

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6800561号
(P6800561)

(45) 発行日 令和2年12月16日(2020.12.16)

(24) 登録日 令和2年11月27日(2020.11.27)

(51) Int.Cl.	F 1		
F 01 D 25/00	(2006.01)	F 01 D	25/00
B 23 K 26/14	(2014.01)	B 23 K	26/14
B 23 K 26/382	(2014.01)	B 23 K	26/382
F 01 D 5/18	(2006.01)	F 01 D	5/18
F 01 D 9/02	(2006.01)	F 01 D	9/02

請求項の数 12 (全 22 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2015-8195 (P2015-8195)	(73) 特許権者	390041542
(22) 出願日	平成27年1月20日 (2015.1.20)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
(65) 公開番号	特開2015-140805 (P2015-140805A)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州 123
(43) 公開日	平成27年8月3日 (2015.8.3)		45、スケネクタディ、リバーロード、1
審査請求日	平成30年1月15日 (2018.1.15)	番	
審判番号	不服2019-12926 (P2019-12926/J1)	(74) 代理人	100105588
審判請求日	令和1年9月28日 (2019.9.28)		弁理士 小倉 博
(31) 優先権主張番号	14/164,506	(74) 代理人	100129779
(32) 優先日	平成26年1月27日 (2014.1.27)		弁理士 黒川 俊久
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(72) 発明者	ツアオリ・ワー
			アメリカ合衆国、サウスカロライナ州・2
			9615-4614、グリーンビル、ガーリントン・ロード、300

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】エーロフォイルに穴開けするための方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

エーロフォイル(38)に穴開けするための方法であって、

エーロフォイル(38)の壁(72)に向けてレーザドリル(41)を誘導するステップであって、前記壁(72)が前記エーロフォイル(38)内に画定された空洞(46)に隣接して位置決めされ、前記レーザドリル(41)がレーザを利用し、前記レーザが流体コラム内に閉じ込められたレーザビームである、ステップと、

前記エーロフォイル(38)の前記空洞(46)内でバックストライク保護(84)を始動するステップと、

前記エーロフォイル(38)の前記壁(72)を通り抜ける前記レーザドリル(41)のレーザの最初の貫通を検知するステップと、

前記エーロフォイル(38)の前記壁(72)を通り抜ける前記レーザの前記最初の貫通を検知した後に穴開けサブルーチンを開始するステップであって、前記穴開けサブルーチンが所定の時間にわたる前記レーザドリル(41)の連続作動を含み、前記所定の時間は最初の穴を完成させるのにレーザドリルにとって十分である、ステップと、

前記バックストライク保護を用いて、前記エーロフォイルの空洞の前記レーザビームを閉じ込める前記流体コラムを変形させるステップと、
を含み、

前記バックストライク保護(84)が、前記エーロフォイル(38)の前記空洞(46)を通るように流体を流して前記流体コラムを変形させることにより、前記レーザを散乱

させる、
方法。

【請求項 2】

前記穴開けサブルーチンを利用して前記エーロフォイル（38）の前記壁（72）における最初の穴の穴開け作業を完了するステップを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記エーロフォイル（38）の前記壁（72）に向かって前記レーザドリル（41）を誘導するステップが、特定の穴開け角度で前記エーロフォイル（38）の前記壁（72）に向かって前記レーザドリル（41）を誘導するステップを含み、
前記穴開けサブルーチンが、前記レーザドリル（41）が前記エーロフォイル（38）
の前記壁（72）に向かって誘導される前記穴開け角度を調節するステップを含む、
請求項1または2に記載の方法。

【請求項 4】

前記穴が前記エーロフォイル（38）内の冷却通路（52）であり、
前記エーロフォイル（38）がターボ機械のためのものである、
請求項1から3のいずれかに記載の方法。

【請求項 5】

前記エーロフォイル（38）に対して特定のパターンで前記レーザドリル（41）を移動させるステップをさらに含む、請求項1から4のいずれかに記載の方法。

【請求項 6】

前記流体コラムを変形させるステップが、予想される貫通より前に所定の時間の範囲内で前記エーロフォイル（38）の前記空洞（46）内で前記バックストライク保護（84）を保証するステップを含む、請求項1から5のいずれかに記載の方法。

【請求項 7】

前記エーロフォイル（38）の最初の層がサーマルバリアコーティング（36）であり、
前記方法がさらに、前記サーマルバリアコーティング（36）を通り抜けて穴開けした後、前記レーザドリル（41）の1つまたは複数のパラメータを調節するステップをさらに含む、
請求項1から6のいずれかに記載の方法。

【請求項 8】

中に空洞（46）が画定されたエーロフォイル（38）を作製する方法であって、
レーザドリル（41）を使用して前記エーロフォイル（38）の壁（72）に第1のパルスレート、周波数および出力で、最初の穴を開けるステップであって、前記壁（72）が前記空洞（46）に隣接して位置決めされ、前記レーザドリル（41）が流体コラム内に閉じ込められたレーザビームを利用するステップと、
前記前記エーロフォイル（38）の前記壁（72）を通り抜ける前記レーザドリル（41）の前記レーザの最初の貫通を検知するステップと、

前記バックストライク保護を用いて、前記エーロフォイルの空洞の前記レーザビームを閉じ込める前記流体コラムを変形させるステップと、
前記最初の貫通の前記検知の後に穴開けサブルーチンを開始するステップであって、前記穴開けサブルーチンが前記第1のパルスレート、周波数および出力で前記レーザドリル（41）の連続作動を含み、前記穴開けサブルーチンが所定の時間にわたる前記レーザドリル（41）の連続作動を含み、前記所定の時間は最初の穴を完成させるのにレーザドリルにとって十分である、ステップと、
前記穴開けサブルーチンを利用して前記エーロフォイル（38）の前記壁（72）における前記最初の穴の穴開け作業を完了するステップと、
を含み、
前記バックストライク保護（84）が、前記エーロフォイル（38）の前記空洞（46）
）を通るように流体を流して前記流体コラムを変形させることにより、前記レーザを散乱

10

20

30

40

50

させる、

方法。

【請求項 9】

前記エーロフォイル(38)に対して特定のパターンで前記レーザドリル(41)を移動させるステップをさらに含む、請求項8に記載の方法。

【請求項 10】

前記エーロフォイル(38)の前記空洞(46)内でバックストライク保護(84)を始動するステップをさらに含む、請求項8または9に記載の方法。

【請求項 11】

前記レーザが閉じ込められたレーザビーム(60)である、請求項8から10のいずれかに記載の方法。 10

【請求項 12】

前記穴開けサブルーチンが、所定の時間にわたる前記最初の穴の穴開け作業におけるレーザドリル(41)の連続作動を含む、請求項8から11のいずれかに記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は一般に、レーザドリルを使用してエーロフォイルに穴開けするための統合された方法に関する。 20

【背景技術】

【0002】

タービンは、工業および商業施設において広く利用されている。電気を生成するのに使用される典型的な商業的な蒸気タービンまたはガスタービンは、固定エーロフォイルと回転エーロフォイルの交互の段を含んでいる。例えば静翼は、例えばタービンを囲むケーシングなどの固定構成要素に装着されてよく、動翼は、タービンの軸方向の中心線に沿って位置するロータに装着されてよい。圧縮された作用流体、例えばこれに限定するものではないが蒸気、燃焼ガスまたは空気がタービン内を通って流れ、静翼が加速させ、圧縮作用流体を動翼の後続の段へと誘導することで動翼に運動を与え、これによりロータを回転させ仕事を実施する。 30

【0003】

タービンの効率は一般に、圧縮作用流体の温度の上昇に伴って上昇する。しかしながらタービン内の過剰な温度は、タービン内のエーロフォイルの寿命を縮ませ、これによりタービンに関連する修理、メンテナンスおよび機能停止が増えることになる。結果として、エーロフォイルに対する冷却作用を実現するために種々の設計および方法が開発されてきた。例えばエーロフォイルの内部の空洞に冷却媒体が供給されることで、対流式および/または伝導的にエーロフォイルから熱を除去する場合がある。特定の実施形態では、冷却媒体は、エーロフォイル内の冷却通路を通って空洞から流れ出てエーロフォイルの外側表面にわたってフィルム冷却を行なうことができる。 40

【0004】

温度および/または性能の標準規格は上がり続けるため、エーロフォイルに使用される材料は、ますます薄くなり、確実なエーロフォイルの作製を行なうことは次第に難しくなっている。例えばエーロフォイルが高合金から鋳造される場合がある、およびサーマルバリアコーティングがエーロフォイルの外側表面に塗布されることで、熱保護を強化することができる。水噴射を利用してサーマルバリアコーティングおよび外側表面を通る冷却通路を形成する場合もあるが、水噴射は、サーマルバリアコーティングの一部を削り取ってしまう可能性がある。あるいは水噴射によってまたは放電機械(EDM)によって冷却通路が形成された後サーマルバリアコーティングがエーロフォイルの外側表面に塗布される場合もあるが、これは、新たに形成された冷却通路を覆ういのサーマルバリアコーティングも除去するために追加の処理を必要とする。

【先行技術文献】

50

【特許文献】**【0005】**

【特許文献1】米国特許出願公開第2013/0206739号明細書

【発明の概要】**【0006】**

集光レーザビームを利用するレーザドリルもまた、エーロフォイルを通り抜ける冷却通路を形成するのに使用されてよく、これはサーマルバリアコーティングを削り取るリスクが低い。しかしながらレーザドリルは、エーロフォイル内に空洞があることによって精密な制御を必要とする可能性がある。レーザドリルがひとたびエーロフォイルの近くの壁を突き破ったとき、従来の方法によるレーザドリルの連続作動は、空洞の反対側に損傷を与えることになる恐れがあり、場合によっては修繕または廃棄しなければならないエーロフォイルの損傷につながる場合もある。したがって現行の手順は一般に、近くの壁の最初の貫通を検知したらすぐにレーザドリルの作動を中止させている。しかしながらこの手順では冷却通路のための穴が不完全なままになり、中を通る冷却媒体の流体流れに対して有害な影響を及ぼす。したがってエーロフォイルに穴開けするための改善された方法が有益であろう。より具体的にはエーロフォイルにより完全な穴を開けるための方法が特に有効であろう。

10

【0007】

本発明の態様および利点は、次に続く記載において以下で説明される、または記載から明白になり得る、または本発明の実施を通して習得される場合もある。

20

【0008】

本開示の例示の一態様において、エーロフォイルに穴開けするための方法が提供されており、方法は、エーロフォイルの近くの壁に向けてレーザドリルを誘導するステップを含む。近くの壁は、エーロフォイル内に画定された空洞に隣接して位置決めされ、レーザドリルはレーザを利用する。方法はまた、エーロフォイルの空洞内でバックストライク保護を始動するステップと、エーロフォイルの近くの壁を通り抜けるレーザドリルのレーザの貫通を検知するステップと、エーロフォイルの近くの壁を通り抜けるレーザの貫通を検知した後に穴開けサブルーチンを開始するステップとを含む。穴開けサブルーチンは、レーザドリルの連続作動を含む。

30

【0009】

本開示の別の例示の態様において、空洞が中に画定されたエーロフォイルを作製するための方法が提供される。方法は、レーザドリルを使用してエーロフォイルの近くの壁に最初の穴を穴開けするステップを含む。近くの壁は、空洞に隣接して位置決めされ、レーザドリルはレーザを利用する。方法はまた、エーロフォイルの近くの壁を通り抜けるレーザドリルのレーザの最初の貫通を検知するステップと、最初の貫通を検知した後に穴開けサブルーチンを開始するステップとを含む。穴開けサブルーチンは、レーザドリルの連続作動を含む。追加として、方法は、穴開けサブルーチンを利用してエーロフォイルの近くの壁における最初の穴の穴開け作業を完了するステップを含む。

【0010】

本開示のこれらのおよび他の特徴、態様および利点は、以下の記載および添付の特許請求の範囲を参照してより適切に理解されることになるであろう。添付の図面は、本明細書に組み込まれその一部を構成するものであり、記載と併せて本開示の実施形態を例示することで本開示の原理を説明している。

40

【0011】

本開示の完全なおよび可能な開示は、当業者にとってその最適な態様を含んでおり、明細書の残りの部分においてより具体的に説明されており、これには添付の図面を参照することも含まれている。

【図面の簡単な説明】**【0012】**

【図1】本開示の種々の実施形態を組み込むことができる一例のタービンの簡素化された

50

断面図である。

【図2】本開示の一実施形態による一例のエーロフォイルの斜視図である。

【図3】本開示の一実施形態による図2に示すエーロフォイルを作製するためのシステムの斜視図である。

【図4】閉じ込められたレーザビームがエーロフォイルの近くの壁を突き破った後の図3のシステムの斜視図である。

【図5】本開示の一例の態様によるエーロフォイルを作製するための方法を例示するブロック図である。

【図6】本開示の一例の実施形態によるエーロフォイルの近くの壁に開けられた穴の側部断面図である。

【図7】本開示の一例の態様によるレーザドリルのための穴開けパターンの上から見た図である。

【図8a】穴が開けられており、レーザが突き破る前のエーロフォイルの近くの壁にある一例の穴の側部断面図である。

【図8b】レーザの最初の貫通の後であるが、穴が完成する前の図8(a)の一例の穴の側部断面図である。

【図8c】完成された後の図8(a)の例示の穴の側部断面図である。

【図9】本開示の一例の態様によるエーロフォイルの近くの壁においてレーザドリルからのレーザの貫通を判定するための方法を例示するブロック図である。

【図10】本開示の一例の態様によるエーロフォイル内の最初の穴の穴開けが完了したことを判定するための方法を例示するブロック図である。

【図11】本開示の一例の態様によるエーロフォイルの近くの壁において最初の穴を穴開けする間の感知した作業条件の値を示すグラフである。

【図12】本開示の一例の態様によるエーロフォイル内の最初の穴の穴開けが完了したことを判定するための別の方法を例示するブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

次に本開示の実施形態を詳細に参照すると、そのうちの1つまたは複数が図面に例示されている。各々の例は、本開示の説明することを目的としており、本開示を限定するものではない。実際、本開示の範囲または精神から逸脱することなく本開示に種々の修正および変更を行なうことができるることは当業者には明らかであろう。例えば、1つの実施形態の一部として例示または記載される特徴は、別の実施形態と共に使用されることで、さらに別の実施形態を生み出すことができる。よって本開示は、添付の特許請求の範囲およびその等価物の範囲にある場合、このような修正形態および変更形態を網羅することが意図されている。本開示の例示の実施形態は、例示の目的でターボ機械のためのエーロフォイルの作製の文脈で概ね記載されているが、当業者は、本開示の実施形態が、他の物品の製造にも適用されてよく、特許請求の範囲において具体的に列記されなければ、ターボ機械のためのエーロフォイルを作製するための方法に限定されるものではないことを容易に理解するであろう。例えば他の例示の実施形態では、本開示の態様を利用して航空機産業の文脈で利用するためのエーロフォイルを作製する場合もある。

【0014】

本明細書で使用される用語「第1の」、「第2の」および「第3の」は、1つの構成要素を別のものと区別するために相互に交換可能に使用されてよく、個々の構成要素の場所や重要性を表すことは意図されていない。同様に用語「付近の」および「遠くの」は、特定の物品または構成要素の相対的な位置を示すのに使用されてよく、前記物品または構成要素のいずれの機能または設計も表すことは意図されていない。

【0015】

次に図面を参照すると、図1は、本開示の種々の実施形態による一例のタービン10の簡素化された側部断面図を提供している。図1に示されるように、タービン10は一般に、ロータ12と、タービン10を通るガス路16を少なくとも部分的に画定するケーシン

10

20

30

40

50

グ 14 とを含む。ロータ 12 は概ね、タービン 10 の軸方向の中心線 18 と位置合わせされ、発電機、圧縮器または別の機械に接続されることで仕事を生み出すことができる。ロータ 12 は、揃って回転するようにボルト 24 によって一緒に接続されたロータホイール 20 とロータスペーサ 22 の交互のセクションを含む。ケーシング 14 は、ロータ 12 の少なくとも一部を円周方向に囲むことで、ガス路 16 を通って流れる圧縮作用流体 26 を中に含む。圧縮作用流体 26 は、例えば燃焼ガス、圧縮空気、飽和蒸気、不飽和蒸気またはそれらの組み合わせを含む場合がある。

【 0 0 1 6 】

図 1 に示されるように、タービン 10 はさらに、ロータ 12 とケーシング 14 の間に半径方向に延在する動翼 30 と静翼 32 の交互の段を含む。動翼 30 は、ロータ 12 の周りに円周方向に配置され、種々の手段を使用してロータホイール 20 に接続されてよい。対照的に静翼 32 は、ロータスペーサ 22 から向かい合わせのケーシング 14 の内側を囲むように周辺部に配置されてよい。動翼 30 および静翼 32 は一般にエーロフォイル形状を有し、当分野で知られるように凹面の加圧側と、凸面の吸引側と、前縁および後縁とを備える。圧縮作用流体 26 は、図 1 に示されるようにガス路 16 に沿って左から右にタービン 10 内を通って流れる。圧縮作用流体 26 が、動翼 30 の第 1 の段を通過する際、圧縮作用流体が膨張し、動翼 30 、ロータホイール 20 、ロータスペーサ 22 、ボルト 24 およびロータ 12 を回転させる。圧縮作用流体 26 はその後、静翼 32 の次の段を横切るように流れ、この静翼が圧縮作用流体 26 を加速させ動翼 30 の次の段に再度誘導し、次に続く段に対してこの工程が繰り返される。図 1 に示される例示の実施形態では、タービン 10 は、動翼 30 の 3 つの段の間に静翼 32 の 2 つの段を有するが、当業者は、特許請求の範囲に特に列記されない限り動翼 30 および静翼 32 の段の数は、本開示に限定されないことを容易に理解するであろう。

【 0 0 1 7 】

図 2 は、本開示によって動翼 30 または静翼 32 に採用することができるような一例のエーロフォイル 38 の斜視図を提供している。図 2 に示されるように、エーロフォイル 38 は一般に凹面曲率を有する加圧側 42 と、凸面曲率を有し加圧側 42 と対向する吸引側 44 とを含む。加圧側および吸引側 42 、 44 は、互いから隔てられることで、加圧側 42 と吸引側 44 の間でエーロフォイル 38 の内部に空洞 46 を画定する。空洞 46 は、冷却媒体がエーロフォイル 38 の内部を流れるための蛇行するまたは曲がりくねった経路を提供することで、エーロフォイル 38 から伝導的および / または対流式に熱を除去することができる。加えて、加圧側および吸引側 42 、 44 はさらに結合することで、エーロフォイル 38 の上流部分に前縁 48 を形成し、エーロフォイル 38 の下流部分に空洞 46 から下流の後縁 50 を形成する。加圧側 42 、吸引側 44 、前縁 48 および / または後縁 50 における複数の冷却通路 52 が、エーロフォイル 38 内を通り抜ける空洞 46 からの体連通を実現することでエーロフォイル 38 の外側表面にわたって冷却媒体を提供することができる。図 2 に示されるように、例えば冷却通路 52 は、前縁および後縁 48 、 50 に、ならびに / あるいは加圧側および吸引側 42 、 44 のいずれかまたは両方に沿って配置されてよい。当業者は、冷却通路 52 の数および / または位置は、特定の実施形態によって変わる可能性があり、空洞 46 の設計によっても変わる可能性があることを容易に理解するであろう。したがって本開示は、特許請求の範囲に特に列記されなければ、冷却通路 52 の任意の特定の数または位置あるいは空洞 46 の設計に限定されるものではない。特定の例示の実施形態において、サーマルバリアコーティング 36 が、エーロフォイル 38 の外側表面 34 の少なくとも一部にわたって塗布される場合がある（図 3 および図 4 を参照）。サーマルバリアコーティング 36 は、塗布される場合、熱に対する低い放射率または高い反射率、滑らかな仕上げおよび / または下にある外側表面 34 に対する優れた密着性を含んでよい。

【 0 0 1 8 】

次に図 3 および図 4 を参照すると、本開示の一例のシステム 40 の斜視図が提供されている。図 5 から図 12 を通して参照して以下により詳細に考察するように、システム 40

10

20

30

40

50

は、例えばエーロフォイル38の作製において、より具体的にはエーロフォイル38における1つまたは複数の穴または冷却通路52の穴開け作業において使用されてよい。

【0019】

例示のシステム40は、閉じ込められたレーザビーム60をエーロフォイル38の近くの壁72に向けて誘導するように構成されたレーザドリル41を含んでよく、閉じ込められたレーザビーム60は、軸方向A_Lを画定している。より具体的にはレーザドリル41の種々の実施形態は一般に、レーザ42と、コリメータ44と、制御装置45とを含むことができる。レーザ42は、レーザビーム48を生成することが可能な任意の装置を含むことができる。単なる一例という目的で、特定の例示の実施形態において、レーザ42は、およそ10～50kHzのパルス周波数、およそ500～550nmの波長、およそ10～100Wの平均出力で集束レーザビームを生成することが可能な光励起形のNd:YAGレーザであってよい。

【0020】

図3および図4に示される特定の実施形態において、レーザ42は、レンズ50を介してコリメータ44までレーザビーム48を誘導する。本明細書で使用されるようにコリメータ44は、粒子または波のビームを絞るおよび/または一列に揃えることで、ビームの空間断面が小さくなるようにする任意の装置を含む。例えば図3および図4に示されるように、コリメータ44は、レーザビーム48を例えば脱イオン化した水または濾過水などの流体54と共に収容するチャンバ51を含む場合がある。およそ20～150ミクロンの直径を有する開口またはノズル56が、流体コラム58内のレーザビーム48をエーロフォイル38に向けて誘導する。流体コラム58は、平方インチ当たりおよそ700～1,500ポンドの圧力を有することができる。しかしながら本開示は、特許請求の範囲において特に列記されなければ流体コラム58に関する任意の特定の圧力またはノズル56に関する直径に限定されるものではない。

【0021】

図3および図4における拡大図に示されるように、流体コラム58は、空気によって周囲を囲まれ、レーザビーム48のために光ガイドとして作用することで、エーロフォイル38に誘導される集光されたまたは閉じ込められたレーザビーム60を形成することができる。本開示の特定の例示の実施形態において、閉じ込められたレーザビーム60は、水誘導レーザビームであってよく、レーザドリル41は、水誘導レーザビームドリルであってよい。閉じ込められたレーザビーム60は、エーロフォイル38の外側表面34を研磨し、最終的にはエーロフォイル38を通り抜ける所望の冷却通路52を形成することができる。とりわけ図3は、レーザビーム60がエーロフォイル38の近くの壁72を「突き破る」前のシステム40を描いており、その一方で図4はレーザビーム60がエーロフォイル38の近くの壁72を突き破った後のシステム40を描いている。

【0022】

本明細書で使用されるように、用語「突き破る（貫通する）」「突き破っている（貫通している）およびそれと同種の用語は、レーザ60が、レーザ60の軸A_Lに沿って存在するエーロフォイル38の近くの壁72を構成する材料の連続する部分を除去する際、前記レーザ60の少なくとも一部が、例えばエーロフォイル38の空洞46を貫通するように通過することができることを指している。さらに貫通は、近くの壁72の最後の部分を除去し、近くの壁72を最初に通過するレーザの作用を表す、あるいはレーザがエーロフォイル38の近くの壁72を通過している任意の連続する時間を表すのに使用される場合がある。

【0023】

図3および図4を連続して参照すると、システム40は、一例のバックストライク保護システム84をさらに含んでいる。例示のバックストライク保護システム84は、エーロフォイル38の内部を流れるガス80を含む。本明細書で使用されるように用語「ガス」は、いずれの気体媒体も含むことができる。例えばガス80は、不活性ガス、真空状態、飽和蒸気、過熱蒸気またはエーロフォイル38の空洞46の内部でガスコラム82を形成

10

20

30

40

50

することができる任意の他の好適なガスであってよい。エーロフォイル38の内部を流れるガス80は、流体コラム58内のガスまたは液体の圧力とおおよそ見合った、かつエーロフォイル38の空洞46内の流体コラム58を中断するのに十分な圧力を有することができる。例えば特定の例示の実施形態において、エーロフォイル38内を流れるガス80は、おおよそ平方インチ当たり25ポンドを超える圧力を有し得るが、本開示は、特許請求の範囲において特に列記されなければガス80に関して任意の特定の圧力に限定されるものではない。

【0024】

図4に最も明確に示されるように、ガス80は、一列に揃えることで流体コラム58および／またはエーロフォイル38内の空洞46の内部に閉じ込められたレーザビーム60と交差することができる。特定の実施形態において、ガス80は、流体コラム58とほぼ直交するように揃えられてよく、その一方で他の特定の実施形態ではガス80は、流体コラム58および／または閉じ込められたレーザビーム60に対して斜角でまたは鋭角で揃えられる場合もある。ガス80がエーロフォイル38の内部の流体コラム58と交差する際、ガス80は、流体コラム58を中断するおよび／またはエーロフォイル38の空洞46内の閉じ込められたレーザビーム60を散乱させる。この方法において、ガス80は、閉じ込められたレーザビーム60が近くの壁72において新たに形成された冷却通路52と対向するエーロフォイル38の空洞46の内側表面にぶつかるのを阻止する。

【0025】

図3および図4の例示のシステム40は付加的に、制御装置45に作動可能に接続され、制御装置45に信号68を送信するように構成されたセンサ66と、センサ67とを含む。特定の例示の実施形態において、センサ66、67は、カメラ、マイクロフォン、フォトダイオード、流体センサまたはレーザドリル41の作業条件を監視するのに適した任意の他のセンサであってよい。例えば1つまたは複数のセンサ66、67がカメラである場合、1つまたは複数のセンサ66、67は、穴開け地点からすなわちレーザビーム60によって画定される軸A₁がエーロフォイル38の近くの壁72と交差する場所から発する光の量、光の強度、またはその両方を検知することができる。より詳細には、このような実施形態において、センサ66は、穴開け地点から直接発する光を検知することができるのに対して、センサ67は、穴開け地点から反射された周囲の表面76における光を検知することができる。本明細書で使用されるように、周囲の表面は、穴開け地点に対する見通し線を有するシステム40の環境における任意の表面を指す。さらにこのように一例の実施形態において、カメラは、1秒当たり100フレーム以下のシャッター速度を有することができる、あるいは1秒当たり80フレーム以下のシャッター速度、1秒当たり40フレーム以下のシャッター速度または1秒当たり20フレーム以下のシャッター速度を有する場合がある。しかしながら本開示は、特許請求の範囲において特に限定されなければ、任意の特定のセンサタイプまたはカメラのシャッター速度に限定されるものではない。

【0026】

付加的に、本開示の他の例示の実施形態においてシステム40は、上記に記載したいずれかの場所にあるいはシステム40の作業条件を監視する任意の他の好適な場所に位置決めされた1つのセンサを含むだけの場合もあることを理解されたい。例えば他の実施形態において、単一のセンサが、エーロフォイルの空洞46内に配置され、光、流体または任意の他の条件を検知するように構成される場合もある。

【0027】

図3および図4の例示のシステム40をさらに参照すると、制御装置45は、任意の好適なプロセッサベースの計算デバイスであってよく、レーザドリル41、センサ66、67およびバックストライク保護システム84と作動可能に通信することができる。例えば好適な制御装置45には、パーソナルコンピュータ、携帯電話（スマートフォンを含めた）、パーソナルデジタルアシスタント、タブレット、ラップトップ、デスクトップ、ワークステーション、ゲームコンソール、サーバー、他のコンピュータおよび／または任意の

10

20

30

40

50

他の好適な計算デバイスが含まれてよい。図3および図4に示されるように、制御装置45は、1つまたは複数のプロセッサ62と、関連するメモリ64とを含むことができる。プロセッサ62は一般に、当分野で既知の任意の好適な処理デバイスであってよい。同様にメモリ64は一般に、任意の好適なコンピュータ読み取り可能媒体またはメディアであってよく、これに限定するものではないがRAM、ROM、ハードドライブ、フラッシュドライブまたは他のメモリデバイスが含まれる。一般的に理解されるように、メモリ64は、プロセッサ62によってアクセス可能な情報を記憶するように構成されてよく、これにはプロセッサ62によって実行することができる指示または論理70が含まれる。指示または論理70は、プロセッサ62によって実行される際、プロセッサ62が所望の機能性を実行させる任意のセットの指示であってよい。例えば、指示または論理70は、コンピュータ読み取り可能形式で与えられるソフトウェア指示の場合がある。ソフトウェアが使用される際、任意の好適なプログラミング言語、スクリプト言語または他のタイプの言語または言語の組み合わせが使用されることで本明細書に含まれる教示を実施することができる。本開示の特定の実施形態において、例えば指示または論理70は、図5、図9、図10および図12を参照して以下に記載される1つまたは複数の方法を実施するように構成されてよい。あるいは指示は、配線論理70またはこれに限定するものではないが特定用途向け回路を含めた他の回路によって実施される場合もある。

【0028】

次に図5を参照すると、エーロフォイルを作製する一例の方法のフロー図が提供されている。より詳細には、図5のフロー図は、エーロフォイルに穴開けするための一例の方法100を例示している。

【0029】

102における方法は、エーロフォイルの近くの壁に向けてレーザドリルを誘導して最初の穴を開け始めるステップを含む。102における方法はさらに、レーザドリルを始動しエーロフォイルの近くの壁に穴開けするステップを含むことができる。レーザドリルは、エーロフォイルに対する開始位置と、レーザの軸とエーロフォイルの近くの壁の間の穴開け角度とを画定することができる。最初の穴は、エーロフォイルの近くの壁における冷却通路であってよく、エーロフォイルは、ターボ機械のタービンにおいて使用するよう構成されてよい。近くの壁は、エーロフォイル内に画定された空洞に隣接するように位置決めされてよく、エーロフォイルは付加的に、近くの壁から空洞の反対側に位置決めされた遠くの壁を含むことができる。レーザドリルは、レーザを利用する任意の好適なレーザドリルであってよい。例えば本開示の特定の例示の態様において、102においてエーロフォイルの近くの壁に向けて誘導されるレーザドリルは、図3および図4を参照して上記に記載したレーザドリルであってよく、これはパルスレーザと、閉じ込められたレーザビームとを利用する。

【0030】

例示の方法100はさらに、104においてエーロフォイルのサーマルバリアコーティングを通り抜けるように穴開けするステップと、106におけるエーロフォイルの下層の金属層を通り抜けるように穴開けするためにレーザを調節するステップとを含む。106におけるレーザの調節ステップは、レーザの1つまたは複数のパラメータを調節するステップを含む場合があり、例えば出力、パルスレート、周波数、流体圧力、波長などである。同様に他のパラメータも調節することが望ましい場合もある。レーザドリルは、最初の穴を開け作業の開始から所定の時間の後の金属層を通り抜ける穴開け作業に備えて調節されてよい、あるいはレーザドリルは、レーザドリルがサーマルバリアコーティングを通り抜けて穴開けしたことを示す1つまたは複数のセンサから感知された作業条件に基づいて調節される場合もある。しかしながら本開示の他の例示の態様において、方法100が、104および/または106を含まない場合もあることを理解されたい。例えば、特定の例示の実施形態において、エーロフォイルがサーマルバリアコーティングを含まない場合もある、あるいはレーザに関する同様の設定がサーマルバリアコーティングおよび下層を通り抜ける穴開け作業に利用される場合もある。

10

20

30

40

50

【0031】

続けて図5を参照すると、方法100はさらに、108において最初の穴のための貫通チェックを始動するステップと、110におけるエーロフォイルの空洞内でバックスライク保護を始動するステップと、111におけるエーロフォイルの近くの壁を通り抜けるレーザドリルのレーザの最初の貫通を判定するステップとを含む。

【0032】

108における貫通チェックは、最初の穴の穴開け作業の開始から、あるいはエーロフォイルの下層の金属層を通り抜ける穴開け作業の開始から所定の時間の範囲内で111において最初の貫通が判定されることを保証することができる。同様に以下で考察するように、108における貫通チェックは、穴の完成が119において所定の時間の範囲内で判定されることを保証することができる。これらの事象のそれぞれに関する所定の時間は、例えば開けられる穴、エーロフォイル、エーロフォイルにおける穴の場所、それらの組み合わせに左右される可能性がある。一般に、所定の時間は、その事象に関する予測される時間を超えることになるであろう。例えば特定の例示の実施形態において、所定の時間は、予測される貫通または完成の後の固定された時間であり得る（例えば5秒長い、または10秒長い）、あるいは予測される時間の特定の割合であり得る（例えば20パーセント（%）長い、または30パーセント（%）長い）。貫通および／または穴の完成が、111または119においてそれぞれ所定の時間の範囲内で判定されない場合、このとき方法100は、レーザドリルを停止する、および／またはセンサ、レーザドリル、またはその両方に問題が生じている可能性があることを操作者に伝えることができる。あるいは方法100は、問題を診断するように自動的に試み、例えばレーザドリルを停止する前に閉じ込められたレーザビームに関する流体ストリームをバージすることによって問題を改善するステップを含む場合もある。

10

20

30

40

【0033】

110において始動されるバックスライク保護は、レーザドリルからのレーザからエーロフォイルの空洞を保護するように構成された任意の好適なバックスライク保護方法または機構であってよい。1つの例示の態様において、例えば110において始動されるバックスライク保護は、図3および図4を参照して上記に記載したバックスライク保護システム84であってよい。このような一例の実施形態において、110においてバックスライク保護を始動するステップは、エーロフォイルの空洞を通るように流体を流すことで流体コラムおよび／またはレーザドリルからの閉じ込められたレーザビームを中断することができる。付加的にバックスライク保護は、感知された作業条件に基づいて110において始動されてよい、あるいは例えば最初の穴の穴開け作業の開始から、またはエーロフォイルの下層の金属層を通り抜ける穴開け作業の開始から所定の時間の後に自動的に始動される場合もある。108における貫通チェックと同様に、110においてバックスライク保護を始動するための所定の時間は、例えば開けられる穴、エーロフォイル、エーロフォイルにおける穴の場所またはそれらの組み合わせに左右される可能性がある。例えば特定の例示の実施形態において、所定の時間は、予測される貫通に対して固定された時間であり得る（例えば5秒短い、または10秒短い）、あるいは予測される時間の特定の割合であり得る（例えば20パーセント（%）短い、または30パーセント（%）短い）。

30

40

【0034】

述べたように、例示の方法100はさらに、111においてエーロフォイルの近くの壁を貫通するレーザの最初の貫通を判定するステップを含む。例示の方法100は、111における最初の貫通を判定するために任意の好適な方法またはシステムを利用する場合がある。例えば特定の例示の実施形態において、方法100は、図9を参照して以下により詳細に記載されるように穴開け作業の進行を判定するために111において1つまたは複数の方法150の態様を利用する場合がある。

【0035】

さらに図5を参照すると、111におけるエーロフォイルの近くの壁を貫通するレーザ

50

ドリルの貫通の判定ステップの後に、方法 100 は 112 において穴開けサブルーチンを開始するステップを含む。穴開けサブルーチンは、レーザドリルの連続作動を含む、またはより詳細には、最初の穴を穴開けする際のレーザドリルの連続作動を含むことができる。そういうものとして方法 100 は、穴開けサブルーチンを利用してエーロフォイルの近くの壁に最初の穴を開ける作業を完了するステップを含む場合がある。このような工程によってより完璧な穴、すなわち冷却通路がエーロフォイル内に完成することになり、例えばターボ機械のタービンにおけるエーロフォイルの利用に際してそこを通る冷却媒体の改善された流体流れを可能にすることができます。

【0036】

図 5 の例示の方法 100 に関して、112 において穴開けサブルーチンを開始するステップは、114 においてレーザの 1 つまたは複数のパラメータを調節するステップを含む場合がある。レーザの 1 つまたは複数のパラメータには、例えばパルスレート、周波数、流体圧力、波長、出力またはそれらの組み合わせが含まれてよい。例えばレーザの出力およびパルスレートを下げることによって、穴の完成に近いとき、レーザドリルが利用するレーザの強度を低下させることができ望ましい場合がある。さらにレーザが閉じ込められたレーザビームである場合、流体コラムの流体圧力をこれに対応させて低下させることができ望ましい場合がある。このような低下は、レーザが近くの壁を突き破った後、但し最初の穴が完成する前にエーロフォイルの空洞に対する損傷のリスクを軽減させる可能性がある。

10

【0037】

付加的にまたは代替として、112 における穴開けサブルーチンを開始するステップは、レーザドリルの位置、レーザドリルの角度またはその両方を 116 において調節するステップを含む場合がある。より詳細には、穴開けサブルーチンは 116 において、最初の穴の幾何学形状を成形するためにレーザドリルを開始位置すなわち最初の位置から第 2 の位置に移動させるステップを含む場合がある。穴開けサブルーチンはまた 116 において、レーザドリルの穴開け角度（すなわちレーザの軸と、エーロフォイルの近くの壁の表面の間に画定される角度）を調節するステップを含む場合がある。エーロフォイルに対するレーザドリルの角度、エーロフォイルに対するレーザドリルの位置またはその両方を調節することによって、最初の穴の幾何学形状が最適になり、そこを通る冷却媒体の流体流れを改善することを可能にする。例えばエーロフォイルに対するレーザドリルの角度、エーロフォイルに対するレーザドリルの位置またはその両方を調節することによって、図 6 に描かれるものなどの切頭円錐形状の穴が穴開けされる場合がある。図 6 の例示の実施形態に関して、 A_L は、レーザドリルが作動し得る種々の位置および角度を表している。とりわけこのような一例の実施形態において、レーザドリルは、前方、後方、左、右、上、下およびエーロフォイルに対して角度を成して移動することが可能であり得る。

20

30

【0038】

さらに 112 における穴開けサブルーチンを開始するステップは、118 において所定の時間にわたってレーザドリルを作動させるステップを含む場合がある。所定の時間は、最初の穴をほぼ完成させるのにレーザドリルにとって十分であると特定された任意の時間であってよく、例えばエーロフォイル、エーロフォイルにおける穴の場所、穴開けされる特定の穴などに左右される可能性がある。本明細書で使用されるように、「ほぼ完成した」とは、所望の幾何学形状を有する穴または冷却通路を指している。例えば穴は、例えば図 4 において近くの壁に描かれる穴のように穴が円筒形状を有するとほぼ完成しており、あるいは図 6 に描かれる穴のように切頭円錐形状を有するとときにほぼ完成している。

40

【0039】

しかしながら例示の方法 100 は、112 において、114、116 および 118 の任意の組み合わせを含む場合もあることを理解されたい。例えば例示の方法 100 は、114、116 および 118 を連続して、同時に、または任意の他の順番で含む場合がある。さらに本開示の他の例示の態様において、例示の方法 100 は付加的にまたは代替として、112 において任意の他の適切な穴開けサブルーチンを開始するステップを含む場合もあることを理解されたい。例えば、方法 100 は、レーザドリルの連続作動を命じること

50

によってエーロフォイルの近くの壁における最初の穴開け作業の完成をもたらすように構成された 112 における任意の他の穴開けサブルーチンを含む場合がある。付加的に方法 100 の他の例示の態様において、112 において開始される穴開けサブルーチンは、例えばバックストライク保護を始動するまたはその流体圧力を調節することなど、システムの他の特徴を開始するまたは調節するステップを含む場合がある。このような一例の態様において、例示の方法 100 は、必ずしも 110 を含むものではない。

【0040】

本開示の他の例示の態様において、例示の方法 100 は、任意の好適な順序でおよび／または互いと同時に上記のステップを含む場合があることも理解されたい。さらに例示の方法 100 は、適切ならば追加のステップを含む場合もある。例えば本開示の他の例示の態様において、例示の方法 100 は付加的に、最初の穴を穴開け作業の間エーロフォイルに対して特定のパターンでレーザドリルを移動させるステップを含む場合がある。このパターンは、図 7 に描かれるパターンなど渦巻きパターン 200 であってよい。このような一実施形態において、レーザドリルは、中心位置 202 から渦巻き線 204 に沿ってそれが終端地点 206 に達するまで移動することができる。レーザドリルがひとたび終端地点 206 に達すると、レーザドリルは渦巻き線 204 に沿って中心 202 に戻るように移動することができる、中心 202 に向かって後ずさりすることができる、あるいは図 7 に描かれるものとは逆に渦巻き状の経路に沿って中心 202 に向かって戻るように移動することができる。レーザドリルをエーロフォイルに対して渦巻き状のパターン 200 で移動させることによって、レーザドリルは、より低いアスペクト比（すなわち穴の高さと幅の比率）でエーロフォイルの近くの壁に穴を開けることができ、その一方で壁の一部が空洞に落下してエーロフォイルに損傷させる可能性を最小限にすることができる。渦巻き状の穴開けパターンで穴開けする作業は、穴開け工程を通して図 8 (a)、8 (b) および 8 (c) に示される断面を有する穴を形成することができる。より詳細には、穴は、レーザが近くの壁を突き破る前は図 8 (a) の断面を有し、レーザが近くの壁を最初に突き破った後は図 8 (b) の断面を有し、穴が完成した後は図 8 (c) の断面を有することができる。よってこのような例示の態様において、方法 100 はさらに、111 において複数の貫通を判定するステップと、112 において前記貫通の 1 つまたは複数の後穴開けサブルーチンを開始するステップとを含む場合がある。さらにこのような一例の態様はさらに、例えば図 3 および図 4 に描かれるセンサ 66 などのセンサを移動させてレーザドリルの移動に対応させるステップを含む場合がある。

【0041】

続けて図 5 を参照すると、例示の方法 100 はさらに、119 における最初の穴が完成したことを判定し最初の穴のレーザ穴開け作業を終えるステップと、120 におけるレーザドリルをエーロフォイルに対して第 2 の穴へと移動させるステップとを含む。方法 100 は、119 において穴が完成したことを判定するための適切な手段を利用する場合がある。例えば本開示の特定の例示の態様において、方法 100 は、図 10 を参照して以下に記載した方法 180 の 1 つまたは複数の態様、あるいは図 12 を参照して以下に記載される方法 190 の 1 つまたは複数の態様を利用する場合がある。しかしながら本開示の例示の態様において、方法 100 は 119 および／または 120 を含まない場合もあることを理解されたい。

【0042】

次に図 9 を参照すると、穴開け作業の進行を判定するための例示の方法 150 のフロー図が提供されている。より詳細には、図 9 のフロー図は、エーロフォイルの近くの壁を通り抜けるレーザの貫通を判定するための一例の方法 150 を例示している。

【0043】

例示の方法 150 は、152 においてレーザドリルの作動中の作業条件を感知するステップを含む。感知された作業条件は、エーロフォイルの近くの壁における穴開け作業の進行または状況を示す任意の測定可能な条件であってよい。例えば作業条件は、光の量、光の強度またはその両方であってよい。レーザドリルの作動中、レーザがエーロフォイルに

10

20

30

40

50

接触しこれを研磨するところにプラズマが形成されてよい。プラズマは、穴が近くの壁に開けられる開始点で開口の周辺にまたは開口から直接比較的強い大量の光を放出することができる。しかしながらレーザがエーロフォイルの近くの壁を突き破る際、穴から出てくる光の量および／または強度が、所定の閾値を下回るまで低下する場合があり、これはレーザドリルがエーロフォイルの最初の壁を突き破ったことを示している。とりわけ感知された作業条件が、光の量、光の強度またはその両方である場合、作業条件は、例えば図3および図4を参照して上記に記載され、穴開け地点（すなわちプラズマが形成される場所または穴が開けられる開始点において）から、あるいは周辺の場所から作業条件を感知するように構成されたセンサを使用して感知することができる。

【0044】

10

しかしながら本開示の他の例示の態様において、作業条件は、レーザドリルの作動中レーザによって生成される衝撃波の周波数である場合もある。付加的にまたは代替として、作業条件は、ドリルの作動中レーザによって生成される衝撃波の波長である場合もある。衝撃波は、エーロフォイルの近くの壁に開けられる穴から反射され、穴に近接して位置決めされた1つまたは複数のセンサを使用して検知されてよい。例えば1つまたは複数のセンサは、図3および図4に描かれるセンサ66など穴に向けて誘導されるマイクロフォンであってよい。しかしながら他の例示の態様では、レーザ穴開け作業の進行または状況を示す任意の他の作業条件が感知される場合もある。例えば他の例示の実施形態では、方法150は、エーロフォイルにおける超音波、周辺空気中の超音波、またはその両方を感知する場合もある。

【0045】

20

図9をさらに参照すると、方法150は付加的に154において、エーロフォイルの近くの壁を通り抜けるレーザの貫通を示す作業条件の変化を感知するステップを含む。154における作業条件の感知された変化は、所定の閾値をはるかに超える変化である場合もあり、この場合所定の閾値は、作業条件、開けられる穴のタイプ、エーロフォイルにおける穴の場所および／または任意の他の好適なパラメータに固有である。さらに所定の閾値は、感知された作業条件におけるいずれの予測されるノイズまたは他の偏差を上回る可能性もある。

【0046】

30

例示の方法150は付加的に156において、追加のデータを収集するために作業条件において感知された変化の後の一定の時間にわたって作業条件を感知するステップを含む。154における作業条件の感知された変化の後に156において作業条件を感知することによって、例示の方法150は、レーザがエーロフォイルの近くの壁を突き破ったことを158においてより正確に判定することができる。より詳細には154における作業条件の感知された変化の後に156において作業条件を感知することによって、154における作業条件の感知された変化の後に収集されたデータが同様に処理され考慮されるため、158において判定を行なう際に増大したデータ量を考慮することができる。例えばこのような一例の態様において、データは、種々の形態の論理を利用して分析および／または処理されることで、158における判定の精度および精密度を上げることができる。より具体的にはこのような一例の態様において、方法150は、例えばPID（比例積分偏差）制御論理、ニューラル制御論理、ファジー制御論理、スクエア制御論理などを利用する場合がある。よってこのような方法は、感知されたデータにおけるノイズによって影響される単一のまたは少数のデータポイントに基づいた、あるいは例えばレーザのパルス間で感知されたデータポイントに基づいた不正確な判定を行なうリスクを抑えることができる。

【0047】

40

したがって例示の方法150は、レーザドリルが利用するレーザのパルスレートよりもずっと小さい周波数で152において作業条件を感知することができ、このようなステップを含むことができ、その一方で158において正確な判定をさらに可能にすることができる。例えば図3および図4を参照して上記で考察したように、作業条件が光の量である場

50

合、1秒当たり約20フレームのシャッター速度を有するカメラを使用して作業条件を感じし、レーザがエーロフォイルの近くの壁を突き破るときを正確に判定することができる。

【0048】

例示の方法150をさらに参照すると、特定の例示の態様において、154における作業条件の変化を感じした後に156において作業条件が感知される時間は、固定された時間であってよい。例えばその時間は、0.25秒、0.5秒、1秒、1.5秒、2秒またはそれ以上であってよい。あるいはこの時間は、作業条件が感知されたときの周波数に基づく場合もある。例えば156におけるこの時間は、追加の10データポイント、追加の25データポイント、追加の50データポイントまたはそれ以上を収集するのにセンサにとって十分な時間であってよい。しかしながら他の例示の態様では、156において作業条件が感知される時間は、0.25秒未満である場合もある、あるいはその時間は、追加の10データポイントを収集するのに必要とされるものより少ない場合もある。あるいは他の例示の態様では、任意の他の好適な基準を利用して適切な時間を判定する場合もある。例えばこの時間は、レーザがエーロフォイルの近くの壁を突き破ったことを確認する追加の10データポイントを収集するのにセンサにとって必要な可変の時間であってよい。

10

【0049】

付加的に、例示の方法150は、図5を参照して上記に記載した例示の方法100に組み込まれる場合もある。これにより本開示の他の例示の態様では、例示の方法150は、エーロフォイルの空洞においてバックストライク保護を始動するステップ、154において作業条件の変化を感じた後エーロフォイルの近くの壁に穴を開け続けるステップなどを含む場合がある。さらに例示の方法150を使用してレーザドリルからのレーザの最初の貫通を判定することができる、あるいは他の例示に態様では例えばレーザドリルのレーザの貫通の後にレーザドリルがエーロフォイルに対して特定のパターンで移動する場合その後の貫通を判定する場合があることを理解されたい。付加的にまたは代替として、例示の方法150は他の例示の態様において、レーザドリルのレーザがもはや貫通しておらず、エーロフォイルの近くの壁に再度穴開け作業を開始したことを判定するのに使用される場合もある。このようなケースは、レーザドリルが図7に描かれた渦巻き状のパターンで移動するケースであってよく、エーロフォイルの近くの壁における穴はだ完全に完成されていない(図8(b)に描かれるように)。

20

【0050】

次に図10を参照すると、エーロフォイルに穴開けする一例の方法が提供されており、あるいはより詳細にはエーロフォイルに最初の穴を開ける作業が完了したことを判定する一例の方法180が提供されている。例示の方法180は、182における最初の穴に関する貫通の検知を始動するステップと、184におけるレーザドリルがエーロフォイルの近くの壁を突き破ったことを判定するステップとを含む。図10の例示の方法180の場合、任意の好適な貫通検知が利用されてよく、レーザドリルが貫通したことを判定するための任意の好適な方法が利用されてよい。例えば特定の例示の実施形態では、182において始動される貫通検知および184においてレーザドリルからのレーザが突き破ったことを判定するステップが、図9を参照して上記で考察した例示の方法150の1つまたは複数の態様を組み込む、あるいはそうでなければそれを利用する場合もある。

30

【0051】

例示の方法180はさらに186において、184においてレーザドリルがエーロフォイルの近くの壁を突き破ったことを判定してからの時間の長さを計算するステップと、188において計算された時間の長さに基づいてエーロフォイルの近くの壁における穴が完成したことを判定するステップとを含む。186において計算された時間の長さは、184において貫通が判定されるとすぐに始まり、188において穴が完成したことが判定されるまで、あるいはレーザがもはやエーロフォイルの近くの壁を貫通しなくなるまで継続してよい。付加的に、188において穴が完成したことを判定するステップは、この時間の長さを所定の時間と比較するステップを含んでよく、この場合所定の時間は、例えば穴

40

50

のタイプまたは開けられる穴のパターン、エーロフォイル、エーロフォイルにおける穴の場所またはそれらの組み合わせに左右される。しかしながら他の例示の態様では、所定の時間は、最初の穴の穴開け作業をほぼ完成するのにレーザドリルにとって十分な任意の他の固定されたまたは可変の時間である場合もある。

【0052】

特定の例示の態様において、レーザドリルは、図7に描かれる渦巻き状のパターンのようにエーロフォイルに対して特定のパターンで移動する場合がある。このような一例の態様において、方法180はさらに、184においてエーロフォイルの近くの壁を通り抜けるレーザドリルからのレーザの複数の貫通を判定するステップと、186におけるレーザが最も最近エーロフォイルの近くの壁を突き破ったときからの時間の長さを計算するステップとを含む場合がある。付加的にこのようの一例の態様において、188において穴が完成したことを判定するステップが、この時間の長さをこのパターンに対応する所定の時間と比較するステップを含む場合がある。このパターンに対応する所定の時間は、例えばレーザドリルがパターンの完全なサイクルを完了する時間であってよい。さらに上記の例示の態様において、186において計算された時間の長さは、レーザが突き破った時間のみを指す場合があり、レーザドリルがエーロフォイルの近くの壁に再び穴開けすることが判定された際に中断することができる。

10

【0053】

このような一例の態様の例示は、図11のグラフ220に描かれており、この場合X軸は、エーロフォイルの近くの壁における穴の穴開け時間であり、Y軸は、光の強度などの作業条件である。示されるように作業条件が222において貫通閾値 B_T を下回るまで低下する際、最初の貫通が判定される。224および226においてその後の貫通が判定される。最後の貫通からの時間の長さが所定の時間を超えたとき、最初の穴が完成したことが判定される。例えば穴は、228において完成したことが判定されてよい。この例示の実施形態の場合、時間の長さは、225においてレーザドリルがエーロフォイルの近くの壁に穴開けしたことが判定される際に「リセット」され、その後ゼロに向かって戻る、あるいはもっと正確に言えば第3の貫通が226において判定されたときゼロから再度カウントする。

20

【0054】

とりわけ例示のグラフ220は、特定の量のノイズ232を含んでいる。しかしながら本開示の特定の例示の態様において、図10の例示の方法180における184においてレーザが突き破ったことを判定するステップは、図9に関して上記に記載した例示の方法150の1つまたは複数の態様を含む場合がある。よって誤ってノイズ232を貫通とみなすリスクを最小限にすることができる。

30

【0055】

次に図12を参照すると、エーロフォイルに穴開けする別の例示の方法が提供されており、あるいはより詳細にはエーロフォイルに最初の穴開け作業が完了したことを判定する別の例示の方法190が提供されている。例示の方法190は、例えばレーザドリルがエーロフォイルに最初の穴を開ける際、エーロフォイルに対して特定のパターンで移動する際に利用されてよい。特定の例示の態様において、このパターンは図7によって描かれる渦巻き状のパターンであってよい。

40

【0056】

方法190は、192における最初の穴のための貫通検知を始動するステップと、194における近くの壁を通り抜けるレーザドリルの複数の貫通を判定するステップと、196におけるエーロフォイルの近くの壁を通り抜けるレーザドリルの連続する貫通の間の時間の長さを計算するステップとを含む。付加的に方法190は、198において連続する貫通の間の時間の長さに基づいて近くの壁を通り抜ける穴が完成したことを判定するステップを含む。この時間の長さは、レーザドリルからのレーザがエーロフォイルの近くの壁を突き破る時間のみを含む場合がある。より詳細には、この時間の長さは、194においてレーザがエーロフォイルの近くの壁を突き破ったことを判定すると始まり、レーザドリ

50

ルが再度エーロフォイルの近くの壁に穴開けすることを判定すると中断してよい。

【0057】

本開示の特定の例示の態様において、穴が完成したことを判定するステップは、計算した時間の長さを所定の時間と比較するステップを含む。所定の時間は、例えば開けられる穴、エーロフォイル、エーロフォイルにおける穴の場所、それらの組み合わせに左右される場合がある。付加的にまたは代替として所定の時間はレーザドリルがエーロフォイルに対して移動するパターンに対応する場合もある。例えば所定の時間は、レーザドリルが、それが移動するパターンの1つのサイクルを完了する時間であってよい。それとは関係なく、所定の時間は、最初の穴の穴開け作業を完了するのにレーザドリルにとって十分であるように判断された時間であってよい。

10

【0058】

方法190を使用する図11の例示のグラフ220を参照すると、第2の貫通224と、レーザドリルが225において再度エーロフォイルの近くの壁への穴開け作業を開始する際との時間の長さが、開けられる穴に関する所定の時間を超える場合、穴は方法190の198において完成するように判定されてよい。このような一例の態様において、穴は、図11に描かれる地点225において完成するように判定されてよい。

【0059】

この書面による記載は、本発明を開示することを目的とした最適な態様を含む例を利用してあり、また任意の装置またはシステムを作製し利用すること、ならびに任意の採用された方法を実行することを含め、当業者が本発明を実施することができるようとするものである。本発明の特許可能な範囲は、特許請求の範囲によって定義されており、当業者が思い付く他の例を含むことができる。このような他および複数の例は、それらが特許請求の範囲の文字通りの言い回しと相違ない構造上の要素を含む場合、あるいはそれらが特許請求の範囲の文字通りの言い回しとわずかな相違点を有する等価な構造上の要素を含む場合、特許請求の範囲内にあることが意図されている。

20

【符号の説明】

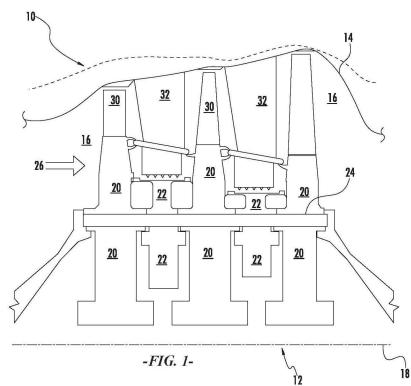
【0060】

10	ターピン	30
12	ロータ	
14	ケーシング	
16	ガス路	
18	軸方向の中心線	
20	ロータホイール	
22	ロータスペーサ	
24	ボルト	
26	圧縮作用流体	
30	動翼	
32	静翼	
34	外側表面	
36	サーマルバリアコーティング	40
38	エーロフォイル	
40	システム	
41	レーザドリル	
42	加圧側、レーザ	
44	吸引側、コメリータ	
45	制御装置	
46	空洞	
48	前縁、レーザビーム	
50	後縁、レンズ	
51	チャンバ	50

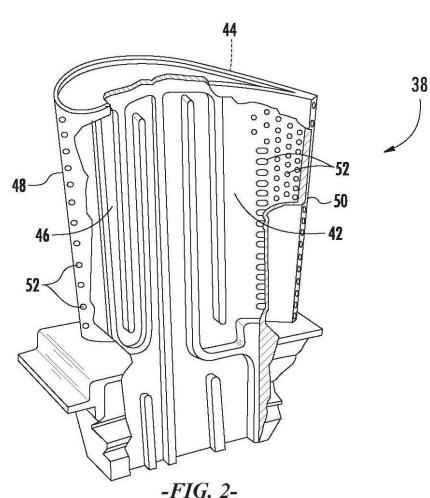
5 2	冷却通路	
5 4	流体	
5 6	ノズル	
5 8	流体コラム	
6 0	レーザ、レーザビーム	
6 2	プロセッサ	
6 4	メモリ	
6 6	センサ	
6 7	センサ	
6 8	信号	10
7 0	配線論理	
7 2	近くの壁	
7 4	遠くの壁	
A_L	レーザの軸	
7 6	周囲の表面	
8 0	ガス	
8 2	ガスコラム	
8 4	バックストライク保護システム	
1 0 0	方法	
1 0 2	ドリルを始動するステップ	20
1 0 4	TBCを通り抜けるように穴開けするステップ	
1 0 6	レーザを調節するステップ	
1 0 8	貫通チェックを始動するステップ	
1 1 0	バックストライク保護を始動するステップ	
1 1 1	最初の貫通を判定するステップ	
1 1 2	レーザサブルーチンを開始するステップ	
1 1 4	パラメータを調節するステップ	
1 1 6	レーザドリルの位置 / 角度を調節するステップ	
1 1 8	レーザドリルにおける連続作動	
1 1 9	最初の穴が完成したことを判定するステップ	30
1 2 0	レーザドリルを移動させるステップ	
1 5 0	穴開け作業を判定するための方法	
1 5 2	作業条件を感知するステップ	
1 5 4	作業条件における変化を感知するステップ	
1 5 6	作業条件の感知を続けるステップ	
1 5 8	レーザが突き破ったことを判定するステップ	
1 8 0	穴の完成を判定するための方法	
1 8 2	貫通検知を始動するステップ	
1 8 4	レーザが突き破ったことを判定するステップ	
1 8 6	特定の時間の長さを計算するステップ	40
1 8 8	穴が完成したことを判定するステップ	
1 9 0	最初の穴が完成したことを判定するための方法	
1 9 2	貫通検知を始動するステップ	
1 9 4	複数の貫通を判定するステップ	
1 9 6	特定の時間の長さを計算するステップ	
1 9 8	穴が完成したことを判定するステップ	
2 0 0	渦巻きパターン、パターン	
2 0 2	中心、中心位置	
2 0 4	渦巻き線	
2 0 6	終端地点	50

- 2 2 0 グラフ
 2 2 2 第 2 の貫通
 2 2 4 その後の貫通
 2 2 5 レーザが新たな壁に穴開けすることを判定する
 2 2 6 第 3 の貫通
 2 2 8 穴が完成したことを判定する
 2 3 2 ノイズ
 B_T 貫通閾値

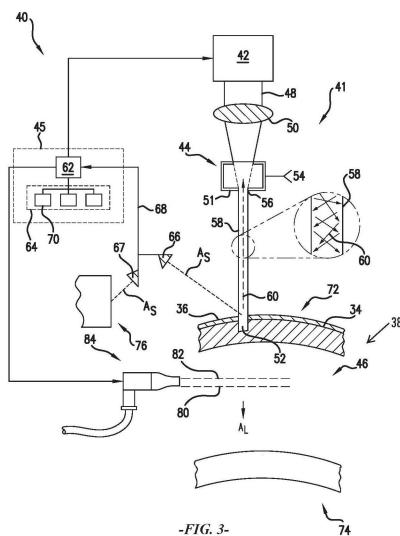
【図 1】



【図 2】

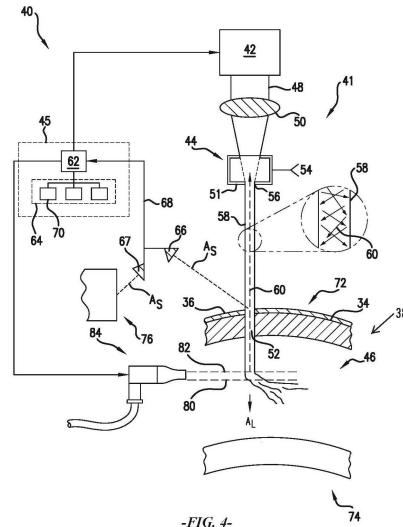


【図3】



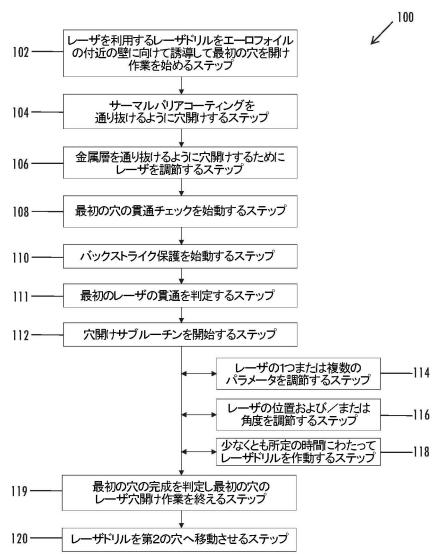
-FIG. 3-

【図4】



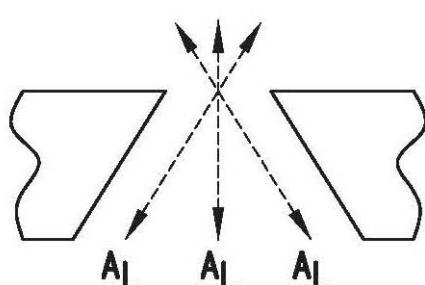
-FIG. 4-

【図5】



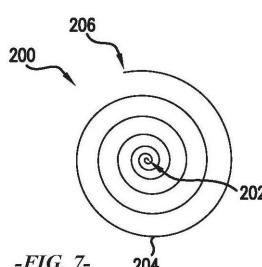
-FIG. 5-

【図6】



-FIG. 6-

【図7】



-FIG. 7-

【図 8 a】



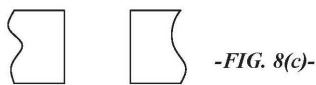
-FIG. 8(a)-

【図 8 b】



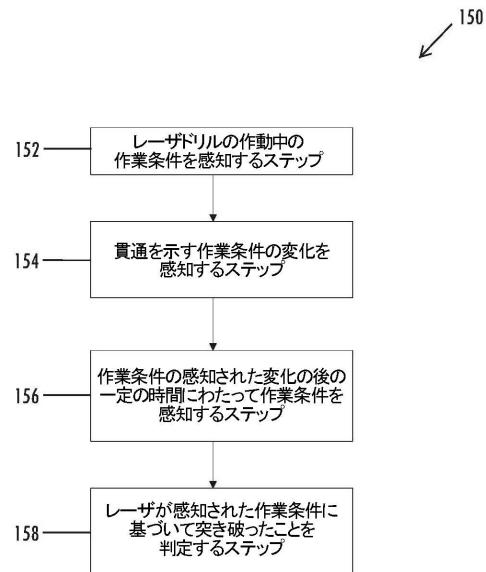
-FIG. 8(b)-

【図 8 c】



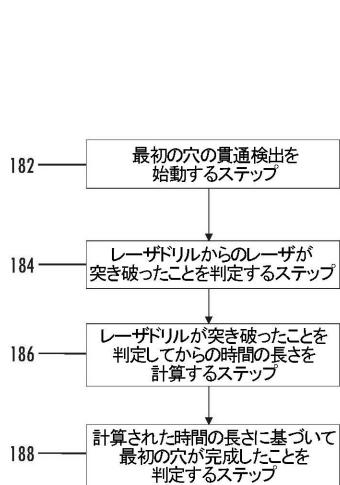
-FIG. 8(c)-

【図 9】

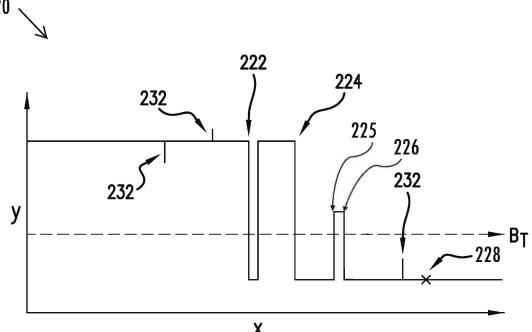


-FIG. 9-

【図 10】



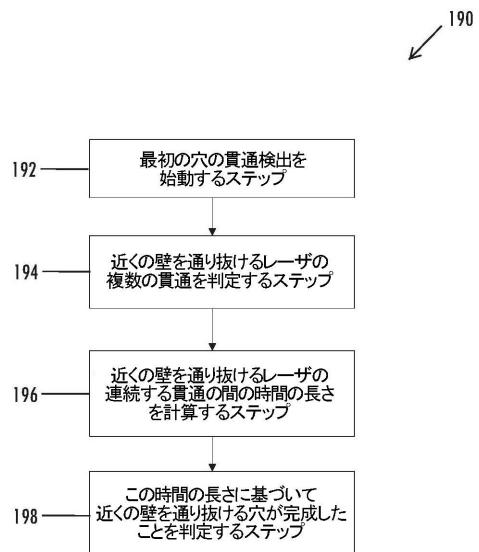
【図 11】



-FIG. 11-

-FIG. 10-

【図12】



-FIG. 12-

フロントページの続き

(51) Int.CI.	F I
F 0 2 C 7/00 (2006.01)	F 0 2 C 7/00 D
F 0 2 C 7/18 (2006.01)	F 0 2 C 7/18 A

- (72) 発明者 アベ・デニス・ダーリング
アメリカ合衆国、サウスカロライナ州・29615-4614、グリーンビル、ガーリントン・ロード、300
(72) 発明者 ダグラス・アンソニー・セリエノ
アメリカ合衆国、サウスカロライナ州・29615-4614、グリーンビル、ガーリントン・ロード、ピーオー・ボックス648、300
(72) 発明者 シャムガール・イライジャ・マクドウェル
アメリカ合衆国、サウスカロライナ州・29615-4614、グリーンビル、ガーリントン・ロード、300

合議体

審判長 北村 英隆
審判官 金澤 俊郎
審判官 鈴木 充

- (56) 参考文献 特開平2-37984(JP, A)
特開2013-239439(JP, A)
特開平4-268508(JP, A)
特表2001-526961(JP, A)
特開平8-132263(JP, A)
特開2008-155283(JP, A)
特開2007-237295(JP, A)
米国特許出願公開第2013/0206739(US, A1)
米国特許第6744010(US, B1)

(58) 調査した分野(Int.CI., DB名)

F01D 5/18
F01D 25/00
B23K 26/18
B23K 26/382