

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6504723号  
(P6504723)

(45) 発行日 平成31年4月24日(2019.4.24)

(24) 登録日 平成31年4月5日(2019.4.5)

(51) Int.Cl.		F I	
GO 1 N 27/90	(2006.01)	GO 1 N 27/90	
GO 1 N 21/95	(2006.01)	GO 1 N 21/95	Z
GO 1 N 29/265	(2006.01)	GO 1 N 29/265	

請求項の数 19 外国語出願 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2017-89396 (P2017-89396)	(73) 特許権者	518143602 ヘクセル コーポレーション アメリカ合衆国 06901 コネティカ ット、スタンフォード、トレッサー プー ルバード 281、スィクステーションス フロア
(22) 出願日	平成29年4月28日(2017.4.28)	(74) 代理人	110000855 特許業務法人浅村特許事務所
(65) 公開番号	特開2017-207478 (P2017-207478A)	(72) 発明者	スコット デフェリス アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 O 1040 ホールヨーク クリーヴランド ストリート 60
(43) 公開日	平成29年11月24日(2017.11.24)		
審査請求日	平成29年4月28日(2017.4.28)		
(31) 優先権主張番号	62/329, 311		
(32) 優先日	平成28年4月29日(2016.4.29)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	15/496, 702		
(32) 優先日	平成29年4月25日(2017.4.25)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 インサイチュー検査を伴う金属AM法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

部品がアディティブマニファクチュアリング法によって製造されている間に前記部品を  
検査する検査システムであって、前記システムは、

造形トレーを有するアディティブマニファクチュアリング装置を含み、前記アディティ  
ブマニファクチュアリング装置は、前記部品を前記造形トレー上で層ごとに造形するよう  
構成され、

前記部品の断面を形成するよう材料を何層も重ね、付加し、または溶接するよう構成さ  
れたツールを担持している自動ツールホルダを含み、

前記ツールホルダと前記造形トレーは、造形プログラムによって定められた経路に沿っ  
て互いに対して動くよう構成され、

前記ツールホルダに取り付けられた渦電流プローブを有する検査装置を含み、前記検査  
装置は、前記材料の層がいったん堆積され、付加されまたは溶接されると、前記材料の層  
を現場でスキャンし、前記層の欠陥を検出するよう構成され、

前記ツールホルダは、前記ツールと前記検査装置を使用のため作業位置に交互に配置し  
、したがって前記ツールホルダは、前記材料の前記層を堆積させ、付加し、または溶接す  
るために前記ツールを前記作業位置に固定し、その後、前記ツールホルダは、前記ツール  
を前記検査装置に切り換えて該検査装置を、前記材料の前記層をスキャンして該層の欠陥  
を検出するために前記作業位置に配置し、また

前記ツールと前記検査装置はどちらも前記ツールホルダに取り付けられている、検査シ

ステム。

【請求項 2】

前記ツールホルダが取り付けられたツール配置機構体を更に含み、前記ツール配置機構体は、前記アディティブマニファクチュアリング装置の前記造形トレーの上方に位置決めされている、請求項 1 記載の検査システム。

【請求項 3】

前記ツール配置機構体は、少なくとも 1 つのアクチュエータを含み、前記少なくとも 1 つのアクチュエータは、前記ツールホルダを三次元空間内で少なくとも 1 本の軸線に沿って動かす、請求項 2 記載の検査システム。

【請求項 4】

前記ツール配置機構体は、前記少なくとも 1 本の軸線に沿う運動を定める複数の軌道を含み、前記ツールホルダは、前記軌道に連結されていて前記少なくとも 1 つのアクチュエータを介して前記軌道に沿って動くよう構成されている、請求項 3 記載の検査システム。

【請求項 5】

前記アディティブマニファクチュアリング装置は、少なくとも 1 つのアクチュエータを含み、前記少なくとも 1 つのアクチュエータは、前記造形トレーを三次元空間内で少なくとも 1 本の軸線に沿って動かす、請求項 1 記載の検査システム。

【請求項 6】

前記検査装置は、スキャンされている前記材料の前記層の非接触型非破壊試験を行うよう構成されている、請求項 1 記載の検査システム。

【請求項 7】

前記検査装置は、スキャンされている前記材料の前記層の接触型非破壊試験を行うよう構成されている、請求項 1 記載の検査システム。

【請求項 8】

前記検査装置は、音響検査センサを含む、請求項 1 記載の検査システム。

【請求項 9】

前記検査装置は、超音波変換器を含む、請求項 8 記載の検査システム。

【請求項 10】

前記検査装置は、第 1 の検査装置であり、前記検査システムは、前記ツールホルダに取り付けられた第 2 の検査装置を更に含み、前記第 2 の検査装置は、前記ツールおよび前記第 1 の検査装置と交互に配置され、前記作業位置に配置された前記第 2 の検査装置は、前記材料の前記層を現場でスキャンして前記層の欠陥を検出するよう構成されている、請求項 1 記載の検査システム。

【請求項 11】

前記ツールホルダに取り付けられたカッタを更に含み、前記カッタは、欠陥が検出された前記材料の前記層の少なくとも一部分を切削またはフライス加工するよう構成されている、請求項 1 記載の検査システム。

【請求項 12】

前記欠陥が前記検査装置によって検出されると、前記ツールホルダは、前記カッタを前記作業位置に配置して、前記カッタが前記欠陥が存在する前記層の前記部分を除去するようになっている、請求項 11 記載の検査システム。

【請求項 13】

前記層の前記部分の除去が完了した後、前記ツールホルダは、前記カッタを前記ツールに切り換えて前記ツールが前記作業位置に配置されるようにし、前記ツールは、前記除去された部分内に追加の材料を堆積させ、付加し、または溶接して前記層を修繕するよう構成されている、請求項 12 記載の検査システム。

【請求項 14】

前記カッタは、前記材料の前記層の全体を除去し、

前記ツールホルダは、前記カッタを前記ツールに切り換え、前記ツールが前記作業位置に配置されるようにし、前記ツールは、前記材料を堆積させ、付加しまたは溶接して置換

10

20

30

40

50

層を形成するよう構成されている、請求項 1 2 記載の検査システム。

【請求項 1 5】

前記検査装置は、前記材料の前記層の全体をスキャンして前記層の前記全体に存在する欠陥を検出するよう構成されており、その場合にのみ、前記ツールホルダは、前記検査装置を前記カッタに切り換えて前記カッタが前記作業位置に配置されるようにし、そして前記カッタは、前記欠陥が存在する前記材料の前記層の全ての部分を除去する、請求項 1 1 記載の検査システム。

【請求項 1 6】

前記検査装置において検出された各欠陥の存在場所データを保存する記憶装置を更に含み、前記カッタは、前記存在場所データを用いて前記存在場所データに対応した前記材料の前記層の全ての部分を除去する、請求項 1 1 記載の検査システム。

10

【請求項 1 7】

前記ツールホルダに連結された検査コントローラを更に含み、前記コントローラは、前記ツールホルダを制御して前記ツールと前記検査装置を前記作業位置に交互に提供し、

前記コントローラは、前記検査装置による検査中、事前プログラム経路に沿う前記ツールホルダと前記造形トレーの相對運動を制御する、請求項 1 記載の検査システム。

【請求項 1 8】

部品がアディティブマニファクチュアリング法によって製造されている間に前記部品を検査する方法であって、前記方法は、

検査システムを用いるステップを含み、前記検査システムは、

20

造形トレーを有するアディティブマニファクチュアリング装置を含み、前記アディティブマニファクチュアリング装置は、前記部品を前記造形トレー上で層ごとに造形するよう構成され、

前記部品の断面を形成するよう材料を何層も重ね、付加し、または溶接するよう構成されたツールを担持している自動ツールホルダを含み、

前記ツールホルダと前記造形トレーは、造形プログラムによって定められた経路に沿って互いに対して動くよう構成され、

前記ツールホルダに取り付けられた渦電流プローブを有する検査装置を含み、前記検査装置は、前記材料の層がいったん堆積され、付加されまたは溶接されると、前記材料の層を現場でスキャンし、前記層の欠陥を検出するよう構成され、

30

前記ツールホルダは、前記ツールと前記検査装置を使用のため作業位置に交互に配置し、前記ツールと前記検査装置はどちらも前記ツールホルダに取り付けられ、

前記ツールを前記作業位置に配置して前記材料の少なくとも 1 つの層を堆積させ、付加しまたは溶接し、それにより前記部品の断面を形成するステップを含み、

前記自動ツールホルダにより前記ツールを前記検査装置に切り換えて前記検査装置が前記作業位置に配置されるようにするステップを含み、

前記検査装置によって前記少なくとも 1 つの層をスキャンしながら前記ツールホルダと前記造形トレーの相對運動を行わせるステップを含み、

前記検査装置を用いて前記少なくとも 1 つの層に存在する 1 つまたは 2 つ以上の欠陥を検出するステップを含む、方法。

40

【請求項 1 9】

前記検査システムは、前記ツールホルダに取り付けられたカッタを含み、前記方法は、前記カッタを用いて前記 1 つまたは 2 つ以上の欠陥が存在している前記層の少なくとも一部分を切削するステップを更に含む、請求項 1 8 記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示内容、すなわち本発明は、一般に、アディティブマニファクチュアリング（付加製造）システムおよび方法、ならびに追加のステップを含むサブトラクティブマニファクチュアリング（減少製造）システムおよび方法に関し、特に、造形プロセス中に欠陥を検

50

出するために材料の層の実時間でのオンサイトの自動モニタリングおよび検査を行うアディティブマニファクチュアリングシステムおよび方法（または、追加のステップを含むサブトラクティブマニファクチュアリングシステムおよび方法）に関する。

【背景技術】

【0002】

三次元（3D）物品を造形する種々の方法が存在することが知られており、かかる方法としては、アディティブマニファクチュアリング法（additive manufacturing：AM）、サブトラクティブマニファクチュアリング法（subtractive manufacturing：SM）、および射出成形法（IM）が挙げられる。アディティブマニファクチュアリング（AM）は、特に、材料がプラスチックであるにせよ金属であるにせよコンクリートであるにせよポリマーであるにせよいずれにせよ、材料を選択的に何層も重ねまたは付加することによって3D物品を合成する技術に関する。種々のアディティブマニファクチュアリング法は、例えば、押し出し法（例えば、熱溶解積層法、融解フィラメント造形法）、光重合法（例えば、光造形法、デジタル光処理法）、積層法（例えば、積層物品製造法）、粉体層法（例えば、電子ビーム溶解法、選択的レーザ溶解法、選択的熱焼結法、選択的レーザ焼結法）、粉末供給法（例えば、直接または指向性エネルギー堆積法）、および電子ビーム造形法である。

10

【0003】

従来型AM機および方法に関するありふれた問題としては、造形プロセス中に形成される各層の一体性および健全性にまつわる不確かさが挙げられる。別の問題は、材料の隣り合う層相互間の一体性および結合の強度に関し、すなわち、融合不足に関する。AM法では典型的である他の物理的欠陥としては、高い多孔性、AM部品の表面の近くの細孔のところで始まる疲労亀裂、およびAM部品の疲労寿命に悪影響を及ぼすことが知られている表面粗さが挙げられる。

20

【0004】

AM部品の製造品質を判定する公知の方式では、相当な数の部品を破壊評価し、共通の欠陥を探す。しかしながら、この方式は、コスト高でありかつ時間がかかり、しかもAM法の利点、例えば新しくかつ種々の部品を迅速かつ費用効果良く製造することができるという利点を帳消しにする。

【0005】

また、造形プロセスが完了した後にAM部品に存在する欠陥を検出する非破壊試験法が存在する。例えば、非破壊試験の一形式では、人が完成状態のAM部品に存在する欠陥を検出ようになった手持ち型器具を持って分析のためにAM部品の断面をスキャンする。しかしながら、これらの技術には、これら技術が実時間（リアルタイム）インサイチュー（in situ、現場、その場の）プロセスではなく、かくして欠陥が生じた時点で欠陥を検出して修理することができる能力を欠いているということを含む欠点がある。欠陥は、造形プロセス全体が完了する時点までにAM部品中につきまとうようになり、それにより欠陥を修整することが不可能になる。その結果、AM部品全体が破棄され、新たな部品が作られなければならない。かかる結果、過度の材料の無駄を伴い、しかもコスト高である。

30

40

【0006】

さらに、人が検出器具を安定した状態で保持してAM部品中の欠陥の正確な存在場所を正確に求めるのに必要な直線経路に沿って部品をスキャンすることができない場合がある。かくして、欠陥の不正確な検出が生じる場合がある。加うるに、AM部品の複雑な幾何学的形状はまた、完成後非破壊試験法にとって難題を提起する。AM法で作られた多くの部品は、幾何学的形状に対する敏感性の低い技術、例えば浸透試験法および磁気粒子試験法では接近できない内部構造を有する。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

50

本明細書に記載された要望ならびに別のおよび他の要望および利点は、本発明の実施形態によって取り組まれ、これら実施形態は、以下に説明する解決手段および利点を示している。

【0008】

本教示内容、すなわち本発明の目的は、使用のためにAM部品の品質および適合性を判定するAM機（または付加的用途を有するSMまたはIM機）向きに構成されたAM検査システムおよびAM検査方法を提供することにある。

【0009】

本発明の別の目的は、AM造形プロセス中にモニタして各層を、次の層が各層の上に重ねられる前に検査するようにする実時間インサイチュー検査システムおよび検査方法を提供することにある。かかる層ごとの検査は、スクラップ材料のコストを最小限に抑えるとともに／あるいは交換を行うのに手遅れになる前にAM造形プロセス中におけるリアルタイム（実時間）の手直しを可能にするようにできるだけ早く欠陥を検出する上で有益である。また、本発明の別の目的は、使用されるAM法の形式および／または供給材料に応じて、AM造形プロセス中にモニタして欠陥検査が、全ての層についてこれが付加された後、層が1つ置きに付加された後、または群をなす／多数の連続して位置する層が付加された後に実施されるようにする実時間インサイチュー検査システムおよび検査方法を提供することにある。一群の連続して位置する層を検査する（例えば、3つの層を堆積させ／付加し／溶接し、次に検査を実施する）場合の利点は、かかる方法がAM製造法の効率（例えば、完成状態の部品を作るまでの時間、部品の製造コスト、エネルギーの使用量、廃棄物の量など）を低下させないで広汎な欠陥分析結果をもたらすということにある。

【0010】

欠陥は、目に見えない（例えば、作られた製品の内部に隠されている）場合があるとともに／あるいは欠陥を生じさせたAM造形プロセス（例えば、AM機の装置またはコンポーネントを見るのを妨げる）によって見えにくくなる場合がある。したがって、本発明の目的は、目に見える欠陥と目に見えない欠陥の両方を検出する複雑精巧な検査システムおよび検査方法を提供することにある。

【0011】

AM法の多くは、粉末から固体への圧密化、液体から固体への硬化を含む供給材料に対する何らかの変化を必要とするので、本発明の目的は、非破壊かつ非接触型の（検査ツールと作られた製品との直接的な接触を必要としない）AM検査システムおよびAM検査法を提供することにある。かかるシステムおよび方法は、電磁式（例えば、渦電流）、スペクトル式（可視および／または不可視イメージング、分光法など）、音響式（超音波、超低周波など）、であるのが良くかつ／あるいはAM部品の多孔性、密度、結晶構造解析または他の顕著な特性に関する有用なデータを明らかにする他形式の刺激および／または観察を含むのが良い。特定の技術の使用に関する制限は、AM法がAM法の使用環境（例えば、高い温度、真空、閉じ込めなど）に基づく。

【0012】

また、本発明の別の目的は、AM製品に存在する欠陥を検出するだけでなく材料の各層または連続して位置する複数の層の各群を付加／硬化させて完成状態のAM製品の材料特性を算定した直後におけるかかる材料の各層または連続して位置する複数の層の各群に関する情報を集める検査システムおよび検査方法を提供することにある。例えば、検査システムは、欠陥検出、部品厚さ測定、および材料特性、例えば弾性モジュラスの算定を行う。

【0013】

本発明の別の目的は、AM機のストローク利用を少なくとも維持し、かくして、AM機のストローク利用を減少させない検査システムおよび検査方法を提供することにある。すなわち、AM機に組み込まれまたはこれに一体化された検査システムは、CNC（コンピュータ数値制御）運動軸線の使用度の減少を最小限に抑える。好ましくは、AM機に組み込まれまたはこれに一体化された検査システムは、CNC運動軸線の使用度を増大させ、

10

20

30

40

50

それによりAM機によって造形できる部品のサイズを増大させる。

【0014】

また、本発明の目的は、AMシステム（または付加的用途を有するSMまたはIMシステム）中に組み込むことができる検査装置またはユニットを提供することにより、この場合、検査装置またはユニットは、上述の目的のうちの1つまたは2つ以上を達成する。

【課題を解決するための手段】

【0015】

これらの目的および他の目的は、部品がアディティブマニファクチュアリング法によって製造されている間に部品を検査する実時間インサイチューシステムであって、このシステムは、アディティブマニファクチュアリング装置と、部品を形成するよう材料を何層も重ね、付加し、または溶接するよう構成されたツールを担持しているツールホルダと、ツールホルダが取り付けられたツール配置機構体とを含み、ツール配置機構体とアディティブマニファクチュアリング装置の造形テーブル/トレー/床は、造形プログラムによって定められた経路に沿って相互の相対運動を行うよう構成され、このシステムは、ツールホルダに取り付けられた検査装置を含み、検査装置は、材料の層を現場でスキャンし、そして層をいったん堆積させ、付加しまたは溶接すると層の欠陥を検出するよう構成され、ツールホルダは、ツールと検査装置を使用のための向きに交互に提供し、ツールホルダは、材料の層を堆積させ、付加し、または溶接するための位置にツールを固定し、しかる後、ツールホルダは、ツールを検査装置に切り換えてこの検査装置を、材料の層をスキャンしてこの層の欠陥を検出するための位置に配置するようになっていることを特徴とするリアルタイム（実時間）インサイチュー（現場、その場の）システムによって達成される。

【0016】

このシステムは、検査装置によって実施される欠陥検出プロセスの作動を制御する検査コントローラを含む。幾つかの実施形態では、検査コントローラはまた、欠陥検出プロセス中に提供された結果を考慮に入れて、AM装置によって実施される層を重ね、付加し、または溶接するプロセスを能動的に管理する。例えば、検査コントローラは、先に付加された層の品質および状態に関するフィードバック信号を伝送することによってAM装置のCNC制御システムと通信することができる。CNC制御システムは、次に、AMプロセスを適切に調節して問題を修復し、またはAMプロセスを一時停止してオペレータに欠陥について知らせることができる。検査コントローラは、例えばPID（比例積分偏差）アーキテクチャを備えたフィードバックコントローラであるのが良い。幾つかの場合、検査コントローラは、実施された各検査の結果（例えば、欠陥の数、AM部品内の欠陥の存在場所）から学んでそれに従ってAM造形プロセスおよび/または検査プロセスを適応させて層の次の堆積/付加/溶接中に作られる他の欠陥の可能性をなくしまたは少なくとも減少させる適応制御システムまたはインテリジェント制御システムを用いる。例えば、適応またはインテリジェントコントローラは、欠陥検査が各材料層の付加後に実施されるよう検査ツールを当初構成するのが良い。幾つかの材料層を付加し、そして各層がごく僅か（例えば、2つまたは1つ）からゼロの欠陥を生じさせた場合、コントローラは、検査の頻度を適応させるとともに調節することができる（例えば、1つおきの層を検査し、2つめごと、3つめごと、4つめごとなどの層を検査する）。これとは逆に、適応またはインテリジェントコントローラが連続した複数の層の各群を堆積させた後に欠陥検査を行い、検出された欠陥の数が増大した場合、コントローラは、検査頻度が増加する（例えば、各層の堆積後に検査する）よう適切に調節を行う。コントローラは、それに応じて、高品質のAM部品の効果的な製造を可能にする。

【0017】

本発明のAM検査システムおよび方法ならびに従来型AMユニット中に組み込まれるAM検査装置は、AM部品が製造されているときにAM部品の実時間検査を行い、それにより、検査が必要な材料の量を大幅に減少させるとともに製造欠陥の即時（リアルタイム、インサイチュー）修整を可能にする。

【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

## 【0018】

【図1】本発明の教示に従って製造機械（例えば、アディティブ、サブトラクティブ/フライス加工、射出成形またはこれらの組み合わせ）向きに構成されたAM検査システムの略図である。

【図2】本発明の教示に従って製造機械（例えば、アディティブ、サブトラクティブ/フライス加工、射出成形またはこれらの組み合わせ）向きに構成されたAM検査システムの略図である。

【図3】レーザ焼結機向きに構成された図1に示されているAM検査システムの略図である。

【図4】本発明の教示によるAM検査方法のステップを示す流れ図である。

10

【図5】渦電流プローブを用いた図1に示されているAM検査システムを示す図である。

【図6a】図1に示されたAM検査システムのツールホルダの一実施形態を示す図である。

【図6b】図1に示されたAM検査システムのツールホルダの別の実施形態を示す図である。

【図6c】図1に示されたAM検査システムのツールホルダの別の実施形態を示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0019】

以下において、本発明の実施形態が示されている添付の図面を参照して本発明について詳細に説明する。以下の説明は、例示目的で提供されているに過ぎず、本発明は、これらの実施形態には限定されるべきではない。本明細書において記載した要件を満たす任意のシステムまたはコントローラ形態およびアーキテクチャは、本発明に従ってAM検査システムおよび方法を具体化するのに適していると言える。

20

## 【0020】

本発明の具体化例のうちの最も簡単な例は、事前映像化AM機と、装置、および機構体の使用が挙げられる。熱溶解積層法（FMD、Stratasys（登録商標））、超音波圧密（U/S、Fabrisonic）、および電子ビームワイヤフィード（EBMワイヤ、Sciaky）が高精度機械ツールおよび/またはAMプロセス（例えば、選択的積層法）を実施するための堆積ヘッドのロボットによる配置を利用したプロセスの例である。本発明のシステムは、自動交換式ツールホルダまたはマウントを利用する。例えば、このシステムは、超音波アディティブマニュファクチャリング機向きに合わせてまたはこのために構成されるのが良く、そしてこのシステムは、自動交換式ツールホルダを利用する。他のAM機用に構成された本発明のシステムを同様な点で構成できる。

30

## 【0021】

本発明の有利な一特徴は、AMプロセスを実質的に中断することなく堆積ツールと検査ツールのリアルタイム（実時間）のインサイチュー（現場の、その場での）スワッピング/切り換えにある。例えば、超音波AM積層ヘッドは、層を堆積した後、かつオプションとして計画した切れ目をフライス加工ツールで作る前または後で、検査ツールに切り替わる。幾つかの実施形態では、渦電流プローブが検査ツールとして用いられ、渦電流プローブは、材料の連続性に関する何らかの問題（細孔、クラック、または結合部のくっつき）を指示する応答信号偏差を探し求めるため、スキニングパターンで直近に堆積した層上を正確に動かされるようになっている。AM機ベース（造形テーブル、トレイ、床またはプラットフォーム）に対するプローブの存在場所に関する検査ツールの構成により、層中の欠陥の正確な存在場所を求めることができる。

40

## 【0022】

渦電流プローブは、潜在的な安全関連または品質関連問題があるかどうかについてAM部品の層を検査することができる有利な検出ユニットである。クラック検出に加えて、渦電流は、材料の厚さ測定、例えば、導電性の測定、熱処理の効果のモニタリング、および互いに異なる材料の被膜/層の厚みの測定に使用できる。渦電流検査は、広い面積を極め

50

て速く調べることができ、カップリング液を用いる必要がない。渦電流検査はまた、材料の硬度の点検にも使用できる。幾つかの実施形態では、渦電流検査および音波（例えば、超音波）検査は、相補技術として一緒になって用いられ、渦電流は、迅速な表面検査にとって利点を有し、超音波は、良好な深さ侵入度を有する。本発明の幾つかの実施形態では、検査ツールが1つだけ（電磁、スペクトルまたは音響）が用いられる。他の実施形態では、2つまたは3つ以上の検査ツールが同時にタンデムに（次々に）かのいずれかで利用される。理解されるべきこととして、検査ツールの任意の組み合わせを実施することができる。例えば、検査ツールは、渦電流プローブと分光器から成っていても良く、あるいは変形例として、デジタルカメラおよび超音波変換器から成っていても良い。

**【0023】**

本発明の幾つかの実施形態では、AM検査システムは、コントローラおよび検査ツールに結合されたデータベースを含む。データベースは、検査された各層（または複数層の群）の材料特性データ（例えば、多孔度、密度、結晶構造解析結果、導電率、弾性モジュラスなど）を収集して、かかるデータを完成状態のAM部品に関連付けて個々の各部品に関する造形/品質保証記録を作成する。例えば、検査ツールが渦電流プローブである場合、データベースは、クラック検出、材料厚さ測定、被膜測定、導電率測定（熱損傷検出、焼入硬化層厚さ測定）および/またはその他に関する情報を保存する。材料特性データの収集は、同一AM部品の多数回の造形/製造作業に対する品質管理を維持する上でも有益である。幾つかの場合、コントローラ（例えば、適応、インテリジェント、フィードバック）が、先の造形作業からのデータを利用してAM造形装置によって実施されている現在の造形作業を調整して現在の造形中に作られる欠陥の数がゼロでありまたは最小限であるという可能性を高める。

**【0024】**

本発明のAM検査システムは、RFIDタグをAM部品の内側にまたはAM部品の外面に取り付けまたは埋め込むツールを含むのが良い。RFID取り付けツールは、AMプロセス中またはAMプロセス全体が完了した後にRFIDタグを埋め込むよう構成されているのが良い。RFIDタグは、AM部品の材料特性データを含み、この材料特性データは、AM部品を将来の保守または修復中に検査しまたは分析するときには有用な場合がある。RFIDタグは、検出された欠陥の数および欠陥を除去するために必要な修復の程度に関する情報を更に含むのが良い。RFIDタグは、関連材料特性データをAM部品と一緒に伝える確実かつ有効な手段を提供するのを助ける。これは、関連部品とは別個にペーパー上に記憶されまたは電子記憶装置（例えば、メモリハードドライブ、サーバ）上に記憶されたデータが紛失状態になる場合がある状況とは対照的である。例えば、後で特定のAM部品が故障した場合（例えば、壊れた場合）、AM部品の造形履歴への迅速な調査が、埋め込み状態のまたは取り付け状態のRFIDタグを単にスキャンしてこの中に記憶されている情報を取り出すことによって実施できる。幾つかの場合、RFIDタグを取り付けまたは埋め込むツールは、層堆積/付加/溶接ツールおよび/または切削/フライス加工ツールを含み、これらを伴いまたはこれらの一部であるのが良い。

**【0025】**

欠陥がいったん検出されると、AM部品を破棄するのが良く（再加工方法がない場合）または切削/フライス加工ツールを呼び出すルーチンが欠陥の広がりを含むポケットを切除するのが良く、その結果、堆積プロセスがポケットを埋め戻してスポットの再加工を終了させ、それにより加工中の部品のバランスに似るようにするのが良い。変形実施形態では、欠陥を含む層を切削/フライス加工ツールによって完全に除去し、その後、堆積/付加/溶接ツールを用いて除去した層の被着/付加を繰り返すルーチンが開始されるのが良い。次に再加工ポケットまたは置換層を再び検査して欠陥が存在しないことを確認するのが良い。

**【0026】**

幾つかの実施形態では、最初に、層全体を検査し、その後、切削/フライス加工ツールを用いて検出された欠陥があればこれらを除去する。本発明のシステムは、層中の検出さ

10

20

30

40

50

れた欠陥があればこれらの正確な存在場所に関するデータを保存する記憶装置またはメモリユニットを含むのが良い。層がいったん完全に検査されると、このシステムは、存在場所データを用いて切削/フライス加工ツールを欠陥の各々を除去するのに適した位置に動かし、更に堆積ツールを、切削/フライス加工ツールによって作られたポケットを埋めることによって材料の層を再加工するのに適した位置に更に動かす。幾つの場合、欠陥の数がしきい値を超えている場合、このシステムは、切削/フライス加工ツールを制御して層全体を除去し、その後、堆積ツールを制御して置換層を堆積/付加/溶接するステップを繰り返す。

#### 【0027】

本発明の例示の実施形態は、以下の特徴を含むが、これらには限定されない。

単一のアクチュエータをツール交換機能に置き換える複数機能専用アクチュエータの使用。

ツール配置方式は、滑り面方式、回転方式、六脚方式または任意他の方法であるのが良い。

種々の接触型および/または非接触型検査ツールおよび方法を一緒にまたは別個に利用することができる。

接触型ツールおよび方法は、次の堆積作業を妨害する場合のある残滓を残さないようにすべきである。

堆積方法は、本発明の範囲から逸脱することなく、任意の形態をとることができ、そして堆積方法と検査方法の組み合わせを制限する場合のある任意の環境においても動作することができる。

用いられる材料は、堆積および/または検査技術の能力の全範囲に及ぶ場合がある。

検査技術は、検査データの解釈を助けるために、部品を造形する設計ファイル（例えば、3Dモデル、CADファイル、STLファイル、gコードなど）を用いるのが良い。

#### 【0028】

図1は、部品102がアディティブマニファクチャリング法により製造されている間に部品102を検査する実時間インサイチュー（現場）システム100を示している。このシステムは、アディティブマニファクチャリング装置120と、部品102を形成するよう材料を何層も重ね（堆積させ）、付加または溶接するよう構成されたツール108を担持した自動交換式ツールホルダ106を含む。ツールホルダ106は、ツール108ならびに他のツール112, 114, 116, 118のツール配置のための回転ユニットまたは六脚ユニットを有するのが良い。幾つの実施形態では、ツール108は、ツールホルダ106に解除可能に連結され、それによりツールを取り外したり交換したりすることができる。ツールホルダ106は、ツール配置機構体110に取り付けられ、このツール配置機構体は、ツールホルダ106をAM装置120の造形テーブル、トレーまたは床122の一方の側の上方にまたはこれから放して保持する。ツール配置機構体110およびAM装置120は、造形トレーとツールホルダとの相対運動を可能にするよう構成されている。具体的に説明すると、ツールホルダと造形トレーは、造形プログラム130によって定められた経路に沿って互いに対して動き、造形プログラム130は、アップロードされてシステム100の記憶装置132に記憶されるのが良い。幾つの実施形態では、造形プログラム130は、STR設計ファイル、CADファイル、またはgコードとして具体化される。他方において、造形プログラム130は、AMプロセス（CNC）コントローラ134を用いて作成されるとともに設定できる。オペレータがCNCコントローラ134を用いて造形プログラムをいったん作ると、この造形プログラムは、記憶装置132内に設計ファイルとして保存されるのが良い。CNCコントローラ134は、プロセッサまたはマイクロプロセッサであるのが良い。他の実施形態では、コントローラ134は、通信ケーブル（例えば、USB（商標））またはワイヤレス通信方式によりAM装置120に接続されたコンピュータであるのが良い。

#### 【0029】

システム100は、ツールホルダ106に取り付けられた検査ツール112を更に含む

。この検査装置は、供給材料の層を現場でスキャンし、この層がいったん材料の既存の層に対して堆積され、付加されまたは溶接されると、層中の欠陥を検出するよう構成されている。幾つかの実施形態では、検査ツール 112 は、層の特性データ（機械的性質、電気的性質、熱的性質、多孔度、密度、結晶構造解析結果または他の顕著な性質）もまた収集するよう構成されている。検査ツール 112 は、ツールホルダ 106 に解除可能に連結されるのが良い。図 1 に示されているように、ツールホルダ 106 は、ツール 108 と検査装置 112 を造形トレイ 122 の方へ差し向けられた向きに交互に位置決めすることができる。したがって、一つの場合では、ツールホルダは、材料の層を堆積させ、付加または溶接する位置にツールを固定し（AMステップ）、しかる後、別の場合では、ツールホルダは、ツール 108 を検査ツール 112 に切り換えてこれを材料の層中の欠陥のスキャンおよび検出のための位置に配置する（検査ステップ）。

10

#### 【0030】

検査ツール 112 は、材料の層中に欠陥が存在するかどうかを判定するための電磁試験センサを利用するのが良い。例えば、検査ツール 112 は、材料の層中の表面の傷を検出してこれを特徴付けるために電磁誘導方式を利用する少なくとも一つの渦電流プローブを有するのが良い。システム 100 で利用できる電磁試験センサの他の例としては、リモートフィールド試験プローブ、磁束漏れツール、磁性粒子検査ツール、および交流電流フィールド測定ツールが挙げられる。他の実施形態では、検査ツール 112 は、スペクトル試験、例えば視覚映像化、非視覚映像化、分光法、X線イメージング、磁気共鳴イメージングなどを提供することができる。別の実施形態では、検査ツール 112 は、音波を利用した試験センサを有するのが良く、かかるセンサは、超音波、超低周波などを利用して材料の層に対して非破壊検査を実施する。音波を利用した試験センサの例は、アコースティックエミッションツール、電磁音響変換器、および音響共鳴技術である。非破壊検査センサの上述のリストは、例示として提供され、検査ツールは、これらには限定されない。検査ツールによって具体化される非破壊試験センサの種類は、部品 102 を造形するために AM プロセスで用いられる材料の種類で決まる場合がある。例えば、供給材料が金属でありまたは金属を含む場合、渦電流プローブまたは超音波センサが欠陥を検出するのに有効なツールであり、というのは、これらは、十分な侵入深さを提供するからである。

20

#### 【0031】

図 1 に示されているように、ツールホルダ 106 は、検査装置 112 および堆積 / 付加 / 溶接ツール 108 ならびに 1 つまたは 2 つ以上の他のツールまたは装置 114 ~ 118 をしっかりと保持するよう構成されているのが良い。例えば、切削 / フライス加工ツール 114 がスピンドルによってツールホルダ 106 に解除可能に連結されるのが良い。スピンドルは、カッタ 114 を受け入れるようになっており、スピンドルは、ツールホルダ 106 に取り付けられている。カッタは、欠陥が検出された材料の層の少なくとも一部分を切削しまたはフライス加工するよう構成されている。すなわち、幾つかの実施形態では、欠陥がいったん検出されると、ツールホルダは、検査ツールをカッタに切り換えてこれを造形トレイ 122 の方へ差し向けられた作業位置に配置し、カッタは、欠陥の存在場所が突き止められた層の部分を除去するのが良い。他の実施形態では、層を完全に分析し、この層中に存在する全ての欠陥を検出し、その後、システムは、検査装置 112 をカッタ 114 に切り換える。次に、欠陥の全てを一連続除去プロセスでカッタにより切除する。

30

40

#### 【0032】

幾つかの実施形態では、ツールホルダは、層のより包括的な検査を提供するために他の検査ツール 116 を更に担持するのが良い。検査ツール 116 は、用いられるセンサの形式に基づいて検査ツール 112 とは異なっている場合がある。しかしながら、検査ツール 112, 116 は、互いに異なる非破壊法、すなわち電磁法、スペクトル法、音響法に基づくのが良い。他の AM ツール 118（堆積 / 付加 / 溶接ツール 108 に加えて）が部品 102 を造形する際に使用できる複数の AM プロセス / 技術を提供するためにツールホルダ 106 中に挿入されるのが良い。変形例として、ツール 108 は、RFID タグを部品 102 に取り付けまたは埋め込むよう構成されている。RFID タグは、検査ツール 11

50

2によって集められた材料特性データに関する情報を含む。幾つかの実施形態では、ツール112～118のうち1つまたは2つ以上は、ツールホルダ106に解除可能に取り付けられるのが良い。

#### 【0033】

図6a～図6cは、ツールホルダ106の互いに異なる形態を示している。図6aのツールホルダ(図1～図3にも示されている)は、ツール108, 112, 114, 116, 118が解除可能に取り付けられた回転ハブ160を備えている。回転ハブは、作業位置に配置されるのがどのツールかを変えるようサーボモータまたはアクチュエータ162を有するのが良く、作業位置は、造形トレイ122の方へ差し向けられた実質的に垂直の向きとして定められる。図6aは、ツール108が作業位置に現時点において配置されている状態を示している。検査ツール112をこの作業位置に配置するために、モータ162は、例えば反時計回りの方向に約60°だけ回転ハブ160を回転させる。変形例として、切削/フライス加工ツール114を作業位置に配置するため、回転ハブは、時計回りの方向に回転することができ、それによりツール108を60°変位させる。幾つかの実施形態では、モータ162は、回転ハブ160を360°以上、回転させるようになっている。

10

#### 【0034】

図6bは、回転ハブ160ならびに回転ハブ160に隣接して配置された静止ハブ164を有するツールホルダ106を示している。モータ162が回転ハブ160を回転させても、静止ハブは、そのままの状態であり、同一位置および同一向き(すなわち、作業位置)でツールをこの静止ハブに取り付けられた状態に保持する。図6bに示されているように、堆積/付加/溶接ツール108は、静止ハブ164に取り付けられており、他方、検査ツール112、切削/フライス加工ツール114、および他のツール116～118は、回転ハブ160に取り付けられている。この形態により、堆積/付加/溶接ツール108を常時作業位置に固定することができ、更に回転ハブ160はまた、配置されるべき検査ツール112、切削/フライス加工ツール114、または他のツール116～118のうちの1つを作業位置(すなわち、造形トレイ122の方へ差し向けられた実質的に垂直の向き)に配置することができる。例えば図6bに示されているように、堆積/付加/溶接ツール108および検査ツール112aは、互いに並置して、互いに近接してかつ/あるいは互いに隣接して配置されている。当業者であれば理解されるように、堆積/付加/溶接ツール108とは異なるツールを静止ハブ164によって保持することができる。一実施形態では、検査ツール112は、検査機能が常時利用でき、しかも検査ツールを作業位置に再配置する必要なく、検査を連続してまたは周期的に実施することができるよう静止ハブ164に取り付けられるのが良い。検査ツール112と堆積/付加/溶接ツール108の両方が作業位置で並置して配置される場合、検査ツールは、直近で付加された材料の層を欠陥があるかどうかについて検査するよう構成されている。同様に、回転ハブ160がカット114を回転させてこれを作業位置に配置し、その結果、カット114が検査ツールの次に位置するようにすると、検査ツールは、材料の層またはその一部分を欠陥があるために除去した直後に部品102を検査することができる。これは、除去プロセスが部品102中に、特に除去プロセスの結果として露出された材料の任意の層を偶発的に損傷させていないまたはこれに追加の欠陥を生じさせていないことをチェックするのを助ける。別の場合、検査ツール112(静止ハブ164に取り付けられている)と検査ツール116(回転ハブ160に取り付けられている)は両方も、作業位置で並置して配置される。したがって、検査ツールの両方を同時に作動させて造形時間を実質的に増大させることなくより包括的な検査を効果的に実施することができる。

20

30

40

#### 【0035】

図6cは、静止ハブ166だけを有するツールホルダ106の第3の形態を示している。堆積/付加/溶接ツール108、検査ツール112、切削/フライス加工ツール114、および他のツール116～118が静止ハブに取り付けられている。図6cでは、ツール116～118は、説明を簡単にする目的で図示されていない。ツールの全ては、作業

50

位置においてまたは実質的に作業位置において静止ハブに固定されている。堆積/付加/溶接ツール108は、造形トレイ122の方へ差し向けられた垂直の向きに保持される。他方、検査ツール112、切削/フライス加工ツール114、およびツール116~118は、斜めの向きで(すなわち、静止ハブ166に対して傾斜角をなした状態で)保持され、その結果、これらのツールは、実質的に、造形トレイ122および/または堆積/付加/溶接ツール108が差し向けられている部品102上の同一の場所に向かって差し向けられるようになっている。当業者であれば、堆積/付加/溶接ツール108とは異なるツールを静止ハブ166の中心のところで垂直の向きに保持することができることは理解されよう。

#### 【0036】

図1に戻ってこれを参照すると、CNCコントローラ134は、造形プログラム130に従ってツールホルダ106と造形トレイ122の相對運動を制御する。幾つかの実施形態では、ツール配置機構体110は、ツールホルダを1本または2本以上の軸線(x, y, z)に沿って動かすために1つまたは2つ以上のアクチュエータを含むのが良い。例えば、ツール配置機構体110は、ツールと部品102の最も頂部の層との間の距離を増減するためにツールホルダ106を造形トレイ122に向かって(下へ)またはこれから遠ざけて(上へ)シフトさせる(z軸)アクチュエータ126を含むのが良い。他の実施形態では、ツール配置機構体は、x方向および/またはy方向へのツールホルダ106の運動を提供するようアクチュエータ124が載せられる複数の軌道128を有するのが良い。ツール配置機構体のアクチュエータ124, 126および軌道128は、部品102に

#### 【0037】

ツール配置機構体110によって提供できる運動の代替手段としてまたはこれに加えて、AM装置120は、造形トレイ122の運動をもたらすよう構成されていても良い。例えば、AM装置120は、造形トレイ122を1本または2本以上の軸線(x, y, z)に沿って動かすために1つまたは2つ以上のアクチュエータ129を有するのが良い。かくして、アクチュエータ129は、部品102をツール108, 112, 114, 116, 118のうちの任意のものに近づけまたはこれから遠ざけて位置決めするために造形トレイをツールホルダ(z軸)に向かって(上へ)またはこれから遠ざけて(下へ)シフトさせるよう構成されているのが良い。幾つかの実施形態では、アクチュエータ129またはAM装置120内に設けられる第2のアクチュエータは、造形トレイ122をx方向に動かすよう構成されているのが良い。さらに、アクチュエータ129または別のアクチュエータは、造形トレイ122をy方向に動かすよう構成されているのが良い。1つまたは2つ以上のアクチュエータ129によって、造形トレイ122をツールホルダ106、更にツール108, 112, 114, 116, 118に対して正確に動かすことができる。

#### 【0038】

幾つかの実施形態では、ツール配置機構体110およびAM装置120は各々、ツールホルダ106と造形トレイ122との相對運動を生じさせるために3軸運動範囲を提供する。他の実施形態では、ツール配置機構体110かAM装置120かのいずれかが3軸運動範囲を提供する。さらに別の実施形態では、ツール配置機構体110は、1軸または2軸運動範囲だけを提供しても良く、他方、AM装置は、残りの1本の軸線または複数の軸線における運動範囲を提供する。例えば、ツール配置機構体は、ツールホルダをz軸方向に動かすよう構成されるのが良く、AM装置は、造形トレイをx軸方向およびy軸方向に動かすよう構成される。当業者であれば、ツール配置機構体およびAM装置の運動機能に関して他の組み合わせが可能であることは理解されよう。

#### 【0039】

システム100は、部品102の材料の層の検査中、検査ツール112および/または検査ツール116を制御する検査コントローラ170を更に含むのが良い。具体的に説明

10

20

30

40

50

すると、検査コントローラ170は、検査プロセス中、ツールホルダと造形トレーの相対運動を生じさせるためにツール配置機構体および/またはAM装置によって用いられる経路を定める検査プログラム172を搭載しているのが良い。検査プログラム172は、造形プログラム130に基づくとともにgコード、STL設計ファイルまたはCADファイルの特性を反映するのが良い。図1に示されているように、検査プログラム172をアップロードしてこれを検査コントローラ170中に直接記憶させるのが良い。他の実施形態では、検査プログラムは、記憶装置132に記憶されて検査コントローラ170に伝送されるのが良い。検査ツール112がツールホルダによって作業位置に配置されると、CNCコントローラ134は、検査コントローラに対しツール配置機構体およびAM装置の運動制御を放棄するのが良い。他の実施形態では、検査コントローラ170は、CNCコントローラ134を介して運動制御信号をツール配置機構体およびAM装置に伝送する。検査コントローラ170は、プロセッサまたはマイクロプロセッサであるのが良い。幾つかの実施形態では、CNCコントローラ134と検査コントローラ170が組み合わされて1つの単一の制御モジュールを形成する。

#### 【0040】

検査コントローラ170は、例えばPIDアーキテクチャを有するフィードバックコントローラであるのが良い。幾つかの場合、検査コントローラは、各検査作業の結果(例えば、欠陥の数、AM部品内における欠陥の存在場所)から学び、それに従ってAM建造プロセスを適応させ(造形プログラム130を調節し)および/または検査プロセスを適応させ(検査プログラム172を調節し)層の次の付加中に生じる他の欠陥の可能性をなくしまたは少なくとも減少させる適応制御システムまたはインテリジェント制御システムを用いる。検査コントローラ170は、検査ツール112をツールホルダの作業位置に配置し、ツール108によって直近で堆積し、付加され、または溶接された層のあらゆる部分をプローブで探査するよう構成されているのが良い。欠陥が検査ツール112によっていったん検出されると、検査コントローラは、部品102中の欠陥の存在場所を突き止めてこの情報を記憶ユニット132に保存するのが良い。幾つかの実施形態では、検査コントローラ170は、確かに欠陥が存在していることを確認するために同一の検査ツール112を用いてこの存在場所を再検査するのが良い。変形例としてまたは追加例として、検査コントローラ170は、他の検査ツール116を作業位置に配置してこれを用いて欠陥が存在していることを確認するためにその場所を検査しても良い。欠陥が存在していることがいったん確認されると、検査コントローラ170かCNCコントローラ134かのどちらかがツールホルダ106を調節して切削/フライス加工ツール114が作業位置に位置するとともに欠陥の存在場所の方へ差し向けられるようにする。しかる後、欠陥を除去しまたは材料の層全体を除去する。除去プロセスが完了すると、ギャップを再充填するか、新たな置換層をツール108によって堆積させ、付加しまたは溶接するかのいずれかを行う。検査プログラムは、修整により欠陥がなくなったことをチェックするために材料の層の別の検査を実施する。欠陥が依然として残っておりまたは他の欠陥が生じている場合、システム100は、欠陥が検出されないようになるまで、除去及び再充填プロセスを再び実施する。材料の層に欠陥がなくなると、造形プロセスは、部品102の次の層の作製を続ける。

#### 【0041】

検査コントローラ170は、他の実施形態では、層中に存在する場合のある欠陥を全て突き止めて、検出された欠陥の各々の存在場所を記憶装置132中に保存することで、最初に材料の層をその全体についてプローブ探査するよう構成されているのが良い。ツール112による層全体の検査が終わった後、検査コントローラ170は、同一の検査ツール112および/または他の検査ツール116を用いて欠陥の存在を確認するのが良い。層全体を検査した後にのみ除去プロセスおよび再充填プロセスを開始する。具体的に言えば、検査コントローラ170および/またはCNCコントローラ134は、記憶装置132にアクセスして検出された欠陥の存在場所データを検索し、その目的は、欠陥を除去するためにカッタ114を適切に位置決めすることにある。コントローラ134, 170は、

10

20

30

40

50

AM装置120、ツールホルダ106、およびツール配置機構体110と連絡状態にあり、それにより検査システムに含まれるツールおよび装置の正確な運動が提供される。

【0042】

図2は、本発明の別の実施形態を示しており、この実施形態では、堆積/付加/溶接ツール108がマウント180によりツール配置機構体110(例えば、軌道128)に別々に取り付けられている。ツールホルダ106は、第1の検査ツール112、カッタ114、第2の検査ツール116、RFIDタグツール118、および/または補助ツール119(例えば、検査ツール、カッタ、AMツール)を担持するのが良い。マウント180は、アクチュエータ182を有し、アクチュエータ182は、軌道128と協働してマウント180をツールホルダ106の運動とは別個独立に動かす。ツールホルダ106と同様、マウント180およびツール配置機構体110は、ツール108と造形トレイ122(および部品102)との相対運動を達成するために1本、2本または3本の軸線に沿う運動範囲をもたらしよう構成されているのが良い。アクチュエータ182の動きは、CNCコントローラ134によって制御されるのが良く、他方、ツールホルダ106の動きは、検査コントローラ170によって制御されるのが良い。理解されるべきこととして、本発明は、堆積/付加/溶接ツール、検査装置および切削/フライス加工ツールの取り付けにおける他の変形例を含む。例えば、カッタ114は、堆積ツール108および検査ツール112, 114から別個独立に取り付けられても良い。

10

【0043】

図3は、実時間インサイチューシステム100を示しており、この場合、AM装置は、レーザ焼結(例えば、選択的レーザ焼結)機190である。選択的レーザ焼結(SLS)機190は、少なくとも2つのチャンバ、粉末供給チャンバ192および造形チャンバ194を有する。粉末供給チャンバは、造形チャンバ194内で作られる部品102の構成材料である基材または供給材料を収容している。粉末材料の層がローラ193によって造形チャンバ194の領域内で造形トレイ122上に置かれる。この特定の形態では、堆積/付加/溶接ツール108は、部品102の断面を形成するよう供給材料の層を焼結するようになったレーザである。検査プログラム172に応じて、直近で付加された層が検査ツール112によって検査される。何らかの欠陥がこの層中に検出された場合、除去プロセスおよびその次の再充填プロセスが実施される。しかる後、修整により欠陥がなくなったことを確かめるための別の検査が実施される。再検査によって層中に欠陥が存在しないことがわかると、造形トレイ122をアクチュエータ129(例えば、造形ピストン)によってある特定の距離だけ下降させ、そしてレーザ焼結プロセスを繰り返し実施する。

20

30

【0044】

理解されるように、実時間インサイチュー検査システム100は、他形式のAM機向きに構成できる。例えば、AM装置120は、熱溶解堆積モデリングプリンタとして特徴付け可能である。別の実施例では、AM装置120は、超音波溶接システムを有するのが良く、この場合、高周波超音波音響振動が圧力下で互いに保持された材料または加工物の層に加えられ、固体溶接を作り出す。AM装置120は、他の場合、電子ビームワイヤ供給技術または付加摩擦攪拌技術に基づくのが良い。アディティブマニュファクチャリング技術の上述のリストは、例示として提供されており、AM装置は、これらには限定されない。

40

【0045】

図4は、対応のAM検査方法に含まれる種々のステップを示している。この方法は、CNCコントローラ134および/または検査コントローラ170に記憶されていてこれらの上でランするソフトウェアまたは制御アルゴリズムの状態に具体化できる(幾つかの実施形態では、コントローラ134, 170は、単一のコントローラとして組み合わせられることに注目されたい)。例えば、この方法を造形プログラム130および/または検査プログラム172に記憶するのが良く、あるいは変形例として、この方法のある特定の部分が造形プログラム130に記憶され、他方、残りの部分が検査プログラム172に記憶される。図4では、AM造形プロセスを検査する方法は、次のステップ、すなわち、造形プ

50

ロセス130を用いてAM造形プロセスをコントローラ134中にプログラムするステップ(ステップ202)、AM装置120をこれが造形プログラム130に従って部品102を造形するよう構成するステップ(ステップ204)、および堆積/付加/溶接ツール108を造形トレイ122に対して位置決めして部品102の断面の構成を開始するステップ(ステップ206)を含む。位置決めステップは、ツールホルダ106を調節し(例えば、回転させて)、堆積/付加/溶接ツール108が作業位置(すなわち、造形トレイの方へ差し向けられた実質的に垂直の向き)に位置するようにするステップ、およびツールホルダ106と造形トレイ122の相對運動をもたらすステップを含むのが良い。相對運動は、ツール配置機構体110(アクチュエータ124, 126および軌道128を備えている)によりツールホルダを動かすとともに/あるいは造形トレイをAM装置120内のアクチュエータ129により動かすことによって達成できる。この方法は、検査構成に応じて供給材料の単一の層または層の群を堆積させ、付加するとともに/あるいは溶接するステップ(ステップ208)、および堆積/付加/溶接ツール108を検査ツール112に切り換えて検査ツールを直近で付加された材料の層に対して位置決めするステップ(ステップ210)を更に含むのが良い。切り換えステップは、ツールホルダ106を調節して(例えば、回転させて)検査ツール112が作業位置に位置するようにすることによって実施される。しかる後、検査ツールが欠陥または傷があるかどうかについてこの層をスキャンしている間に検査ツールと材料の層の相對運動をもたらす(ステップ212)。この方法は、欠陥がスキャンされている層の任意の部分に沿って検出されたかどうかを判定する判定ステップ(ステップ214)を更に含む。欠陥が存在しない場合、この方法は、造形プロセスが完了したかどうかを判定するステップ(ステップ240)に進む。造形プログラム130が追加の造形命令を持っていない場合、AMプロセスが部品102の造形を終了した(ステップ242)と判定される。これとは対照的に、造形プログラム130が次の造形命令を含む場合、造形プロセスが続き、ステップ206~214が繰り返される。

#### 【0046】

方法のステップ214に戻ってこれを参照すると、1つまたは2つ以上の欠陥が検出された場合、欠陥の正確な存在場所(x、y、z座標)を検査コントローラ170および/または記憶装置132に保存する(ステップ220)。幾つかの実施形態では、この方法は、欠陥の存在を確認するための再検査ステップ(ステップ222)を含むのが良い。例えば、同一の検査ツール112をもう一度用いて材料の層全体をスキャンし、それにより欠陥が確かに保存された存在場所に存在しているかどうかを確認しまたは先に検出されなかった他の欠陥が存在しているかどうかを判定するのが良い。この変形例としてまたは追加例として、再検査は、検査ツール112を別の異なる検査ツール116に切り換えて(すなわち、検査ツール116を作業位置に配置して)、欠陥があるかどうかについてスキャンするステップを含むのが良い。なんらかの新たな欠陥が再スキャン中に発見された場合、これらの存在場所を検査コントローラ170および/または記憶装置132に保存する。この方法は、検査ツール112または116をカッタ114に切り換えてカッタを欠陥の保存存在場所に基づいて直近に付加された材料の層に対して位置決めするステップ(ステップ224)、欠陥のある材料の層の少なくとも一部分を除去するステップ(ステップ226)、カッタ114を堆積/付加/溶接ツール108に切り換えてこの層の除去部分を修繕または充填するステップ(ステップ228)、および再充填ステップが完了した後に材料の層を再スキャンして欠陥が存在しないことを確認するステップ(ステップ230)で続く。幾つかの実施形態では、ステップ224~228は、各欠陥が検出された後に実施されるのが良い(ステップ214)。他の実施形態では、ステップ224~226は、材料の層をその全体についてスキャンして考えられる全ての欠陥が見つかった後に実施されるのが良い。したがって、カッタは、各保存された存在場所に位置決めされ、そして層の一部分を連続して除去する。しかる後、ステップ228を実施してその結果、除去された層の部分の全ては、連続して再充填されまたは層全体が除去されている場合には置換層が堆積され、付加され、または溶接されるようにする。さらに別の実施形態で

10

20

30

40

50

は、ステップ 224 ~ 228 を欠陥の各存在場所について連続して実施する。かくして、層の一部を 1 つの保存された存在場所のところで除去して置換するプロセスは、次の保存された存在場所に進む前に終了する。

【 0047 】

層除去および置換プロセスを完了し、再スキニングステップ (ステップ 230) により欠陥が存在していないことが判明した後、この方法は、造形プロセスが完了したかどうかを判定するステップ 240 に続く。この方法の幾つかの実施形態では、欠陥がステップ 214 で検出されなかった場合、再スキニングステップを造形プロセスが完了したかどうかの判定 (ステップ 240) に先立って実施するのが良い。かかる再スキニングステップは、ステップ 222 と同様であり、かかる再スキニングステップは、材料の層の中に欠陥が存在していないことを確かめる手段としての役目を果たすことになる。

10

【 0048 】

図 5 は、AM 検査システムの例示の実施形態を示しており、この場合、検査ツール 112 は、渦電流プローブである。段階 a では、選択された周波数でコイルを通して流れる交流電流がコイル周りに磁界コイルを発生させる。しかる後、段階 b でコイルを導電性材料 (例えば、部品 102 の材料の層) に近づけて配置すると、渦電流が材料中に誘導される。図 5 の段階 c で示されているように、導電性材料中の流れが渦電流の循環を妨げた場合、プローブとの磁気結合が変化し、コイルインピーダンスの変化を測定することによって欠陥信号を読み取ることができる。

【 0049 】

20

上記の詳細な説明から理解されるべきこととして、上述の目的が首尾良く達成されている。さらに、本発明の現時点において好ましい実施形態を図示されるとともに説明したが、理解されるべきこととして、本発明は、これらには限定されず、以下の特許請求の範囲に記載された本発明の範囲内で種々の形態で具体化できるとともに実施することができる。すなわち、本発明を特定の実施形態の観点で上述したが、これら実施形態は、開示した実施形態に限定されないことが理解されるべきである。本発明と関連した当業者には、多くの改造例および他の実施形態が明らかであり、これら改造例および他の実施形態は、本開示内容の特許請求の範囲に記載された本発明であってこれらに含まれるものである。本明細書における開示および添付の図面の記載を参照する当業者によって理解されるように、本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲の記載およびこれらの法上の均等範囲の適正な解釈および構成によって定められるものである。

30

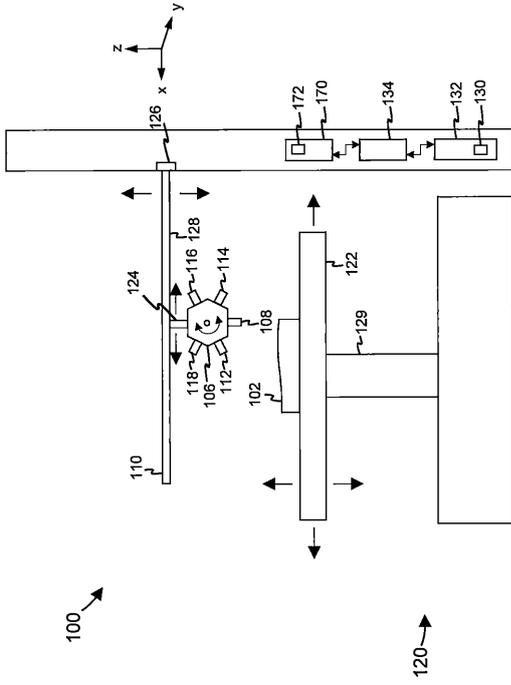
【 符号の説明 】

【 0050 】

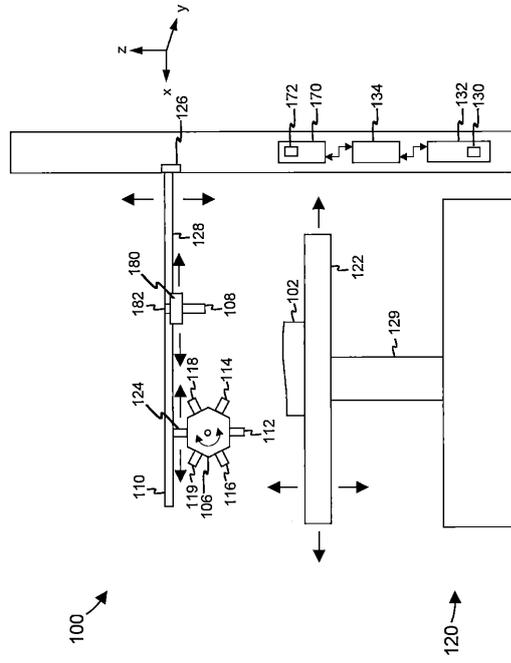
- 100 実時間インサイチューシステム
- 102 部品
- 106 自動交換式ツールホルダ
- 108 ~ 118 ツール
- 110 ツール配置機構体
- 122 造形テーブルまたはツール
- 124, 126, 129 アダプタ
- 128 軌道
- 130 造形プログラム
- 132 記憶装置
- 134 CNC コントローラ
- 170 検査コントローラ
- 172 検査プログラム

40

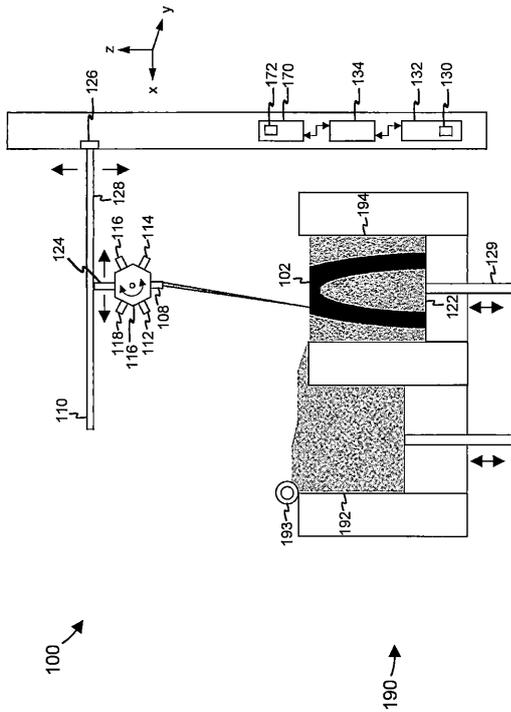
【図 1】



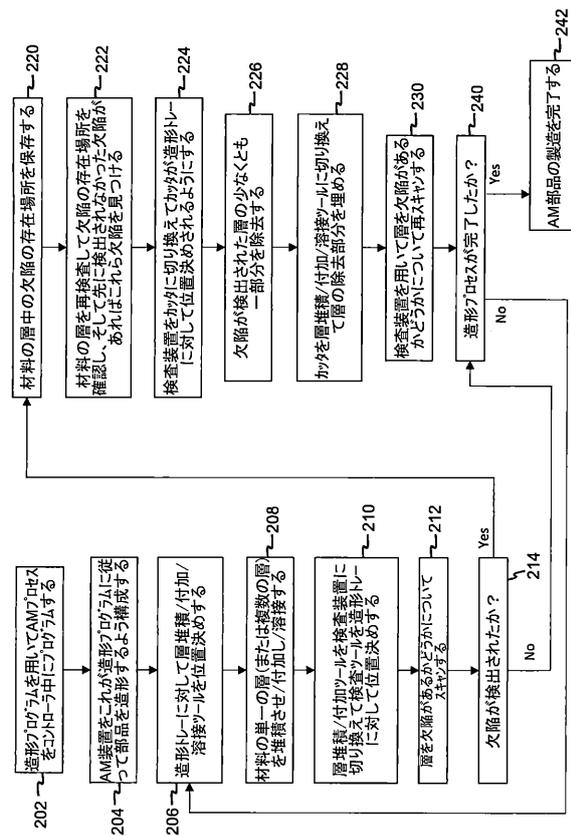
【図 2】



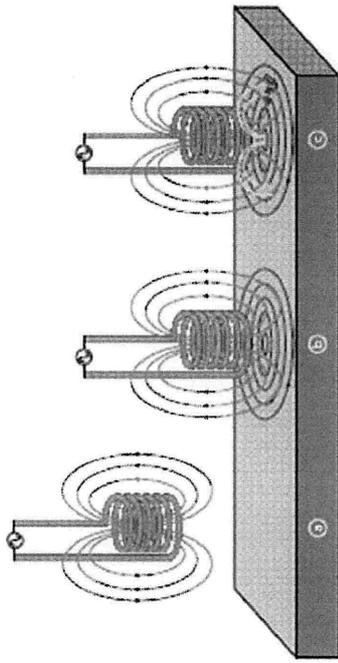
【図 3】



【図 4】

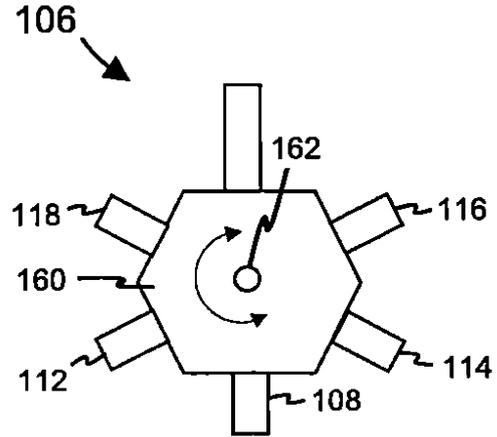


【図5】

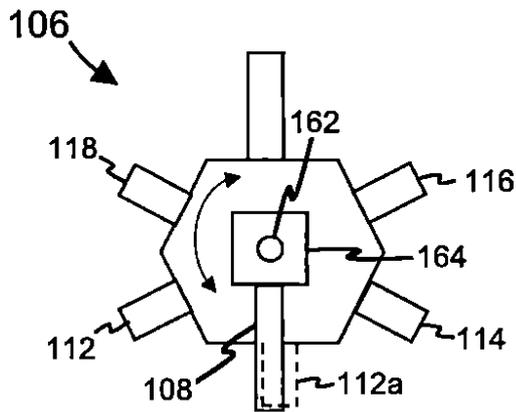


- a - 選択された周波数でコイルを通して流れる交流電流がコイル周りに磁界を発生させる。
- b - コイルを導電性材料に近づけて配置すると、渦電流が材料中に誘導される。
- c - 導電性材料中の流れが渦電流の循環を妨げた場合、プローブとの磁気結合が変化し、コイルインピーダンスの変化を測定することによって欠陥信号を掴み取ることができる。

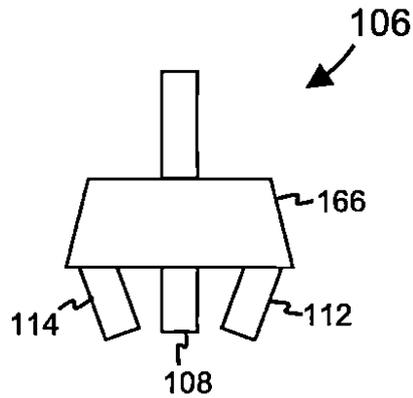
【図6a】



【図6b】



【図6c】



---

フロントページの続き

(72)発明者 アントニー デカーマイン

アメリカ合衆国 コネチカット州 06249 レバノン ボーモント ハイウェイ 681

審査官 小澤 瞬

(56)参考文献 国際公開第2015/189600(WO, A1)

米国特許出願公開第2015/0061170(US, A1)

欧州特許出願公開第03002109(EP, A1)

国際公開第2015/109096(WO, A1)

欧州特許出願公開第01815936(EP, A1)

米国特許出願公開第2005/0173380(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B29C 67/00 - 67/24

69/00 - 69/02

73/00 - 73/34

B29D 1/00 - 29/10

33/00

99/00

B33Y 10/00 - 99/00

G01N 21/84 - 21/958

27/72 - 27/90

29/00 - 29/52