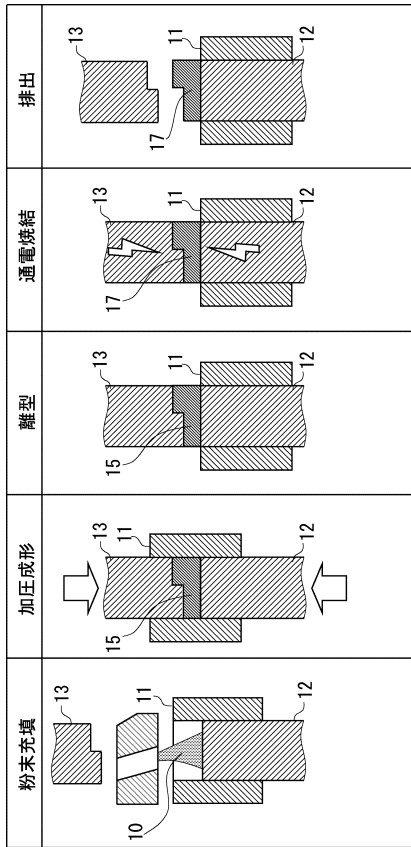


30

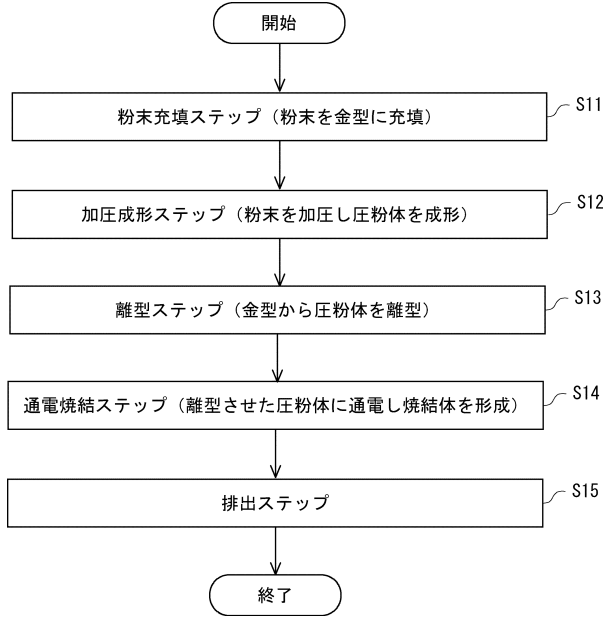
40

50

【図3】



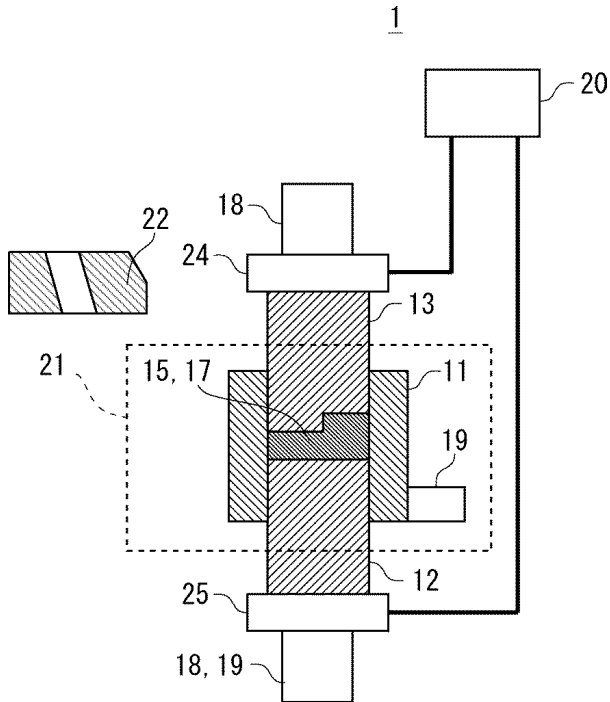
【図4】



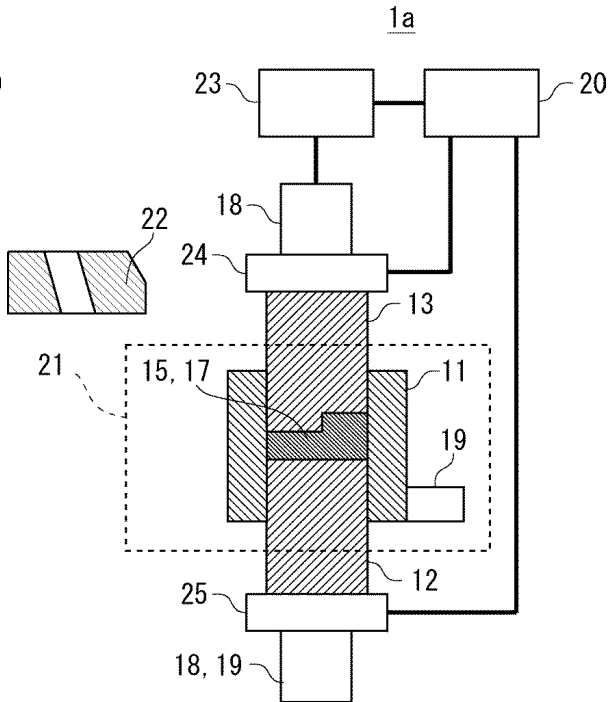
10

20

【図5】



【図6】

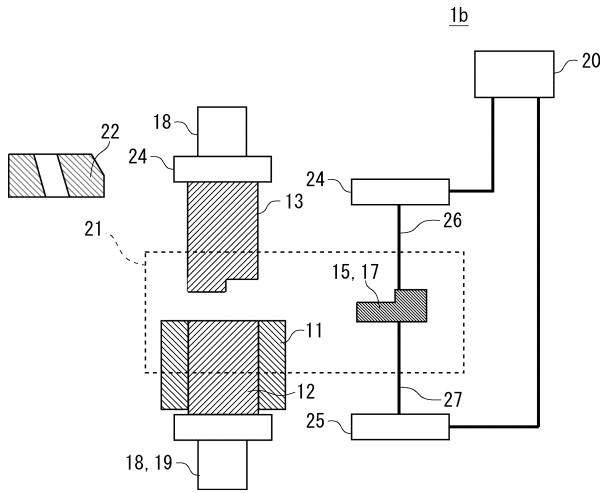


30

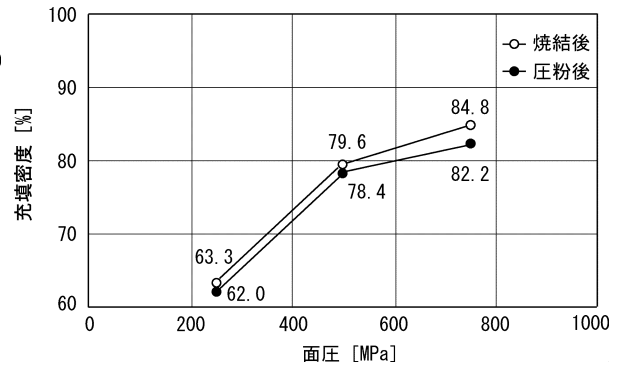
40

50

【図7】

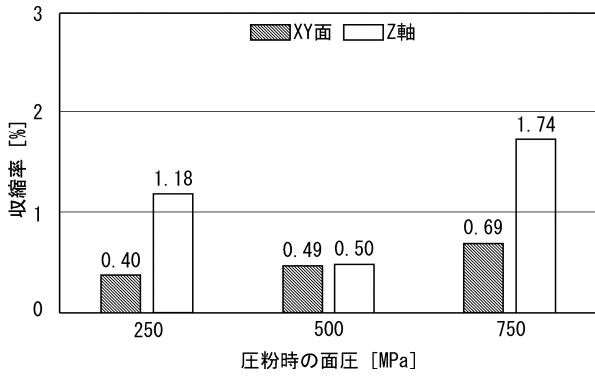


【図8】

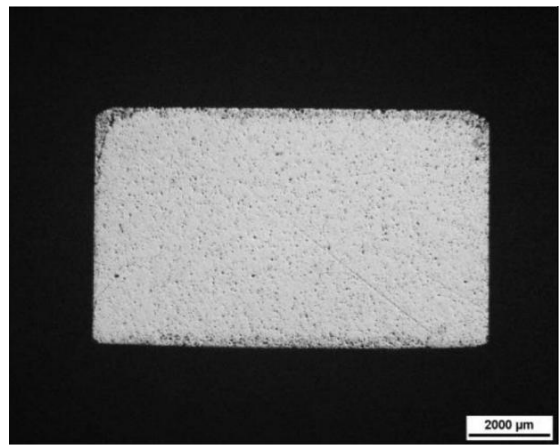


10

【図9】



【図10】



20

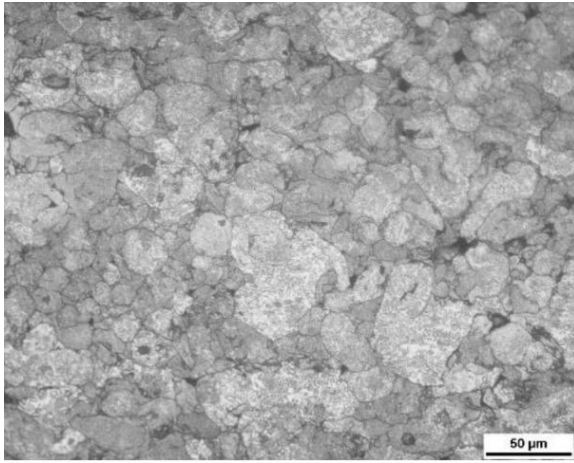
2000 [μm]

30

40

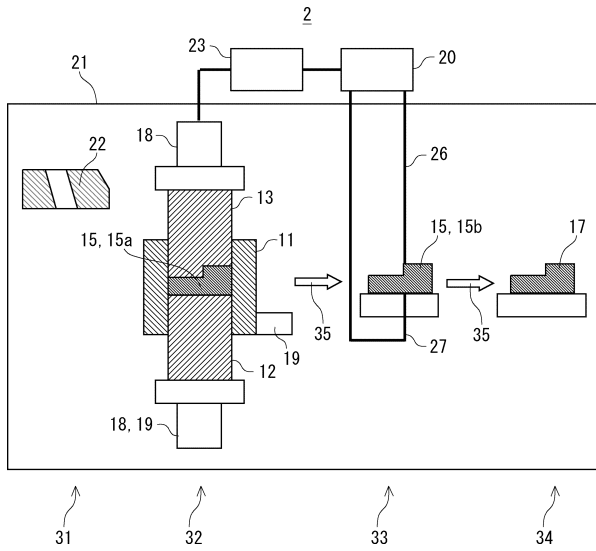
50

【図 1 1】



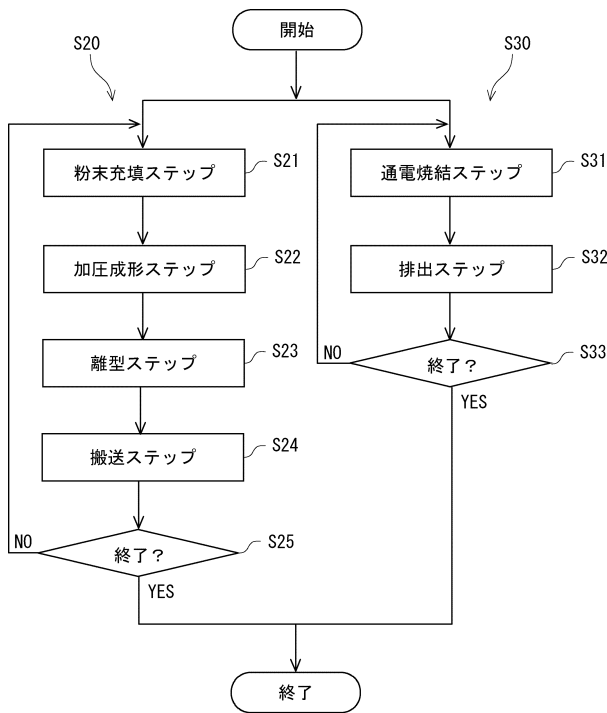
50 [μm]

【図 1 2】

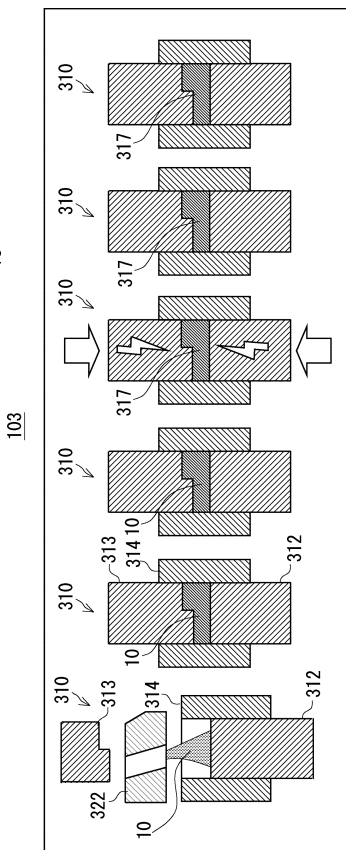


10

【図 1 3】



【図 1 4】



20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭58-130202(JP,A)
中国特許出願公開第1482269(CN,A)
特開2018-021262(JP,A)
特開2001-329303(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
B22F 1/00-12/90