

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6360894号
(P6360894)

(45) 発行日 平成30年7月18日(2018.7.18)

(24) 登録日 平成30年6月29日(2018.6.29)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 N 23/207 (2018.01) GO 1 N 23/207

請求項の数 18 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2016-536290 (P2016-536290)	(73) 特許権者	590005449
(86) (22) 出願日	平成26年8月8日(2014.8.8)		ユナイテッド テクノロジーズ コーポレ イション
(65) 公表番号	特表2016-530523 (P2016-530523A)		UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION
(43) 公表日	平成28年9月29日(2016.9.29)		アメリカ合衆国, コネチカット, ファーミ ントン, ファーム スプリングス ロード 10
(86) 国際出願番号	PCT/US2014/050296		
(87) 国際公開番号	W02015/026540	(74) 代理人	100086232
(87) 国際公開日	平成27年2月26日(2015.2.26)		弁理士 小林 博通
審査請求日	平成29年6月13日(2017.6.13)	(74) 代理人	100092613
(31) 優先権主張番号	61/868, 297		弁理士 富岡 潔
(32) 優先日	平成25年8月21日(2013.8.21)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱機械構造の状態監視用の原位置マーカーのための方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

付加製造によって形成されたベース合金の構成要素の残留応力を監視する方法であって、

前記構成要素の通常の動作条件の間に高応力を受けることが予想される領域を有する、
前記構成要素の高応力位置を特定するステップと、

前記構成要素の特定された高応力位置に関連するマーカーを形成するように、付加製造中に表面領域及び表面付近の領域にマーカー粒子を導入するステップと、

前記マーカーで前記構成要素の残留応力を測定するステップと、

を含む方法。

【請求項 2】

X線回折を用いて前記マーカーで前記残留応力を測定することをさらに含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記 X線回折は、表面位置及び表面付近の所定の位置のうちの少なくとも一方における前記マーカーの格子面間隔を測定するように使用されることを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記マーカーにおける局部ひずみが、前記測定された格子面間隔から決定されることを特徴とする請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記 X 線回折測定は、X 線回折計を用いて行われることを特徴とする請求項 3 に記載の方法。

【請求項 6】

前記構成要素の表面に集束される直径約 1 mm ~ 2 mm の X 線ビームを用いて前記 X 線回折を行うことをさらに含むことを特徴とする請求項 3 に記載の方法。

【請求項 7】

前記付加製造は、直接金属蒸着、直接レーザー溶融または直接的レーザー蒸着を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記マーカは、前記ベース合金内で不溶性であることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記ベース合金がチタン合金を有し、前記マーカがセリウムを有することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

動作の間に応力を受ける、付加製造によって形成されたベース合金の構成要素であって、マーカを備え、このマーカは、所定の位置で構成要素の表面領域及び表面付近の領域に挿入される、前記ベース合金とは異なるマーカ材料からなり、残留応力測定が構成要素上でマーカでなされる、構成要素。

【請求項 11】

前記所定の位置は、前記構成要素の通常の動作条件の間に応力を受けることが予想される領域を有することを特徴とする請求項 10 に記載の構成要素。

【請求項 12】

前記残留応力測定は、X 線回折測定であることを特徴とする請求項 10 に記載の構成要素。

【請求項 13】

前記 X 線回折測定は、前記マーカ材料の格子面間隔を測定することによって、前記マーカ材料における残留ひずみを決定するように使用されることを特徴とする請求項 11 に記載の構成要素。

【請求項 14】

前記 X 線回折は、X 線回折計を用いて行われることを特徴とする請求項 12 に記載の構成要素。

【請求項 15】

前記 X 線回折測定は、約 1 mm ~ 2 mm の大きさのビームを使用することを特徴とする請求項 12 に記載の構成要素。

【請求項 16】

前記付加製造は、直接金属蒸着、直接レーザー溶融または直接レーザー蒸着を含むことを特徴とする請求項 10 に記載の構成要素。

【請求項 17】

前記マーカ材料は、前記ベース合金内で不溶性であり、前記ベース合金と共に第 2 の相を形成せず、かつ前記ベース合金と別途反応しないことを特徴とする請求項 10 に記載の構成要素。

【請求項 18】

前記ベース合金はチタン合金を有し、前記マーカ材料がセリウムを有することを特徴とする請求項 10 に記載の構成要素。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に、付加製造の分野に関する。特に、本発明は、構成要素における特定

10

20

30

40

50

の位置での残留応力の測定を可能にする付加製造プロセスに関する。

【背景技術】

【0002】

付加製造は、部品の正確な3次元(3D)コンピュータモデルに従ってそれぞれの層を形成する機械によって、部品を一層毎の様式で製造することができるプロセスである。粉体層付加製造において、粉体の層がプラットフォーム上に広げられ、選択的な領域が、方向付けられたエネルギービームによる焼結または溶融により接合される。プラットフォームは下に割送りされ、粉体の別の層が塗布され、選択された領域が再度接合される。このプロセスは、完成した3D部品が製造されるまで、何千回までも反復される。直接蒸着付加製造技術において、少量の溶融材料または半固体材料が、部品の3Dモデルに従い、押出加工、射出またはワイヤ供給によって、プラットフォームに塗布され、エネルギービームによってエネルギーが加えられ、これにより、材料が結合され、部品が形成される。一般の付加製造プロセスは、選択的レーザー焼結、直接レーザー溶融、直接金属蒸着及び電子ビーム溶融を有している。

10

【0003】

構成要素が製造されると、構成要素は、特定の機能に使用されるシステムに組み込まれる。一例はガスタービンエンジンである。動作の間、構成要素は、この構成要素に応力をかける熱環境及び機械環境にさらされる。構成要素によって経験される応力及び結果として生じるひずみにより、残留応力及び起こり得る構造的欠陥または亀裂が、構成要素に生じる。

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

構成要素における亀裂成長または残留応力を検出するために、いくつかの非破壊的技術が存在する。現在の非破壊的技術は、電磁場、染料または超音波等の外部プローブに構成要素をさらす。現在の技術では、構成要素内の所定の位置、例えば増加した実働応力の領域で、局所的な情報を得ることは困難である。現在の技術は、割れ目の形成後に割れ目を検出することが多く、割れ目、例えば内部亀裂の形成に至る段階への感度が非常に低くなっている。

【課題を解決するための手段】

30

【0005】

付加製造によって形成されたベース合金の構成要素の残留応力を監視する方法は、構成要素の通常の動作条件の間に高応力を経験する構成要素上の所定の位置を識別することを含む。マーカー粒子が、構成要素の付加製造中に所定の位置で構成要素の表面領域及び表面付近の領域に導入される。構成要素の残留応力が、マーカー粒子の位置で測定される。

【0006】

付加製造によって形成され、さらに動作の間に応力を受ける構成要素は、構成要素の表面にわたる様々な所定の位置で構成要素の表面領域及び表面付近の領域に挿入された、マーカー材料を有する。マーカーにより、構成要素上のそれぞれのマーカー材料のサイトでの残留応力の測定が可能となる。

40

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】構成要素における残留応力を監視する方法を示す流れ図である。

【図2】直接金属蒸着プロセスの概略図である。

【図3】タービンブレードの斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

図1は、残留応力を監視する方法を示す流れ図である。方法10は、まず、構成要素の通常の使用条件によって生じる高応力領域を識別すること(ステップ12)を含む。次のステップでは、付加製造プロセスが開始される(ステップ14)。マーカー粒子が、製造

50

中に構成要素の所定の高応力位置で導入される（ステップ16）。そして、付加製造プロセスは完了し（ステップ18）、構成要素は、通常の使用条件下で運転にさらされる（ステップ20）。構成要素は、必要な場合には運転から外される（ステップ22）。X線回折測定が、マーカー粒子が位置する領域でなされ（ステップ24）、局部内部弾性ひずみ及び内部残留応力を判断するために、マーカー粒子の格子面間隔を決定する（ステップ26）。

【0009】

金属構成要素における残留応力を測定するためのX線回折技術が、当業者に周知であり、このX線回折技術は、内部弾性応力が、無応力状態における結晶性固体の格子面間隔から、応力下で、同じ材料の格子面間隔を変化させ得るという事実依存している。格子面間隔は、周知のブラッグの法則から決定される。

10

【0010】

$$n = 2d \sin \theta$$

式中、 λ は入射X線波長であり、 d は格子面間隔であり、 θ は回折ピークの回折角度であり、 n は整数である。 d_1 が特定の結晶学的方向における応力がかけられた金属の格子面間隔であり、 d_0 が無応力状態での同じ方向における同じ金属の格子面間隔である場合、その方向の残留ひずみ ϵ は、以下となる。

【0011】

【数1】

$$\epsilon = \frac{d_1 - d_0}{d_0}$$

20

【0012】

弾性的に等方性の材料における残留応力は、ひずみを弾性率及びポアソン比を含む適切な項と乗算することによって、ひずみから決定され得る。残留応力のX線測定を記載する参照文献の例は、Fitzpatrickらによる、英国の国立物理学図書館（www.npl.co.ukで入手可能）の「Determination of Residual Stresses by X-ray Diffraction - issue 2」であり、この文献は、その全体が本明細書に組み込まれる。

30

【0013】

付加製造された構成要素に挿入されるマーカー粒子は、合金形成によって、第2の相の形成によって、または他の形式の溶液もしくは相互作用によって、構成要素材料と相互作用しないように選択される。そして、マーカーの格子面間隔の変化が、マーカーの付近においてマーカーを含有する構成要素の内部応力の測定として使用され得る。最終の条件におけるマーカー材料の格子面間隔は、無応力参照値とみなされる。

【0014】

マーカー粒子は、X線による残留応力の測定のために、構成要素の表面領域及び表面付近の領域に挿入される。X線の金属構成要素への貫通は、一般に、約数ミクロン台である。

40

【0015】

Ti-6Al-4V等のチタン合金製タービン構成要素との使用のためのマーカー材料の例はセリウムである。セリウムはチタン内でほとんど不溶性であり、Ti-Ce二元系において金属間化合物はなく、セリウムはその大きい原子質量のために比較的強いX線信号を生成する。ジスプロシウム及びサマリウムが他の候補である。

【0016】

本方法との使用に好適な付加製造プロセスは直接金属蒸着（DMV）である。直接金属蒸着プロセスの概略図が図2に示されている。直接金属蒸着プロセス30は、基部32、加工物34、蒸着ユニット36およびセンサ46, 48を備えている。基部32は、矢印Aによって概略的に示すように、3軸コンピュータ制御位置決めが可能である。蒸着ユニ

50

ット36は、蒸着粉体及び不活性ガスを蒸着サイトに輸送し得るチャンネル40, 42を備えている。蒸着ユニット36は、レーザーエネルギー源(図示せず)及び関連する光学系38をさらに備えている。蒸着ユニット36は、構築の間、5軸コンピュータ制御位置決めが可能である。センサ44, 46からの出力は、加工物34の構築を制御するように使用される。加工物34は、チャンネル42, 44を通して粉体が導入される加工物34上の小領域48を、レーザー38が溶融することによって、形成される。構築は、デバイス30の制御システムのメモリ内に格納された加工物34モデルのCADモデルに従う逐一プロセスである。

【0017】

本発明において、マーカー領域が必要とされる場合、マーカー粒子が溶融プール48内に蒸着される標準構築粒子に置き換わる。マーカー領域の大きさは、要件に応じて0.1ミクロン~1ミリメートルを超え得る。

【0018】

例示的なタービンブレード50の斜視図が図3に示されている。タービンブレード50は、根部52、プラットフォーム54、冷却通路58を有したエアfoil56、及び先端部60を備えている。運転の間のタービンブレード50上の高応力領域は、主に、エアfoil56とプラットフォーム54との間及び根部52における曲線領域等の遷移領域にあり、全て矢印Tによって示されている。これらの領域には、運転の間に生成される残留応力を監視するために、付加製造構築、例えば図2に示された付加製造構築の間に本発明のマーカーが配置される。マーカー材料は、有用であるために少なくとも次の特徴を示すべきである。マーカー材料は、付加製造プロセスの間にベース合金と合金化すべきでない。マーカー材料は、ベース合金との金属間化合物相を形成すべきでない。マーカー材料は、好ましくは、強いX線サインのために高い原子番号を有するべきである。さらに、マーカー材料の回折ピークは、好ましくは、ベース合金の回折ピークとオーバーラップすべきでない。

【0019】

可能な実施例の考察

以下に、本発明の可能な実施例の非排他的な記載を行う。

【0020】

付加製造によって形成されたベース合金の構成要素の残留応力を監視する方法は、構成要素の通常の動作条件の間に高応力を経験する構成要素の高応力位置を識別すること、構成要素の識別された高応力位置に関連するマーカーを形成するように、付加製造中に表面領域及び表面付近の領域にマーカー粒子を導入すること、マーカーで構成要素の残留応力を測定すること、を含み得る。

【0021】

前段落の方法は、追加的及び/または代替的に、以下の特徴、構成、及び/または追加の構成要素のうちの任意の1つまたは複数、任意選択的に含み得る。

【0022】

X線回折を用いてマーカーで残留応力を測定する。

【0023】

X線回折は、表面位置及び表面付近の所定の位置のうちの少なくとも一方におけるマーカーの格子面間隔を測定するように使用され得る。

【0024】

マーカーにおける局部ひずみが、測定された格子面間隔から決定され得る。

【0025】

X線回折測定は、X線回折計を用いて行われ得る。

【0026】

X線回折は、構成要素の表面に集束される直径約1mm~2mmのX線ビームを用いて行われ得る。

【0027】

10

20

30

40

50

付加製造は、直接金属蒸着、直接レーザー溶融または直接レーザー蒸着を含み得る。

【0028】

マーカ―は、ベース合金内で不溶性であり得る。

【0029】

ベース合金はチタン合金とされ、マーカ―はセリウムとされ得る。

【0030】

動作の間応力を受ける、付加製造によって形成されたベース合金の構成要素は、マーカ―を備え、このマーカ―は、所定の位置で構成要素の表面領域及び表面付近の領域に挿入される、ベース合金とは異なるマーカ―材料からなり、残留応力測定が構成要素上でマーカ―でなされる。

10

【0031】

前段落の構成要素は、追加的及び/または代替的に、以下の特徴、構成及び/または追加の構成要素のうちの任意の1つまたは複数、任意選択的に備え得る。

【0032】

所定の位置は、構成要素の通常の動作条件の間応力を受けることが予想される領域とされ得る。

【0033】

残留応力測定はX線回折測定とされ得る。

【0034】

X線回折測定は、マーカ―材料の格子面間隔を測定することによって、マーカ―材料における残留ひずみを決定するように使用され得る。

20

【0035】

X線回折測定はX線回折計を用いて行われ得る。

【0036】

X線回折測定は約1mm~2mmの大きさのビームを使用し得る。

【0037】

付加製造は、直接金属蒸着、直接レーザー溶融または直接レーザー蒸着を含み得る。

【0038】

マーカ―材料は、ベース合金内で不溶性であり、かつベース合金と共に第2の相を形成し得ず、かつベース合金と別途反応し得ない。

30

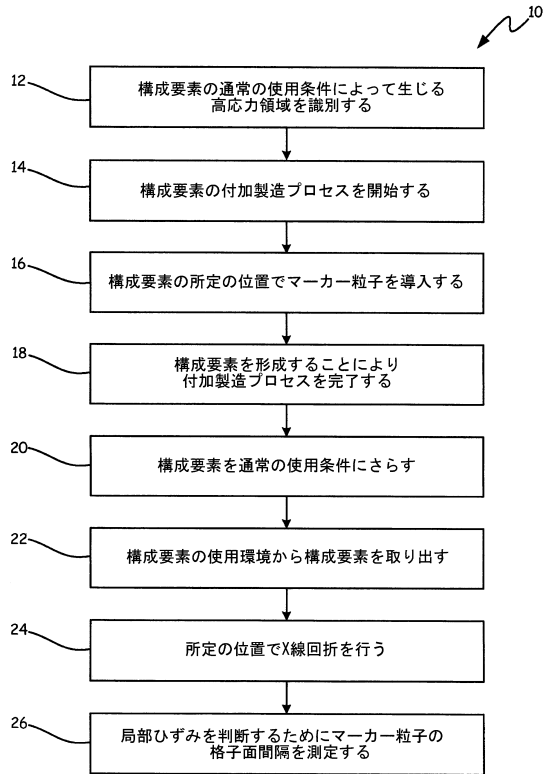
【0039】

ベース合金はチタン合金とされ、マーカ―材料はセリウムとされ得る。

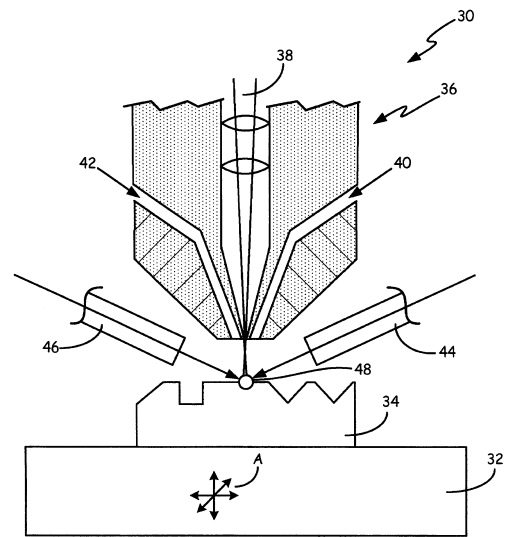
【0040】

本発明を例示の実施例を参照して説明したが、本発明の範囲から逸脱することなく種々の変更を行うことができ、また均等物を本発明の要素に代えて置換できることを当業者ならば理解するであろう。さらに、本発明の真の範囲から逸脱することなく、多くの修正を行って特定の状況または材料を本発明の教示に適合させてもよい。したがって、本発明は、開示された特定の実施例に限定されず、本発明は、添付の特許請求の範囲内に属する全ての実施例を含むことが意図されている。

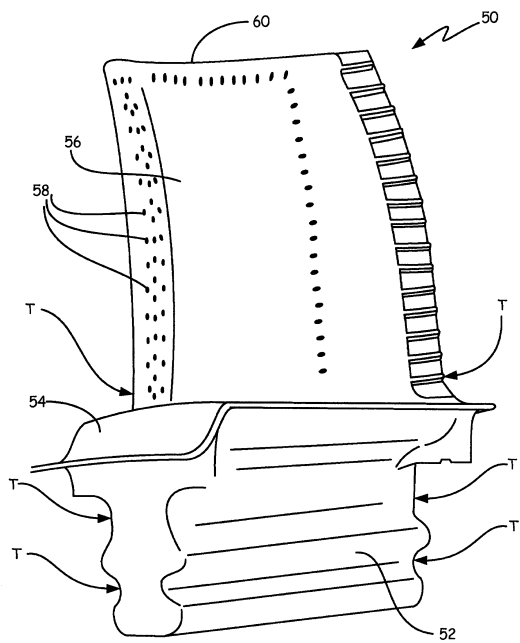
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

- (72)発明者 ダウトヴァ, リュトウシア
アメリカ合衆国, コネチカット, ロッキー ヒル, ニュー ブリテン アヴェニュー 177
- (72)発明者 トウェルヴズ ジュニア, ウェンデル, ヴィー.
アメリカ合衆国, コネチカット, グラストンベリー, コネストーガ ウェイ 218
- (72)発明者 オット, ジョー
アメリカ合衆国, コネチカット, エンフィールド, ストーズ ロード 5
- (72)発明者 ブッチャー, エヴァン
アメリカ合衆国, コネチカット, マンチェスター, サンドラ ドライブ 36
- (72)発明者 シャーツィンガー, ゲーリー, エー.
アメリカ合衆国, コネチカット, グラストンベリー, オーヴァールック ロード 181
- (72)発明者 ハーバート, レイナー, ジェイ.
アメリカ合衆国, コネチカット, エリントン, エンジェル トレイス ロード 11

審査官 嶋田 行志

- (56)参考文献 特開2013-040876(JP, A)
特開2005-241308(JP, A)
特開2002-296125(JP, A)
特開2013-104673(JP, A)
特開昭59-150332(JP, A)
中国特許出願公開第102998312(CN, A)
米国特許第07918141(US, B1)
米国特許出願公開第2001/0045416(US, A1)
特表2008-506127(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 23/00 - 23/2276
G01L 1/00 - 1/26
G01L 5/00 - 5/28
B21B 1/00 - 1/46
B22F 3/00 - 3/26
B22F 5/00 - 5/12
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)