

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7592896号
(P7592896)

(45)発行日 令和6年12月2日(2024.12.2)

(24)登録日 令和6年11月22日(2024.11.22)

(51)国際特許分類		F I		
B 2 2 D	19/00 (2006.01)	B 2 2 D	19/00	Y
H 0 1 F	5/00 (2006.01)	H 0 1 F	5/00	F
B 2 2 D	25/02 (2006.01)	B 2 2 D	25/02	Z
B 2 2 F	10/22 (2021.01)	B 2 2 F	10/22	
請求項の数 20 (全38頁)				
(21)出願番号	特願2023-571469(P2023-571469)	(73)特許権者	523432612	
(86)(22)出願日	令和4年5月19日(2022.5.19)		マグナス メタル リミテッド	
(65)公表番号	特表2024-519048(P2024-519048 A)		Magnus Metal Ltd.	
(43)公表日	令和6年5月8日(2024.5.8)		イスラエル国 レヴァディム 7 9 8 2 0	
(86)国際出願番号	PCT/IB2022/054669		0 0 , レヴァディム インダストリアル	
(87)国際公開番号	WO2022/243921	(74)代理人	110001302	
(87)国際公開日	令和4年11月24日(2022.11.24)		弁理士法人北青山インターナショナル	
審査請求日	令和6年1月19日(2024.1.19)	(72)発明者	ヴァイツ, エミール	
(31)優先権主張番号	283302		イスラエル国 モディ ' イン-マッカビム	
(32)優先日	令和3年5月19日(2021.5.19)		-ロイト 7 1 7 4 2 6 6 , ナハル ダリ	
(33)優先権主張国・地域又は機関	イスラエル(IL)	(72)発明者	ア ストリート 3 5 / 5	
早期審査対象出願			シェイナー, デビッド	
			イスラエル国 サヴィヨン 5 6 9 0 5 0	
			0 , ハイラス ストリート 7	
			最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 付加的金属鑄造システムおよび装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

縦スタックを形成する複数の生産層を構成することによって金属物体を鑄造するための鑄造システムであって、前記複数の生産層が金型領域を有し、前記複数の生産層が、前記金型領域によって画定される物体領域を有し、現在の生産層が前記縦スタックの前の生産層の上面上に構成される、鑄造システムにおいて、

前記現在の生産層の金型領域を構成するように動作する金型構成ユニットと、

準備－堆積－後処置（PDP）ユニットであって、

前記現在の生産層の前記金型領域によって画定される物体領域内に溶融金属を堆積するように動作する溶融金属デポジタ、

前記溶融金属デポジタに取り付けられた、前記溶融金属デポジタを保持するホルダ、

前記ホルダに取り付けられた少なくとも1つの誘導加熱ユニットを含む、準備－堆積－後処置（PDP）ユニットと、

生産層の前記縦スタックを支持する構築テーブルと、

前記PDPユニットと前記構築テーブルとの間の進行方向に沿った相対移動を提供する可動プラットフォームと、

前記現在の生産層の前記物体領域の作成エリア内に溶融金属を堆積するように、前記PDPユニットおよび前記可動プラットフォームを制御するとともに、

（1）溶融金属堆積前に前記作成エリアを堆積前温度まで予熱すること、および

（2）溶融金属堆積後に前記作成エリアを堆積後温度まで後加熱すること、

のうち少なくとも一方を実施するように、前記PDPユニットを制御する、コントローラとを備える、鑄造システム。

【請求項2】

前記コントローラが、前記少なくとも1つの誘導加熱ユニットを制御して、前記溶融金属デポジタの一部分を加熱するように動作する、請求項1に記載の鑄造システム。

【請求項3】

前記コントローラが、前記少なくとも1つの誘導加熱ユニットを制御して、前記作成エリア内の金属の上面に溶融プールを作るように動作する、請求項1に記載の鑄造システム。

【請求項4】

前記コントローラが、前記少なくとも1つの誘導加熱ユニットを制御して、

- (1) 前記溶融プールの熱パラメータ、
- (2) 前記作成エリアの熱パラメータ、および
- (3) 前記作成エリアの冷却プロファイル

のうち1つまたは複数に影響を及ぼすように動作する、請求項3に記載の鑄造システム。

【請求項5】

前記少なくとも1つの誘導加熱ユニットが、前記進行方向に対して先行区画および追従区画を有し、前記進行方向に沿って、前記先行区画が溶融金属堆積前に前記作成エリアを予熱するように動作し、前記追従区画が溶融金属堆積後に前記作成エリアを後加熱するように動作する、請求項1に記載の鑄造システム。

【請求項6】

前記コントローラが、作成エリアの上方における前記PDPユニットの作業距離を変更するように動作し、前記作成エリアに対応する前記作業距離が前記金型領域の高さよりも長い、請求項1に記載の鑄造システム。

【請求項7】

前記コントローラが、

- (1) 前記溶融金属デポジタ、
- (2) 前記ホルダ、および
- (3) 前記少なくとも1つの誘導加熱ユニット

のうち1つまたは複数の、前記作成エリアの上方における作業距離を変更するように動作する、請求項1に記載の鑄造システム。

【請求項8】

前記少なくとも1つの誘導加熱ユニットが、

- (1) 円形の平面形状、
- (2) 長軸が前記進行方向に平行である楕円形の平面形状、
- (3) 長軸が前記進行方向に垂直である楕円形の平面形状、
- (4) 動作中、円錐頂点が円錐基部よりも前記作成エリアの近くにあるように配向された、円錐の形状

から成る群から選択された形状を有する磁気誘導コイルを備える、請求項1に記載の鑄造システム。

【請求項9】

前記少なくとも1つの誘導加熱ユニットが、前記少なくとも1つの誘導加熱ユニットの第1の部分では巻線の第1の密度を有し、前記少なくとも1つの誘導加熱ユニットの第2の部分では前記第1の密度よりも高い巻線の第2の密度を有する、複数の巻線を含む磁気誘導コイルを備える、請求項1に記載の鑄造システム。

【請求項10】

前記少なくとも1つの誘導加熱ユニットが、動作中、前記構築テーブルに垂直であるか、または前記構築テーブルに対して所定の角度で傾けられる、中心軸を有する、請求項1に記載の鑄造システム。

【請求項11】

前記コントローラが、前記少なくとも1つの誘導加熱ユニットに電力を提供するように

10

20

30

40

50

動作し、電力を提供することが、電流、電圧、極性、タイミング、デューティサイクル、力率、交流電流周波数、および交流電流位相のうち少なくとも1つを制御することを含む、請求項1に記載の鑄造システム。

【請求項12】

前記溶融金属デポジタが、

(1) 金属ロッドであって、前記少なくとも1つの誘導加熱ユニットが前記金属ロッドの先端を溶融するように動作する、金属ロッド、および

(2) 溶融金属を包含するように動作し、前記少なくとも1つの誘導加熱ユニットが前記溶融金属を溶融状態で維持するように動作する、るつぼから成る群から選択された溶融金属源を含む、請求項1に記載の鑄造システム。

10

【請求項13】

溶融金属を前記溶融金属デポジタに提供する溶融金属フィーダをさらに備える、請求項1に記載の鑄造システム。

【請求項14】

生産層作成中は、前記構築テーブルと、前記金型構成ユニットと、前記PDPユニットとを受け入れる、製造チャンバをさらに備え、生産層作成が、金型領域構成、溶融金属堆積、予熱、および後加熱を含み、前記コントローラが、前記現在の生産層の厚さに従って、前記製造チャンバに対する前記構築テーブルの高さを変更するように動作する、請求項1に記載の鑄造システム。

【請求項15】

前記製造チャンバが、金型領域製造中は第1の温度で、溶融金属堆積中は、前記第1の温度とは異なる第2の温度で維持される、請求項14に記載の鑄造システム。

20

【請求項16】

前記作成エリアが、PDPユニット動作の間、製造チャンバ内の不活性大気環境で維持される、請求項1に記載の鑄造システム。

【請求項17】

溶融金属デポジタ、PDPユニットのホルダ、および前記ホルダに取り付けられた少なくとも1つの誘導加熱ユニットを有する、準備-堆積-後処理(PDP)ユニットを使用して、構築計画に従って構築テーブル上に縦スタックを形成する複数の生産層を連続して構成することによって金属物体を鑄造し、前記複数の生産層が金型領域を有し、前記複数の生産層が、前記金型領域によって画定される物体領域を有する、鑄造方法であって、

30

前記構築計画に従って、現在の生産層の物体領域を画定する、前記現在の生産層の金型領域を構成することと、

前記PDPユニットと前記構築テーブルとの間の相対移動を提供することと、

前記少なくとも1つの誘導加熱ユニットに電力を提供することと、を含み、前記電力を提供することが、

前記溶融金属デポジタを加熱して、溶融金属を前記物体領域内の作成エリア上に堆積するため、ならびに

溶融金属を堆積する前に、前の生産層の物体領域内のエリアを第1の温度まで予熱すること、および

40

溶融金属を堆積した後に、前記現在の生産層の前記物体領域内のエリアを第2の温度まで後加熱すること

のうち少なくとも一方を実施するためである、鑄造方法。

【請求項18】

電流、電圧、極性、タイミング、デューティサイクル、力率、交流電流周波数、および交流電流位相

のうち少なくとも1つを制御することによって、電力の提供を制御すること、をさらに含む、請求項17に記載の鑄造方法。

【請求項19】

電力を提供することが、

50

前記前の生産層の前記物体領域内の前記エリアを予熱するための第1の電力レベルを提供すること、

前記溶融金属デポジタ内の金属を溶融するための第2の電力レベルを提供すること、
任意に、前記現在の生産層の前記物体領域内の前記エリアを後加熱するための第3の電力レベルを提供すること

を含む、請求項17に記載の製造方法。

【請求項20】

前記溶融金属デポジタの垂直移動を提供し、前記溶融金属デポジタと前の生産層の前記物体領域との間の距離を制御すること、

必要な溶融金属堆積速度を決定すること、

前記PDPユニットと前記構築テーブルとの間の相対移動の速度および方向のうち少なくとも1つを制御すること、

溶融金属堆積プロファイルを設定し、前記溶融金属堆積プロファイルに基づいて、前記溶融金属デポジタの垂直位置、前記溶融金属デポジタの速度、および前記少なくとも1つの誘導加熱ユニットに提供される電力レベルのうち少なくとも1つを制御すること、

前記溶融金属デポジタの一部分の温度を測定し、測定された前記温度に基づいて、前記溶融金属デポジタの前記垂直位置、前記溶融金属デポジタの速度、および前記少なくとも1つの誘導加熱ユニットに提供される電力レベルのうち少なくとも1つを制御すること、

前に生産された層の予熱中の予熱エリアの幅が、予熱ラインの上に生産された溶融金属ラインの幅よりも幅広であるようにして、前記前に生産された層の前記物体領域内のエリアを予熱すること

のうち1つまたは複数を含み、請求項17に記載の製造方法。

【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、2021年5月19日に提出されたIL特許出願第283302号（2021年11月29日付けで差替え明細書を提出した）の優先権を主張し、それら両方を参照により本明細書に組み込む。

【0002】

本発明は、全体として金属製造に関し、特に、付加的金属製造の装置に関する。

【背景技術】

【0003】

製造金属製品に対する需要のほとんどは、現在、完全な金型を生産し、その後に金型キャビティに溶融金属を充填することを伴う、従来の製造技法によって満たされている。場合によっては、金型の生産は、金型を作る元となる製造パターンを作成することを含む。

【0004】

従来の金属製造に関する課題

製造パターンおよび金型の生産および管理は、従来の製造のコストおよびターンアラウンドタイムに大幅に寄与する。パターンおよび金型の作成はどちらも高価であってかつ時間がかかり、進行中の製造作業にそれらを使用することで、金型およびパターンの洗浄、保守管理、修理、および再調整が必要になる。

【0005】

パターンおよび金型の長期保管および在庫は、さらに顕著な費用および管理の負担を招く可能性がある。この労力は、特定の製造金属部品を大規模生産する場合は正当化されることがあるが、アフターサービス市場の状況では、その特定の部品に対する市場需要が縮小すると、その部品の生産に対して金型およびパターンを維持する進行中のオーバーヘッドを正当化するのが困難なことがある。部品の製造を継続するのが非常に高価になると、その部品の交換可能性は、一般的に既存の在庫に限定されるようになる。

【0006】

10

20

30

40

50

従来の金型ベースの鋳造にはさらなる欠点がある。大型のまたは複雑な鋳造は、複数の注入カップ、ランナー、ライザー、および延長部を含む金型を要する場合が多く、これらが相当な比率の余分な金型容積となり、多くの場合、これが鋳造に必要な溶融金属の量を50%程も増加させる場合がある。余分な金属は通常、再溶融され再使用され得るが、余分な金属を溶融させるのに費やされるエネルギーは無駄である。従来の鋳造の別の不利な点は、特に大型のまたは複雑な部品が常に単一片で鋳造できるわけではなく、それにより、鋳造後により小さい部品と一緒に溶接および／またはボルト固定するのが必要な点である。

【0007】

従来の鋳造のさらなる不利な点は、多量の溶融金属を扱い操作するプロセス、必要な高温、および一般的にプロセスに伴う有毒な煙に特有の、産業的な安全上の危険に関する。製造者に直接影響する安全上の危険とともに、汚染および他の有害な環境上の影響の課題もあり、それらはすべて、広範囲におよび長期にわたる帰結を有する可能性がある。

【0008】

付加的金属鋳造の利点

従来の鋳造における上述の限定は、直接付加的金属鋳造に関する様々な技法を開発する動機となってきた。付加的金属鋳造は、上述したようなパターンおよび金型と関連付けられた問題および制限がなくなる可能性があり、溶融金属を、封じられた局所環境内でより簡単に管理される量および範囲に制約して、安全性を改善し、環境上の危険の影響を最小限に抑える見込みがある。

【0009】

現行の付加製造システムは、中でも特に、以下の出版物において記載されている。「Shape Deposition Manufacturing」、Merzら、1994 International Solid Freeform Fabrication Symposium予稿集、1～8ページ；「Shape deposition manufacturing of heterogeneous structures」、Weissら、Journal of Manufacturing Systems、第16巻、4号、1997、239～248ページ；および「Shape Deposition Manufacturing With Microcasting: Processing, Thermal and Mechanical Issues」、Amonら、Journal of Manufacturing Science and Engineering、Transactions of the ASME、1998年8月、120(3)、656～665ページ。さらに関心が持たれるのは、ウィーン工科大学(Technical University of Vienna)の発表博士論文(英語)、Robert Merz、タイトル「Shape Deposition Manufacturing」、1994年5月である。

【0010】

現行の付加的金属鋳造技術の欠点

従来の鋳造の金型およびパターンに関連する問題を解決する可能性があるものの、現行の付加的金属鋳造技術は、それ自体に制約および限定がある。

【0011】

限定されたスループット、鋳造サイズ、および製品品質の課題

製造フローに関して、現行の付加的金属鋳造技法は、一般的にスループットが限定されており、大きい部品サイズおよび質量へとスケールアップするのは困難なことが証明されている。

【0012】

加えて、上記に列挙したMerzの論文に示されているように、現行の付加的金属製造は、高頻度で見られる巨視的空隙を含む、鋳造欠陥によって特徴付けられる場合が多い。かかる欠陥は、付加的鋳造製品を多くの用途に使用するのに適さないものにする。

【0013】

10

20

30

40

50

金属および金属源に対する制限

現在、金属付加的製造は、一般に、レーザーおよび電子ビームを利用する、直接堆積技術および粉末床溶融結合技術に基づいている。現在使用されているのは次の技術である。レーザー系粉末床溶融結合、レーザー粉末堆積、電子ビーム粉末床溶融結合、ワイヤ放電／プラズマアーク堆積、ワイヤ電子堆積、指向性エネルギー堆積（DED）、および結合剤噴射。他の直接堆積および焼結系技術が、開発および採用の初期段階で利用可能である。しかしながら、これらの技術は、低融点金属に限定される場合が多く、場合によっては、メーカーが使い慣れた原材料金属在庫から金属粉末系の材料源へと切り替える必要がある。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

したがって、上述の限定を克服し、より高融点の金属源在庫の確立され保証された材料源に基づいて、高品質で均一な鑄造金属製造において経済的で効率的なスループットを容易にする、付加的金属鑄造システムおよび装置が必要とされている。これらの目標は本発明によって満たされる。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明の実施形態によれば、生産層の縦スタックを形成する一連の生産層を構成することによって、金属物体を鑄造する鑄造システムであって、一連の生産層のうちのいくつかの生産層が金型領域を有し、一連の生産層のうちのいくつかの生産層が、金型領域によって画定される物体領域（溶融金属堆積のための領域、または固化されている溶融金属が前に堆積された領域）を有し（即ち、物体領域は金型領域内の金型キャビティの表面によって画定される）、現在の生産層（即ち、現在作成されている生産層）が縦スタック内の前の生産層の上面（即ち、前に作成された生産層の上面）上に構成される、鑄造システムが提供され、システムは、現在の生産層の金型領域を構成するように動作する金型構成ユニットと、現在の生産層の金型領域によって画定される物体領域内に溶融金属を堆積するように動作する溶融金属デポジタ、溶融金属デポジタに取り付けられた、溶融金属デポジタを保持するホルダ、およびホルダに取り付けられた少なくとも1つの誘導加熱ユニットを含む、準備—堆積—後処置（PDP）ユニットと、生産層の縦スタックを支持する構築テーブルと、PDPユニットと構築テーブルとの間の進行方向に沿った相対移動を提供する可動プラットフォームと、現在の生産層の物体領域の作成エリア内に溶融金属を堆積するように、PDPユニットおよび可動プラットフォームを制御するとともに、溶融金属堆積前に作成エリアを堆積前温度まで予熱すること、および溶融金属堆積後に作成エリアを堆積後温度まで後加熱することのうち少なくとも一方を実施するように、PDPユニットを制御する、コントローラと、を含む。

【0016】

本明細書に記載する他の実施形態と組み合わせることができる、本発明のいくつかの実施形態によれば、システムはさらに、前の生産層の物体領域内の溶融エリアおよび現在の生産層の物体領域内のエリアの固化パラメータに影響を及ぼす、予熱、加熱、および後加熱を実施するように誘導加熱ユニットを制御する、コントローラを含む。

【0017】

関連する実施形態では、システムはさらに、現在の生産層の物体領域内のエリアを冷却するパラメータに影響を及ぼす、予熱、加熱、および後加熱を実施するように誘導加熱ユニットを制御する、コントローラを含む。

【0018】

誘導加熱ユニットは、進行方向に対して先行区画および追従区画を有し、進行方向に沿って、先行区画が前の生産層の物体領域内の作成エリアを予熱してもよく、追従区画が現在の生産層の物体領域内の作成エリアを後加熱する、単一の誘導加熱コイルを含んでもよい。

10

20

30

40

50

【0019】

関連する実施形態によれば、誘導加熱ユニットは、実質的に平面の円形状を有する少なくとも1つのコイルを有する。

【0020】

誘導加熱ユニットは、長軸が進行方向に平行である実質的に平面の楕円形状を有してもよい。誘導加熱ユニットは、長軸が進行方向に垂直である実質的に平面の楕円形を有してもよい。

【0021】

誘導加熱ユニットは、付加的鑄造システムの動作中、円錐頂点が円錐基部よりも作成エリアの近くにあるように配向された、実質的に円錐の形状を有してもよい。

【0022】

本明細書に記載する他の実施形態と組み合わせることができる、本発明のいくつかの実施形態によれば、誘導加熱ユニットは、1つまたは複数の誘導加熱コイル巻線を含み、各コイル巻線は複数の巻回を含んでもよい。誘導加熱ユニットは、誘導加熱コイルの第1の部分では巻回の第1の密度（単位距離当たりの巻回数）を有し、誘導加熱コイルの第2の部分では第1の密度よりも高い巻回の第2の密度を有する、複数の巻線を含んでもよい。

【0023】

誘導加熱ユニットは、構築テーブルに垂直な中心軸を有してもよい。誘導加熱ユニットは、付加的鑄造システムの動作中、構築テーブルに対してある角度で傾けられてもよい。

【0024】

いくつかの実施形態はさらに、誘導加熱ユニットに対する電力の提供を制御するコントローラを含み、電力の提供を制御することは、電流レベル、電流振幅、電流極性、タイミング、持続時間、交流電流（AC）周波数、およびAC位相のうち少なくとも1つを制御することを含む。

【0025】

本明細書に記載する他の実施形態と組み合わせることができる、様々な実施形態では、溶融金属ユニットは金属ロッドを含み、誘導加熱はロッドの先端を溶融する。本明細書に記載する他の実施形態と組み合わせることができる、本発明のいくつかの実施形態では、溶融金属ユニットは、誘導加熱ユニットによって加熱され溶融された金属を包含するつばを特徴とする。

【0026】

可動プラットフォームは、PDPユニットを移動させる可動ユニット、および構築テーブルを移動させるように構成された可動支持体のうち少なくとも1つを含んでもよい。

【0027】

ホルダは、溶融金属デポジタを回転させる回転ユニットを含んでもよい。ホルダは、鑄造システムの動作中、金属源ロッドを垂直軸で移動させるアクチュエータを含んでもよい。ホルダは溶融金属デポジタ（ホルダに取り付けられる）を保持するだけでなく、ホルダは、1つまたは複数の誘導加熱ユニットを含むPDPユニットに取り付けられもするという点に注目することが重要である。つまり、溶融金属デポジタはホルダを介して誘導加熱ユニットに物理的に接続される。したがって、溶融金属デポジタおよび誘導ヒータは、ホルダによって接合されてともに移動する。

【0028】

関連する実施形態は、新しい溶融金属を溶融金属デポジタに提供する溶融金属フィーダを提供する。

【0029】

金型構成ユニットは、構築計画によって予め画定された生産層の金型領域内に金型材料を付加的堆積する、金型堆積ユニットと流体接続された未硬化金型材料の金型材料リザーバを有する金型堆積ユニットであってもよい。

【0030】

本明細書に記載する他の実施形態と組み合わせることができる、本発明のいくつかの実

10

20

30

40

50

施形態では、金型構成は、遠隔で構成された金型構成要素のリザーブを包含し、金型構成要素をリザーブから構築計画によって予め画定された生産層内の金型領域まで移送する金型移送ユニットを含む、金型構成ユニットによって達成される。

【0031】

システムはさらに、構築テーブルと、少なくとも物体領域製造中はPDPユニット、金型領域構成中は金型構成ユニットとを受け入れる、製造チャンバを含んでもよい。製造チャンバは、物体領域製造中は第1の温度で、金型領域構成中は、第1の温度とは異なる第2の温度で維持されてもよい。関連する実施形態では、製造チャンバは不活性雰囲気環境を提供する。

【0032】

製造エリアは、物体領域製造中は不活性環境として維持されてもよい。

【0033】

本発明の別の態様によれば、構築計画に従って構築テーブル上に生産層を付加して構成することによって、物体を鑄造する方法であって、生産層が金型領域によって画定された物体領域を有する、方法が提供され、方法は、溶融金属デポジタ、溶融金属デポジタを保持するホルダ、およびホルダに接続された誘導加熱ユニットを有する、準備—堆積—後処理（PDP）ユニットを用いて、構築計画に従って、現在の生産層の金型領域を構築テーブル上に構成することと、その後、PDPユニットと構築テーブルとの間の相対移動を提供しながら、現在の生産層の物体領域内の作成エリア内に金属を堆積するのに、溶融金属デポジタの一部分を加熱するため、また前の生産層の物体領域内のエリアを第1の温度まで予熱すること、および現在の生産層の物体領域内のエリアを第2の温度まで後加熱することのうち少なくとも一方を実施するため、電力を誘導コイルに提供することと、を含む。

【0034】

方法はさらに、構築計画に従って、構成、予熱、加熱、および後加熱を繰り返すことを含んでもよい。

【0035】

構成することは、金型材料を金型材料のリザーバから、金型材料リザーバと流体接続された金型堆積ユニットによって堆積することを含んでもよい。構成することは、遠隔で作成された金型構成要素を、遠隔で作成された金型構成要素のリザーブから金型移送ユニットによって、構築計画によって予め画定された生産層内の金型領域まで移送することを含んでもよい。

【0036】

方法はさらに、電流レベル、電流振幅、出力レベル、電流極性、タイミング、デューティサイクル、力率、交流電流（AC）周波数、および交流電流（AC）位相のうち少なくとも1つを制御することによって、電力の提供を制御することを含んでもよい。

【0037】

電力を提供することは、任意に、前の生産層の物体領域内のエリアを予熱するための第1の電力レベルを提供することと、溶融金属デポジタの一部分内の金属を溶融するための第2の電力レベルを提供することと、任意に、現在の生産層の物体領域内のエリアを後加熱するための第3の電力レベルを提供することと、を含んでもよい。

【0038】

第1の電力レベルは、前の生産層の物体領域内のエリアを第1の温度まで加熱するのに必要な電磁（EM）エネルギーに基づいて決定されてもよく、第2の電力レベルは、溶融金属デポジタの一部分内の金属を溶融するのに必要なEMエネルギーに基づいて決定されてもよく、第3の電力レベルは、現在の生産層の物体領域内のエリアを加熱するのに必要なEMエネルギーに基づいて決定されてもよい。

【0039】

方法はさらに、溶融金属デポジタに対して垂直移動を提供し、溶融金属デポジタと前の生産層の物体領域との間の作業距離を制御すること（本発明の様々な実施形態によれば、コントローラは、作業距離が現在の生産層の金型領域の高さよりも長いことを担保するよ

10

20

30

40

50

うに、PDPユニットの相対位置を変更し、ならびに生産層の厚さに従ってPDPユニットの相対位置を変更することができる）と、必要な溶融金属堆積速度を決定することと、PDPユニットと構築テーブルとの間における相対移動の速度および方向のうち少なくとも1つを制御することと、溶融金属堆積プロファイルを設定し、溶融金属堆積プロファイルに基づいて、溶融金属デポジタの垂直位置、溶融金属デポジタの速度、および誘導加熱ユニットに提供される電力レベルのうち少なくとも1つを制御することと、溶融金属デポジタの一部分の温度を測定し、測定された温度に基づいて、溶融金属デポジタの垂直位置、溶融金属デポジタの速度、および誘導加熱ユニットに提供される電力レベルのうち少なくとも1つを制御することと、前に鑄造された金属層の予熱中に誘導加熱ユニットによって形成される予熱エリアの幅が、予熱ラインの上に鑄造された溶融金属ラインの幅よりも5%～50%幅広であるように、前の生産層の物体領域内のエリアを加熱することと、のうち1つまたは複数を含んでもよい。

10

【0040】

本発明としてみなされる主題は、本明細書の結論部分において特定して指摘され明確に請求される。しかしながら、本発明は、機構および動作方法の両方に関して、それらの目的、特徴、および利点とともに、以下の詳細な記載を添付図面と併せ読むことによって最も良く理解することができる。

【図面の簡単な説明】

【0041】

【図1A】図1Aは、本発明のいくつかの実施形態による付加的鑄造システムを示す図である。

20

【図1B】図1Bは、本発明のいくつかの実施形態による図1Aの付加的鑄造システムを示すブロック図である。

【図2A】図2Aは、本発明のいくつかの実施形態によるコイル配置を示す図である。

【図2B】図2Bは、本発明のいくつかの実施形態によるコイル配置を示す図である。

【図2C】図2Cは、本発明のいくつかの実施形態によるコイル配置を示す図である。

【図2D】図2Dは、本発明のいくつかの実施形態によるコイル配置を示す図である。

【図3A】図3Aは、本発明のいくつかの実施形態による付加的鑄造システムを示す図である。

【図3B】図3Bは、本発明のいくつかの実施形態による図3Aの付加的鑄造システムを示すブロック図である。

30

【図4A】図4Aは、本発明のいくつかの実施形態による金属物体の付加的鑄造の方法を示すフローチャートである。

【図4B】図4Bは、本発明のいくつかの実施形態による金属物体の付加的鑄造の方法を示すフローチャートである。

【図5】図5は、本発明のいくつかの実施形態による金属物体の付加的鑄造のシステムを制御する方法を詳細に示すフローチャートである。

【図6A】図6Aは、本発明の実施形態に従って製造された鑄造物体の切取り試験片に対して実施した冶金評価の結果を示す図である。

【図6B】図6Bは、本発明の実施形態に従って製造された鑄造物体の切取り試験片に対して実施した冶金評価の結果を示す図である。

40

【図6C】図6Cは、本発明の実施形態に従って製造された鑄造物体の切取り試験片に対して実施した冶金評価の結果を示す図である。

【図6D】図6Dは、本発明の実施形態に従って製造された鑄造物体の切取り試験片に対して実施した冶金評価の結果を示す図である。

【図6E】図6Eは、本発明の実施形態に従って製造された鑄造物体の切取り試験片に対して実施した冶金評価の結果を示す図である。

【図6F】図6Fは、本発明の実施形態に従って製造された鑄造物体の切取り試験片に対して実施した冶金評価の結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

50

【0042】

例証を単純かつ明瞭にするため、図面に示される要素は必ずしも縮尺通りに描かれていないことが認識されるであろう。例えば、明瞭にするため、一部の要素の寸法が他の要素よりも誇張されていることがある。さらに、適切とみなされる場合、対応する要素または類似の要素を示すのに図面中で参照番号が繰り返し用いられることがある。

【0043】

以下の詳細な説明では、本発明の完全な理解を提供するために、多数の具体的な詳細について概説する。しかしながら、本発明はこれらの具体的な詳細なしで実施されてもよいことが、当業者には理解されるであろう。他の例では、良く知られている方法、手順、および構成要素については、本発明が不明瞭にならないよう、詳細には記載していない。

10

【0044】

金属付加製造の方策は、完成部品の解像度および精度が高い複雑な設計を可能にすること、金型準備および使用の必要性をなくすこと、リードタイムを促進すること、ならびに製造の安全性を向上することを目標とする。

【0045】

本発明の実施形態によれば、デジタル的に計画され制御される付加的金属鑄造のシステムおよび方法が提供される。本発明の実施形態によれば、パターンの使用が不要になる。本発明の実施形態によれば、注入カップ、ランナー、ライザー、および延長部などの追加の金型機構の使用が不要になる。本発明の実施形態によれば、付加製造の概念は鑄造の新規な手法において実現される。金属物体の製造は、生産層ごとに実行される、一連の複数の動作として計画される。各動作において、金型領域および物体領域を含む生産層が構成される。本発明の実施形態によれば、生産層は、製造エリア（構築テーブルによって画定されるX-Y面）の上を移動する専用製造ユニット群によって構築テーブル上に構築される。X-Y製造面の上での製造ユニットの移動は、連続移動または離散的（ジャンプの形）であってもよい。

20

【0046】

製造動作を実現する製造ユニット群は、以下のユニットのいくつかまたはすべてを含んでもよい。

金型構成ユニット（非限定例では、生産層の金型領域に対して未硬化金型材料を堆積する金型堆積ユニット）；

30

溶融金属堆積の前に金型領域を処理する金型仕上げユニット；

本明細書では「前処理ユニット」と呼ばれることもある、前金属堆積ユニット（非限定例では、表面処置および／または準備用）前金属堆積ユニット；

生産層の物体領域を作成する溶融金属堆積ユニット。物体領域は、金型領域によって画定されるエリア内で堆積される；

金属領域を後処理する金属後処理ユニット；ならびに

次の生産層の製造に進む前に生産層を後処理する生産層後処理ユニット。

【0047】

製造ユニットは、ロボットアーム、移動ステージ、または他の手段によって移動させてもよい。本発明は、X-Y運動のためのモーションアクチュエータのタイプおよび種類によって限定されない。

40

【0048】

次の生産層に進む前に、構築テーブルおよび製造ユニットの相対変位が調節される。例えば、構築テーブルの高さが、Z-方向で、または製造ユニット高さを調節することによって調節される。これは、様々な動作と関連して行われ、場合によっては現在の生産層の厚さに従って行われる。本発明は、Z運動のためのモーションアクチュエータのタイプおよび種類によって限定されない。

【0049】

製造ユニットの一部またはすべては、連続的な形または離散的な形（ジャンプ）で構築テーブルの上を移動してもよく、それにより、複数の作成エリアまたは局所的な作成エリ

50

アを画定する。

【0050】

本発明の一実施形態によれば、前金属堆積ユニット、金属堆積ユニット、および金属後処理ユニットは、互いに物理的に接続され、移動メカニズムを共有する。堆積前（前処理）、堆積、および堆積後（後処理、後処置）の組み合わせられたモジュールは、「金属PDPユニット」と呼ばれる（PDPの文字は「準備、堆積、および後処置」を表す）。

【0051】

本発明の実施形態によれば、いくつかの準備および後処置動作は誘導加熱を使用して実現される。準備動作は、作成エリアに隣接する前に作成された生産層のエリアにおける予熱として実現されてもよく、後処置は、作成エリアに隣接する現在の生産層のエリアの後加熱として実現されてもよい。

【0052】

作成エリア、前の生産層のエリア、および現在の生産層のエリアは、均質な形で固化する溶融プールを構成する。例えば、数ミリメートル（5、10、50、100）から数センチメートル（1、2、3、4、5、10、15）までの溶融プールが作られる。

【0053】

いくつかの実施形態では、金属の加熱、予熱、および後加熱の組み合わせられた動作が、移動しながらの大面积モデルで既に鑄造された物体層と次の物体層との間が完全に結合された適切な鑄造には必要である。この方式では、本発明の実施形態による付加的鑄造は、鑄造製品全体を通して均一で等方性の微粒子構造の均質な結合を確保して、上記に列挙した従来技術の参照文献に示されているような、現行の付加的プロセスの鑄造空隙および他の欠陥を排除する。

【0054】

本明細書に記載する他の実施形態と組み合わせることができる、いくつかの実施形態では、予熱は、前の生産層内のエリアを溶融するために適用される。金属加熱は、金属を溶融し、適切な温度での金属の堆積を促進するために適用される。後加熱は、結果として得られる金属エリアの制御された冷却を可能にするために適用される。

【0055】

様々な動作態様に応じて、予熱の動作を不要にすることができる。例えば、前の生産層で表面酸化がまったく（またはほとんど）生じていない場合である。さらに、場合によっては、現在堆積されている材料と前に堆積された層との間の結合は後加熱のみに基づいてもよい。

【0056】

様々な動作態様に応じて、後加熱のステップは省略されてもよい。非限定例では、加熱することなく、例えば、冷却によって、または追加の加熱を適用することなく、所望の熱プロファイルを達成することができる場合がある。

【0057】

本発明の実施形態によれば、少なくとも予熱、加熱、および後加熱のパラメータが制御される。例えば、温度、持続時間、熱プロファイル、および追加のパラメータは、溶融プールの所望の冷却プロファイルを生成するように制御される。

【0058】

いくつかの実施形態では、堆積後処置は、それ自体が、または全体環境温度制御と組み合わせ、堆積された金属の結晶学的構造および位相を制御するのに使用される。いくつかの実施形態では、一連の生産層作成動作が提供された後に、部品に対して追加の全体加熱および／または冷却動作が適用される。

【0059】

本発明の実施形態によれば、いくつかの準備および後処置動作は単一の誘導加熱ユニットを使用して実現される。単一の誘導加熱ユニットの「準備」または「後処置」としての機能は、移動の方向に応じて決まる。

【0060】

10

20

30

40

50

後処置はさらに、冷却として実現されてもよい。

【0061】

さらにまた、後処置は、現在の生産層のエリア内に材料を付加することを含んでもよい。

【0062】

後処置は、例えば、機械的および／または磁気的手段を使用した、表面の位置合わせまたは平坦化を含んでもよい。

【0063】

本発明の実施形態によれば、金型（「シェル」とも呼ばれる）は、生産層の物体領域の形状における視線誘導標として役立つ。金型領域の一部分は、物体材料が中に入れられる境界輪郭を作るように、物体領域を取り囲んでもよい。金型領域の部分は、物体領域の張り出した区画が堆積される際の一時的な支持として役立ってもよい。同様に、金型領域の部分は、金型領域の張り出した区画を一時的に支持してもよい。

10

【0064】

本発明は、金型のタイプおよび金型構築の技法によって限定されない。本発明の一実施形態によれば、金型領域は、3D（三次元）印刷などの付加的技法を使用して、構築テーブル上に直接置かれる。本発明の別の実施形態によれば、金型領域層は、構築テーブルから離れて作成され、層ごとに構築テーブル上に載置される。

【0065】

金型領域（シェル）を使用することにより、他の付加的金属鑄造技法と比較して、より高い金属堆積流量が実行可能である。継続的な金属堆積は、各堆積部分（例えば、液滴）が、金型領域によって画定された境界内に流れることを可能にすることによって可能になる。結果として、より高い製造スループットを達成することができる。例えば、非粉末の非金型金属付加直接エネルギー堆積（DED）技法では、堆積厚さは、1、2、または3 mm程度であって、製造速度は20時間で1～3 kgとなる。本発明の実施形態によれば、500～1000 kgまたはそれ以上を20時間で堆積することができる。

20

【0066】

本発明の実施形態によれば、生産層は、制御され閉鎖された環境で作成されてもよく、構築テーブルは、その上に追加的に生成された生産層とともに製造チャンバ内に入れられる。製造ユニットは、全体もしくは部分が、閉鎖環境内に入れられるか、または閉鎖環境にアクセス可能にされてもよい。構築テーブルを閉鎖環境内に入れ、閉鎖環境内で様々な製造動作を実施することによって、より高レベルの製造制御および安全性を達成することができる。

30

【0067】

本明細書に記載する他の実施形態と組み合わせることができる、いくつかの実施形態では、製造チャンバは、その中で所望の温度を獲得するための1つまたは複数のヒータを含む。製造チャンバ内の温度は、次の考慮点のうち1つまたは複数に対処するように調節される。

現在の生産層の物体領域と前の生産層の物体領域との温度差、

現在の生産層の金型領域と前の生産層の金型領域との温度差、

現在の生産層の金型領域と物体領域との温度差、

金型領域の所望の乾燥／硬化速度、

物体領域の所望の固化速度、ならびに

現在の生産層の金型領域および／または物体領域に対して適用されるべき、計画された熱的前処理および後処理。

40

【0068】

本明細書に記載する他の実施形態と組み合わせることができる、いくつかの実施形態では、構築テーブルは1つまたは複数の構築テーブルヒータを含み、コントローラは、構築テーブルを所定のテーブル温度に加熱し維持するように動作する。例えば、ねずみ鋳鉄物体を製造する場合、テーブル温度は、摂氏500から750度の範囲で一定に保持されてもよい。関連する実施形態では、構築テーブルヒータは、予熱および／または後加熱のた

50

めの熱を提供する。

【0069】

いくつかの実施形態では、コントローラはさらに、金型領域構成の場合は第1の構築テーブル温度まで、物体領域製造の場合は第1の構築テーブル温度とは異なる第2の構築テーブル温度まで、構築テーブルを加熱するように動作する。

【0070】

本発明の実施形態によれば、部品の作成中、チャンバ、構築テーブル、および／または部品の全体温度が監視され制御される。例えば、熱風を循環させるのに炉が使用されてもよく、構築テーブルが加熱されてもよく、構築テーブルはヒータおよび他のものを含んでもよい。本発明は、全体温度制御のタイプおよび種類によって限定されない。

10

【0071】

本発明のいくつかの利点

本発明の実施形態に従って、製造チャンバ温度、構築テーブル温度、および鋳造温度を制御することによって、金型の安定性、単一の生産層内の金型領域間、または異なる生産層の金型領域間の相互作用、巨視的および粒子微細構造での両方の物体領域の均質性、鋳造物体の等方性バルク特性、ならびに鋳造欠陥からの自由度、といった特性および特質のうち1つまたは複数を向上させることができる。

【0072】

本発明のいくつかの実施形態では、システムは開放大気環境内で動作してもよい。本発明の他の実施形態によれば、製造環境は、製造動作の一部またはすべての間、密閉された不活性大気環境として維持されてもよい。不活性大気環境はいくつかの手法で実現されてもよく、その非限定例としては、製造スポットに隣接して提供される、密閉製造チャンバ、半密閉製造チャンバ、または非密閉局所環境の使用が挙げられる。本発明は、不活性大気環境の実現によって限定されない。

20

【0073】

本発明の実施形態によれば、金型除去は、生産層がすべて完成した後に全体的に実施される。

【0074】

本発明の追加の利点および利益

上述したように、現行の付加的金属鋳造プロセスの多くは、メーカーが通常の原材料源の使用を中断し、粉末状金属源の使用に切り替えることを必要とする。本発明の利点は、メーカーが通常の認証済み原材料を入力として使用し続けることを可能にすることである。

30

【0075】

本発明の別の利点は、現行では、製造ラインの鋳造だけではなくパターンおよび金型の準備においても、熟練した人員の関与および監督を必要とする、鋳造作業の自動化を容易にすることにある。経験および技術がある労働力を見つけるのがより困難になっているため、本発明によってサポートされるものなど、完全自動化付加的金属鋳造システムがますます必要になってくる。

【0076】

次に、本発明のいくつかの実施形態による付加的鋳造システム100を示す図である、図1Aを参照する。付加的鋳造システム100は、金属物体を付加して作成するためのものである。物体は生産層ごとに作成され、金属領域6および金型領域8を含む、金型領域断面8Aおよび8Bによって表される、前に鋳造された生産層12が示されている。物体領域7Aおよび金型領域18を含む、金型領域断面18Aおよび18Bによって表される、現在の生産層14が示されている。生産層14の作成中、物体領域7Aおよび任意に金型領域18は、連続的な形で付加して作成され、金属堆積動作中、溶融金属は作成エリアFA内で堆積される。

40

【0077】

図1Aには示されないが、システムユニットは金型領域の構成に関与している。

【0078】

50

付加的鑄造システム１００は、金属ＰＤＰ（準備－堆積－後処置）ユニット１０と、ＰＤＰユニット１０を保持する、ＰＤＰユニット１０と構築テーブル４との間の相対移動を提供するように構成された、可動プラットフォーム４０とを含んでもよい。説明を簡単にするため、ＰＤＰユニット１０は、構築テーブル４によって画定される移動面上で方向Ｄ１に沿って移動するものとして示される。ＰＤＰユニット１０が方向Ｄ１に沿って移動面上で移動する間に、一連の作成エリアＦＡが画定され、溶融金属がその中に堆積される。例示および説明を明瞭にするため、１つの作成エリアＦＡのみが明示的に示される。

【００７９】

いくつかの実施形態では、ＰＤＰユニット１０の移動は連続的な移動を含んでもよい。堆積フロー、移動の速度、および他の因子などのパラメータに応じて、離散的な液滴が堆積されてもよい。より大きい堆積フローを必要とする他のパラメータを有する別の実施形態では、溶融金属の連続的な噴流または流れが堆積される。さらなる実施形態では、一連の移動・停止アクションにおいて段階的な移動を使用して、離散的な堆積が実施される。

【００８０】

いくつかの実施形態では、平面移動は、構築テーブルによって画定される面に沿って線形的に、ＰＤＰユニット１０を前後に行または列で動かすことを含んでもよい（移動の直交座標型）。可動プラットフォーム４０は、直角フレームおよび直線軸（図示なし）を有するデカルト座標で実現されてもよい。可動プラットフォーム４０はまた、垂直レールに取り付けられた複数のアームを採用するデルタ系として実現されてもよい。選択的コンプライアンス組み立てロボットアーム（ＳＣＡＲＡ）、Ｈ－ｂｏｔ、ＣｏｒｅＸＹ、およびその他などの他の運動技術が使用されてもよい。いくつかの実施形態では、ＰＤＰユニット１０の移動は、表面の上でＰＤＰユニット１０を円運動させる、極座標を使用して実現されてもよい。本発明は、運動のタイプおよび技法によって限定されない。

【００８１】

いくつかの実施形態では、ＰＤＰユニット１０は、溶融金属／溶融物９を提供する溶融金属デポジタを保持するホルダ２０を含んでもよい。金属ロッド５は非限定例として図１Ａに示されている。

【００８２】

いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム４０は、可動プラットフォームを構築テーブル４に接続するコネクタ４６を含んでもよい。

【００８３】

いくつかの実施形態では、各物体領域、例えば物体領域６および７の厚さは１～３０ｍｍであってもよい。

【００８４】

いくつかの実施形態では、構築テーブル４上に直接置かれる第１の作成された生産層は、金型領域８Ｃのみで構成される。

【００８５】

金型作成および物体作成動作中、金型領域は、物体領域の計画された厚さよりもわずかに高くてもよく、これは、断面１８Ａの高さと物体領域７の上面との間のわずかな差によって、図１Ａに示されている。金型領域１８と物体領域７との間の高さの差は、物体領域作成中の金属の流出を回避するために、あるいは金属堆積ユニットが同じまたは隣接する作成スポットの上を複数回移動することによって作成され、前に作成された金型領域（図１には図示なし）によって支持される、物体領域を受け入れるために提供されてもよい。

【００８６】

いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム４０は、金属堆積ユニットを移動させるように構成された可動ユニット４５と、構築テーブル４を移動させるように構成された可動支持体４６との少なくとも一方を含んでもよい。いくつかの実施形態では、可動支持体４６は、構築テーブル４を可動ユニット４５および金属堆積ユニットに対して移動させるように構成されてもよい。いくつかの実施形態では、構築テーブル４は、少なくとも１つの軸（例えば、垂直方向）、２つの軸（例えば、水平面内）、または３つすべての軸で

移動するように構成されてもよい。

【0087】

いくつかの実施形態では、システム100は、可動ユニット45および／または可動支持体46の移動を制御することによって、1軸、2軸、または3軸で、PDPユニット10と構築テーブル4との間の相対移動を提供するように構成されてもよい。本発明は、構築テーブル4と金属堆積ユニットとの間の相対移動が実現される方式によって限定されない。

【0088】

いくつかの実施形態では、PDPユニット10は、自身の対称軸を中心にしたPDPユニット10の回転を提供する、回転ユニットを含む。いくつかの実施形態では、PDPユニットと構築テーブルとの間の傾斜角が提供される。例えば、PDPユニット10は、構築テーブルに対するPDPユニット10の傾斜を可能にする傾斜ユニットを含んでもよい。PDPユニット10内におけるユニットの内部運動、例えばz軸での1つまたは複数の誘導加熱ユニットのシフトも可能である。本発明は、回転移動および傾斜角が実現される方式によって限定されない。

【0089】

いくつかの実施形態では、PDPユニットはさらに誘導加熱ユニット30を含む。関連する実施形態では、誘導加熱ユニット30は、(1)生産層7内の現在の物体作成スポットSPに隣接する生産層6内の前に作成された物体領域6Aを第1の温度まで予熱し、(2)誘導加熱ユニット30の部分30A、30Bの内面を使用して金属ロッド5の一部分を溶融し、(3)現在の生産層7内の物体領域7Aを第2の温度まで後加熱するように構成される。

【0090】

図1Aに示される本発明の実施形態では、上述した次の構成ユニットが、ロッド5および誘導加熱ユニット30を有する溶融金属デポジタとして実現される。前処理金属製造ユニットー誘導加熱ユニット30の区画30A、金属堆積製造ユニットー誘導加熱ユニット30の内側部分によって加熱されるロッド5、ならびに金属後処理ー誘導加熱ユニット30の区画30B。

【0091】

進行方向D1に平行な誘導加熱ユニット30の断面(例えば、図2に示される軸AA)に対して、特定の実施形態は、誘導加熱ユニット30に先行部分30Aおよび追従部分30Bを提供する。先行部分30Aは、生産層7の現在の物体作成スポットSPに隣接する、生産層6内の前に作成された物体領域6Aを第1の温度まで予熱し、追従部分30Bは、現在の生産層7内の物体領域7Aを第2の温度まで後加熱する。

【0092】

本発明によれば、溶融金属が、液滴形態または幅の狭い溶融金属の流れの形態のいずれかで、固化している前に堆積された金属に合わさる、作成エリアに緊密に集中することが重要である。この小さいエリア(ミリメートル規模)で、付加された金属が鑄造物体の一部となる。本出願人は、現行の付加的技術の欠点、この小さい重要な領域に注力していないことによって生じることがあると理解している。現行の付加的プロセスは、付加された溶融金属の熱エネルギーに依存して、付加された溶融金属を前に堆積した金属に結合するが、これは、液相から完全に統合された固相への冶金遷移を適切に制御するには不適切であり、不十分な結合、不規則な粒子微細構造、異方性の特性、および他の鑄造欠陥をもたらす。本発明の実施形態は、付加的溶融金属を堆積するだけでなく、付加的溶融金属、および固化した金属の標的領域の両方の熱特性を正確に制御する、統合されたPDPユニットを提供することによって、これらの問題を克服する。正確な制御によって、熱衝撃を低減または排除することができるようになり、溶融金属が既存の金属とシームレスに統合し結合することが可能になる。これを行うために、本発明の実施形態は、ミリメートル規模の小さいエリアの処理を調整するために堆積と熱加熱の両方を緊密に組み合わせる、PDPユニットを提供する。本発明の実施形態によるPDPユニットの主要な特徴は、

熔融金属堆積ユニットと調整された加熱ユニットとの統合されたPDPユニット内における緊密な物理的近接性を維持することである。このようにしてこれらの重要なサブユニットを物理的に接合することによって、独立した堆積および加熱ユニットと関連付けられるシステムエラーが最小限に抑えられ、標的物体の上でのPDPユニットの運動の方向および速度の問題に低減される。標的エリアの予熱と付加された熔融金属の堆積との間に、必然的に少量の時間が経過する。本発明に従って、熔融金属デポジタをPDPユニット内の加熱ユニットに物理的に結合することで、この小さい時間間隔を正確に制御して、その影響を最小限に抑えることが可能になる。関連パラメータは、熔融金属デポジタとヒータの組み合わせの幾何学形状、ならびにPDPユニットの運動の経路、速度、および方向に参与してもよい。本発明の関連する実施形態によれば、これらのパラメータを、適切に構成されたスキニングパターン、および作成エリアの上におけるPDPユニットの作業距離の慎重な相殺とともに変動させて、付加された金属の既存の金属物体への所望の結合および統合に役立つ、優れた冶金条件を取得することができる。

10

【0093】

動作中、複数の作成エリアに対して、適用できる場合は作成エリアごとに、連続的に次の操作が実施される。熔融金属デポジタユニットはそれぞれ、作成エリアおよびその近傍の上を異なる時間に次々に通過し、移動しながら、誘導加熱ユニット30の部分30Aは生産層6の部品を予熱する。熱は、予熱されたエリアの近傍に転移される。その後、ロッド5を有する熔融金属デポジタは、予熱されたエリアー作成エリアFAに達し、金属を堆積する。次に、30Bはこのエリアの上方を移動しており、それを後加熱する。任意に、追加の後処理、例えば、冷却および非熱処理動作が適用される。

20

【0094】

PDPユニットが生産されている物体領域の上を移動するにつれて、連続する熔融プールのトレイルおよび連続する熔融金属堆積が作られてもよい。作成エリア内で、熔融金属デポジタが作成エリアに近付きその上方を移動するにつれて、熔融プールはPDPユニット予熱後に冷却する。いくつかの実施形態では、予熱器通過から熔融金属デポジタ到達までの間で、作成エリアのこの冷却を相殺する、融点を超える加熱が提供される。

【0095】

本発明の実施形態によれば、物体領域6Aの一部分は、誘導加熱ユニット30の部分30Aによって融点を超える温度まで予熱され、物体領域6Aのその部分（少なくともその上面）は熔融されて、深さ約1mmの熔融プールを形成する。次に、ロッド5を有する熔融金属デポジタは、熔融プール（物体領域6Aの予熱された部分）の上に進み、物体領域6Aの予熱された部分の上に熔融金属を堆積する。次に、誘導加熱ユニット30の部分30Bは、作成エリアの上を移動して、ここで、後加熱のための物体領域7Aの一部分を構成する。後加熱は、現在堆積されている金属を前に堆積された金属部分に接合するのに対応してもよい。後加熱はまた、金属の冷却プロセスを制御してもよい。

30

【0096】

動作の際、作成エリアFAに隣接する物体領域6Aおよび7Aは局所的に液化される。熔融金属が作成エリアFA上に堆積されると、堆積された熔融金属は、物体領域6Aおよび7Aの前に堆積された金属と混じり合って、シームレスな結合を作る。熔融金属デポジタが通り過ぎた後、堆積された金属は、物体領域6Aおよび7Aからその下の前に堆積された（または固化されている）金属のバルクへの伝熱によって冷却される。

40

【0097】

一連の予熱－金属堆積－後加熱が複数の作成エリア（スポット）上で実施される間に、現在の物体生産層は固化する。

【0098】

誘導加熱ユニット30は、コントローラ（図1Bに示されるコントローラ60）によって制御される。コントローラ60は、動作のタイミング、デューティサイクル、温度、および追加の動作パラメータを制御してもよい。様々な実施形態では、コントローラ60は、デジタル制御システム、アナログ制御システム、またはそれらの組み合わせを介して実

50

現される。

【0099】

「コントローラ」という用語は、本明細書では、汎用コンピューティング、データ処理デバイス、およびモバイルデータ通信／処理デバイス、ならびに機器、装置、システム、およびデータ通信／処理ネットワークに埋め込まれた専用コントローラおよび専用制御デバイスを含む、プロセスを実施、操作、および／または制御する任意の自動化デバイスを指す。本発明の方法は、非一時的データ記憶デバイスに含まれるソフトウェアおよび／またはファームウェアとして具体化される、実行可能プログラム、サブルーチン、およびコンピューティング／データ処理デバイスアプリケーションの形態の、実行可能命令、コマンド、および／またはデータに従って、コントローラまたは類似のデバイスによって実施されてもよく、あるいはその指示下にあってもよいことが理解される。

10

【0100】

いくつかの実施形態では、誘導加熱ユニット30に対して生成される第2の温度は第1の温度と同じである。他の実施形態では、第2の温度は第1の温度よりも高い。

【0101】

誘導加熱ユニットコネクタ30Cおよび30Dは、ホルダ20および／または可動ユニット45に接続されてもよい。

【0102】

誘導加熱ユニット30は、様々な好適な形状または形態を有してもよい。いくつかの実施形態では、誘導加熱ユニット30は、図2Aに示されるように、平面の「パンケーキ」型誘導加熱コイルとして実現される。誘導加熱ユニット30の中心穴は、溶融されているロッド5の直径よりも大きい。例えば、誘導加熱コイル30は、長方形断面の銅管を有する5巻パンケーキコイルであってもよい。銅管断面は10×20mmであってもよい。いくつかの実施形態では、ロッド5の直径は約45mmであってもよく、誘導加熱コイル30の中心穴の直径は約60mmであってもよい。他の実施形態では、誘導加熱ユニットの穴はロッド5よりも大きいものである必要はなく、ロッド5の溶融した先端からの液滴は、円錐先端の表面上を流れ、中心を通して作成エリアに落下する。

20

【0103】

図2Aに示される本発明の実施形態によれば、誘導加熱ユニット30は、対称的に構成された誘導加熱コイルで構成される。非限定例として、5巻の実質的に平面の円形コイル（「パンケーキ」）が示されている。誘導加熱ユニット30は、PDPユニット10の一部であり、製造面内の任意の方向に移動させることができる。配置が対称的であることにより、円形誘導加熱コイル（「パンケーキ」）の任意の部分は、PDPユニットの進行方向に対して、先行部分30Aまたは追従部分30Bとして動作してもよい。

30

【0104】

図2Bおよび図2Cに非限定的な形で示される本発明の他の実施形態によれば、誘導加熱ユニット30は、好ましい軸に対して対称であり、誘導加熱ユニットの好ましい部分を進行方向に対する「先行」および「追従」として画定する、楕円形で配置される。かかる構成では、誘導加熱ユニットおよび／またはPDPユニットは、生産層全体を網羅する好適な運動自由度（例えば、図2Aに示される軸BBを中心とする）を備えてもよい。

40

【0105】

図2Dは、別の実施形態による誘導加熱ユニット30の断面であり、誘導加熱ユニット30は、付加的鑄造システムの動作中、コイルの小さい方の直径 d_1 がコイルの大きい方の直径 d_5 よりも作成エリアの近くにあるように配向された、実質的に円錐の形状を有するコイルを含んでもよい。

【0106】

さらに別の実施形態では、誘導加熱ユニット30は1つまたは複数の生産層を含んでもよく、各生産層は複数の巻回（図示なし）を含む。

【0107】

いくつかの実施形態では、平坦なパンケーキ形状によって画定される面（図2に示され

50

る面 A-A) は、構築テーブル (図 1 A の要素 4) によって画定される製造面に平行である。誘導加熱ユニット 30 の中心軸 B-B は、図 1 A および図 2 に示されるように、面 A-A に垂直であってもよい。

【0108】

さらに別の実施形態では、誘導加熱ユニット 30 は、付加的 鑄造システム 100 の動作中、水平面 (例えば、生産層 6 または 7 の上面) に対してある角度 (例えば、1~30 度) で傾けられてもよい。かかる事例では、可動プラットフォーム 20 が誘導加熱コイル 30 を傾けて移動させると、水平面のより近くに位置付けられた誘導加熱ユニット 30 の一部分は「先行」部分として作用して、予熱をもたらす。

【0109】

さらに別の実施形態では、誘導加熱ユニット 30 は、誘導加熱ユニット 30 の第 1 の部分では巻回の第 1 の密度を有し、誘導加熱ユニット 30 の第 2 の部分では第 1 の密度よりも高い巻回の第 2 の密度を有する、複数の偏心巻回を含んでもよい。かかる事例では、誘導加熱ユニット 30 の第 2 の部分によって金属層に結合されたエネルギー密度は、同じ電流に対して誘導加熱ユニット 30 の第 1 の部分によって結合されたエネルギー密度よりも高くてもよい。

【0110】

誘導加熱ユニットの形状はドーナツのトポロジーに限定されない。例えば、誘導加熱ユニット 30 は、2 つのヘアピンコイルのセットを含んで、30 A および 30 B を 2 つの独立した誘導加熱ユニットにしてもよい。別の例によれば、誘導加熱ユニットは「スプリット・アンド・リターン (split-and-return)」コイルを含んでもよい。

【0111】

誘導加熱ユニットは、磁場密度を増幅する 1 つまたは複数の磁束濃縮器 (MFC) を含んでもよい。磁束濃縮器 (MFC) のためのヒートシンクも使用されてもよい。本発明は、使用されてもよい磁束濃縮器およびヒートシンクのタイプ、形状、および設計によって限定されない。

【0112】

いくつかの実施形態では、誘導加熱ユニット 30 のサイズ、幅、高さ、材料、構造、巻回数、ならびに生産層 6 および 7 からの距離は、誘導加熱コイル 30 とロッド 5 と生産層 6 および 7 との間の磁気エネルギー結合を制御するために決定されてもよい。

【0113】

例えば、誘導加熱ユニット 30 の中心穴のサイズは、ロッド 5 の制御された溶融を提供するために、誘導加熱コイル 30 とロッド 5 との間の磁気エネルギー結合を最適にするように決定されてもよい。

【0114】

別の実施形態では、誘導加熱ユニット 30 が生産層 6 および 7 の表面に対して実質的に水平に位置付けられたとき、生産層 7 が生産層 6 よりも誘導加熱コイル 30 に近いため、誘導加熱コイル 30 と新しい生産層 7 との間のエネルギー結合は、誘導加熱コイル 30 と前の生産層 6 との間のエネルギー結合よりも高くてもよい。

【0115】

さらに別の実施形態では、生産層 6 と誘導加熱コイル 30 との間のエネルギー結合を改善するために、誘導加熱ユニット 30 を (本明細書で上述したように) 傾けて、誘導加熱コイル 30 の下面と生産層 6 との間の距離を短くしてもよい。

【0116】

上述の実施形態では、誘導加熱ユニット 30 を、単一の誘導加熱コイルを使用して実現されるものとして記載した。本発明は、使用される誘導加熱コイルの数によって限定されず、複数の誘導加熱コイルを使用して、適切な修正を含めて、誘導加熱ユニット 30 の様々な実施形態が構成されてもよい。

【0117】

いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム 20 は、鑄造システム 100 の動作中

10

20

30

40

50

、PDPユニット10を少なくとも2つの軸で、例えば水平X-Y面で移動することを可能にしてもよい、X-Y構築テーブル、ロボットアーム、サーボモータ、歯車、コネクタなどを含んでもよい。

【0118】

いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム40はさらに、PDPユニット10をZ方向でも移動させる、PDPユニット10を所定の角度で傾けるなどするように構成されてもよい。

【0119】

いくつかの実施形態では、PDPユニット10内での誘導加熱ユニット30の内部運動が提供されてもよい。例えば、誘導加熱ユニット30はz軸でシフトされてもよい。

10

【0120】

いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム40は、連続した一連の動作を実施するため、誘導加熱コイル30を生産層の上で移動させるように構成されてもよい。可動プラットフォーム40は、生産層7の物体領域を堆積する前に生産層6の物体領域を予熱するため、生産層6の物体領域の表面の上で第1の平面移動を実施してもよい。例えば、ロッド5は、部分30A、30Bの内面によって画定される加熱エリア外に持ち上げられてもよい。可動プラットフォーム40は、溶融金属を溶融し堆積して生産層7の物体領域を製造するため、ロッド5を下げた後、生産層6の物体領域の上で第2の平面移動を実施してもよい。可動プラットフォーム40は次に、生産層6および7の物体領域を互いに接合するために、例えばロッド5を持ち上げた後、生産層7の物体領域を後処置するため、生産層7の物体領域の上で第3の平面移動を実施してもよい。

20

【0121】

いくつかの実施形態では、ホルダ20は、ロッド5の均等な溶融を提供するために、ロッド5を回転させる回転ユニット（例えば、電動モータおよび歯車）を含んでもよい。いくつかの実施形態では、ホルダ20は、付加的製造システムの動作中、ロッドを垂直軸で移動させるアクチュエータを含んでもよい。アクチュエータは、システム100の動作中、ロッド5に垂直移動を提供するように構成された任意のユニットを含んでもよい。アクチュエータは、モータ（例えば、電動モータ）からの回転移動をロッド5の垂直移動へと伝達するように構成された、モータおよび歯車のアセンブリを含んでもよい。

【0122】

いくつかの実施形態では、システム100は、溶融金属デポジタがロッドの形態である場合、ロッド5が最小長さ（例えば、100mm）に達すると新しい金属ロッド5をホルダ20に提供する、図示されないフィーダを含んでもよい。

30

【0123】

本発明は、使用される溶融金属デポジタのタイプによって限定されない。説明を簡単にするため、金属ロッド（図1Aの要素5）の形態の溶融金属デポジタを参照して、本発明について記載したが、これは必須ではない。1つの実施形態によれば、るつぼが使用される。るつぼは固体金属または溶融金属を受け入れてもよい。るつぼは、例えば、図1Aに示される誘導加熱ユニット30によって生成された熱を受け入れてもよい。

【0124】

本発明は、溶融金属デポジタの形状およびサイズに限定されない。説明を簡単にするため、溶融金属デポジタによる金属液滴の堆積を参照して、本発明について記載した。別の実施形態によれば、溶融金属デポジタはトラフのように形作られて、液滴堆積と比較して、より大きいエリアにわたって金属のより高速の堆積をもたらしてもよい。

40

【0125】

いくつかの実施形態では、システム100はさらに、少なくとも1つのセンサ50、例えば、ロッド5の先端、溶融金属9、生産層6および／または生産層7の物体領域の温度を測定する、IRカメラまたは高温計を含んでもよい。いくつかの実施形態では、システム100はさらに、可視波長カメラ、高温計、重量センサ54（例えば、ロッドもしくはるつぼ重量センサおよび／または構築テーブル重量センサ）、立体視覚センサ（例えば、

50

生産層厚さを測定する) など、他のセンサを含んでもよい。

【0126】

次に、本発明のいくつかの実施形態による図1Aの付加的鑄造システムのブロック図である、図1Bを参照する。いくつかの実施形態では、システム100は、図1Aを参照して考察したような、PDPユニット10および可動プラットフォーム40を含んでもよい。システム100はさらに、システム100の制御可能なユニットを制御するコントローラ60を含んでもよい。コントローラ60は、本発明の実施形態による、方法、コード、および命令を実行するように構成された、プロセッサ62などの任意の処理ユニットを含んでもよい。方法、コード、および命令、例えば、システム100の様々な制御可能構成要素(例えば、モータ、電源(例えば、電源90)、センサ(例えば、センサ50、52、54)など)を制御する命令は、非一時的メモリ64に格納されてもよい。メモリ64はさらに、鑄造デバイス100の動作に関連する任意のデータ、例えば、部品および／または金型の3Dモデルを含んでもよい。いくつかの実施形態では、コントローラ60はさらに、外部デバイス、例えば電源90、熱センサ50、カメラ52、重量センサ54、外部コンピューティングデバイスなどと通信する、任意の入出力(I/O)ユニット66を含んでもよい。I/Oユニット66は、任意の通信ユニット、ユーザインターフェースデバイスなどを含んでもよい。

10

【0127】

いくつかの実施形態では、システム100はさらに、周波数範囲、例えば10kHzから400kHzの間、および最大出力、例えば200kWのAC電力を少なくとも1つの誘導加熱コイル30に、電力を可動プラットフォーム40の電子構成要素およびドライバに、電力を回転ユニットの電子構成要素およびドライバに、ならびにホルダ20および／またはセンサ50の垂直運動アクチュエータに提供するように構成された、電源90を含んでもよい。

20

【0128】

いくつかの実施形態では、コントローラ60は、少なくとも1つの誘導加熱コイルに対する電力の提供を制御するように構成されてもよい。いくつかの実施形態では、電力の提供を制御することは、電流レベル、電流振幅、電流極性、タイミング、持続時間、および電流AC周波数のうち少なくとも1つを制御することを含んでもよい。

【0129】

いくつかの実施形態では、コントローラ60は、誘導加熱コイル30に金属層6を予熱するための第1の電力レベルを提供するように、電源90を制御してもよい。非限定例では、鑄造された金属が鑄鉄であり、誘導加熱ユニットが図2Aに示されるようなものである場合、電源90は、115kHzで30kWを誘導加熱コイル30に提供してもよい。いくつかの実施形態では、コントローラ60は、誘導加熱コイル30に熔融ロッド5のための第2の電力レベルを提供するように、電源90を制御してもよい。非限定例では、ロッド5が直径45mmの鑄鉄ロッドである場合、電源90は、115kHzで40kWを誘導加熱ユニット30に提供してもよい。いくつかの実施形態では、コントローラ60は、誘導加熱コイル30に金属層7を後加熱するための第3の電力レベルを提供するように、電源90を制御してもよい。非限定例では、鑄造された金属が鑄鉄であり、誘導加熱ユニットが図2Aに示されるようなものである場合、電源90は、115kHzで35kWを誘導加熱コイル30に提供してもよい。

30

40

【0130】

いくつかの実施形態では、システム100の動作の他の態様も、図4Aの方法に関して広く考察するように、コントローラ60によって制御されてもよい。

【0131】

いくつかの実施形態では、システム100はさらに、金型領域を作成する金型構成ユニットを含む。本発明の実施形態によれば、金型構成ユニットは、例えば3D(三次元)印刷技法を使用して、付加的 방식으로金型領域を作成する金型堆積ユニットである。金型構成ユニットは、ペースト形態の金型材料のリザーバと、金型材料を生産層の金型領域内に付

50

加的堆積するため、金型材料リザーバと流体接続している金型堆積ユニットとを含んでもよい。

【0132】

他の実施形態では、金型領域は、例えば、砂型またはセラミック型技法を用いて、遠隔で作成された金型層によって作成されてもよい。金型構成ユニットは、硬化され仕上げられた金型構成要素を、リザーブから構築計画によって予め画定された生産層内の金型領域に移送する、遠隔で作成された金型構成要素のリザーブを有する金型移送ユニットとして実現されてもよい。

【0133】

金型構成ユニットは、可動ユニットに接続されるかまたは可動ユニットを備えて、構築テーブルの上を移動し、構築計画によって予め画定された金型領域を作成してもよい。本発明は、金型構成ユニットの移動の実現によって限定されない。例えば、図1Aに示される可動ユニット40は、金型構成ユニットに接続されて、金型領域を作成するために移動させてもよい。

【0134】

いくつかの実施形態では、図1Bに示されるように、システム100はさらに金型堆積ユニット80を含んでもよい。金型堆積ユニット80は、金型部分、例えば金型8の金型部分8Aおよび8Bを堆積するように構成されてもよい。いくつかの実施形態では、金型堆積ユニット80は、ペースト形態の金型材料のリザーバ82と、金型材料を予め画定された金型領域に付加的堆積するため、金型材料リザーバと流体接続している金型堆積ユニット84とを含んでもよい。いくつかの実施形態では、金型堆積ユニット84は、少なくとも1つの液体物質を注入するための1つまたは複数の液体導入ポート（例えば、ノズル、注ぎ口など）を含んでもよい。他の実施形態では、金型堆積ユニット84は、金型材料を包含する金型材料のリザーバ82と流体接続していてもよく、ならびに／またはそれを含んでもよい。さらなる実施形態では、金型材料のリザーバ82は、金型材料を保持するように構成された任意のタンク、カートリッジ、およびマガジンであってもよい。関連する実施形態では、金型材料のリザーバ82は、堆積前に金型材料のリザーバ82内の金型材料を攪拌する攪拌機を含んでもよい。

【0135】

特定の実施形態では、金型堆積ユニット80は、構築テーブル4の上で、例えば少なくとも2つの軸で金型堆積ユニット80を移動させるため、可動ユニット40または追加の可動ユニット（図1A～図1Bには図示なし）に結合されてもよい。

【0136】

様々な実施形態では、コントローラ60は、金型堆積ユニット80および可動ユニットを制御して、図1Aに示される8A、8B、18A、および18Bなどの金型部分を堆積してもよい。

【0137】

いくつかの実施形態では、電源90は、出力を金型堆積ユニット80および可動ユニットに提供してもよい。

【0138】

いくつかの実施形態では、金型材料は、金型堆積ユニット80から堆積または印刷し、金型堆積後に金型に注入される特定の液体材料に対して形状を提供するのに好適な任意の材料を含むか、または任意の材料であってもよい。

【0139】

いくつかの実施形態では、金型材料は、結合剤と混合され、熔融金属を高温で保持するように構成された、粒状材料を含んでもよい。粒状材料は、セラミック粉末（例えば、ジルコニア、アルミナ、マグネシアなど）、砂、粘土、金属粉末、およびそれらの任意の組み合わせを含んでもよい。いくつかの実施形態では、金型材料はさらに活性化添加剤を含んでもよい。例えば、UV吸収粒子、架橋剤、吸熱粒子などである。

【0140】

いくつかの実施形態では、異なる製造動作は異なる温度で実施される。例えば、コントローラ60は、金属堆積ユニットに対して第1の温度を促進し、金型堆積ユニット80に対して第2の温度を促進する。例えば、金属堆積ユニットの温度は、鉄鑄造の場合、摂氏1100、1200、または1300度であってもよく、金型堆積ユニット80の動作温度は、摂氏350、450、600度付近であってもよい。

【0141】

次に、本発明のいくつかの実施形態による付加的鑄造システム150の図である、図3Aを参照する。図1Aに関連して、同様の要素には同様の参照番号が与えられる。システム150は、PDPユニット15の設計の点で、図1Aに示されるシステム100とは異なる。

10

【0142】

付加的鑄造システム150は、PDP堆積ユニット15と、PDPユニット15を保持し、例えば少なくとも2つの軸に沿って、PDPユニット15と構築テーブル4との間の相対移動を提供するように構成された、可動プラットフォーム40とを含んでもよい。システム150の可動プラットフォーム40は、図1Aに示されるシステム100の可動プラットフォーム40と実質的に同じであってもよい。

【0143】

PDPユニット15は、前に処理された生産層の鑄造された物体領域の一部分（例えば、生産層6の金属領域）を予熱する第1の誘導加熱ユニット32と、金属ロッド5を溶融する第2の誘導加熱コイル34と、現在の生産層（例えば、生産層7）の現在の物体領域の一部分を後加熱する第3の誘導加熱コイル36とを含んでもよい。ホルダ20は、システム100のホルダ20と実質的に同じであってもよく、ロッド5を回転させる回転ユニットおよび／またはロッド5を垂直軸で移動させるアクチュエータなど、同じ追加の構成要素を含んでもよい。

20

【0144】

いくつかの実施形態では、PDPユニット10内での1つまたは複数の誘導加熱ユニット32、34、36の内部運動が提供されてもよい。例えば、誘導加熱ユニット32の予熱および／または誘導加熱ユニット36の後加熱は、z軸でシフトされてもよい。

【0145】

いくつかの実施形態では、システム100と同様に、システム150は、新しいロッド5をホルダ20に供給するフィーダ（図示なし）を含んでもよい。

30

【0146】

いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム40は、可動プラットフォームを構築テーブル4に接続するコネクタ46を含んでもよい。

【0147】

誘導加熱ユニット32、34、および36は、単一のコイルまたは様々な形状の複数のコイルを使用して実現されてもよい。いくつかの実施形態では、誘導加熱ユニット32、34、および36は、誘導加熱ユニット30に関して上記に開示した形状および構成のいずれかを有してもよい。例えば、第2の誘導加熱ユニット34は、付加的鑄造システムの動作中、コイルの頂点がコイルの基部よりも作成エリアの近くにあるように配向された、実質的に円錐の形状を有してもよい。別の例では、誘導加熱ユニット32および36は、図2Aに記載されるような「パンケーキ」コイルを使用して、またはヘアピン型コイルを用いて実現されてもよい。

40

【0148】

いくつかの実施形態では、第1の誘導加熱ユニット32、第2の誘導加熱ユニット34、および第3の誘導加熱ユニット36のうち少なくとも1つは、1つまたは複数のコイル巻線を含んでもよく、各コイル巻線は1つまたは複数の巻回を含んでもよい。いくつかの実施形態では、図示されるように、鑄造システムの動作中、第1の誘導加熱ユニット32の下面が構築テーブル4から第1の距離dに位置し、第3の誘導コイルユニット36が構築テーブル4から第1の距離dよりも長い第2の距離Dに位置するようにして、第1の誘

50

導加熱ユニット32が組み立てられてもよい。いくつかの実施形態では、図示されるように、鑄造システムの動作中、コイルの下面が構築テーブル4から、第1の距離dおよび第2の距離Dよりも長い第3の距離D'に位置するようにして、第2の誘導加熱ユニット34が組み立てられてもよい。いくつかの実施形態では、高さDとdとの間の差は、生産層7の堆積された物体領域の厚さに対して本質的に等価であり、それにより、生産層6の前の物体領域の上方での誘導加熱ユニット32の高さは、生産層7の堆積された物体領域の上方での第3の誘導加熱ユニット36の高さに対して本質的に等価である。いくつかの実施形態では、誘導加熱ユニット同士の高さの差は、例えば堆積金属厚さを異ならせることを容易にするため、変更されてもよい。

【0149】

様々な実施形態では、作成エリアの上方でのPDPユニットの作業距離は、変化する作業条件に適応するように調節可能である。

【0150】

いくつかの実施形態では、システム150は、システム100の熱センサ50と同様に少なくとも1つの熱センサ50を含んでもよい。いくつかの実施形態では、システム150はさらに、可視波長カメラ、高温計、重量センサ（例えば、ロード重量センサおよび／または構築テーブル重量センサ）、立体視覚センサ（例えば、生産層厚さを測定する）、距離センサ（例えば、dおよびDを測定し維持する）など、他のセンサを含んでもよい。

【0151】

図3Bは、本発明のいくつかの実施形態による図3Aの付加的鑄造システムのブロック図である。いくつかの実施形態では、システム150はさらに、システム100のコントローラ60、電源90、および金型堆積ユニット80と実質的に同じである、コントローラ60と、電源90と、金型堆積ユニット80とを含んでもよい。

【0152】

いくつかの実施形態では、コントローラ60は、電源90から、第1の誘導コイル32、第2の誘導コイル34、および第3の誘導コイル36のうち少なくとも1つへの、電力の提供を制御するように構成されてもよい。いくつかの実施形態では、電力の提供を制御することは、電流レベル、電流振幅、電流極性タイミング、持続時間、および電流AC周波数のうち少なくとも1つを制御することを含んでもよい。非限定例では、鑄鉄を堆積する場合、第1のコイル32には115kHzで30kWが提供されてもよく、第2のコイル34には115kHzで40kWが提供されてもよく、第3のコイル36には115kHzで35kWが提供されてもよい。

【0153】

次に、本発明のいくつかの実施形態による金属物体の付加的鑄造の方法400Aのフローチャートである、図4Aを参照する。方法400Aは、少なくとも1つの誘導加熱ユニットを用いる、図1Aに示されるシステム100によって実施されてもよい。

【0154】

ステップ402で、構築計画に従って、現在の生産層の金型領域を構築テーブル上に構成する。いくつかの実施形態では、方法は、最初に、第1の金型部分、例えば金型部分8Aを、構築テーブル4の上に提供することを含んでもよい。いくつかの実施形態では、提供することは、金型堆積ユニット80を使用して第1の金型部分8Aを構築テーブル4上に堆積することを含んでもよい。かかる事例では、金型堆積ユニット80は、金型部分8Aを生産層ごとに堆積（例えば、印刷）してもよい。あるいは、予備成型された金型部分8Aが構築テーブル4上に置かれてもよい。いくつかの実施形態では、予備成型された金型部分8Aは、セラミック材料から、または凝縮した砂から作られてもよい。

【0155】

ステップ410で、電力が少なくとも1つの誘導コイルに提供されてもよい。誘導コイル30は図1Aに示されており、単一の誘導加熱ユニットの場合、熔融金属デポジタおよびホルダとともにPDPユニットの一部を形成する（図1Aに示される要素10、5、20）。例えば、コントローラ60（図1Bに示される）は、電源90を制御して、電流レ

10

20

30

40

50

ベル、電流振幅、電流極性タイミング、持続時間、および電流AC周波数のうち少なくとも1つに対して求められるような出力を誘導加熱ユニット30に提供してもよい。いくつかの実施形態では、付加的鑄造プロセスの各段階で、コントローラ60は異なる出力レベルをコイル30に提供してもよい。

【0156】

少なくともステップ420、430、および440は、ステップ450で、PDPユニットと構築テーブルとの間の相対移動が提供されている間に実施される。

【0157】

ステップ420で、PDPユニットが構築テーブルの上を移動している間、前の生産層の物体領域内のエリアを第1の温度まで予熱する。例えば、誘導加熱ユニット30には、前の生産層6のエリアを予熱するための第1の電力レベルが提供されてもよい。

10

【0158】

いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム40は、生産層6の均等な加熱を担保するために、予熱プロセス中、誘導加熱ユニット30を平面移動させてもよい。いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム40は、誘導加熱ユニット30と生産層6との間の最適な磁気エネルギー結合を担保するために、誘導加熱ユニット30を垂直方向で移動させてもよい。いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム40は、エネルギー結合を最適化するために、誘導加熱ユニット30を平面移動の進行方向で生産層6に向かって、または生産層6から離れるように傾けてもよい。いくつかの実施形態では、誘導加熱ユニット30は予め傾けられてもよく、プラットフォーム40は誘導加熱ユニット30に平面移動を提供してもよい。

20

【0159】

いくつかの実施形態では、提供された出力レベル、持続時間、前の生産層6と誘導加熱ユニット30の下面との間の距離、誘導加熱ユニット30の傾斜角、およびプラットフォーム40の平面速度のうち少なくとも1つが、生産層6を所定の第1の温度まで予熱するのに選択されてもよい。

【0160】

いくつかの実施形態では、所定の第1の温度は、生産層6の金属の溶融温度よりも高くてもよい。例えば、鉄合金の場合、決定された第1の温度は金属層6の溶融温度よりも50℃高くてもよい。いくつかの実施形態では、コントローラ60は、層6の表面から取った温度測定値をセンサ50（例えば、IRカメラ、高温計、またはその他）から受信してもよく、受信した測定値に基づいて、提供された出力レベル、持続時間、層6と誘導加熱ユニット30の下面との間の距離、誘導加熱ユニット30の傾斜角、およびプラットフォーム40の平面速度のうち少なくとも1つを調節してもよい。

30

【0161】

ステップ430で、溶融金属デポジタの一部分を加熱して、金属を現在の生産層の物体領域内の作成エリアに堆積する。例えば、図1Aに示されるロッド5などの溶融金属デポジタは、例えば前の生産層の物体領域の上に、新しく鑄造された金属物体領域を鑄造するために溶融されてもよい。例えば、電源90は、ロッド5の先端エリアを溶融するため、同じ電力レベルまたは第2の電力レベルを誘導加熱ユニット30に提供してもよい。いくつかの実施形態では、第2の電力レベルは、ロッドの先端エリアを溶融するのに必要なEMエネルギーに基づいて決定されてもよい。いくつかの実施形態では、追加のパラメータは、ロッド5を溶融することによって提供される溶融物9のフローのタイプを制御してもよい。溶融物9は、溶融金属の連続的な制御されたフローとして提供されてもよい。あるいは、溶融物9は溶融液滴の形で提供されてもよい。

40

【0162】

ステップ440で、現在の生産層の物体領域内のエリアを第2の温度まで後加熱する。例えば、誘導加熱ユニット30には、現在の生産層7のエリアを後加熱するための第3の電力レベルが提供されてもよい。

【0163】

50

任意に、追加の後処置操作、例えば、材料の付加、表面の位置合わせまたは平坦化、冷却などが、ステップ 440 で実施されてもよい。

【0164】

いくつかの実施形態では、提供された出力レベル、持続時間、層 7 と誘導加熱ユニット 30 の下面との間の距離、コイル 30 の傾斜角、およびプラットフォーム 40 の平面速度のうち少なくとも 1 つが、層 7 を所定の第 2 の温度まで後加熱するのに選択されてもよい。いくつかの実施形態では、所定の第 2 の温度は、層 7 の金属の溶融温度よりも高くてもよい。例えば、鉄合金の場合、決定された第 2 の温度は層 7 の溶融温度よりも 100℃ 高くてもよい。いくつかの実施形態では、コントローラ 60 は、層 7 の表面から取った温度測定値をセンサ 50（例えば、IR カメラ、高温計、またはその他）から受信してもよく、受信した測定値に基づいて、提供された出力レベル、持続時間、層 7 とコイル 30 の下面との間の距離、コイル 30 の傾斜角、およびプラットフォーム 40 の平面速度のうち少なくとも 1 つを調節してもよい。

10

【0165】

いくつかの実施形態では、誘導加熱ユニット 30 は、ロッドの先端を加熱し溶融すると同時に、前の生産層の物体領域内のエリアを予熱してもよい。

【0166】

いくつかの実施形態では、誘導加熱ユニット 30 は、ロッドの先端を加熱し溶融すると同時に、現在の生産層の物体領域内のエリアを加熱してもよい。

【0167】

いくつかの実施形態では、誘導加熱ユニット 30 は、ロッドの先端を加熱し溶融すると同時に、また前の生産層の物体領域内のエリアを予熱すると同時に、現在の生産層の物体領域内のエリアを加熱してもよい。

20

【0168】

いくつかの実施形態では、ホルダ 20 は、垂直移動を溶融金属デポジタ（例えば、ロッド 5）に提供するように制御されてもよく、したがって、ロッド 5 の溶融先端と現在の生産層および前の生産層の物体領域内のエリアとの間の距離を制御する。いくつかの実施形態では、距離が短いほど、連続フローを形成する可能性が高い。いくつかの実施形態では、必要な溶融流量（例えば、溶融金属量／秒）が決定されてもよい。いくつかの実施形態では、コントローラ 60 は、決定された溶融流量に基づいて、ロッド 5 の垂直速度（例えば、ホルダ 20 のアクチュエータを制御することによる）、誘導加熱ユニット 30 に提供される電流、および誘導加熱ユニット 30 に提供される出力のうち少なくとも 1 つを制御してもよい。

30

【0169】

いくつかの実施形態では、溶融フロープロファイル（例えば、連続フロー、液滴など）が決定されてもよい。いくつかの実施形態では、コントローラ 60 は、決定された溶融フロープロファイルに基づいて、溶融金属デポジタ（例えば、ロッド 5）の垂直位置、（例えば、ホルダ 20 のアクチュエータを制御することによる）、溶融金属デポジタの垂直速度、誘導加熱ユニットに提供される電流、および誘導加熱ユニットに提供される出力のうち少なくとも 1 つを制御してもよい。

40

【0170】

いくつかの実施形態では、ロッド 5 の先端の温度および／または溶融物 9 の温度は、センサ 50 によって連続的に測定されるかまたは時々測定されてもよい。いくつかの実施形態では、コントローラ 60 は、例えば、ロッドの制御された溶融を担保するため、測定された温度に基づいて、ロッドの垂直位置、ロッドの垂直速度、コイルに提供される電流、およびコイルに提供される出力のうち少なくとも 1 つを制御してもよい。

【0171】

いくつかの実施形態では、堆積中に PDP ユニット 10 の進行に伴って形成される溶融金属ラインの幅は、予熱中に必要なエネルギーの量に影響を及ぼすことがある。例えば、前の生産層の物体領域を予熱するのに誘導加熱ユニット 30 に提供される出力の量は、予

50

熱されたエリアの幅が、予熱されたエリアの上に堆積される溶融金属ラインの幅よりも広くなるように決定されてもよい。非限定例では、前の生産層の物体領域を予熱する間に誘導加熱ユニットによって形成される、予熱されたエリアの幅は、溶融金属エリアの幅よりも5〜50%広い。

【0172】

いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム40は、層7の均等な後加熱を担保するために、後加熱プロセス中、誘導加熱ユニット30を平面移動させてもよい。いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム40は、誘導加熱ユニット30と層7との間の最適な磁気エネルギー結合を担保するために、誘導加熱ユニット30を垂直方向で移動させてもよい。いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム40は、エネルギー結合を最適化するために、誘導加熱ユニット30を平面移動の進行方向で層7に向かって、または層7から離れるように傾けてもよい。いくつかの実施形態では、誘導加熱ユニット30は予め傾けられてもよく、プラットフォーム40はコイル30に平面移動を提供してもよい。

【0173】

当業者には理解されるように、所定の第1の温度、溶融温度、および所定の第2の温度は、鑄造される金属のタイプに応じて決まる。

【0174】

いくつかの実施形態では、コントローラ60は、ステップ420、430、および440のいずれか1つの間、誘導加熱ユニット30を移動させるようにシステム100を制御（例えば、可動プラットフォーム40を制御）して、前の生産層6の物体領域全体を予熱し、現在の生産層7の物体領域全体を堆積し、現在の生産層7の物体領域全体を後加熱してもよい。

【0175】

いくつかの実施形態では、システム100は、ステップ450の間、連続的な形でステップ420、430、および440を実施することを可能にしてもよい。例えば、誘導加熱ユニット30に供給されるAC電力、誘導加熱ユニット30の内側巻回の上方でのロッド5の高さ、ならびに層6および7の上方での誘導加熱ユニット30の高さ、ならびに前方運動の速度は、ロッド5の温度が溶融温度を上回り、前の生産層6のエリアの温度が第1の所定の温度であり、現在の生産層7のエリアの温度が第2の所定の温度であるように調節される。

【0176】

いくつかの実施形態では、システム100は、ステップ420および430を連続して実施するのを可能にしてもよく、それにより、誘導加熱ユニット30に供給されるAC電力、誘導加熱ユニット30の内側巻回の上方でのロッド5の高さ、ならびに層6の上方での誘導加熱ユニット30の高さ、ならびに前方運動の速度が、ロッド5の温度が溶融温度を上回り、層6のエリアの温度が第1の所定の温度であるように調節される。いくつかの実施形態では、システム100は、ステップ430および440を連続して実施するのを可能にしてもよく、それにより、誘導加熱ユニット30に供給されるAC電力、誘導加熱ユニット30の内側巻回の上方でのロッド5の高さ、ならびに層7の上方での誘導加熱ユニット30の高さ、ならびに前方運動の速度が、ロッド5の温度が溶融温度を上回り、層7のエリアの温度が第2の所定の温度であるように調節される。

【0177】

次に、本発明のいくつかの実施形態による金属物体の付加的鑄造の方法400Bのフローチャートである、図4Bを参照する。方法400Bは、図3Aを参照して開示した、少なくとも3つの誘導加熱ユニット32、34、および36を用いる、システム150によって実施されてもよい。

【0178】

したがって、方法400Bは、構築計画に従って構築テーブル上に現在の生産層の金型領域を構成するステップ402の後、PDPユニットと構築テーブルとの間の相対移動を提供するステップ450の間に、次のステップを含む。

【0179】

ステップ420Bで、任意に、PDPユニットの第1の誘導コイルに電力を提供し、前の生産層の物体領域内のエリアを第1の温度まで予熱する。例えば、コントローラ60は、電源90を制御して、電流レベル、電流振幅、電流極性、タイミング、持続時間、および電流AC周波数の少なくとも1つに求められる出力を第1の誘導コイル32に提供してもよい。

【0180】

ステップ430Bで、PDPユニットの第2の誘導コイルに電力を提供し、溶融金属デポジタの一部分を加熱して、現在の生産層の物体領域内の作成エリアに金属を堆積する。

【0181】

いくつかの実施形態では、誘導加熱ユニット32には、前の生産層6内のエリアを予熱するための第1の電力レベルが提供されてもよい。いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム40は、層6内のエリアの均等な加熱を担保するために、予熱プロセス中、誘導加熱ユニット32を平面移動させてもよい。

【0182】

いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム40は、誘導加熱ユニット32と層6内のエリアとの間の最適な磁気エネルギー結合を担保するために、誘導加熱ユニット32を垂直方向で移動させてもよい。いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム40は、エネルギー結合を最適化するために、誘導加熱ユニット32を平面移動の進行方向で層6に向かって、または層6から離れるように傾けてもよい。いくつかの実施形態では、誘導加熱ユニット32は予め傾けられてもよく、プラットフォーム40は誘導加熱ユニット32に平面移動を提供してもよい。

【0183】

いくつかの実施形態では、提供された出力レベル、持続時間、層6（もしくはそのエリア）と誘導加熱ユニット32の下面との間の距離、誘導加熱ユニット30の傾斜角、およびプラットフォーム40の平面速度のうち少なくとも1つが、層6またはその部分を所定の第1の温度まで予熱するのに選択されてもよい。いくつかの実施形態では、所定の第1の温度は、層6の金属の溶融温度よりも高くてもよい。例えば、鉄合金の場合、決定された第1の温度は層6の溶融温度よりも50℃高くてもよい。いくつかの実施形態では、コントローラ60は、層6の表面から取った温度測定値をセンサ50（例えば、IRカメラ、高温計、またはその他）から受信してもよく、受信した測定値に基づいて、提供された出力レベル、持続時間、層6と誘導加熱ユニット32の下面との間の距離、誘導加熱ユニット32の傾斜角、およびプラットフォーム40の平面速度のうち少なくとも1つを調節してもよい。

【0184】

ステップ430Bで、電力は、現在の金属層を前の生産層の上に堆積するため、溶融金属デポジタ（例えば、金属ロッド5）で金属を溶融するのに、第2の誘導コイルに提供されてもよい。いくつかの実施形態では、電源90は、ロッド5の先端を溶融するため、第2の電力レベルを第2のコイル34に提供してもよい。例えば、コントローラ60は、電源90を制御して、電流レベル、電流振幅、電流極性タイミング、持続時間、および電流AC周波数のうち少なくとも1つに対して求められるような出力を第2の誘導コイル34に提供してもよい。

【0185】

いくつかの実施形態では、第2の電力レベルは、ロッドの先端を溶融するのに必要なEMエネルギーに基づいて決定されてもよい。いくつかの実施形態では、追加のパラメータは、ロッド5を溶融することによって提供される溶融フロー9のタイプを制御してもよい。溶融物9は、溶融金属の連続的な制御されたフローとして提供されてもよい。あるいは、溶融物9は溶融液滴の形で提供されてもよい。いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム40は、層7に対する溶融物の提供を担保するために、堆積プロセス中、誘導加熱ユニット34を平面移動させてもよい。

【0186】

いくつかの実施形態では、ホルダ20は、垂直移動をロッド5に提供し、したがって、図4Aに示される方法400のステップ430に関して上述したように、ロッド5の溶融先端と前の生産層6との間の距離を制御するように制御されてもよい。いくつかの実施形態では、コントローラ60は、本明細書で上述したように、センサ50などのセンサから受信される、決定された溶融フロープロファイルおよび／または測定値に基づいて、ロッドの垂直位置（例えば、ホルダ20のアクチュエータを制御することによる）、ロッドの垂直速度、コイルに提供される電流、およびコイルに提供される出力のうち少なくとも1つを制御してもよい。

【0187】

ステップ440Bで、任意に、PDPユニットの第3の誘導コイルに電力を提供し、現在の生産層の物体領域内のエリアを第2の温度まで後加熱する。例えば、コントローラ60は、誘導加熱ユニット36に現在の生産層7を後加熱するための第3の電力レベルを提供するように、電源90を制御してもよい。いくつかの実施形態では、コントローラ60は、電源90を制御して、電流レベル、電流振幅、電流極性、タイミング、持続時間、および電流AC周波数のうち少なくとも1つに対して求められるような出力を第3の誘導加熱ユニット36に提供してもよい。

【0188】

いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム40は、層7またはそのエリアの均等な後加熱を担保するために、後加熱プロセス中、誘導加熱ユニット36を平面移動させてもよい。いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム40は、誘導加熱ユニット36と層7との間の最適な磁気エネルギー結合を担保するために、誘導加熱ユニット36を垂直方向で移動させてもよい。いくつかの実施形態では、可動プラットフォーム40は、エネルギー結合を最適化するために、誘導加熱ユニット36を平面移動の進行方向で層7に向かって、または層7から離れるように傾けてもよい。いくつかの実施形態では、誘導加熱ユニット36は予め傾けられてもよく、プラットフォーム40はコイル36に平面移動を提供してもよい。

【0189】

いくつかの実施形態では、提供された出力レベル、持続時間、層7と誘導加熱ユニット36の下面との間の距離、誘導加熱ユニット36の傾斜角、およびプラットフォーム40の平面速度のうち少なくとも1つが、層7またはそのエリアを所定の第2の温度まで後加熱するのに選択されてもよい。いくつかの実施形態では、所定の第2の温度は、層7の金属の溶融温度よりも高くてもよい。例えば、鉄合金の場合、決定された第1の温度は層7の溶融温度よりも100℃高くてもよい。いくつかの実施形態では、コントローラ60は、層7の表面から取った温度測定値をセンサ50（例えば、IRカメラ、高温計、またはその他）から受信してもよく、受信した測定値に基づいて、提供された出力レベル、持続時間、層7と誘導加熱ユニット36の下面との間の距離、誘導加熱ユニット36の傾斜角、およびプラットフォーム40の平面速度のうち少なくとも1つを調節してもよい。

【0190】

いくつかの実施形態では、システム150は、ステップ450を実施する間にステップ420B、430B、440Bを連続して実施することによって、誘導加熱ユニット32が、PDPユニット15の進行に先行して、任意に層6またはそのエリアを予熱し、その後誘導加熱ユニット34が追従してロッド5の先端を溶融し、溶融物9を堆積することを可能にしてもよい。いくつかの実施形態では、現在の生産層7のこのように堆積した物体領域は、誘導加熱ユニット36によって直ぐに後加熱されてもよい。したがって、構築テーブルの上を通る1回の行程で、システム150は、層6および7の任意の予熱、堆積、および任意の後加熱を実施してもよい。

【0191】

いくつかの実施形態では、コントローラ60は、任意に層6の物体領域全体を予熱し、次に層7の物体領域全体を堆積し、次に任意に層7の物体領域全体を後加熱するように、

10

20

30

40

50

システム150を制御してもよい。あるいは、コントローラ60は、任意に前の生産層6のエリア（例えば、単一のライン）を予熱し、次に層7の第1の部分（例えば、ライン）を堆積し、層7の堆積した第1の部分を後加熱して、追加のエリアに対してプロセスを繰り返すように、システム150を制御してもよい。

【0192】

いくつかの実施形態では、ステップ402～450は、3D金属物体を層ごとに製造するために繰り返されてもよい。

【0193】

次に、本発明のいくつかの実施形態による金属物体の付加的製造のシステムを制御する方法500のフローチャートである、図5を参照する。いくつかの実施形態では、方法500は、システム100および150の両方に含まれるコントローラ60によって実施されてもよい。ステップ510で、コントローラ60は、様々な製造パラメータに対する標的値をセットしてもよい。例えば、コントローラ60は、ステップ513で、溶融物9を堆積するための標的質量流量 dM/dt をセットしてもよい。別の例では、コントローラ60は、ステップ514で、フローのタイプ（例えば、連続、液滴など）をセットしてもよい。さらに別の例では、ステップ516で、コントローラ60は、層6またはそのエリアを予熱するのに必要な第1の温度、ならびに／あるいは層7またはそのエリアを後加熱する第2の温度のいずれか一方をセットしてもよい。いくつかの実施形態では、ステップ518で、コントローラ60は溶融フロー9に必要な温度をセットしてもよい。

【0194】

ステップ520で、コントローラ60は、1つまたは複数のセンサから測定値を受信してもよい。例えば、コントローラ60は、ステップ521で、ロッド5の先端の温度を受信してもよい。別の例では、ステップ522で、コントローラ60は、構築テーブル4に対するロッド5の垂直位置／垂直速度を（例えば、ホルダ20のアクチュエータから）受信してもよい。ステップ523で、コントローラ60は、例えば、ロッド5および／または構築テーブル4の重量を時間測定することによって、質量流量 dM/dt 測定値を重量センサ54から受信してもよい。ステップ524で、コントローラ60は、カメラ52から溶融フローの画像を受信してもよい。いくつかの実施形態では、知られている画像解析方法を使用して、コントローラ60は、溶融フローのタイプおよび／または幅を決定してもよい。ステップ526で、コントローラ60は、層6および／または層7の温度測定値を、例えばセンサ50から受信してもよい。ステップ528で、コントローラ60は、溶融フロー9の温度測定値を、例えばセンサ50から受信してもよい。

【0195】

ステップ530で、コントローラ60は、ステップ520で測定されたパラメータを、ステップ510でセットされた必要なパラメータと比較してもよい。いくつかの実施形態では、コントローラ60は、比較に基づいて、システム100および／または150の1つもしくは複数の動作パラメータを調節してもよい。コントローラ60は、温度を増加／減少させるために、コイルおよび／またはロッドと層との間の垂直距離を増加／減少させてもよい。いくつかの実施形態では、コントローラ60はコイルに提供される出力を増加／減少させてもよい。例えば、コントローラ60は、ステップ532で、第1の出力レベル、第2の出力レベル、および第3の出力レベルのうち少なくとも1つの出力／電流を調節してもよい。別の例では、コントローラ60は、ステップ534で、可動プラットフォーム40および／または構築テーブル4を制御することによって、PDPユニット10または15の移動（例えば、平面／垂直）を制御してもよい。さらに別の例では、コントローラ60は、ホルダ20のアクチュエータを制御することによって、ロッド5の垂直速度（ステップ536）および／または垂直位置（ステップ538）を制御してもよい。

【0196】

作成エリアを加熱すること（複数の作成エリアを加熱することを含む）は、金属物体の溶融温度以上の堆積前温度まで加熱することを含み、それにより、金属を複数の作成エリア上に堆積して溶融金属と複数の作成エリアとの結合に影響を及ぼす前に、溶融金属の溶

10

20

30

40

50

融プールが作成エリア内に作られ、金属堆積前または金属堆積中、作成エリアはそれぞれ不活性環境で維持される。

【0197】

鑄造方法はさらに、複数の作業エリアの熱冷却プロファイルに影響を及ぼすように、金属を複数の作成エリア上に堆積した後、複数の作成エリアを堆積後標的溫度まで加熱することを含んでもよい。

【0198】

本発明の一態様によれば、縦スタックを形成する複数の生産層を構成することによって、金属物体を鑄造する鑄造システムであって、複数の生産層のうちのいくつかの生産層が金型領域を有し、複数の生産層のうちのいくつかの生産層が金型領域によって画定された物体領域を有し、現在の生産層が縦スタックの前の生産層の上面上に構成される、システムが提供され、システムは、現在の生産層の金型領域を構成するように動作する金型構成ユニットと、現在の生産層の金型領域によって画定された物体領域内に溶融金属を堆積するように動作する溶融金属デポジタ、溶融金属デポジタに取り付けられた、溶融金属デポジタを保持するホルダ、およびホルダに取り付けられた少なくとも1つの誘導加熱ユニットを含む、準備－堆積－後処置（PDP）ユニットと、生産層の縦スタックを支持する構築テーブルと、PDPユニットと構築テーブルとの間の、進行方向に沿った相対移動を提供する可動プラットフォームと、溶融金属の堆積前および堆積中、現在の生産層の物体領域の少なくとも作成エリアを不活性環境で維持する不活性ガスユニットと、PDPユニットおよび可動プラットフォームを制御して、溶融金属を作成エリア内に堆積し、PDPユニットを制御して、（1）溶融金属堆積前に作成エリアを堆積前溫度まで予熱すること、および（2）溶融金属堆積後に作成エリアを堆積後溫度まで後加熱することのうち少なくとも一方を実施する、コントローラとを備える。

【0199】

本発明の一態様によれば、金型領域および金型領域によって画定される物体領域を有する複数の生産層を順次生産することによって、金属物体を付加的鑄造する鑄造方法が提供され、方法は、現在の生産層の物体領域を生産する前に現在の生産層の金型領域を構成することと、現在の生産層の金型領域によって画定される物体領域内に溶融金属を堆積するように動作する溶融金属デポジタ、溶融金属デポジタに取り付けられた、溶融金属デポジタを保持するホルダ、およびホルダに取り付けられた少なくとも1つの誘導加熱ユニットを含む、準備－堆積－後処置（PDP）ユニットを進行方向に沿って移動させることと、構築計画に従って現在の生産層の物体領域において複数の作成エリア内に所定の堆積溫度で溶融金属を堆積することと、複数の作成エリアを加熱することと、を含み、複数の作成エリアを加熱することは、複数の作成エリアを金属物体の溶融溫度以上の標的堆積前溫度まで加熱することによって、金属を複数の作成エリア上に堆積する前に作成エリア内に溶融金属の溶融プールを作って、溶融金属と複数の作成エリアとの結合に影響を及ぼすことを含み、作成エリアはそれぞれ、金属堆積前または堆積中は不活性環境で維持される。

【0200】

PDPユニットについて、金型領域のキャビティ内の金属堆積に使用することに関連して記載した。しかしながら、PDPユニットの使用はそれに限定されない。PDPユニットは、物体領域と同じ生産層上に構成されていない金型または金型領域を使用して、金属物体を鑄造するのに使用されてもよい。PDPユニットは、金型をまったく用いずに金属物体を鑄造するのに使用されてもよい。

【0201】

したがって、本発明の一態様によれば、付加的金属鑄造のための準備－堆積－後処置（PDP）ユニットが提供され、PDPユニットは、作成領域内に溶融金属を堆積するように動作する溶融金属デポジタと、溶融金属デポジタに取り付けられた、溶融金属デポジタを保持するホルダと、ホルダに取り付けられた少なくとも1つの誘導加熱ユニットと、進行方向に沿ってPDPユニットの相対移動を提供する可動プラットフォームと、PDPユニットおよび可動プラットフォームを制御して、溶融金属を作成エリア内に堆積し、PDP

Pユニットを制御して、（１）溶融金属堆積前に作成エリアを堆積前温度まで予熱すること、および（２）溶融金属堆積後に作成エリアを堆積後温度まで後加熱することのうち少なくとも一方を実施する、コントローラと、を備えてもよい。

【０２０２】

コントローラは、少なくとも１つの誘導加熱ユニットを制御して、溶融金属デポジタの一部分を加熱するように動作してもよい。コントローラは、少なくとも１つの誘導加熱ユニットを制御して、作成エリア内の金属の上面に溶融プールを作るように動作してもよい。コントローラは、少なくとも１つの誘導加熱ユニットを制御して、（１）溶融プールの熱パラメータ、（２）作成エリアの熱パラメータ、および（３）作成エリアの冷却プロファイルのうち１つまたは複数に影響を及ぼすように動作してもよい。コントローラは、少なくとも１つの誘導加熱ユニットに電力を提供するように動作してもよい。

10

【０２０３】

コントローラは、作成エリアの上方におけるPDPユニットの作業距離を変更するように動作してもよい。コントローラは、（１）溶融金属デポジタ、（２）ホルダ、および（３）少なくとも１つの誘導加熱ユニットのうち１つまたは複数の、作成エリアの上方における作業距離を変更するように動作してもよい。

【０２０４】

少なくとも１つの誘導加熱ユニットは、進行方向に対して先行区画および追従区画を有してもよく、進行方向に沿って、先行区画は溶融金属堆積前に作成エリアを予熱するように動作し、追従区画は溶融金属堆積後に作成エリアを後加熱するように動作する。少なくとも１つの誘導加熱ユニットは、（１）実質的に円形の平面形状、（２）進行方向に平行な長軸を有する実質的に楕円の平面形状、（３）進行方向に直交する長軸を有する実質的に楕円の平面形状、（４）動作中は頂点が基部よりも作成エリアの近くにあるように配向された、質的に円錐の形状、から成る群から選択された形状を有する磁気誘導コイルを備えてもよい。少なくとも１つの誘導加熱ユニットは、少なくとも１つの誘導加熱ユニットの第１の部分では巻線の第１の密度を有し、少なくとも１つの誘導加熱ユニットの第２の部分では第１の密度よりも高い巻線の第２の密度を有する、複数の巻線を含む磁気誘導コイルを含んでもよい。少なくとも１つの誘導加熱ユニットは、動作中、構築テーブルに垂直であるか、または構築テーブルに対して所定の角度で傾けられる、中心軸を有してもよい。

20

30

【０２０５】

溶融金属デポジタは、（１）金属ロッドであって、少なくとも１つの誘導加熱ユニットが金属ロッドの先端を溶融するように動作する、金属ロッド、および（２）溶融金属を包含するように動作し、少なくとも１つの誘導加熱ユニットが溶融金属を溶融状態で維持するように動作する、るつぽから成る群から選択された、溶融金属源を備えてもよい。

【０２０６】

PDPユニットはさらに、溶融金属を溶融金属デポジタに提供する溶融金属フィーダを備えてもよい。

【０２０７】

本発明の一態様によれば、溶融金属デポジタ、PDPユニットのホルダ、およびホルダに取り付けられた少なくとも１つの誘導加熱ユニットを有する、準備－堆積－後処置（PDP）ユニットを使用して金属物体を鋳造する、鋳造方法が提供され、方法は、PDPユニットの相対移動を提供することと、少なくとも１つの誘導加熱ユニットに電力を提供することと、を含み、電力を提供することは、溶融金属デポジタを加熱して溶融金属を作成エリア上に堆積するため、ならびに、溶融金属を堆積する前に作成エリアを第１の温度まで予熱すること、および溶融金属を堆積した後に作成エリアを第２の温度まで後加熱することのうち少なくとも一方を実施するためである。

40

【０２０８】

鋳造方法はさらに、（１）溶融金属デポジタの相対垂直移動を提供し、溶融金属デポジタと作成エリアとの間の距離を制御すること、（２）必要な溶融金属堆積速度を決定する

50

こと、(3) PDPユニットの相対移動の速度および方向のうち少なくとも1つを制御すること、(4) 熔融金属堆積プロファイルを設定し、熔融金属堆積プロファイルに基づいて、熔融金属デポジタの垂直位置、熔融金属デポジタの速度、および少なくとも1つの誘導加熱ユニットに提供される電力レベルのうち少なくとも1つを制御すること、(5) 熔融金属デポジタの一部分の温度を測定し、測定された温度に基づいて、熔融金属デポジタの垂直位置、熔融金属デポジタの速度、および少なくとも1つの誘導加熱ユニットに提供される電力レベルのうち少なくとも1つを制御すること、ならびに(6) 作成エリアを後加熱することのうちの1つまたは複数を含んでもよい。

【0209】

本発明について、誘導加熱を用いて実現される前処理および後処理を参照して考察した。本発明は誘導加熱に限定されず、例えばプラズマまたはトーチを用いる、他の加熱技法が使用されてもよい。

10

【0210】

本明細書全体を通して使用されるとき、「金属」または「金属の」という用語は、例えば、鉄合金、アルミニウム合金、銅合金、ニッケル合金、マグネシウム合金など、熔融および鑄造に好適な任意の金属および／または金属合金を指す。本発明は、鑄造材料のタイプによって限定されず、ねずみ鑄鉄、ダクタイル鉄、および鋼を含む、他の金属の付加的鑄造に適用可能である。

【0211】

本発明の特定の特徴を本明細書に例示し記載してきたが、多くの修正、置換、変更、および等価物が当業者には想起されよう。したがって、添付の請求の範囲は、すべてのかかる修正および変更を、本発明の真の趣旨内にあるものとして包含することが意図されるものであることが理解されるべきである。

20

【0212】

付記－冶金評価

図6Aから図6Fは、本発明の一実施形態に従って製造された鑄造物体の切取り試験片に対して実施した冶金評価の結果を示している。

【0213】

3つの鑄造金属物体を評価のために製造し、それぞれ1、2、および3とラベリングした。これらは、各縁部15cmの金属の鑄造立方体から縦スライスとして切断した。立方体の鑄造は、酸素含量が制御された雰囲気中で実施した。基部層は、15cm×15cmの正方形の厚さ0.5cmの焼結アルミナセラミックであった。金属を、焼結アルミナセラミックの15cm×15cmの正方形の中空フレーム金型によって形成される金型キャビティ内部で、連続層の縦スタックの形で付加的堆積した。堆積および加熱は、ラストスキャンパターンで可動加熱および分配ユニットによって実施した。

30

【0214】

図6Aはスライス2の写真である。この側面は、元は鑄造立方体の外側面(x-z面)だった面であり、この表面には仕上げ処置がされなかった。図6Aに見えるかすかな水平ラインは、例えば、金型によって作られた圧痕である。

【0215】

図6Bは、スライス2の裏面を示す写真である。これは、スライス2の内面だった面であり、立方体からスライスした後に研磨した。図6Cは、スライス2の写真斜視図である。研磨した面の平滑度がこの図でわかる。

40

【0216】

物体1および3を切断して、水平下部切取り試験片(左、中央、右)、水平上部切取り試験片(左、中央、右)、および垂直切取り試験片(左、中央、右)の金属切取り試験片にした。切取り試験片は、32mmのゲージ長さ、65~70mmの合計長さ、1.8~2.45mmの範囲の厚さ、および4.9~5.5mmの範囲の幅を有する。

【0217】

ラベル1の鑄造物からの18の切取り試験片、およびラベル3の鑄造物からの17の切

50

取り試験片の、元素分析、機械的試験、および強度試験を実施した。

【0218】

元素分析はX線蛍光分光法を用いて実施した。鑄造物内の異なる切取り試験片同士、ならびに鑄造物1および3の間の、差または類似性を検証するため、主な合金成分のみを分析した。図6Dの表は、代表的な切取り試験片の元素分析を示している。元素分析で、上部および下部切取り試験片、左、中央、および右の切取り試験片、ならびに鑄造物1および3切取り試験片の間の類似性を検証した。

【0219】

機械的試験および強度試験は、サーボ油圧張力試験機械MTS370.10で実施した。適用したひずみ速度は0.14min⁻¹であった。基線長25mmの伸縮計を使用してひずみデータを測定し、破断するまで切取り試験片に取り付けたままにした。

10

【0220】

図6Eおよび図6Fは、すべての切取り試験片の応力-ひずみグラフである。応力-ひずみグラフは、鑄鉄に典型的な類似した見た目を有する。機械的強度試験で、上部および下部切取り試験片、左、中央、および右の切取り試験片、ならびに鑄造物1および3切取り試験片の間の類似性を検証した。

【0221】

全体として、分析した部分1および3の間に顕著な差は見られず、鑄造部品の機械的特性において高度な均一性が示された。

20

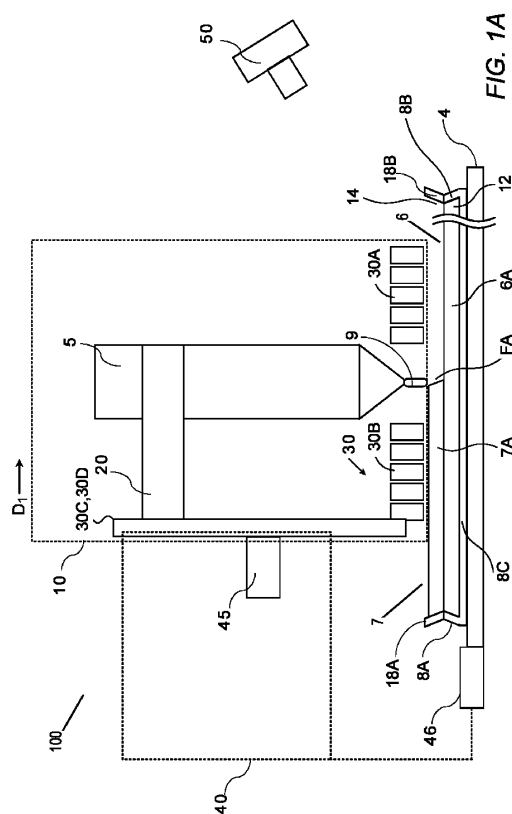
30

40

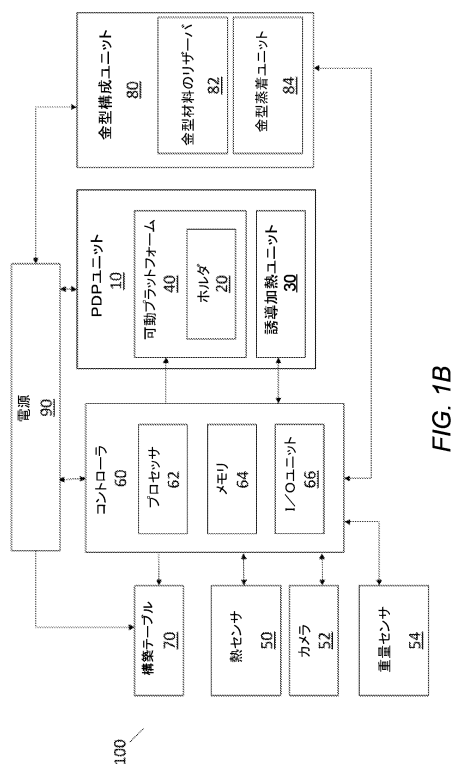
50

【図面】

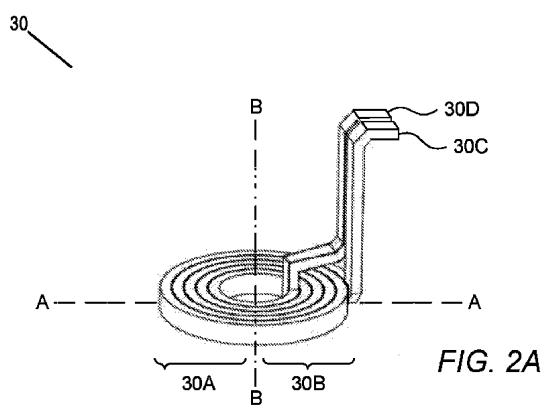
【図 1 A】



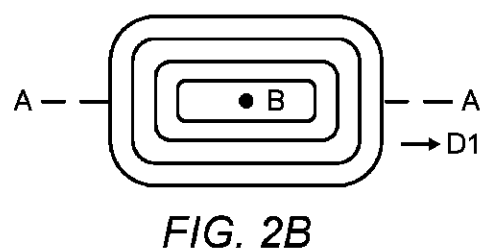
【図 1 B】



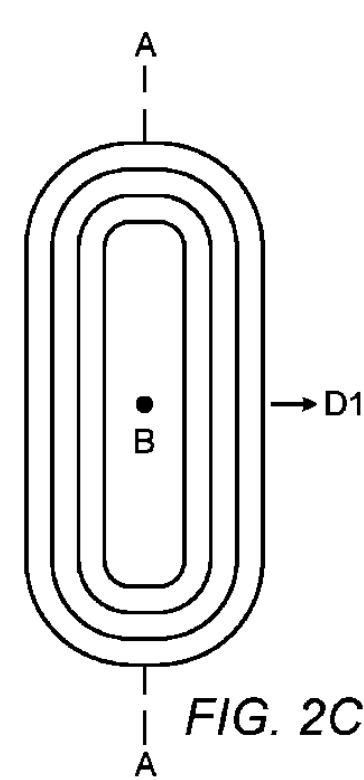
【図 2 A】



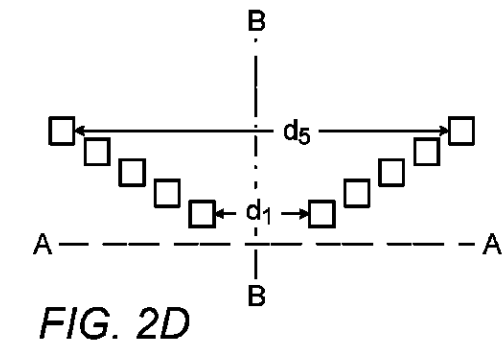
【図 2 B】



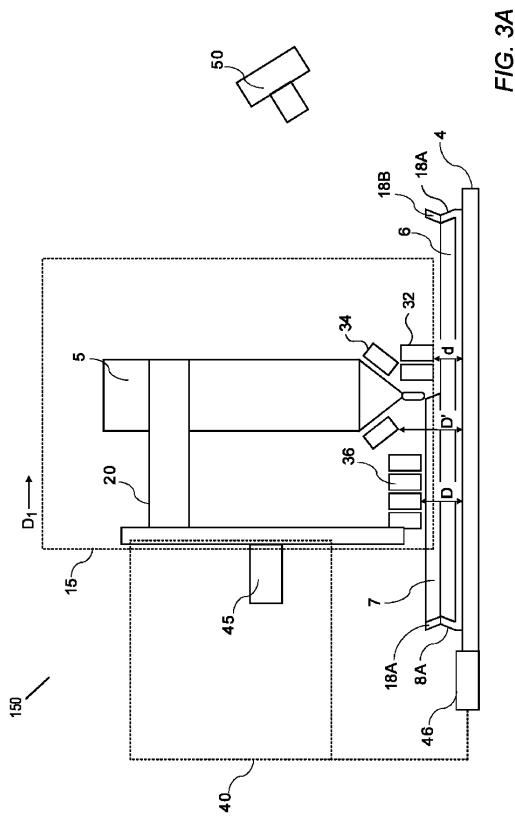
【図 2 C】



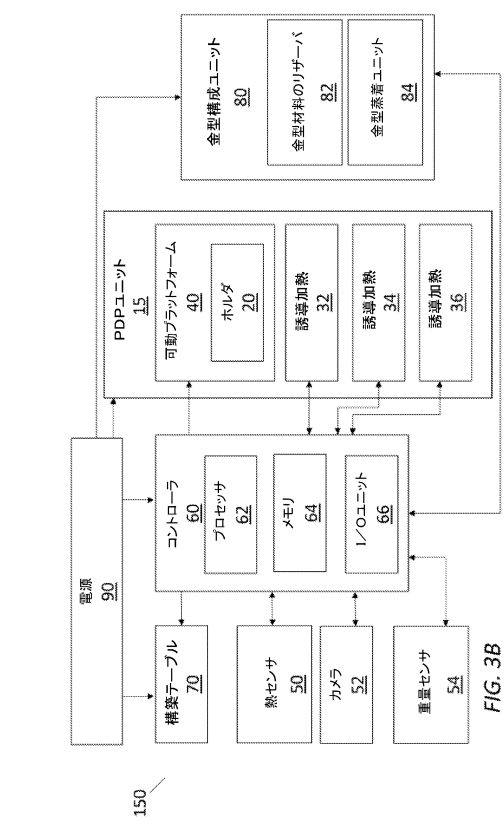
【図 2 D】



【図 3 A】



【図 3 B】



10

20

30

40

50

【図 4 A】

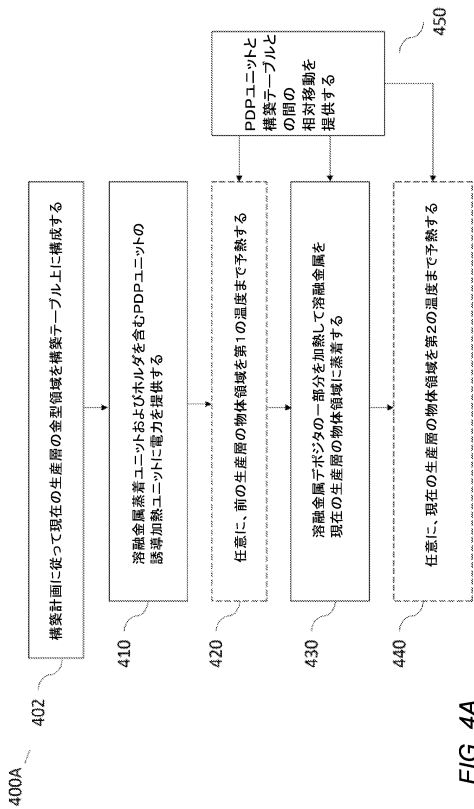


FIG. 4A

【図 4 B】

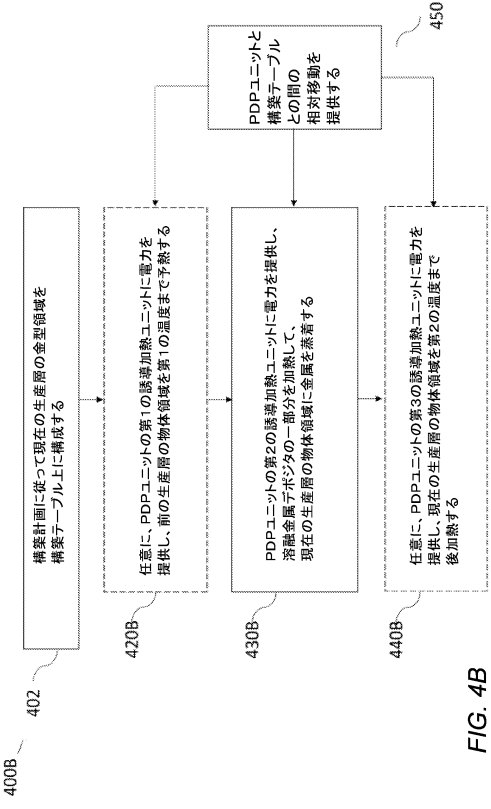


FIG. 4B

【図 5】

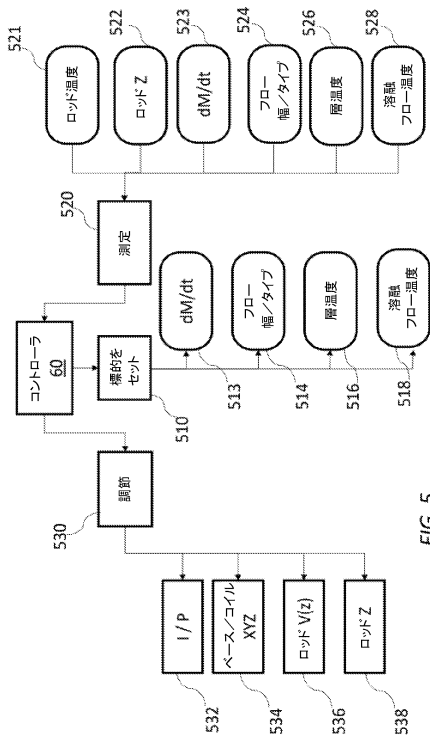


FIG. 5

【図 6 A - C】

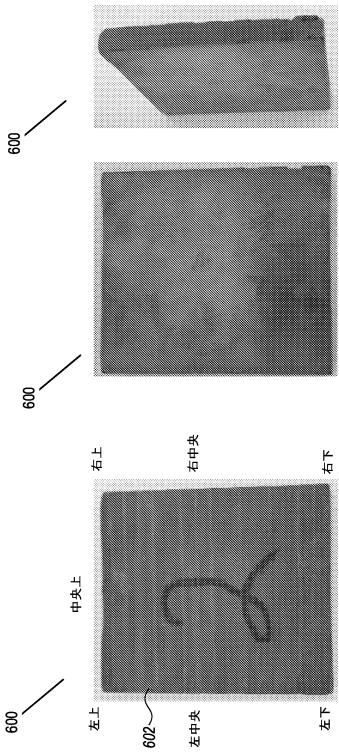


FIG. 6A

FIG. 6B

FIG. 6C

【図 6 D】

切り取り試験片	元素		
	マンガン (Mn)	シリコン (Si)	鉄 (Fe)
鋳造物1垂直3	0.7	2.6	残部
鋳造物1垂直7	0.7	2.8	残部
鋳造物1垂直11	0.7	2.9	残部
鋳造物1上層1	0.7	2.8	残部
鋳造物1上層3	0.7	2.8	残部
鋳造物1下層1	0.7	2.8	残部
鋳造物1下層3	0.7	2.9	残部
鋳造物3垂直3	0.7	2.7	残部
鋳造物3垂直7	0.7	2.7	残部
鋳造物3垂直11	0.7	2.8	残部
鋳造物3下層3	0.7	2.7	残部
鋳造物3下層1	0.7	2.8	残部
鋳造物3上層1	0.7	2.7	残部
鋳造物3上層3	0.7	2.7	残部
参照のねずみ鋳鉄	0.25-1.0	1.0-3.0	残部

FIG. 6D

【図 6 E】

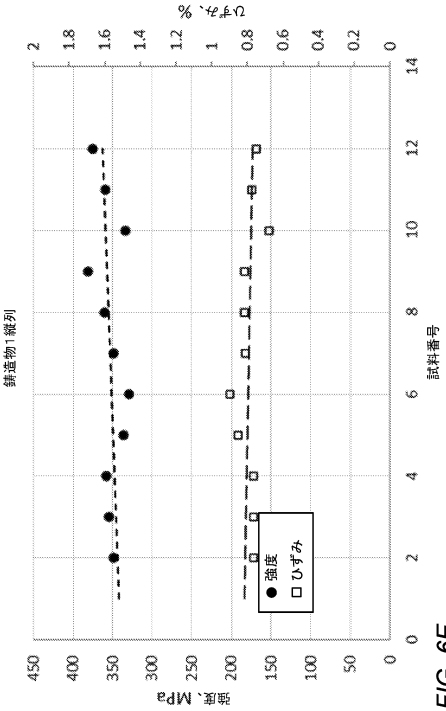


FIG. 6E

【図 6 F】

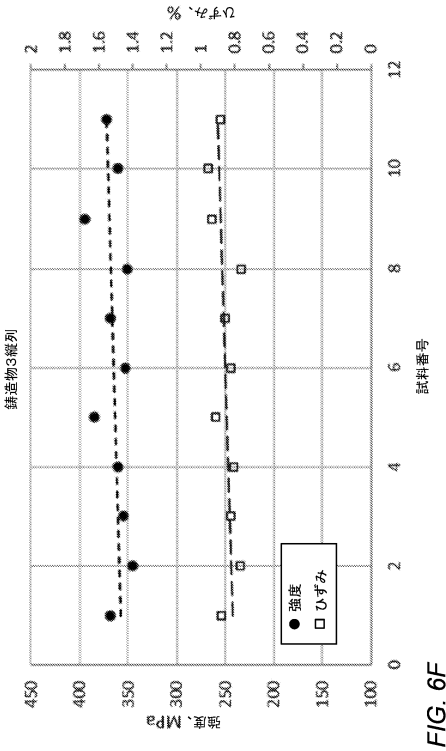


FIG. 6F

フロントページの続き

- (72)発明者 ラヴィ, ギル
 イスラエル国 ネス ジオナ 7 0 4 5 8 6 8, アルターマン ストリート 6 ビー
- 審査官 中西 哲也
- (56)参考文献 中国特許出願公開第1 0 5 5 5 5 4 5 7 (CN, A)
 特開2 0 2 0 - 1 8 5 5 9 0 (JP, A)
 特開2 0 1 5 - 1 4 0 6 5 3 (JP, A)
 中国特許出願公開第1 0 7 9 8 4 7 5 5 (CN, A)
 米国特許出願公開第2 0 2 0 / 0 2 0 6 8 1 0 (US, A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
 B 2 2 D 1 / 0 0 - 4 7 / 0 2
 B 2 2 F 1 0 / 0 0 - 1 2 / 9 0