

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6972165号
(P6972165)

(45) 発行日 令和3年11月24日 (2021.11.24)

(24) 登録日 令和3年11月5日 (2021.11.5)

(51) Int.Cl.	F 1
B 22 F 12/40	(2021.01)
B 22 F 12/90	(2021.01)
B 22 F 10/25	(2021.01)
B 23 K 26/34	(2014.01)
B 23 K 26/21	(2014.01)

B 22 F 12/40
B 22 F 12/90
B 22 F 10/25
B 23 K 26/34
B 23 K 26/21

12/40
12/90
10/25
26/34
26/21

F 1
B 22 F
B 22 F
B 22 F
B 23 K
B 23 K

12/40
12/90
10/25
26/34
26/21

Z

請求項の数 18 (全 24 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2019-553311 (P2019-553311)
(86) (22) 出願日	平成30年4月3日 (2018.4.3)
(65) 公表番号	特表2020-530525 (P2020-530525A)
(43) 公表日	令和2年10月22日 (2020.10.22)
(86) 国際出願番号	PCT/EP2018/058421
(87) 国際公開番号	W02018/178387
(87) 国際公開日	平成30年10月4日 (2018.10.4)
審査請求日	令和2年11月17日 (2020.11.17)
(31) 優先権主張番号	102017106975.5
(32) 優先日	平成29年3月31日 (2017.3.31)
(33) 優先権主張国・地域又は機関	ドイツ (DE)
(31) 優先権主張番号	18157417.9
(32) 優先日	平成30年2月19日 (2018.2.19)
(33) 優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁 (EP)

(73) 特許権者 516234100
プレシテック ゲーエムペーハー ウント
ツェーオー カーゲー
ドイツ ガッゲナウ ドライスシュトラー
セ 1
(73) 特許権者 390039413
シーメンス アクチエンゲゼルシャフト
Siemens Aktiengesell
Ischaft
ドイツ連邦共和国 D-80333 ミュ
ンヘン ヴェアナー-フォン-シーメンス
-シュトラーセ 1
(74) 代理人 100075166
弁理士 山口 嶽

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】付加製造用の装置及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

付加製造用の装置 (100) であって、
レーザービーム (112) による材料加工のためのレーザー装置 (110) であって、
前記レーザービーム (112) をワークピース (10) の加工領域上に向けるように構成
されているレーザー装置 (110) ;

供給材料のための少なくとも 1 つの供給装置 (130) であって、前記供給材料を前記
加工領域に供給するように構成されている供給装置；及び

干渉計 (140) を備えた干渉計ユニットであって、少なくとも 1 つの光学的測定ビ
ーム (142) により前記ワークピース (10) の表面までの距離を測定するように構成さ
れている干渉計ユニット

を備えていることを特徴とする付加製造用の装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の装置 (100) であって、前記干渉計ユニットが、生成された溶接ビ
ード (12) の大きさ、生成された溶接ビード (12) の高さ、生成された溶接ビード (12)
の位置、前記ワークピース (10) の表面の位置及び前記ワークピース (10) の
表面の形状を含む群から選ばれる少なくとも 1 つの物理変数を、前記距離測定により、決
定するように構成されている装置。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の装置 (100) であって、前記干渉計ユニットが、前記ワーク

10

20

ピース(10)の前記加工領域までの距離及び/又は前記加工領域に隣接する前記ワークピース(10)の領域までの距離を測定するように構成されている装置。

【請求項4】

請求項1~3のいずれか1項に記載の装置(100)であって、更に、少なくとももう1つの追加の物理変数を検出するための検出手段を備え、

前記追加の物理変数が、前記供給材料の供給流量、前記供給装置の供給速度、レーザー出力、前記レーザービーム(112)の焦点直径、熔融溜りの寸法及び前記熔融溜りの温度から選択されることを特徴とする装置。

【請求項5】

請求項1~4のいずれか1項に記載の装置であって、

10

溶接プロセスの少なくとも1つの物理変数(1096)の検出のための検出手段(1097)並びに、前記少なくとも1つの検出された物理変数(1060)及び/又はその変化の関数として、少なくとも1つのプロセスパラメータ(1060)を調整するための作動手段を備え、

レーザー金属蒸着用の加工ヘッド(1090)並びに距離検出装置(10097)を備え、前記距離検出装置は、前記部品(1020)からの前記加工ヘッド(1090)の距離の測定用に構成されており、及び/又は前記距離検出装置は、干渉断層撮影装置(1097)を備えるか又は干渉断層撮影装置と光学的に結合されている、

部品(1020)の付加レーザー金属蒸着(1095)用の装置(1035)であることを特徴とする装置。

20

【請求項6】

請求項1~5のいずれか1項に記載の装置(100)であって、

前記装置が、前記干渉計ユニットによって測定された距離に基づいて、及び/又は前記少なくとも1つの決定された物理変数に基づいて、及び/又は前記少なくとも1つの検出された物理変数に基づいて、前記レーザー装置(110)及び/又は前記少なくとも1つの供給装置(130)を制御するように構成されている制御部を備えることを特徴とする装置。

【請求項7】

請求項6に記載の装置(100)であって、

30

前記制御部が、少なくとも1つのプロセス入力変数を制御することによって、前記レーザー装置(110)及び/又は前記少なくとも1つの供給装置(130)を制御するように、構成されており、

ここで、前記プロセス入力変数は、前記ワークピース(10)に対する前記装置の移動方向、前記ワークピース(10)に対する移動速度、前記供給装置(130)の供給速度、前記供給材料の供給流量、粉末流速、粉末量、粉末組成、粉末供給方向、ワイヤ供給方向、ワイヤ送り速度、ワーキングディスタンス、プロセスガス組成、プロセスガス圧、レーザー焦点直径、光軸の位置、レーザー焦点位置、レーザーパルス幅、及びレーザー出力から選択される、

ことを特徴とする装置。

【請求項8】

40

請求項6又は7に記載の装置(100)であって、

前記制御部が、前記加工領域又は前記溶接ビード(12)又は前記付加製造プロセスのモデルからのずれが最大閾値未満に維持され及び/又は極小となるように、少なくとも1つのプロセス変数を調整するように、構成されていることを特徴とする装置。

【請求項9】

請求項1~8のいずれか1項に記載の装置(100)であって、

前記干渉計(140)が、コヒーレンス干渉計又は低コヒーレンス干渉計であり、及び/又は

前記干渉計(140)が、前記レーザー装置(110)のビーム経路に前記光学的測定ビーム(142)をカップリングするように構成されており、又は

50

前記干渉計(140)が、前記光学的測定ビーム(142)のための、前記レーザー装置(110)の前記ビーム経路から分離された、ビーム経路を備える、ことを特徴とする装置。

【請求項10】

請求項1～9のいずれか1項に記載の装置(100)であって、

前記干渉計(140)が、前記光学的測定ビーム(142)を前記レーザービーム(112)に対して固定して提供するように構成されており、及び／又は、

前記干渉計(140)が、前記光学的測定ビーム(142)を前記レーザービーム(112)に対して可動的に提供するように構成されており、及び／又は、

前記干渉計が、前記少なくとも1つの光学的測定ビーム(142)を、先行領域での1つの位置と後続領域での1つの位置との間で、直線的又は円軌道で前後に移動させるように構成されている、

ことを特徴とする装置。

【請求項11】

請求項1～10のいずれか1項に記載の装置であって、

前記光学的測定ビーム(142)の波長領域の少なくとも1つの中央波長が、1,550 nm、1,310 nm、1,080 nm、1,030 nm及び／又は830 nmであることを特徴とする装置。

【請求項12】

請求項1～11のいずれか1項に記載の装置(100)であって、

前記少なくとも1つの供給装置(130,730)が、供給材料として粉末又はワイヤ(731)を供給するように構成されており、及び／又は、環状ジェット粉末ノズル(330)、多重ジェット粉末ノズル(530)及び軸外粉末ノズルからなるグループから選択されることを特徴とする装置。

【請求項13】

請求項1～12のいずれか1項に記載の装置(100)であって、

前記装置(100)が、レーザー金属蒸着ヘッドであることを特徴とする装置。

【請求項14】

請求項1～13のいずれか1項に記載の装置を用いた、部品(1020)の付加レーザー金属蒸着用の方法であって、

前記レーザー金属蒸着の間に溶接プロセスの少なくとも1つの物理変数(1096)が検出され、検出された該少なくとも1つの物理変数(1096)及び／又はその変化に依存して、前記方法の少なくとも1つのプロセス変数(1060)が調整されることを特徴とする方法。

【請求項15】

請求項14に記載の方法であって、

前記物理的な変数(1096)が、少なくとも、前記溶接プロセスの間に製造された部品(1020)の幾何形状変数(1096)及び／又はこれから派生した変数及び／又は前記レーザー金属蒸着の間に堆積された層の高さ及び／又はこれから派生した変数であることを特徴とする方法。

【請求項16】

請求項14又は15に記載の方法であって、

レーザー金属蒸着のために、溶接材料用の供給装置(2165)が使用され、

前記少なくとも1つの物理変数は、少なくとも、当該供給装置(2165)の供給流量及び／又は供給速度及び／又は前述の変数の1つ以上から派生した変数であり、

及び／又は

前記少なくとも1つの物理変数が、少なくとも、前記レーザー(1030)の出力及び／又は前記レーザー(1030)の焦点の寸法及び／又は前述の変数の1つ以上から派生した変数である、

ことを特徴とする方法。

10

20

30

40

50

【請求項 17】

請求項 14 ~ 16 のいずれか 1 項に記載の方法であって、

前記レーザー金属蒸着が、熔融溜り (2140) を用いて行なわれ、前記少なくとも 1 つの物理変数が、少なくとも、前記熔融溜り (2140) の寸法及び / 又はこれから派生した変数であり、

及び / 又は

前記レーザー金属蒸着では、加工ヘッド (90) が使用され、そして前記少なくとも 1 つの変数は、前記部品 (20) からの前記加工ヘッド (90) の距離及び / 又はこれから派生した変数であり、

及び / 又は

前記少なくとも 1 つのプロセス変数 (1060) が、部品 (1020) に対する前記レーザー (1030) の焦点の位置及び / 又は当該焦点の位置の時間的変化及び / 又はこれから派生した変数である、

ことを特徴とする方法。

【請求項 18】

請求項 14 ~ 17 のいずれか 1 項に記載の方法であって、

前記少なくとも 1 つのプロセス変数 (1060) が、前記部品 (1020) のモデル 及び / 又は前記レーザー金属蒸着 (1095) のモデルからのずれが最大閾値未満に維持され及び / 又は極小とされるように、調整されることを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は付加製造用の装置及び方法に関する。本開示は、特にレーザークラッディング (レーザー金属蒸着 (LMD) 用の装置及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

レーザークラッディング (レーザー金属蒸着、LMD 又はクラッディング) は、ワークピース上に材料を堆積するためにレーザービーム及び供給材料を使用する。レーザービームは、ワークピースの表面上に熔融溜り (Schemelzbad) を生成する。ノズルから金属粉末又は金属ワイヤが導入される。互いに溶接された材料領域が生成し、これは現存のワークピース上の構造又は新たな構造をもたらす。

【0003】

レーザー金属蒸着を用いて積層すること及び 3 次元の層構造を作り出すことは、知られている。一方、複雑な 3 次元の部品もレーザー金属蒸着を用いて製造されている。レーザー金属蒸着は、多数のプロセス変数の精密な調整を必要とし、この際、動作点の付近のプロセス変数の小さな領域においてのみ、満足できる製造を行なうことができる。これに対応して、現在、レーザー金属蒸着の際にプロセス変数を適切に調整することに対する高度な要求が生じている。

【0004】

プロセス制御及びプロセス監視用に、例えば溶接された又は堆積された材料領域について、相互作用領域又は熔融溜りからの輻射又はその幾何形状を検査するための測定技術を用いることができる。例えば熔融溜りの幾何形状解析用のカメラベースの方法又は温度測定用のパイロメータベースの方法のような公知の方法は、相互作用プロセスからの二次輻射に基づいており、絶対的な幾何形状に関して全く情報をもたらさないか又は非常に限定された情報しかもたらさない。付加製造された部品又は付加製造された溶接ビードの高さ及び / 又は完全な幾何形状のデータは、加工品質を特徴づけるための及び / 又はプロセス制御のための価値のある情報である。

【0005】

特許文献 1 からは、例えばガスタービン部品、例えばローター翼又はガイド翼、のような部品の製造用及び / 又は修理用の方法が知られており、この方法では除去及び付加の処

10

20

30

40

50

理ステップが組み合わされて1つのハイブリッド処理になっている。上記で示したパイロメータを使用したオンラインモニタリングによって、外形、温度、材料及び/又は表面状態のようなプロセス変数をチェックし、制御することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】独国特許出願公開第102014219656A1号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本開示の課題は、付加製造用の装置及び方法を提供することであり、これらは改善されたプロセス制御、特にプロセス規制及び/又はプロセス、を提供する。特に、本発明の課題は、ワークピースに溶接された材料領域又は生成された構造の表面形状を確定することである。更に、本発明の課題は、レーザー金属蒸着用の改善された方法及び改善された製造装置を確立することであり、ここで、特に3次元部品の信頼性のある製造が可能となる。

【課題を解決するための手段】

【0008】

これらの課題は、独立請求項に記載の主題及び本発明の諸態様によって解決される。本発明の有利な実施形態は、下位請求項に示されている。

【0009】

1つの態様によれば、付加製造用の装置が示される。この装置は、レーザービームを用いた材料加工用の、レーザービームをワークピースの加工領域に向けるように構成されている、レーザー装置、例えばレーザー加工ヘッド、と、供給材料を加工領域に供給するように構成されている、供給材料のための少なくとも1つの供給装置と、少なくとも1つの光学的測定ビームを用いてワークピースの表面、例えばこのワークピースまでの距離、又は本装置とこのワークピースの表面との間の距離、及び/又はこのワークピース表面の形状、を測定するように構成されている干渉計ユニットとを備えている。

【0010】

別の実施形態によれば、付加製造用の方法が示される。本方法は、ワークピースの加工領域にレーザービームを向けるステップと、加工領域へ供給材料を供給するステップと、干渉計ユニットを使用したこのワークピースの表面を測定する、例えば、このワークピースまでの距離及び/又はこのワークピース表面の形状を測定する、ステップとを備える。

【0011】

好ましい実施形態によれば、少なくとも1つの光学的測定ビームは、レーザービームに対して固定されて提供されていてよい。或いは、少なくとも1つの光学的測定ビームは、レーザービームに対し動的に、即ち、可動的に、提供されていてよい。換言すれば、この光学的測定ビームは、所定の走査動作を行ない又は走査図に沿って移動する。干渉計ユニットは、基準ビーム及び光学的測定ビームを提供するための干渉計を備えてよい。更に、この干渉計ユニットは、干渉計によって検出されたデータの評価用の評価ユニットを備えてよい。特に、この干渉計ユニットは、光学的測定ビームが、例えば特に直線的動作又は回転動作といった移動を、個別に又は組み合わせて行なえるように構成されている干渉計を備えてよい。この測定ビームによって行なわれる走査動作は、従って、円状又は直線状又は8の字形状であってもよい。直線状の走査動作は、加工方向に対して平行であってよく又はこれに対して角度を有していてよい。この光学的測定ビームは、先行して及び/又は後続して及び/又は熔融溜りを通って案内されてよい。2つ以上の光学的測定ビームは、互いに依存して又は互いに独立して移動することができる。一例では、例えば加工方向におけるレーザービームのビーム軸の回りに、2つ以上の測定ビームが一緒に回転動作を行なってよい。

【0012】

10

20

30

40

50

例えば、2つの光学的測定ビームが、1つが先行して、そして1つが後続して用いられてよい。この目的のため、光学的測定ビームが、2つの部分ビームに分割されていてよく、これらは同時に、先行して及び後続して案内されてよい。これらの部分ビームは、可動的に設けられていてよい。

【0013】

少なくとも1つの光学的測定ビームは、以下の波長：1550nm、1310nm、1080nm、1030nm及び830nmの1つ以上を含んでよい。これらの波長は、光学的測定ビームに適した波長領域の中央波長であってよい。

【0014】

好ましい実施形態においては、干渉計ユニットは、距離測定に基づいて、ワークピースの表面の位置及び／又はワークピースの表面形状を確定するように構成されていてよい。 10

【0015】

更に、干渉計ユニットは、ワークピースの加工領域までの距離及び／又はこの加工領域に隣接するこのワークピースの1つの領域までの距離を測定するように構成されていてよい。

【0016】

干渉計は、コヒーレンス干渉計又は低コヒーレンス干渉計を備えてよい。

【0017】

干渉計は、少なくとも1つの光学的測定ビームをレーザー装置のビーム経路にカップリングするように構成されていてよい。干渉計は、このレーザー装置のビーム経路から分離された、光学的測定ビームのためのビーム経路を備えてよい。 20

【0018】

1つの実施例においては、少なくとも1つの供給装置が、供給材料として粉末又はワイヤを供給するように構成されていてよい。

【0019】

少なくとも1つの供給装置は、環状ジェットパウダーノズル、多重ジェットパウダーノズル及び軸外パウダーノズルからなるグループから選択されていてよい。

【0020】

もう1つの実施例においては、少なくとも1つの光学的測定ビーム及びレーザービームが同軸に又は実質的に同軸になっていてよい。しかしながら、これに代えて又は追加して、光学的測定ビームは、レーザービームに対して又はレーザー装置の光軸に対して傾いてよい。 30

【0021】

干渉計は、少なくとも1つの光学的測定ビームをレーザービームに対して固定して提供するように構成されていてよい。これに代えて又は追加して、干渉計は、光学的測定ビームをレーザービームに対して可動的に提供するように構成されていてよい。

【0022】

もう1つの実施例においては、レーザー装置及び／又は少なくとも1つの供給装置を、干渉計ユニットによって測定された距離に基づいて、制御する制御装置が設けられていてよい。 40

【0023】

例えば、この制御部は、ワークピースに対する装置の移動方向、ワークピースに対する移動速度、粉末流速、粉末量、粉末組成、粉末供給方向、ワイヤ供給方向、ワイヤ前進速度、作動距離、プロセスガス組成、プロセスガス圧、レーザー焦点直径、光軸の位置、レーザー焦点位置、レーザーパルス幅及びレーザー出力から選択した少なくとも1つのプロセス入力変数を調節するように、構成されていてよい。

【0024】

本発明による装置は、レーザー金属蒸着ヘッドであってよく、又は、これを備える装置であってよい。

【0025】

50

本発明による装置は、レーザー金属蒸着（LMD）又はクラッディングのための方法用に構成されていてよい。本発明による方法は、レーザー金属蒸着（LMD）又はクラッディングのための方法を備えてよい。

【0026】

本装置は、付加製造の間に、即ち、レーザー金属蒸着の間に、製造プロセスの少なくとも1つの物理変数、例えば、ワークピース表面の位置及び／又は形状、及び／又はこのプロセスの間に製造される溶接ビード（部品とも呼ばれる）の幾何学的変数、及び／又はこれから派生する変数、及び／又は堆積された層の高さ、及び／又はこれから派生する変数を、距離測定から決定するように、構成されていてよい。その代わりに、1つ以上の追加的な物理変数、例えばレーザー出力、及び／又はレーザー焦点の寸法、及び／又は供給材料の供給速度、及び／又は供給材料の材料流量、及び／又はプロセスの間に生じる熔融溜りの寸法、即ち、直径、及び／又はこの熔融溜りの温度、及び／又は前述の変数の1つ以上から派生した変数等が検出されてもよい。この目的のため、対応する検出手段が設けられていてよい。

10

【0027】

少なくとも1つの物理変数は、連続的に又は最大100ミリ秒、好ましくは最大20ミリ秒、の時間間隔で、好適には最大5ミリ秒の時間間隔で、有利には等時間間隔で検出又は特定されてよい。

【0028】

更に、本装置は、少なくとも1つの特定された又は検出された物理変数及び／又はその変化に依存して、例えば焦点位置及び／又はレーザー出力等の、付加製造の少なくとも1つのプロセス変数を調整するように、構成されていてよい。

20

【0029】

この少なくとも1つのプロセス変数は、加工領域又は溶接ビードのモデルからのずれ及び／又は付加製造プロセスのモデルからのずれが最大閾値未満に維持され及び／又は極小とされるように、好ましくは1つの制御方法を用いて、調整されてよい。この目的のため、本装置は、調整装置及び／又は制御装置を備えてよく、これらは、モデルからのずれが最大閾値未満に維持されるように、そして好ましくは極小化されるように、少なくとも1つのプロセス変数を調整するように構成されている。

【0030】

30

本発明のもう1つの態様によれば、レーザーを用いた、部品の付加的レーザー金属蒸着の方法が提示され、この方法は、レーザー金属蒸着の間の溶接プロセスの少なくとも1つの物理変数を検出するステップと、この検出された少なくとも1つの物理変数及び／又はその変化に依存して、本方法の少なくとも1つのプロセス変数を設定するステップと、を備える。

【0031】

付加的レーザー金属蒸着とは、本出願の範囲においては、好適にはレーザー金属蒸着を用いた好ましくは3次元の構造の付加製造のことを意味する。溶接プロセスなる用語は、好適には、このレーザー金属蒸着の工程を意味する。

【0032】

40

本発明による方法を用いて、ずれやその他の障害の作用によるレーザー金属蒸着の物理変数の変化の際にも、部品を精密に製造することができる。本発明による方法によれば、部品の目標形状からのずれを小さくすることができる。その結果、物理変数の値又はその変化に基づいたプロセス変数の調整により、高い製造品質及び高いプロセス信頼性を達成することができる。

【0033】

特に、本発明による方法を用いて、レーザー金属蒸着により、3次元の層構造及び部品を製造することができ、ここでは、多数のプロセス変数を正確に適合させて調整することができるので、目的とする部品幾何形状を実現することができる。本発明による方法を用いて、もっと複雑な部品の付加製造も、産業用途に必要な信頼性のもとに、容易に実現す

50

ることができる。

【0034】

好ましくは、本発明による方法における物理変数は、溶接プロセスの間に製造される部品の少なくとも1つの幾何形状変数及び／又はこれから派生した変数、及び／又はレーザー金属蒸着の際に堆積される層の高さ及び／又はこれから派生した変数である。特に好ましくは、本発明による方法における少なくとも1つの幾何形状変数は、レーザー金属蒸着用に使用され、部品に当たられるレーザーのビーム方向に向けた方向における部品又は層の高さである。好適には、レーザー金属蒸着用に加工ヘッドが使用される。有利には、この加工ヘッドにより、適切にはコヒーレンス断層撮影法を用いて、この加工ヘッドと部品との距離測定が可能となる。このようにして部品と加工ヘッドとの距離を非接触で測定することができる。有利には、基準位置、例えば部品の加工ヘッドに向いていない面の部位又は部品のこの面が当接する基板の部位等、に対する加工ヘッドの位置が分かっていれば、部品と加工ヘッドとの距離から、この加工ヘッドへの方向における部品の高さを容易に確定することができる。好適には、製造装置は、このような基準位置に対する加工ヘッドの相対位置を検出するように構成されている。

【0035】

好ましくは、本発明の範囲においては、「部品の高さ」とは、レーザー金属蒸着の際の材料堆積の部位で現在達成されている高さを意味している。3D印刷で知られているように、本発明による付加レーザー金属蒸着用の方法では、部品は、好ましくは層状に製造され、ここで、複数の層が次々に続いている重なって取り付けられる。この目的のため、好ましくは、部品のCADモデルを用いて、CAMモデル（CAM=Computer Aided Manufacturing：コンピュータ支援製造）が生成され、これは、レーザー金属蒸着による、連続層の製造を可能とする。従って、この本発明の発展形態においては、部品の現在の高さは、先行する製造ステップにおいて既に達成された部品の高さ及び現在製造されている層の高さによって決定されている。結果的に、本発明による方法の実施形態では、好ましくは、部品の現在の高さ、又はそれに代えて若しくはそれに加えて、そしてまた好ましくは、現在堆積されている層の高さが少なくとも1つの物理的な変数として使用されてよい。

【0036】

本発明による方法では、本発明の有利な発展形態においては、レーザー金属蒸着用に供給装置、特に粉末輸送機、が溶接材料のために使用され、少なくとも1つの物理変数は、少なくとも、この溶接材料の供給流量又は材料流量、及び／又は供給装置の供給速度、及び／又は前述の変数の1つ以上から派生した変数である。好適には、本発明による方法では、付加レーザー金属蒸着用に加工ヘッドが使用され、ここで供給装置は、理想的にはこの加工ヘッド内に収容されている。有利には、供給装置の材料流量又は供給速度又は派生した変数は、加工ヘッド内で自動的に確定されるので、例えばセンサー等の検出手段をこの加工ヘッドの外側で使用する必要は全く無い。その結果、本発明による方法は、レーザー金属蒸着の際に典型的な起伏のある周囲条件においても、安定かつ信頼性良く実施することができる。

【0037】

好適には、本発明による方法では、少なくとも1つの物理変数は、少なくとも、レーザーの出力及び／又はレーザーの焦点の寸法及び／又は前述の変数の1つ以上から派生した変数である。

【0038】

好ましくは、本発明による方法の発展例においては、レーザー金属蒸着は熔融溜りを用いて行なわれ、少なくとも1つの物理変数は、少なくとも、熔融溜りの寸法及び／又は熔融溜りの温度及び／又はこれらから派生した変数である。好適には、熔融溜りは、カメラ、特にCCDカメラ、を用いて撮像され、画像処理を用いて熔融溜りの少なくとも1つの寸法が確定される。レーザー金属蒸着用の加工ヘッドも使用されてよく、少なくとも1つの変数は、部品と加工ヘッドとの距離及び／又はこれから派生した変数であってよい。有

10

20

30

40

50

利には、熔融溜りの寸法は、熔融溜りの温度と関係しており、熔融溜りの温度が高いほどこの熔融溜りの寸法が大きくなるようになっている。その結果、熔融溜りの少なくとも1つの寸法は、この熔融溜りの温度に対する尺度となる。

【0039】

好適には、本発明による方法では、少なくとも1つのプロセス変数は、部品に対するレーザーの焦点の位置及び／又はこの焦点の位置の時間的变化及び／又はこれらから派生した変数である。レーザーの焦点の位置及び／又はこの焦点の時間的变化を用いて、レーザー金属蒸着の際の堆積速度及び／又は空間的な堆積形状を容易に操作することができる。例えば、レーザー金属蒸着の際に、レーザーの焦点を合わせることにより又はレーザーの焦点をぼかすことにより、部品上に溶融材料が厚く又は空間的に不均一に堆積されやすくなる。その結果、本発明による方法によれば、堆積される層の高さ又は部品の特定の領域における特定の堆積速度を要求に合わせることができ、即ち、まさに製造すべき部品の事前に決定された幾何形状モデルに狙いを定めて、調整することができる。

【0040】

好適には、本発明による方法では、少なくとも1つの変数が、継続的に、即ち、連続的に又は最大100ミリ秒、好ましくは最大20ミリ秒、そして好適には最大5ミリ秒、の時間間隔で、有利には等時間間隔で、検出される。このようにして、本発明による方法では、レーザー金属蒸着に十分な、少なくとも1つの変数の連続的なフィードバックが保証され、かくして、この少なくとも1つのプロセス変数は、十分に迅速に調整可能である。

【0041】

本発明の有利な発展例においては、本方法において、好ましくは1つの制御方法を用いて、少なくとも1つのプロセス変数が、部品及び／又はレーザー金属蒸着のモデルからのそれが最大閾値未満に維持され、及び／又は極小とされるように調整される。その結果、本発明による方法を用いて、部品を幾何形状的に高精度で製造することができる。とりわけ好ましくは、本発明による方法では、この部品は層状に製造される。好適には、少なくとも1つのプロセス変数が、部品の現在の高さが本発明による方法のプロセスモデルで予測される部品の現在の高さに対応するように、調整される。これに代えて又は追加して、そしてまた、とりわけ好ましくは、現在製造されている層は、レーザー金属蒸着のモデル、例えばレーザー金属蒸着のCAMモデル、から決定され、そして現在製造されている層の高さが、所定の限度未満に、即ち、ほぼ一定に維持される。

【0042】

好ましくは、本発明による方法では、少なくとも1つの物理変数が制御変数となり、そして少なくとも1つのプロセス変数が調整変数となるような調節が行なわれる。好適には、本発明による方法では、物理的な変数は、部品の現在の高さ及び／又は現在レーザー金属蒸着で堆積されている層の高さである。

【0043】

もう1つの態様においては、レーザーを用いた、部品の付加レーザー金属蒸着用の製造装置が提示され、この製造装置は、特に、付加レーザー金属蒸着のための本発明による方法を実行するために、上述したように構成されている。本発明による製造装置は、溶接プロセスの少なくとも1つの物理変数の検出用の少なくとも1つの検出手段、並びに検出された少なくとも1つの物理変数及び／又はその変化に依存する少なくとも1つのプロセス変数の調整用の少なくとも1つの作動手段を備える。この少なくとも1つのプロセス変数の調整の、検出された少なくとも1つの変数への、依存性は、好適には、本発明による製造装置の制御装置を用いて制御される。

【0044】

本発明の有利な発展例においては、製造装置は、レーザー金属蒸着用の加工ヘッド並びに加工ヘッドの部品からの距離の測定用に構成され及び／又はコヒーレンス断層撮影装置を備え又はこのような装置と光学的に結合されている距離検出装置を備える。このようにして部品からの加工ヘッドの距離を非接触で測定することができる。有利には、既に本発明による方法について上述したように、基準位置に対する加工ヘッドの位置が分かってい

10

20

30

40

50

れば、部品と加工ヘッドとの距離から、加工ヘッドに向かう方向におけるこの部品の高さを容易に確定することができる。好適には、製造装置は、このような基準位置に対する加工ヘッドの相対位置を検出するように構成されている。

【0045】

本発明による製造装置は、好ましくは、レーザー金属蒸着用の粉末状溶接材料を供給するための供給装置並びに溶接材料の供給速度及び／又は材料流量を検出するための検出手段を備える。好適には、材料流量は、体積流量及び／又は質量流量として検出される。体積流量は、特に、画像生成手段によって容易に検出することができる。

【0046】

本発明の有利な発展形態においては、製造装置は、レーザー金属蒸着の際に生じる熔融溜りの少なくとも1つの寸法を検出するための少なくとも1つの検出手段及び／又はこの熔融溜りの温度を検出するための少なくとも1つの検出手段及び／又はレーザーの出力を検出するための少なくとも1つの検出手段を、備える。有利には、レーザーの出力は、例えば、製造装置の好ましくは既存の、特にP Cコントローラ又はC N Cコントローラの形態の、制御装置によって検出可能な内部変数である。好適には、熔融溜りの温度を検出するための検出手段は、熔融溜りの少なくとも1つの寸法を検出するための検出手段を備える。これは、熔融溜りの寸法が熔融溜りの温度に依存していて、熔融溜りの温度が高いほどこの熔融溜りの寸法が大きくなるからである。好ましくは、少なくとも1つの寸法を検出するための検出手段は、熔融溜りの画像を取り込む少なくとも1つのC C Dカメラを備える。この寸法は、例えば好適に設けられている評価装置を用いて決定されてよく、これから、例えば事前に決定されている較正データを用いて温度を確定することができる。

【0047】

好適には、本発明による製造装置では、少なくとも1つの作動手段は、レーザーの焦点の位置又はその変化の調整用の少なくとも1つの作動手段、及び／又はレーザーの出力の調整用の少なくとも1つの作動手段を備える。既述したように、レーザーの焦点を合わせることにより、空間的な材料堆積をとりわけ容易に操作することができる。好ましくは、作動手段は、部品に対して相対的に可動な、例えば1つのレベル面内で又は3次元的に可動な、製造装置の加工ヘッドである。

【0048】

好適には本発明による製造装置は、調整装置及び／又は制御装置を備えており、これらは、少なくとも1つのプロセス変数を調整して、レーザー金属蒸着用の部品のモデルからのずれ又はプロセスモデルからのずれが最大閾値未満に維持されるように、好ましくは極小化されるように、構成されている。その結果、本発明のこの発展形態においては、部品の予定される幾何形状設計の少なくとも一部が本発明による方法の制御変数となっている。

【0049】

好ましくは、製造装置は制御部を備え、この制御部では、少なくとも1つの物理変数が制御変数となっており、少なくとも1つのプロセス変数が調整変数となっている。

【0050】

上記の実施形態の態様は、所望により互いに組み合わせることができることは、おのずから、明らかである。好適な、任意で選択される本開示の実施形態及び特別な態様が、従属請求項、図面及び本願の記載で示される。

【0051】

本発明は、レーザービーム及び供給材料（「供給材料」又は「追加材料」ともいう。）を用いた付加製造の監視及び／又は制御を提供する。使用されているセンサー原理は、距離測定用の干渉法であり、例えば光学的な低コヒーレンス干渉法（K u r z k o h a e r e n z - I n t e r f e r o m e t r i e）である。この干渉法は、例えば製造される表面の位置の決定用に、プロセスに先行して、及び／又は、結果として生じた堆積された材料の表面形状の測定用に後続して使用されてよい。

【0052】

10

20

30

40

50

以上により、本発明は、オンラインの（又はその場での）、幾何形状測定の形態でのプロセス結果を正確に検査するためのセンサー技術を提供し、この結果、改善されたプロセス管理、特に改善されたプロセス制御及び／又はプロセス調整を達成することができる。

【0053】

本開示の実施例が図に示され、以下に詳細に説明される。

【図面の簡単な説明】

【0054】

【図1】本開示の実施形態による、固定された光学的測定ビームを有する、付加製造用の装置の概略図である。

【図2】本開示の実施形態による、局所的に可動な光学的測定ビームを有する、付加製造用の装置の概略図である。 10

【図3A】本開示の実施形態による、固定された光学的測定ビームを有する、付加製造用の装置の概略図である。

【図3B】本開示の実施形態による、固定された光学的測定ビームを有する、付加製造用のビーム経路の概略図である。

【図4A】本開示の実施形態による、局所的に可動な光学的測定ビームを有する、付加製造用の装置の概略図である。

【図4B】本開示の実施形態による、局所的に可動な光学的測定ビームを有する、付加製造用のビーム経路の概略図である。 20

【図5A】本開示の更なる実施形態による、固定された光学的測定ビームを有する、付加製造用の装置の概略図である。

【図5B】本開示の更なる実施形態による、固定された光学的測定ビームを有する、付加製造用のビーム経路の概略図である。

【図6A】本開示の更なる実施形態による、局所的に可動な光学的測定ビームを有する、付加製造用の装置の概略図である。

【図6B】本開示の更なる実施形態による、局所的に可動な光学的測定ビームを有する、付加製造用のビーム経路の概略図である。

【図7】本開示の更なる実施形態による、付加製造用の装置の概略図である。

【図8】本開示の実施形態による、付加製造方法のフロー図である。

【図9A】光学的測定ビームの可能なガイドの概略図である。 30

【図9B】光学的測定ビームの可能なガイドの概略図である。

【図9C】光学的測定ビームの可能なガイドの概略図である。

【図9D】レーザービームに先行して、そして後続して、直線的走査動作を実施する光学的測定ビームにより実施される測定の図示である。

【図10】部品の3D印刷のための本発明による方法を原理のスケッチ図で概略的に示す。

【図11】図10に示す方法による部品の3D印刷用の本発明による製造装置の一部を長手方向断面で概略的に示す。

【図12】図10に示す方法による部品の3D印刷用の図11に示す本発明による製造装置の一部を長手方向断面で概略的に示す。 40

【図13】図10に示す方法による部品の3D印刷用の図11及び図12に示す本発明による製造装置の詳細を長手方向断面で概略的に示す。

【発明を実施するための形態】

【0055】

以下では、特に明記しない限り、同じ素子及び同じ作用を有する素子には同じ参照番号が用いられている。

【0056】

図1は、本開示の実施形態による固定された光学的測定ビームを有する、付加製造用の装置100又は付加レーザー金属蒸着用の製造装置の概略図を示す。装置100は、レーザー金属蒸着ヘッドであってよい。 50

【0057】

付加製造用装置 100 は、加工ビーム又はレーザービーム 112 を用いる材料加工用のレーザー装置 110 (例えばレーザー加工ヘッド) であって、レーザービーム 112 をワークピース 10 の加工領域に向けるように構成されているレーザー装置 110 ; 供給材料を加工領域に供給するように構成された供給材料用の少なくとも 1 つの供給装置 130 ; 及び、干渉計 140 を有する干渉計ユニットであって、少なくとも 1 つの光学的測定ビームによりワークピース 10 からの距離を測定するように構成されている干渉計ユニットを備えている。装置 100 は、実施形態によれば、加工方向 20 に沿って可動であってよい。加工方向 20 は、ワークピース 10 に関する装置 100 の移動方向であってよい。特に、この加工方向は水平方向であってよい。

10

【0058】

本発明によれば、例えば低コヒーレンス干渉計等の干渉計が、距離測定用に用いられる。例えば、この干渉法は、加工すべきワークピースの表面の位置の決定のための LMD プロセスに先行して、及び / 又は、結果として生じる堆積された材料の表面形状の測定用に後続して、使用されてよい。これにより、幾何形状測定の形態でのプロセス結果の正確な計測用のオンラインセンサー技術が提供され、その結果、改善されたプロセス管理及び / 又はプロセス制御若しくはプロセス調整を達成することができる。

【0059】

図 1 に例示的に示されているように、干渉計 140 は、光学的測定ビームをレーザービームに対して実質的に固定して提供するように構成されていてよい。しかしながら、本開示は、これに限定されるものでなく、干渉計 140 は、例えば図 2、4A、4B、6A、6B 及び 7 に示されているように、光学的測定ビームをレーザービーム 112 に対して動的に、即ち、可動的に提供するように構成されていてよい。

20

【0060】

装置 100 は、実施形態によれば、レーザー金属蒸着 (LMD) 用に用いられてよく、このレーザー金属蒸着では、ワークピース 10 上に材料を堆積するためにレーザービーム 112 及び供給材料が使用される。図 1 に示されているように、レーザービーム 112 は、ワークピース 10 の表面上に熔融溜り 14 を生成する。例えばノズル 132 等の供給装置 130 を用いて、供給材料 (これは例えば金属粉末であってよい) が、この熔融溜り 14 に導入される。相互に溶接した材料領域が生成され、この材料領域は、現在対象となっているワークピースに、例えば溶接ビード 12 のような構造をもたらす。同様に、装置 100 は、いわゆる高速堆積溶接 (High - Speed Cladding) に使用されてよく、この高速堆積溶接では、熔融溜りは全く生成されず、むしろ融解された粉末がワークピース表面に当たり、そしてこのワークピース表面上に堆積される。

30

【0061】

装置 100 、特にレーザー装置 110 、は、ワークピース 10 上にレーザービーム 112 を集束するための集束光学系 120 を備えてよい。集束光学系 120 は、1 つの光軸を規定する。例えば、集束光学系 120 は固定された焦点距離又は可変な焦点距離 (ズーム) を有する光学系であってよい。集束光学系 120 は、光軸を規定する少なくとも 1 つの結像光学素子を備える。例えば、レーザー装置 110 の光ファイバーから出射される、発散するレーザー光束が、コリメータ光学系により、平行なレーザー光束に変換され、この平行なレーザー光束は集束レンズによってワークピース 10 上に集束される。

40

【0062】

干渉計ユニットは、光学的測定ビーム (これはレーザービームであってよい) を用いて、例えば干渉計 140 によって規定される基準点に関して、ワークピース 10 からの距離を測定するように、構成されている。干渉計 140 は、コヒーレンス干渉計、特に低コヒーレンス干渉計、であってよい。干渉計を用いた距離測定は公知であり、詳細には説明しない。特に、干渉計 140 は、装置 100 が加工方向 20 に沿って移動される際に、及び / 又は測定ビームがワークピースの表面上を移動される際に、距離の変化を測定するよう構成されていてよい。例えば、これによって表面形状測定を行なうことができる。

50

【0063】

本明細書で記述されている他の実施形態と組み合わせることができる実施形態によれば、干渉計ユニットは、加工領域からの距離を測定するように、構成されている。例えば、堆積溶接ビードのような、本装置によって加工された領域の幾何形状の決定のために、表面形状測定が後続して実施されてよい。この表面形状測定は、実施形態によれば、誤差検出及び／又は1つ以上のプロセス入力変数の制御のために用いられてよい。例えば、プロセス入力変数は、粉末流量、ワイヤ送り量、プロセス速度、レーザー出力、ワーキングディスタンスなどであってよい。

【0064】

いくつかの実施形態においては、干渉計ユニットは、加工領域に隣接しているワークピース10の1つの領域からの距離を測定するように、構成されていてよい。この領域は、このワークピース10の未加工の表面であってよい。例えば、表面形状測定（例えばワークピース表面のz位置）が、基準測定として及び／又はプロセス実行用に、先行して用いられてよい。

10

【0065】

本開示のセンサーシステムは、例えば低コヒーレンス干渉法等の干渉法に基づいている。この目的のため、干渉計から測定ビームが、軸を外れて、固定的に又は可動的に提供される。或いは、この干渉計から提供される測定ビームは、加工レーザーの光学的なビーム経路にカップリングされ、同軸に又はほぼ同軸に相互作用ゾーンの中へ、固定的に又は可動的に集束される。

20

【0066】

いくつかの実施形態においては、干渉計140は、レーザー装置110のビーム経路から分離された光学的測定ビームのためのビーム経路を備えていてよい。いくつかの実施形態においては、干渉計140は、光学的測定ビームをレーザー装置110の光軸に対して傾けて又は角度をつけて、ワークピース10に向けるように、構成されていてよい。例えば干渉計140は、レーザー装置110のビーム経路から分離された光学的測定ビーム用の軸外ビーム経路を備えてよく、ここで光学的測定ビームの斜め入射が例えば後続して行なわれてよい。堆積溶接ビードの高さの測定が行なわれてよく、ここで干渉計140は、固定されて後続して配置されていてよい。更なる実施形態においては、表面形状の測定が、例えば1次元又は2次元の振動動作を用いて後続して行なわれてよい。更なる実施形態によれば、干渉計140は、光学的測定ビームをレーザー装置110のビーム経路にカップリングするように、構成されていてよい。光学的測定ビームは、レーザービーム112に対して実質的に同軸であってよい。いくつかの実施形態においては、少なくとも1つの供給装置130が、粉末ジェットを供給材料として放出するように構成されている。

30

【0067】

距離測定は、干渉計ユニットによって、固定された又は可動的な光学的測定ビームを用いて、例えば加工レーザー若しくはレーザービーム112の周りを回転する測定ビーム又はレーザー装置の光軸に対して任意に偏向された測定ビームを用いて、行なわれてよい。これにより、堆積溶接ビードの高さを測定することができ、ここで干渉計又は光学的測定ビームは、後続して固定されて（例えば加工方向20に沿った単一方向で）配置されていてよい。更なる実施形態においては、例えば基材及び／又は堆積の高さの、先行領域及び／又は後続領域での測定が（例えば固定配置され、加工方向20に沿った単一方向で）行なわれてよい。或いは、（例えばスキャナを回転して、多方向で）表面形状の測定が行なわれてよい。所望により、粉末密度（粉末流による光学的測定ビームの「乱れ」）の測定が行なわれてよい。

40

【0068】

ここで記述されている他の実施形態と組み合わせることができる実施形態によれば、装置100は、更に、制御部を備え、この制御部は、干渉計によって測定された距離に基づいて、レーザー装置110及び／又は少なくとも1つの供給装置130を調整及び／又は制御するように構成されている。この調整は、先行して及び／又は後続して実施される干

50

涉法に基づいて行なわれてよい。

【0069】

典型的には、プロセス管理及び／又はプロセス実行は、干渉計によって測定された距離に基づいて行なわれてよい。例えば、加工速度、レーザー出力、レーザー焦点、及び／又は、粉末流量又はワイヤ送り量のような供給装置の操作変数は、干渉法に基づいて制御又は設定されてよい。これに代えて又は追加して、干渉法は、装置で加工された領域、例えば堆積溶接ビード、の品質管理用に、実施されてよい。

【0070】

ここで記述されている他の実施形態と組み合わせができる実施形態によれば、少なくとも1つの供給装置130は、環状ジェット粉末ノズル、多重ジェット粉末ノズル、及び軸外粉末ノズルからなる群から選択されていてよい。図1には、例示的に、軸外粉末ノズル132（「横型粉末ノズル」とも呼ばれる。）が示されている。軸外粉末ノズル132は、軽量で、簡単で堅牢なシステムであり、特に、到達しづらい溶接位置においても良好なアクセス性を特徴としている。

10

【0071】

図2は、本開示の実施形態による、例えば回転する光学的測定ビームのような、可動光学的測定ビームを有する付加製造用の装置200を概略的に示す。

【0072】

いくつかの実施形態においては、干渉計140は、光学的測定ビームをレーザービーム112に対して可動的に又は動的に提供するように、構成されていてよい。特に干渉計140は、光学測定ビームをレーザービーム112の周りに回転させるように、構成されていてよい。光学的測定ビームは、ワークピース10上で、2次元の輪郭、例えば円形の輪郭、を走査してよい。これにより、例えば堆積溶接ビードの表面形状測定を行なうことができる。

20

【0073】

装置200及び特に干渉計140は、駆動部210を備えていてよく、この駆動部は光学的測定ビームをワークピース上を移動又は走査させるように構成されている。典型的には、干渉計140は、光学的測定ビームをワークピース10に向けるための、この光学的測定ビームを偏向させる例えばレンズや、ミラー又はウェッジプレート等の、1つ以上の光学素子を備える。これらの1つ以上の光学素子の少なくとも1つの光学素子は、光学的測定ビームをワークピース10上を移動又は走査せるように、可動であってよい。或いは、この駆動部は、機械的な駆動部、例えば回転駆動部、であってよく、この駆動部は、光学的測定ビームをワークピース10上を移動又は走査せるように、干渉計140を駆動する。

30

【0074】

図3A及び3Bは、それぞれ、本開示の実施形態による固定された光学的測定ビーム142を有する、付加製造用の装置300及びビーム経路の概略図である。

【0075】

装置300は、環状ジェット粉末ノズル330を備える。特に、この環状ジェット粉末ノズル330は、粉末ジェットを供給材料として出射するように構成されていてよい。光学的測定ビーム142は、レーザービーム112に対して実質的に同軸であるか又は傾斜していてよい。粉末ジェット134は、環状ジェット粉末ノズル330の外側の第1の点又は第1の領域に向けられていてよく、この第1の点又は第1の領域は、ワークピースの加工領域上に又はこの加工領域の上方にあってよい。レーザービーム112は、環状ジェット粉末ノズル330の外側の第2の点（例えば焦点）又は第2の領域に向けられていてよく、この第2の点又は第2の領域は、ワークピースの加工領域にあってよい。

40

【0076】

第1の点及び第2の点は、重なっていてもよく又は互いに離間していてよい。図3Bの例に示すように、第1の点又は第1の領域は、環状ジェット粉末ノズル330の出口及び／又は集束光学系120の出口の約20mm外側（例えば下側）に配置されていてよい。

50

第 2 の点又は第 2 の領域は、環状ジェット粉末ノズル 330 の出口及び／又は集束光学系 120 の出口の約 23.5 mm 外側（例えば下側）に配置されていてよい。これらの数値は、単に例示的なものであり、図 3B に示された実施形態をこれらに限定するものではない。第 1 の点及び第 2 の点は、垂直方向で上下に並べて配置されていてよい。光学的測定ビーム 142 は、ワークピースの点又は領域に向けられていてよく、この点又は領域は、上記の第 1 の点及び／又は第 2 の点に対し水平方向でずれている。

【0077】

図 4A 及び 4B は、それぞれ、本開示の実施形態による可動な、例えば回転する、光学的測定ビームを有する、付加製造用の装置 400 及びビーム経路の概略図を示す。

【0078】

装置 400 は、図 3A 及び 3B を参照して説明したような、環状ジェット粉末ノズル 330 を備える。この光学的測定ビームは、動的、即ち空間的に可動、である。特に、この光学的測定ビームは、レーザービーム 112 及び／又は集束光学系 120 の光軸の周りを回転することができる、この光学的測定ビームは、ワークピース 10 上で、2 次元の輪郭 242、例えば円形の輪郭、を走査してよい。これにより、例えば堆積溶接ビードの表面形状測定を行なうことができる。光学的測定ビーム 142 は、レーザービーム 112 に対して実質的に同軸であるか又は傾斜してよい。

【0079】

図 5A 及び 5B は、それぞれ、本開示の更なる実施形態による固定された光学的測定ビーム 142 を有する、付加製造用の装置 500 及びビーム経路の概略図を示す。

【0080】

装置 500 は、多重ジェット粉末ノズル 530 を備える。多重ジェット粉末ノズル 530 は、少なくとも 2 つの粉末ノズル 532 を備えてよく、これらのノズルは、それぞれ、粉末ジェットをワークピース上の加工領域に供給するように構成されていてよい。典型的には、この多重ジェット粉末ノズル 530 は、4 つの粉末ノズル 532 を備え、これらは互いに対し或る角度で配置されている。

【0081】

図 5B に示されているように、少なくとも 2 つの粉末ノズル 532 の粉末ジェット 134 は、多重ジェット粉末ノズル 530 の外側の第 1 の点又は第 1 の領域に向けられていてよく、この第 1 の点又は第 1 の領域は、ワークピースの加工領域上に又はこの加工領域の上方にあってよい。レーザービーム 112 は、多重ジェット粉末ノズル 530 の外側の第 2 の点（例えば焦点）又は第 2 の領域に向けられていてよく、この第 2 の点又は第 2 の領域は、加工領域上にあってよい。光学的測定ビーム 142 は、レーザービーム 112 に対して実質的に同軸であるか又は傾斜してよい。

【0082】

この第 1 の点及びこの第 2 の点は、重なっていてよく、又は互いに離間してよい。図 5B の例に示すように、第 1 の点又は第 1 の領域は、多重ジェット粉末ノズル 530 の出口及び／又は集束光学系 120 の出口の約 14 mm 外側（例えば下側）に配置されていてよい。第 2 の点又は第 2 の領域は、更に約 0.8 mm 外側に、即ち、多重ジェット粉末ノズル 530 の出口及び／又は集束光学系 120 の出口の約 14.8 mm 外側（例えば下側）に、配置されていてよい。これらの数値は、単に例示的なものであり、図 5B に示された実施形態をこれらに限定するものではない。第 1 の点及び第 2 の点は、垂直方向で上下に並べて配置されていてよい。光学的測定ビーム 142 は、ワークピースの点又は領域に向けられていてよく、この点又は領域は、上記の第 1 の点及び／又は第 2 の点に対し水平方向でずれている。

【0083】

図 6A 及び 6B は、それぞれ、本開示の更なる実施形態による、回転する光学的測定ビームを有する付加製造用の装置 600 及びビーム経路の概略図を示す。

【0084】

装置 600 は、図 5A 及び 5B を参照して説明したような、多重ジェット粉末ノズル 5

10

20

30

40

50

30を備える。光学的測定ビームは、動的、即ち、空間的に可動である。例えば、光学的測定ビームは、レーザービーム112及び/又は集束光学系120の光軸の周りを回転することができるか又はこれらに対して偏向して照射することができる。この光学的測定ビームは、ワークピース10上で、2次元の輪郭、例えば円形の輪郭、を走査してよい。これにより例えば堆積溶接ビードの表面形状測定を行なうことができる。光学的測定ビーム142は、レーザービーム112に対して実質的に同軸であるか又は傾斜していてよい。

【0085】

図7は、本開示の更なる実施形態による、付加製造用の装置700の概略図を示す。装置700はワイヤを用いた堆積溶接用に構成されていてよい。

【0086】

ここで記述されている他の実施形態と組み合わせができる実施形態によれば、少なくとも1つの供給装置730は、ワイヤ731を供給材料として放出するように構成されている。このワイヤ731は、例えば金属ワイヤであってよい。

【0087】

光学的測定ビーム742は、レーザービームに対して軸を外れて又は実質的に同軸で、提供されてよい。分離されたビーム経路で提供される（例えば後続して斜め入射する）軸外測定ビームを用いて、表面形状の測定が行なわれてよく、例えば1次元又は2次元の振動動作を用いて後続する領域で行なわれてよい。同軸ビームの構成では、堆積溶接ビードの高さの測定が行なわれてよく、ここで干渉計740が後続領域に固定されて（例えば加工方向に沿った単一方向で）位置決めされてよい。更に、動的又は可動的構成の場合には、表面形状の測定は、例えば回転可能に軸支された少なくとも2つのウェッジプレート744を使用しつつ（多方向で）行なわれてよい。ここでは光学的測定ビーム742は、2つのウェッジプレート744によって2つの部分ビームに分割される。その結果、例えば、これらの部分ビームのそれぞれ1つが先行して1つが後続して移動され、こうして両方の領域における表面形状が同時に検出される。

【0088】

図8は、本開示の実施形態による、付加製造の方法800のフロー図である。本方法は、ここに記載された付加製造用の装置を使用して実行されてよい。

【0089】

本方法は、ステップ810において、レーザービームをワークピースの加工領域へ向けることとこの加工領域への供給材料を供給することとを含む。本方法は、更にステップ820において、干渉計を備える干渉計ユニットを使用したワークピースからの距離を測定することを含む。

【0090】

図9Aには、光学的測定ビーム142の直線的走査図144が示されている。ここでは、光学的測定ビーム142は、先行した領域の位置と後続する領域の位置との間を前後に、即ち、加工方向に対して平行に、移動され、このプロセスにおいて、溶接ビード12の幾何形状又はプロファイルが検出される。この直線的走査動作144の測定結果が図9Bに示されている。図9Bは、加工点又はレーザービーム112の直前及び直後での、加工方向に沿った溶接ビード12の高さプロファイルを示す。図9C及び9Dは、代わりの走査動作144を示し、図9Cにおいては、光学的測定ビーム142は、例えば加工点又はレーザービーム112の周りを円形に案内され、こうして先行領域及び後続領域において、（連続して）測定が行なわれる。図9Dにおいては、2つの光学的測定ビームが一緒に、加工点又はレーザービーム112の周りで円形に沿ってガイドされ、こうして先行領域及び後続領域において同時に測定が行なわれる。更に、溶接ビード12の側面の表面形状が、この走査図に沿って検出されてよい。この走査図又は走査動作144は、加工方向に沿って移動することができる。

【0091】

本発明の実施形態においては、光学的測定ビーム142は、以下の中央波長：1550nm、1310nm、1080nm、1030nm及び830nmの少なくとも1つを備

10

20

30

40

50

えてよい。

【0092】

図10に示す、本発明による付加レーザー金属蒸着の方法1010は、3D印刷法であり、これを用いて溶接ビード又は部品1020が、図11及び12に示された、本発明による付加製造用の装置又は製造装置1035のレーザー1030を用いたレーザー金属蒸着を用いて、製造される。

【0093】

本方法では、目的とする部品高が、部品1020のCADモデルから導出され、部品1020の製造用のCAMモデルに基づいて、レーザー金属蒸着を用いた層の堆積用の層の高さ1040が決定される。この層の高さ1040は、本発明による方法1010の制御変数となっている。

10

【0094】

この制御変数は、コントローラ1050に転送され、このコントローラは、目的とする層高1040からレーザー金属蒸着用の一組のプロセス変数1060を決定し、これらのプロセス変数は本発明による方法1010の調整変数として用いられる。ここに示された実施例においては、これらのプロセス変数1060は、レーザー1030の光1065の出力、レーザー1030の焦点の位置、及び本発明による製造装置1035のプロセスヘッド1090のノズル1080を通る粉末状の溶接材料1070の材料流量を含む。

【0095】

このプロセス変数のセット1060を用いて、レーザー金属蒸着1095により、部品1020が、溶接される。層の実際の高さ1096は、レーザー金属蒸着1095で生じ、この高さは、部品1020とプロセスヘッド1090のノズル1080との距離によって確定される。この確定は、光学的な干渉断層撮影装置1097を用いて行なわれ、この装置を用いて、この干渉断層撮影装置の光源2110の測定光2100が、レーザー金属蒸着1095において部品1020の製造に用いられるレーザー1030のビーム経路2115に、プロセスヘッド1090内で、カップリングされる。この際、レーザー1030の光及び測定光2100は、部分透過ミラー2117を用いて、それぞれ、レーザー1030の光1065の下向きの方向ではノズル1080に向かって一緒にガイドされ、レーザー1030の光1065の照射上向きの方向ではノズル1080から分離される。このレーザー1030の光及び測定光2100は、スペクトル的に一致しておらず、こうしてこの測定光2100は、このレーザー1030の光の成分によって殆んど妨害されずに分析することができる。レーザー金属蒸着の際に起こる、光源2110の測定光2100の反射は、プロセスヘッド1090内のビーム経路2115へ戻る。このプロセスヘッド1090内で、この反射はデカップリングされ、そして干渉法により、もともとプロセスヘッド1090に投入された光源2110の測定光2100と比較される。この比較から上記の距離が得られる。干渉断層撮影装置1097及びプロセスヘッド1090内に含まれる光学的ビーム経路2115は、このビーム経路2115に存在する光学素子を含め、協働して1つの距離センサーを形成する。この距離センサー自体は公知であり、そしてこれはここで説明した溶接プロセスとは別の、特にレーザー溶接用の、Precitec GmbH社のIn-Process-Depth-Meterの溶接プロセスとして知られているレーザー溶接で公知となっており、独国特許出願公開第10102014011569A1号明細書に記載されている。

20

30

40

【0096】

この距離センサーを利用するには、得られた距離信号のフィルタリングが必要である。というのも、レーザー溶接法における距離センサーの公知の上述の利用とは異なり、レーザー金属蒸着への距離センサーの利用には、ノズル1080から出て部品1020上に堆積され、距離センサーの光学的信号の一部を遮断する粉末状の溶接材料1070の影響を考慮する必要があるからである。というのも、この溶接材料1070は、干渉断層撮影装置1097の光源2110の測定光2100の大部分を吸収するからである。従って、距離信号のフィルタリングは、本発明による方法の堅牢性を保証するものである。

50

【0097】

フィルタリング用には、まず、ここでは20ミリ秒の時間ウィンドウ、更に、特に図示しない実施例においては4ミリ秒の時間ウィンドウ、に亘って、全部の検出された距離値が記録される。続いて、これらの検出された距離値からフィルタ値が決定され、このフィルタ値が時間的に連続する同じ20ミリ秒（又は異なる実施例においては4ミリ秒）の持続時間を有する時間ウィンドウに適用される。レーザー1030が停止している場合は、片側の散乱のみが起こるので、ここでは最大値フィルタが使用され、この最大値フィルタは、測定された最も大きな距離値を実際の距離に対する基準として除外する。1つの時間ウィンドウにおける測定された距離値の分析により両側の散乱が起こることが示されると、大部分の測定データを集約する距離値が考慮される、即ち、測定データは、距離値の分布における最頻値により、即ち、「モードフィルタ」により、フィルタリングされる。このフィルタリングは、測定データの最も高い密度を有する距離値が熔融溜りからの距離を信頼性良く示すという事実を考慮している。10

【0098】

レーザー金属蒸着を用いて堆積された層の実際の高さ1096が、このようにして得られた距離から、得られる。

【0099】

本発明による方法では、レーザー金属蒸着の更に他の物理変数が検出されてよい。こうして、レーザー金属蒸着の際に生成される熔融溜り2140の温度が追加的に決定されてよい。この目的のため、熔融溜り2140は、例えば製造装置1035のCCDカメラ2150を用いて観察される。熔融溜り2140の観察用に、熔融溜り2140からノズル1080を通って加工ヘッド1090の光学的ビーム経路2115に到達した光の一部が部分透過ミラー2145を用いてデカップリングされ、CCDカメラ2150に結像される。CCDカメラ2150は、製造装置1035の分析装置2155に接続されている。分析装置2155は、アルゴリズムによって、CCDカメラ2150によって取り込まれた熔融溜り2140の画像を分析し、この熔融溜り2140の平均直径を決定する。分析装置2155は、較正データを受け取り、この較正データを用いて熔融溜り2140の平均直径からこの熔融溜り2140の温度が推定される。20

【0100】

CCDカメラ2150及び分析装置2155は、加工ヘッド1090内に一体的に取り扱い可能に収納されており、即ち、この加工ヘッド1090と一緒に、一体的に取り扱い可能であり、こうして加工ヘッド1090及びそのハウジング（図11、12及び13には図示されていない。）は、レーザー金属蒸着の際の過酷なプロセス条件から、CCDカメラ2150及び分析装置2155を信頼性よく保護する。30

【0101】

追加的に、ノズル1080を通る粉末状の溶接材料1070の一定に維持された材料流量が検出されてよい。この材料流量は長い遅延時間有し、素早いプロセスフィードバックを制限するので、この材料流量は一定に維持される。加工ヘッド1090内の粉末供給ライン2165における粉末センサー2160は、溶接材料1070の実際の材料流量を観察し、これを体積流量として検出する。この体積流量の検出は、プロセス変数1060の調整によって、溶接材料1070の体積流量の変化に基づく製造プロセスの調整を可能とする。図示された実施例に使用されている粉末センサー2160は、光学的な流量計であって、この流量計は、（詳細には図示されていない）粉末輸送機の出口の断面のうち、粉末状の溶接材料1070によって占められる面積の割合を確定する。この粉末輸送機は、ノズル1080へ溶接材料1070を供給するために加工ヘッド1090に配置されており、こうしてこの溶接材料1070は、レーザー金属蒸着用に公知のようにノズル1080に到達し、部品1020に堆積することができる。40

【0102】

ここで、体積流量の2次関数は、粉末輸送機の出口の断面のうち、粉末状の溶接材料1070によって占められる面積の割合に比例する。ここで、レーザー金属蒸着1095の50

際に部品 1020 の目的とする幾何形状を正確に実現するように、溶接材料 1070 の体積流量がコントローラ 1050 によって考慮される。

【0103】

図示された実施例においては、コントローラ 1050 は、PC システムとして実現されている。これに代えて又は追加して、コントローラ 1050 は、図示された実施例以外に対応する更なる実施例においては、CNC コントローラとして実装されていてよい。追加的な外部のハードウェア及びソフトウェアの制御装置は、この更なる実施例においては不要である。この際、プロセスセンサーが高速バスインターフェースを用いてこの CNC コントローラに接続されている。

【0104】

上述の検出された物理変数、即ち、層の実際の高さ 1096、熔融溜り 2140 の温度及び / 又は溶接材料 1070 の体積流量に依存して、コントローラ 1050 は、レーザー金属蒸着 1095 用のプロセス変数 1060 の調整されたセットを確定する。これらのプロセス変数は、レーザー金属蒸着 1095 を用いて製造された部品 1020 の幾何形状のばらつきを極小とするように調整され、こうして起こり得るばらつきが、設定された許容誤差閾値未満となるようにされる。この結果、部品 1020 は、高信頼性かつ堅牢に製造される。

【0105】

ここで記述されている他の実施形態と組み合わせることができる実施形態によれば、上記の供給材料は粉末又はワイヤである。特に、本方法はレーザー金属蒸着 (LMD) のための方法であってよい。

【0106】

本開示によれば、レーザーに基づいた（粉末又はワイヤを用いる）付加製造は、加工レーザーとワークピースとの間の相互作用ゾーン内又はその周囲における幾何形状的な距離及び / 又は表面形状の測定に基づくプロセスマニターや / 又はプロセス実行用の（固定又は動的に偏向する）干渉法に基づくセンサー技術と組み合わされて提供されている。

【0107】

例えば、光学的測定ビームは、レーザー金属蒸着ヘッドを通り、粉末流（粉末堆積溶接）を貫通するか又はワイヤの付近を通過して、固定して照射されるか又は正確にかつ極めて動的に移動され、こうして測定作業を連続して又は並行して実施することができる。測定作業は、基準測定としての又はプロセス実行用の、先行領域での表面形状測定（ワークピース表面の z 位置）であってよい。また別の測定作業は、堆積された溶接ビードの幾何形状の決定用の、例えば不具合検出用の、後続する領域での表面形状測定であってよい。これらの測定結果は、プロセス入力変数（例えばレーザー出力、粉末流量、ワイヤ送り量、プロセス速度）の制御用に使用されてよい。

10

20

30

【図1】

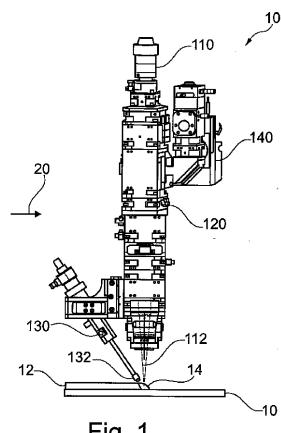


Fig. 1

【図2】

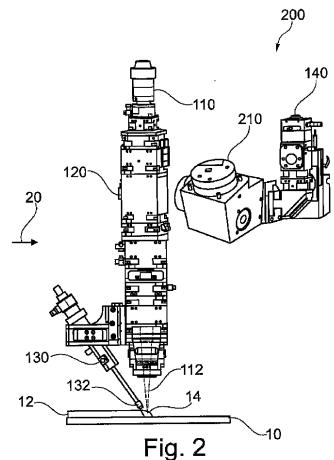


Fig. 2

【図3A】

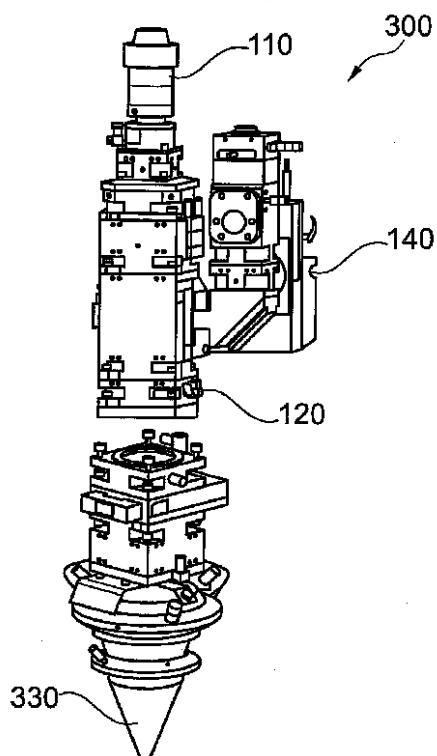


Fig. 3A

【図3B】

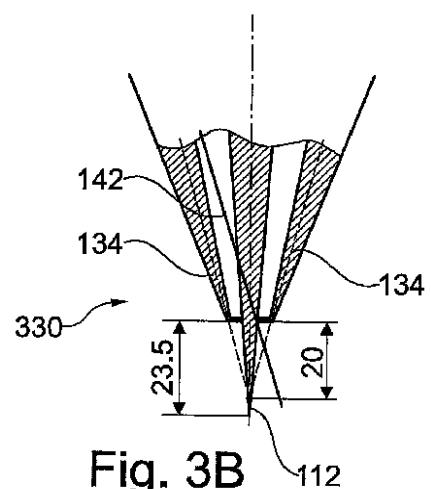


Fig. 3B

【図 4 A】

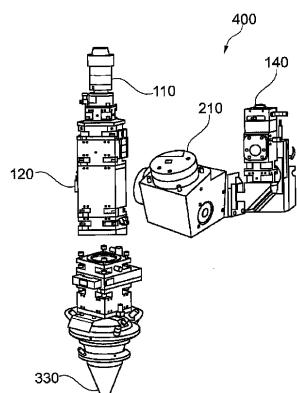


Fig. 4A

【図 4 B】

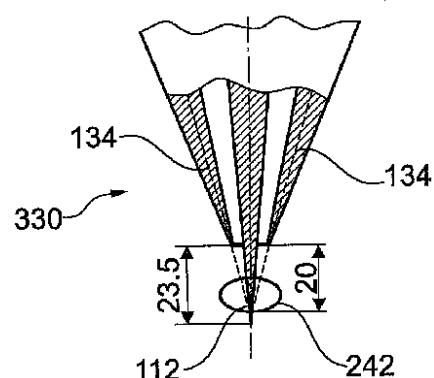


Fig. 4B

【図 5 A】

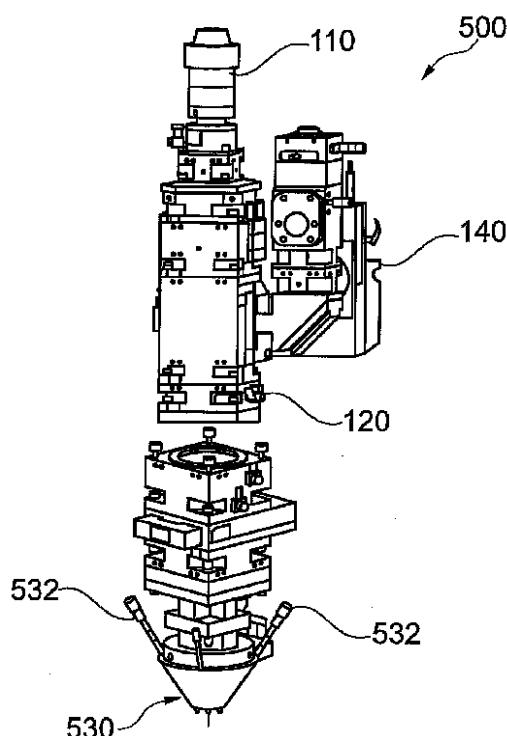


Fig. 5A

【図 5 B】

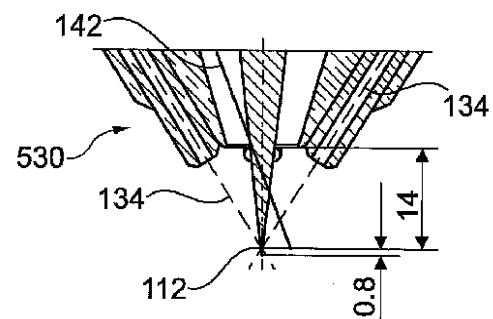
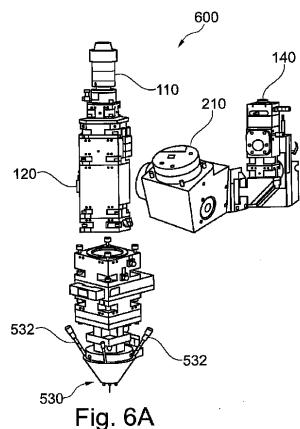
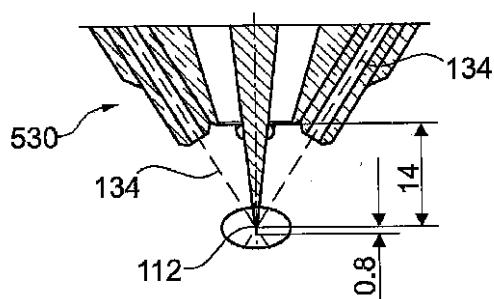


Fig. 5B

【図 6 A】



【図 6 B】



【図 9 A】

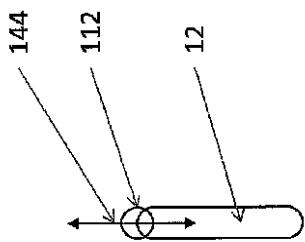


Fig. 9A

【図 9 B】

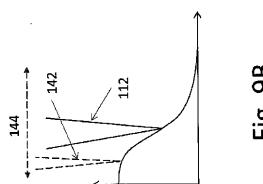
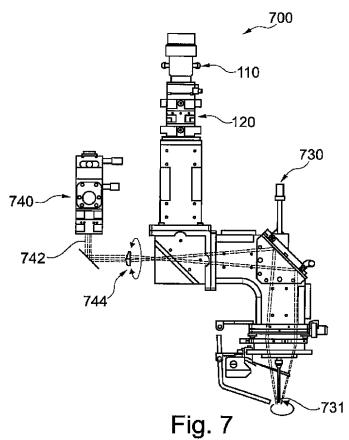


Fig. 9B

【図 7】



【図 8】

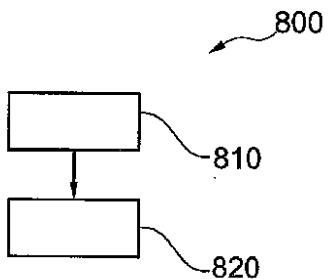


Fig. 8

【図 9 C】

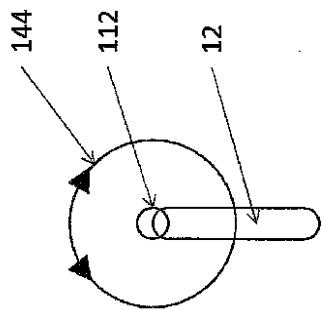


Fig. 9C

【図 9 D】

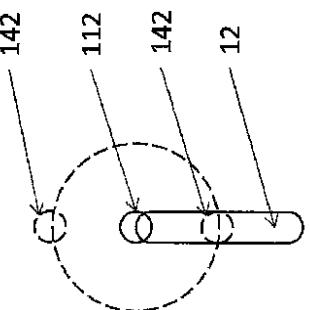


Fig. 9D

【図 10】

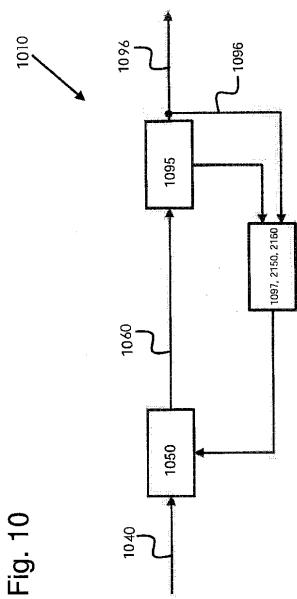


Fig. 10

【図 11】

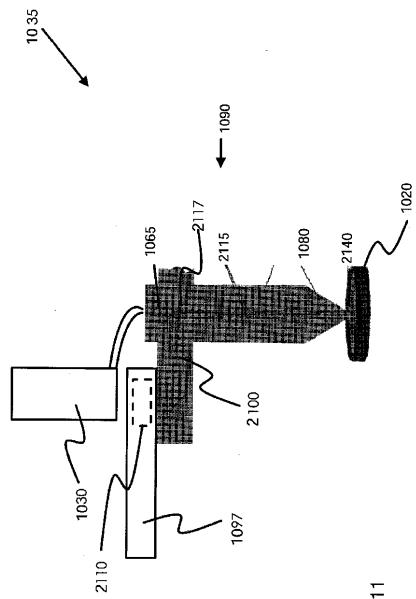


Fig. 11

【図 12】

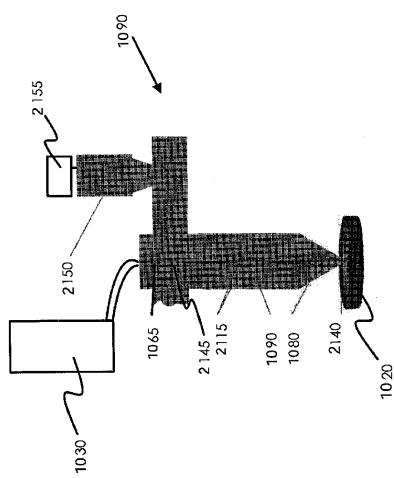


Fig. 12

【図 13】

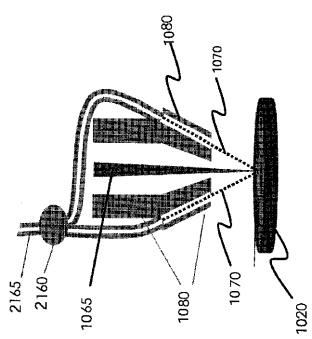


Fig. 13

フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		
<i>B 2 3 K</i>	<i>26/00</i>	<i>(2014.01)</i>	<i>B 2 3 K</i>	<i>26/00</i>
<i>B 3 3 Y</i>	<i>10/00</i>	<i>(2015.01)</i>	<i>B 2 3 K</i>	<i>26/00</i>
<i>B 3 3 Y</i>	<i>30/00</i>	<i>(2015.01)</i>	<i>B 3 3 Y</i>	<i>10/00</i>
<i>G 0 1 B</i>	<i>11/00</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>B 3 3 Y</i>	<i>30/00</i>
			<i>G 0 1 B</i>	<i>11/00</i>
				<i>G</i>

(31)優先権主張番号 18157600.0

(32)優先日 平成30年2月20日(2018.2.20)

(33)優先権主張国・地域又は機関

欧洲特許庁(EP)

(74)代理人 100133167

弁理士 山本 浩

(74)代理人 100169627

弁理士 竹本 美奈

(72)発明者 コグル - ホラシャー, マルクス

ドイツ連邦共和国 6 3 8 0 8 ハイバッハ, フランケンシュトラーセ 15

(72)発明者 シュタウデンマイアー, ク里斯チャン

フランス共和国 6 7 4 7 0 セルツ, リュドゥメジエール - シュル - イソワール 23

(72)発明者 バウツエ, ティボー

ドイツ連邦共和国 8 0 7 9 9 ミュンヘン, ツィーブラントシュトラーセ 2

(72)発明者 レグリン, ダニエル

　　ドイツ連邦共和国 8 0 3 3 3 ミュンヘン, ヴェアナー - フォン - シーメンス - シュトラーセ 1
　　, シーメンス アクチエンゲゼルシヤフト内

(72)発明者 シュナイダー, ハインツ - インゴ

　　ドイツ連邦共和国 8 0 3 3 3 ミュンヘン, ヴェアナー - フォン - シーメンス - シュトラーセ 1
　　, シーメンス アクチエンゲゼルシヤフト内

(72)発明者 ハネブス, ヘニング

　　ドイツ連邦共和国 8 0 3 3 3 ミュンヘン, ヴェアナー - フォン - シーメンス - シュトラーセ 1
　　, シーメンス アクチエンゲゼルシヤフト内

審査官 田代 吉成

(56)参考文献 特表2014-502931(JP, A)

特開2016-60063(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 2 2 F 3 / 1 0 5

B 2 3 K 2 6 / 3 4

B 2 3 K 2 6 / 2 1

B 2 3 K 2 6 / 0 0

B 2 2 F 3 / 1 6

B 3 3 Y 1 0 / 0 0

B 3 3 Y 3 0 / 0 0

G 0 1 B 1 1 / 0 0