

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4656735号
(P4656735)

(45) 発行日 平成23年3月23日 (2011.3.23)

(24) 登録日 平成23年1月7日 (2011.1.7)

(51) Int.Cl.	F I
B 2 3 K 26/00 (2006.01)	B 2 3 K 26/00 E
B 2 3 K 26/04 (2006.01)	B 2 3 K 26/04 Z
B 2 3 K 26/067 (2006.01)	B 2 3 K 26/067
C 2 2 F 1/18 (2006.01)	C 2 2 F 1/18 H
C 2 2 F 3/00 (2006.01)	C 2 2 F 3/00

請求項の数 7 外国語出願 (全 13 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2001-20886 (P2001-20886)	(73) 特許権者	390041542
(22) 出願日	平成13年1月30日 (2001.1.30)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
(65) 公開番号	特開2001-293583 (P2001-293583A)		GENERAL ELECTRIC CO
(43) 公開日	平成13年10月23日 (2001.10.23)		MPANY
審査請求日	平成20年1月29日 (2008.1.29)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
(31) 優先権主張番号	09/494715		クタデイ、リバーロード、1 番
(32) 優先日	平成12年1月31日 (2000.1.31)	(74) 代理人	100137545
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 荒川 聡志
		(72) 発明者	マイケル・エバンス・グラハム
			アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スリン
			ジャーランズ、クリフトン・ウェイ、3 1
			番
		(72) 発明者	ジョン・デニス・ジャクソン
			アメリカ合衆国、オハイオ州、ワイオミン
			グ、バーンス・アベニュー、2 5 番
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 デュアルレーザ衝撃ピーニング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物品にデュアルレーザ衝撃ピーニングを加えるための方法であって、

ピーニングを加えるべき物品の第 1 表面上に、複数のスポットを含むスポットパターンを定める段階 (104) と、

ピーニングを加えるべき前記物品の第 2 表面上に、複数のスポットを含むスポットパターンを定める段階 (106) と
を含み、前記第 1 及び第 2 表面は、互いに対して相互に相対する表面を含み、前記第 2 表面上の前記それぞれのスポットの各 1 つは、前記第 1 表面上のそれぞれのスポットに対応するように配列され、複数の組合わされたスポット対を構成し、そして各々のそれぞれ組合わされたスポット対に、同時に衝突するようにそれぞれ位置合わせされているデュアルレーザビームを発生する段階 (108) と、を含み、前記物品に対する前記デュアルレーザビームの三次元的な位置合わせは、物品位置合わせベクトルと該物品位置合わせベクトルが沿って位置する部品加工平面とを定める段階と、レーザ位置合わせベクトルと該レーザ位置合わせベクトルが沿って位置するレーザ加工平面とを定める段階と、前記部品加工平面と前記レーザ加工平面との間で相対的回転を行ない、前記部品加工平面とレーザ加工平面との間で平行な位置合わせを提供する段階と、

10

20

前記レーザビームの一方が前記部品の前記第 1 表面上のスポット中心に一致し、前記レーザビームの他方が前記第 2 表面上のスポット中心に一致するように、前記部品及び前記デュアルレーザビーム間で相対的並進移動を行う段階と
を含むことを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記第 1 表面は、凸状の表面を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記第 1 表面上の前記スポットパターンは、複数の部分的に重なり合うスポットを含むことを特徴とする請求項 1 又は 2に記載の方法。

【請求項 4】

隣接するスポット間の部分的に重なり合う度合を選択的に制御する段階（116）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 5】

前記第 2 表面は、凹状の表面を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 6】

物品にデュアルレーザ衝撃ピーニングを加えるための装置（1）であって、

ピーニングを加えるべき物品の第 1 表面（46）上に複数のスポットを含むスポットパターンを定めるためのスポットパターン生成装置（90）を含み、前記パターン生成装置はさらに、ピーニングを加えるべき前記物品の第 2 表面（48）上に複数のスポットを含むスポットパターンを定め、前記第 1 及び第 2 表面は互いに対して相互に相対する表面を含み、前記第 2 表面上のそれぞれのスポットの各 1 つは、前記第 1 表面上のそれぞれのスポットに対応するように配列され、複数の組合わされたスポット対を構成し、そして

各々のそれぞれ組合わされたスポット対に同時に衝突するようにそれぞれ位置合わせされているデュアルレーザビームを発生するためのレーザユニット（31）を含み、

プロセッサによって実行される前記物品に対する前記デュアルレーザビームの三次元的な位置合わせが、

物品位置合わせベクトルと該物品位置合わせベクトルが沿って位置する部品加工平面とを定める段階と、

レーザ位置合わせベクトルと該レーザ位置合わせベクトルが沿って位置するレーザ加工平面とを定める段階と、

前記部品加工平面と前記レーザ加工平面との間で相対的回転を行ない、前記部品加工平面とレーザ加工平面との間で平行な位置合わせを提供する段階と、

前記レーザビームの一方が前記部品の前記第 1 表面上のスポット中心に一致し、前記レーザビームの他方が前記第 2 表面上のスポット中心に一致するように、前記部品及び前記デュアルレーザビーム間で相対的並進移動を行う段階と

を含むことを特徴とする装置。

【請求項 7】

隣接するスポット間の部分的に重なり合う度合を選択的に制御する（116）ための重なり合い制御モジュールを更に含むことを特徴とする請求項 6に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、一般的にレーザ衝撃ピーニングに関し、より具体的には、部品のデュアルレーザ衝撃ピーニングを制御するための方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

ガスタービンエンジン、特に航空機用ガスタービンエンジンのロータは、高い回転速度で運転され、このことがブレード内に高い張力及び振動応力場を生じ、またファンブレードに異物損傷（FOD）を受け易くする。また、振動は、羽根伴流及び入口圧力の歪み並

10

20

30

40

50

びに他の空気力学的現象によっても起こる可能性がある。このFODが、ファンブレード翼形部の前縁及び後縁に刻み目及び裂け目を生じ、従って応力集中を引き起こす。この刻み目及び裂け目が、高い応力集中あるいは応力上昇の源になり、振動応力による高サイクル疲労（HCF）のためにこれらブレードの寿命を著しく制限する。

【0003】

従って、今日の部品よりも、低サイクル及び高サイクル疲労の両方に一層よく耐えることができ、また亀裂を一層よく抑止することができるような、他の硬質金属部品同様に長持ちするファン及び圧縮機ブレードを設計し構成することは非常に望ましい。以下に引用した米国特許出願もしくは米国特許は、この目的を指向しており、それらは、係属中の米国特許出願第08/993,194号、発明の名称「低エネルギーレーザーを使用するレーザー衝撃ピーニング」；1994年12月22日出願され現在は放棄されている同第08/362,362号、発明の名称「オンザフライレーザー衝撃ピーニング」；及び米国特許第5,591,009号、発明の名称「レーザー衝撃ピーニングを加えたガスタービンエンジンのファンブレード端縁」；米国特許第5,569,018号、発明の名称「クラックの防止もしくは転換技法」；米国特許第5,531,570号、発明の名称「レーザー衝撃ピーニングを加えたガスタービンエンジンの圧縮機ブレード端縁に対する歪み制御」；米国特許第5,492,447号、発明の名称「ターボ機械用のレーザー衝撃ピーニングを加えたロータ部品」；米国特許第5,674,329号、発明の名称「接着テープで被覆されたレーザー衝撃ピーニング」；及び米国特許第5,674,328号、発明の名称「乾式テープで被覆されたレーザー衝撃ピーニング」であり、これらの全ては本発明の出願人に対して譲渡されている。それらは、ファンブレードなどの部品のレーザー衝撃ピーニングを加えた表面の少なくとも内部に向かって延びる部分にわたって、レーザー衝撃ピーニングによって与えられた深い残留圧縮応力の連続したもしくは容積がある領域を有するファンブレードの翼形部を得ることを教示している。これらの領域は、部分的に重なり合うレーザー衝撃ピーニングを加えた円もしくはスポットから内部に向かって延びる、レーザー衝撃ピーニングによって与えられた残留圧縮応力の多数の部分的に重なり合う突入部によって形成される。

【0004】

本発明のレーザー衝撃ピーニングによって与えられた深い残留圧縮応力は、米国特許第5,235,838号、発明の名称「本物の被加工物を形直しもしくは矯正するための方法及び装置」に開示されているように、被加工物を局部的に加熱して硬化させるためにレーザービームを用いた硬質化作業によって引き起こされる、局部的に区切られた残留圧縮応力を持つ被加工物の表面層区域と混同してはならない。この従来技術の教示によれば、高エネルギーのパルスレーザーからの多数の放射パルスと約1cmの大きなレーザースポット径を使用して、上で引用した米国特許出願及び米国特許第3,850,698号、発明の名称「材料特性の変更」；米国特許第4,401,477号、発明の名称「レーザー衝撃処理」；及び米国特許第5,131,957号、発明の名称「材料特性」と同様に、被加工物の表面に衝撃波を発生する。当技術で理解されている、また本明細書で使用されるレーザー衝撃ピーニングは、レーザービーム源からのレーザービームを利用して、表面の一部分の連続領域に、強力な残留圧縮応力の連続領域を生成することを意味する。この領域は容積があり、また部分的に重なり合うレーザー衝撃ピーニングを加えた円形部もしくはスポットから内部に向かって延びる個々の突入部の合体によって生成される。レーザーピーニングは、被加工物の外側表面に圧縮応力を加えた保護層を作り出すために利用されており、その保護層は、米国特許第4,937,421号、発明の名称「レーザーピーニング装置及び方法」に開示されるように、疲労破壊に対する被加工物の抵抗力を著しく増大させることが知られている。レーザー衝撃ピーニングプロセスの製造コストは、立ち上げ及び作業コストが極めて高価になる可能性があることから、極めて重要な領域である。上述の米国特許出願第08/362,362号において開示される所謂「オンザフライ」レーザー衝撃ピーニングプロセスは、本発明がそうであるように、レーザー衝撃ピーニングに対するコスト節約の方法をもたらすように設計されている。この従来技術は、直径1cmあるいはそれ以上のレベルの大きなレーザースポット、及び高エネルギーレーザーの使用を教示している。製造業者は、時間、

10

20

30

40

50

コスト及びこのようなプロセスの複雑性が低減する方法を絶えず追い求めている。3～10ジュールのレベル、好ましい範囲としては3～7ジュールの低エネルギーレーザービーム、及び約1mmの直径を有するレーザービームスポットを使用するレーザー衝撃ピーニング法が、出願中の米国特許出願第08/993,194号、発明の名称「低エネルギーレーザーを使用するレーザー衝撃ピーニング」に開示されており、その方法は、時間、コスト及びレーザー衝撃ピーニングの複雑性を低減させようとしている。それらの低減をもたらす設計技法に対する要求が常に存在し、この目的に対して本発明は向けられている。

【0005】

上で述べたように、既知の従来技術のレーザーピーニング技法は、単一レーザービームを使用して、ピーニングを加えるべき表面に指定の位置で指定の角度で衝突させることのみに関心があった。レーザー衝撃ピーニング技術における最近の進歩によって、2つの衝突するレーザービームによって発生するそれぞれの衝撃波が、相互に相対する表面の中心でぶつかるように、部品が相互に相対する表面上で同時に衝突を受けるようにすることが必要になってきた。本発明と同一の出願人に付与され、本明細書に参考として組み込まれる米国特許第6,005,219号を参照されたい。このデュアルレーザー技法を製造で使用するには、デュアルレーザーピーニングプロセスを正確に、信頼性をもたせて、また安価に制御することを可能にする、数値制御（NC）ツールのようなプログラム可能なツールの開発がどうしても必要になる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

従って、現在利用可能であるNC部品位置決め技術を使用して、デュアルレーザー衝撃ピーニング装置の制御を行うための制御指令を発する自動化プロセスを提供できれば望ましい。さらに、各レーザービームが、相互に相対する表面の両方に位置するそれぞれのスポット上に同時に衝突するように、部品をデュアルレーザービームに対して正確にかつ迅速に位置決めできれば望ましい。2つのレーザービームが同時に衝突するそれぞれのスポットは、部品の相互に相対する表面上に互いに向かい合って位置しているので、所望の表面適用範囲で強力な残留圧縮応力を得るようにビームが部品に衝突すべきスポットの正確な場所を定めることができればまた望ましい。上で述べたように、適切な適用範囲を達成する空間的位置に部品を三次元的に位置合わせするために、部品位置決め装置中にプログラムされるべき例えばNCの制御指令のような制御指令体系を定めることであればまた望ましい。

【0007】

【課題を解決するための手段】

一般的に言って、本発明は、物品（部品）にデュアルレーザー衝撃ピーニングを加えるための方法を提供することによって、前述の要求を満たすものである。この方法は、ピーニングを加えるべき部品の第1表面上に複数のスポットを含むスポットパターンを定めることを可能にする。この方法はさらに、ピーニングを加えるべき部品の第2表面上に複数のスポットを含むスポットパターンを定めることを可能にする。第1及び第2表面は、互いに対して相互に相対する表面を含む。第2表面上にあるそれぞれのスポットの各1つは、第1表面上にあるそれぞれのスポットに対応するように配列され、複数の組合わされたスポット対を構成する。発生する段階は、各々のそれぞれ組合わされたスポット対に同時に衝突するようにそれぞれ位置合わせされるデュアルレーザービームの発生を可能にする。

【0008】

本発明の別の形態にあっては、部品にデュアルレーザー衝撃ピーニングを加えるための装置を提供することによって、前述の要求がさらに満たされる。この装置はスポットパターン生成装置を含み、ピーニングを加えるべき部品の第1表面上に複数のスポットを含むスポットパターンを定める。このパターン生成装置はさらに、ピーニングを加えるべき部品の第2表面上に複数のスポットを含むスポットパターンを定める。第1及び第2表面は、互いに対して相互に相対する表面を含む。さらに、第2表面上にあるそれぞれのスポットの各1つは、第1表面上にあるそれぞれのスポットに対応するように配列され、複数の組合わされたスポット対を構成する。レーザーユニットは、各々のそれぞれ組合わされたスポッ

10

20

30

40

50

ト対に同時に衝突するようにそれぞれ位置合わせされるデュアルレーザビームの発生を可能にする。

【0009】

【発明の実施の形態】

本発明の特徴及び利点は、付随の図面と共に読取るとき、以下の本発明の詳細説明から明確になるであろう。

【0010】

図1、図2及び図3に示されるのは、ファンブレード8であって、ブレードのプラットフォーム36からブレード先端38まで半径方向外向きに延びるチタン合金製の翼形部34を有する。これは、本発明の方法及び装置はそのために開発されたのであるが、硬質金属部品及び材料のタイプの代表的なものである。ファンブレード8は、プラットフォーム36から根元部分40の半径方向内側の端部37まで半径方向内向きに延びる根元部分40を含む。根元部分40の半径方向内側の端部37には、ブレードの根元42があり、これがブレードのシャンク44によってプラットフォーム36に接続される。翼形部34は、翼形部の前縁LEと後縁TEとの間で弦方向に延びる。翼形部34の弦Cは、図2に示すように、ブレードの各断面における前縁LEと後縁TEとの間の線である。翼形部34の圧力側48は、矢印で示す全体の回転方向に向いており、負圧側46は翼形部の反対側であり、翼形中心線MLは概して弦方向に2つの面の中間に位置する。

【0011】

ファンブレード8は前縁部分50を有し、それは翼形部34の前縁LEに沿って、ブレードのプラットフォーム36からブレード先端38まで延びる。前縁部50は、予め定められた第1の幅W1を有し、前縁部分50が、翼形部34の前縁に沿って発生する可能性がある刻み目及び裂け目52を取囲む。翼形部34は、エンジン運転中に回転するファンブレード8によって発生される遠心力により、著しい引張応力の場合にさらされる可能性がある。翼形部34はまた、エンジン運転中に発生される振動にさらされる可能性があり、刻み目52及び裂け目が高サイクル疲労応力上昇源として作用し、それらの周りに追加の応力集中を生じさせる。

【0012】

初期亀裂又は微小亀裂、刻み目及び裂け目から生じ広がる可能性のある、発生する可能性のある亀裂線に沿ったブレード部分の疲労破壊に対抗するため、負圧側46及び圧力側48などの部品の相互に相対する第1及び第2表面もしくは側部は、それぞれレーザ衝撃ピーニングを加えた表面領域54を有し、この表面領域54は、本発明のデュアルレーザ衝撃ピーニング(LSP)の方法及び装置によって与えられた深い圧縮残留応力を持つ予め応力がかけられた容積的に部分的に重なり合うレーザ衝撃ピーニングを加えた突入部もしくはスポットの配列56を備えている。

【0013】

図4は、本発明の方法100の例示的な実施形態のフローチャートを示し、それぞれのデュアルビームがレーザ衝撃ピーニング(LSP)を加えるべき部品の相互に相対する表面に衝突する必要があるスポットの正確な位置を定めることを可能にする。開始段階102に続いて、段階104では、衝突するレーザビームに対する、部品の第1表面、例えば凸状の表面上の複数のスポットを含むスポットパターンを定めることができるようにする。段階106では、もう一方の衝突するレーザビームに対する、部品の第2表面、例えば凹状の表面上の複数のスポットを含むスポットパターンを定めることができるようにする。上に述べたように、第1及び第2表面(例えば、表面46及び48(図1))は、互いに対して相互に相対する表面を含む。さらに、第2表面上のスポットの各一つは、複数の組合わされたスポット対を構成するように、第1表面上のそれぞれのスポットに対応して配列される。戻り段階110に先立ち、段階108では、組合わされたスポット対のそれぞれの上に同時に衝突するようにそれぞれ位置合わせされるデュアルレーザビームを発生できるようにする。

【0014】

図5は、方法100によって生成できるスポットパターンとの関連でさらに詳細を示しているフローチャートを示す。開始段階112に続いて、段階114では、複数の部分的に重なり合うスポットで構成される第1表面上のスポットパターンを提供できるようにする。そのような部分的に重なり合うスポットパターンの例は、図8に示される。段階116では、隣接するスポット間で部分的に重なり合う度合を選択的に制御することができるようにする。ブロック118で述べ、また図9に示すように、各組合わされたスポット対は、第1表面（例えば、表面48）上のスポットに対して直角に延びる線が第2表面（例えば、表面46）上のスポットに対して直角に延びる線に交差するように、互いに対して位置を定められる。この2つの直角をなす線の交差は、それぞれのスポットから等距離の点（例えば、点o）で起きる。上述の幾何学的配置は、図9で最もよく理解され、そこでは、レーザビーム経路Aa及びBbは、同一平面上にあると仮定され、また、そのような経路は、それぞれの組合わされたスポット対に同時に衝突を受けている間、一定の位置及び一定の角度に保持されるということがさらに仮定される。点a及びbそれぞれは、レーザビームが部品表面に衝突することになる部品上のスポット位置に対応する。より具体的には、点a及びbは、LSPを加えるべき部品の、それぞれの相互に相対する表面上に位置するそれぞれのスポットの中心に対応する。従って、図9に示すように、線分ao及び線分boの距離は互いに等しい。さらに、線分aoは、部品54の第1表面46上のスポット中心に対して直角をなす。同じく、線分boは、部品54の第2表面48上のスポット中心に対して直角をなす。

10

【0015】

20

図6は、方法100の別の実施形態に関するさらに詳細を示すフローチャートであり、複数の組合わされたスポット対がLSPを加える必要がある表面を完全に覆い尽くすことを確実なものとする。開始段階122に引き続き、段階124では、それぞれ、部品の第1表面46例えば凸状の表面を横切りかつ部品の長手方向軸線（例えば、軸線60（図10））に対して概して直角をなす、図10における曲線59のような複数の曲線を定めることができるようにする。段階126では、長手方向軸線に沿った隣接するスポット間の所望の中心間の間隔よりも長くならないように、隣接する曲線間の離間距離を選択できるようにする。戻り段階130に先立ち、またブロック128に示すように、隣接する曲線間の選択された離間距離は、長手方向軸線に沿ったスポットが部分的に重なり合う度合を定め、また図10において垂直の矢印64で示される。

30

【0016】

図7は、部品の長手方向軸線に対して概して直角をなす軸線（例えば、図10における軸線62）に沿ってスポットが部分的に重なり合う度合を選択できるようにするフローチャートを示す。開始段階132に続き、段階134では、それぞれの曲線各々に沿った複数の点、例えば図10における点66を定めることができるようにする。隣接する点間の離間距離は、部品の長手方向軸線に対して概して直角をなす軸線に沿った隣接する点間の所望の中心間の間隔よりも長くならないように選択される。戻り段階138に先立ち、ブロック136に示すように、隣接する点間の選択された離間距離は、部品の長手方向軸線に対して概して直角をなす軸線に沿ってスポットが部分的に重なり合う度合を定め、また、そのような点の離間距離は図10において水平の矢印68で示される。

40

【0017】

図11は、デュアルレーザビーム及び各々のそれぞれ組合わされたスポット対の間で三次元的位置合せを達成するために、LSPを加えるべき部品を正確な位置に順次移動させるように部品位置決め装置中にプログラムされるNC制御指令を定めることができるようにするフローチャートを示す。開始段階140に続き、段階142では、部品位置合わせベクトル、及び部品位置合わせベクトルが沿って位置している部品加工平面を定めることができるようにする。この部品位置合わせベクトル及び部品加工平面は、図12に示すように、部品54の適切なコンピュータ支援設計（CAD）モデル中で定めることができる。例であって、これに限定するものではないが、2つの部品スポット点a及びb間の線分が先ず定められる。この線分の中心点、例えば点a及びbから等距離にある中心点cが、次

50

いで定められる。ベクトル $c d$ は、ベクトル $c d$ が線分 $a b$ に対して直角をなすように、点 c から延びる。この図においては、ベクトル $c d$ は、部品位置合わせベクトルであり、点 a 、 b 及び部品位置合わせベクトル $c d$ は、部品加工平面を定める。

【0018】

段階 144 では、レーザ位置合わせベクトル、及びレーザ位置合わせベクトルが沿って位置するレーザ加工平面を定めることができるようにする。レーザ位置合わせベクトル及びレーザ加工平面を定めるため、ここでは、図 13 に示するように、一定のデュアルレーザビーム配列を仮定する。さらに、このデュアルレーザビーム A 及び B は、既知の一定角度 $q p s$ で既知の点 p で交差すると仮定する。レーザ位置合わせベクトルを定めるために、角度 $q p s$ を二等分する線分 $p r$ を、デュアルレーザビーム A 及び B 間に引く。この場合、線分 $p r$ は、レーザ位置合わせベクトルであり、また、レーザ加工平面は、デュアルレーザビーム A 及び B により共有される共通の平面並びにレーザ位置合わせベクトル $p r$ によって定められる。

10

【0019】

段階 146 では、部品加工平面とレーザ加工平面との間で平行な位置合わせを提供するために、部品加工平面とレーザ加工平面との間で相対的回転を行なうことができるようにする。段階 148 では、部品位置合わせベクトルとレーザ位置合わせベクトルとの間で、それらのベクトル間で平行な位置合わせを提供するために、相対的回転ができるようにする。戻り段階 152 に先立ち、接続ノード A によって到達する段階 150 では、レーザビームの一方が部品の第 1 表面上のスポット中心に一致し、もう一方のレーザビームが L S P を加えるべき第 2 表面上のスポット中心に一致するように、部品及びデュアルレーザビーム間で相対的並進移動を行なうことができるようにする。

20

【0020】

当業者は、伝統的な N C 制御技法では、部品位置合わせベクトルを単一の工具軸線位置合わせベクトルに位置合わせすることを必要とするだけだと理解するだろう。しかしながら、そのような伝統的な技法は、デュアルレーザビームの同時制御を必要とする場合にはうまくいかないことをさらに理解するだろう。従って、本発明は、追加的な位置合わせ、即ち、部品加工平面とレーザ加工平面との間の位置合わせを行なうことの必要性を認識している。上述の位置合わせ装置が、図 15 に示してあり、そこでは、レーザ位置合わせベクトルと部品位置合わせベクトルとは、デュアルレーザビーム A 及び B の中心線がそれぞれに、L S P を加えるべき相互に相対する表面上のスポットの中心に対応する点 a 及び b を通過するように、共通の加工平面を共有するように位置合わせされる。

30

【0021】

図 15 及び図 16 を参照すると、深い圧縮残留応力を誘起したレーザビーム衝撃は、繰返し発射する二つのレーザビーム 2 によって作り出され、その各々は、あらゆる適切な削摩性の被覆 55 で覆うことができる前縁 L E の両側上の表面 54 に対して、プラス／マイナス数ミルだけ焦点をずらされる。レーザビームは、被覆されたレーザ衝撃ピーニングを加える表面 54 上に流される流水のカーテンを介して発射されるのが好ましい。塗料、テープ、もしくは他の削摩性の被覆 55 は、削摩されてプラズマを発生し、それは結果として材料表面上に衝撃波を生じる。他の削摩性の材料を用いて、塗料に代わる適切なものとして表面を被覆することができる。これらの被覆材料は、米国特許第 5, 674, 329 号及び第 5, 674, 328 号に開示されているような、金属フォイルもしくは接着性プラスチックテープを含む。これらの衝撃波は、被覆された表面に向けて流水のカーテンによって向け直され、被覆された表面の下にある材料中を進行する衝撃波（圧力波）を発生する。この衝撃波の振幅及び量が、圧縮応力の深さ及び強度を決定する。削摩性の被覆を用いて、標的表面を保護し、またプラズマを発生させる。

40

【0022】

図 15 及び図 16 に示すのは、従来公知のロボット腕 27 にブレード 8 が装着されている装置 1 であり、本発明の一実施形態により、ロボット腕 27 を用いてブレードを連続的に移動させ、また位置決めして「オンザフライ」レーザ衝撃ピーニングを行なう。ロボット

50

腕 27 は、例えば NC 装置などの制御装置 92 からの適切な制御指令に順番に応答する適切なサーボモータ 94 によって与えられる回転及び／または線形動作に対して応答し、また制御装置 92 は図 11 から図 14 のところで説明した位置合わせ段階を実行するようにプログラムすることができる。スポットパターン生成装置 90 は、図 4 から図 10 のところで説明したスポットパターンを定める段階を実行するように、さらにプログラムできる。言うまでもなく、上記のプログラミングは、当業者によく知られ、また、十分に理解されているプログラミング技法を使用して実行することができる。

【0023】

それぞれ前縁 LE にある、圧力及び負圧側 46 及び 48 両方のレーザ衝撃ピーニングを加えた表面 54 は、削摩性の被覆 55 で被覆される。次いでブレード 8 は、固定レーザビーム 2 が表面 54 上の流水のカーテン 21 を介して連続的に発射され、制御可能に部分的に重なり合うレーザ衝撃ピーニングを加えた円形のスポット 58 を形成しながら、連続的に移動させられる。図示される水のカーテン 21 は、通常の給水管 19 の端部で通常の水ノズル 23 によって供給される。レーザ衝撃ピーニング装置 1 は、発振器 33 及び前置増幅器 39A および予め増幅されたレーザビームを各々が第 1 及び第 2 増幅器 39 及び 41 それぞれを持つ 2 つのビーム光学伝送回路に供給するビーム分割器 43 を備える通常の発生装置 31 と、レーザビーム 2 をレーザ衝撃ピーニングを加える表面 54 上に伝送し焦点を結ばせる光学要素を備える光学装置 35 とを含む。制御装置 24 は、レーザビーム装置 1 を調整し、制御するために使用することができ、レーザビーム 2 をレーザ衝撃ピーニングを加える表面 54 上に制御された状態で発射する。削摩された被覆材料は、流水のカーテンで洗い落とされる。

【0024】

レーザは、図 15 及び図 16 に示すように、レーザ衝撃ピーニングを加える表面 54 が、ブレード 8 の翼形部 34 とレーザビーム 2 との間で連続的な移動を行ないながら、表面を被覆し次いで表面にレーザ衝撃ピーニングを加える 1 回あるいはそれ以上のシーケンスで、レーザ衝撃ピーニングを加えるように、連続的に「オンザフライ」で発射することができる。明細書中の例示的な実施形態にあっては、翼形部 34 は、それぞれ組合わされた円形スポット対がデュアルレーザビームによって同時に衝突を受けるように、レーザビーム 2 を表面 54 上に連続的に発射しながら、移動させられる。被覆しレーザ衝撃ピーニングを加えるシーケンスを数回繰返すことで、所望の圧縮残留応力強度及びレーザ衝撃ピーニングを加えた突入部 53 の深さを得ることができる。

【0025】

当業者により理解されることであろうが、本発明は、翼形部の表面上に如何なる感知されるほどの影響もしくは損傷をも残すことなく、未使用もしくは未使用に近い被覆のみが削摩されるようにすることができる。これは、放置しておいたならばブレードの運転において望ましくない空気力学的な影響を引き起こす可能性のある、レーザに起因する一寸した傷つきもしくは再溶解さえも予防するためのものである。全パターンを完全に行なうためには、数回のシーケンスを必要とする可能性があり、またレーザ衝撃ピーニングを加える表面 54 の再被覆は、各スポット対が数回衝撃されるレーザ発射の各シーケンスの間になされる。レーザ発射は、しばしば「レップ」と称される発射間の時間間隔を持つ多数のレーザ発射あるいはパルスを有する。このレップ間に、次のパルスが次のレーザ衝撃ピーニングを加える円形スポット対の位置において発生するように、部品が移動させられる。好ましくは、部品は連続的に移動させられ、レーザビームのパルスあるいは発射のとき適切な位置にあるように移動速さが調整される。シーケンスを 1 回あるいはそれ以上繰り返して使用して、各レーザ衝撃ピーニングを加える円形スポット対を 1 回以上衝撃することができる。このことはまた、各発射あるいはレーザパルスで使用するレーザエネルギーをより小さくすることを可能にする。

【0026】

本明細書では本発明の好ましい実施形態を示し説明してきたが、そのような実施形態は例としての目的でのみ提供されているのは明らかであろう。多くの変形、変更及び置換が、

10

20

30

40

50

本明細書における発明から逸脱することなく、当業者にはなされるであろう。従って、本発明は、特許請求の範囲の技術思想と技術的範囲によってのみ限定されることを意図している。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の方法及び装置を用いてレーザ衝撃ピーニングを加えることができる例示的な部品、即ち航空機用ガスタービンエンジンのファンブレードの斜視図。

【図 2】 本発明の方法及び装置を用いてレーザ衝撃ピーニングを加えることができる別の例示的な航空機用ガスタービンエンジンのファンブレードの斜視図。

【図 3】 図 2 に示される線 3-3 に沿うファンブレードの断面図。

【図 4】 それぞれのデュアルレーザビームがレーザ衝撃ピーニングを加えるべき部品の相互に相対する表面に衝突するスポットの位置を決定できるようにする、本発明の方法の例示的な実施形態のフローチャート。

【図 5】 本発明の方法によって生成することのできる例示的なスポットパターン、例えば、部分的に重なり合うスポットに関するさらに詳細を示しているフローチャート。

【図 6】 レーザ衝撃ピーニングを加えるべき部品の適切な表面適用範囲を確実なものにするための段階を示しているフローチャート。

【図 7】 隣接するスポット間の部分的に重なり合う度合を制御可能に選択する段階の詳細を示すフローチャート。

【図 8】 本発明の方法によって生成できる例示的なスポットパターンの平面図。

【図 9】 デュアルレーザビームによって衝突されるべき組合わされたスポット対の間の幾何学的な関係を示す、レーザ衝撃ピーニングを加えるべき部品の平面図。

【図 10】 隣接するスポット間の部分的に重なり合う度合を制御可能に選択することに対する幾何学的な関係を示す斜視図。

【図 11】 デュアルレーザビームに対し部品の三次元的な位置合わせができるようにする段階を示すために使用されるフローチャート。

【図 12】 部品位置決めベクトル、及び部品加工平面を定めるための幾何学的な関係を示す、レーザ衝撃ピーニングを加えるべき部品の平面図。

【図 13】 レーザ位置決めベクトル、及びレーザ加工平面を定めるための幾何学的な関係を示す、例示的なデュアルレーザビームの配列図。

【図 14】 互いに対しての三次元的な位置合わせに基づき、図 12 及び図 13 の組合せから結果として得られる平面図。

【図 15】 本発明の方法を実行するためのレーザ衝撃ピーニング装置において被覆され装着された、図 1 のブレードの概略斜視図。

【図 16】 図 15 の構成の一部断面一部概略図。

【符号の説明】

- 1 装置
- 2 レーザビーム
- 8 ファンブレード
- 34 翼形部
- 36 ブレードプラットフォーム
- 38 ブレード先端
- 40 根元部分
- 42 ブレード根元
- 46 第 1 表面
- 48 第 2 表面
- 52 刻み目及び裂け目
- 54 部品
- 56 突入部
- 58 円形スポット
- C 弦

10

20

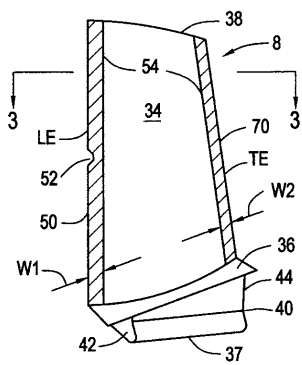
30

40

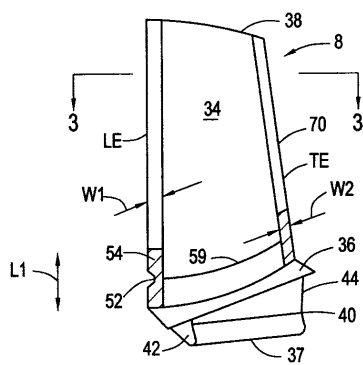
50

M L 翼形中心線
W 1 第 1 幅
L E 前緣
T E 後緣

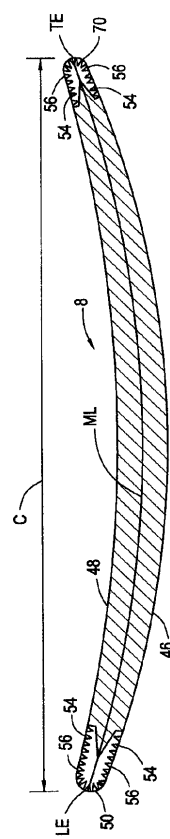
【図 1】



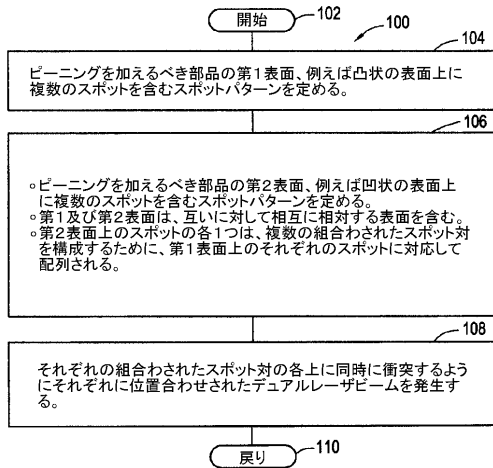
【図 2】



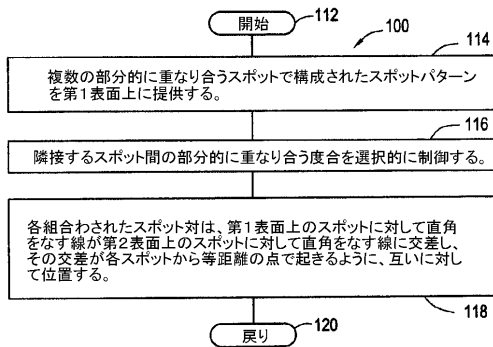
【図 3】



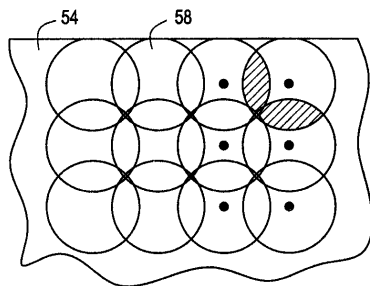
【図 4】



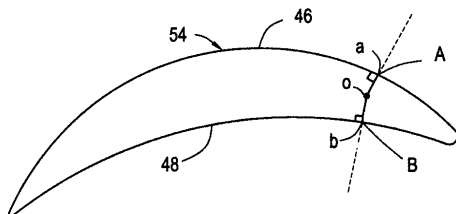
【図 5】



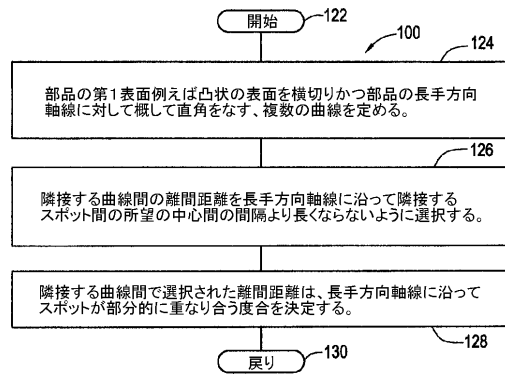
【図 8】



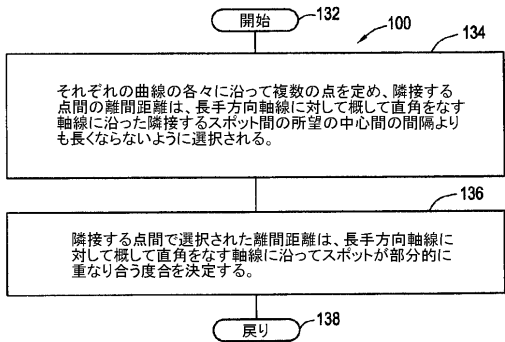
【図 9】



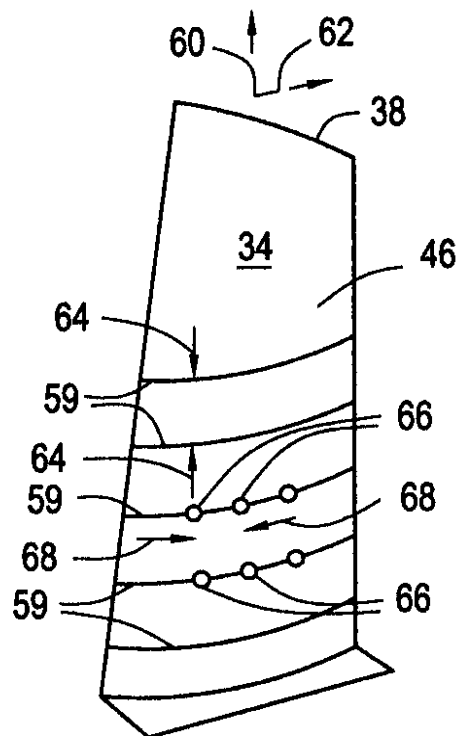
【図 6】



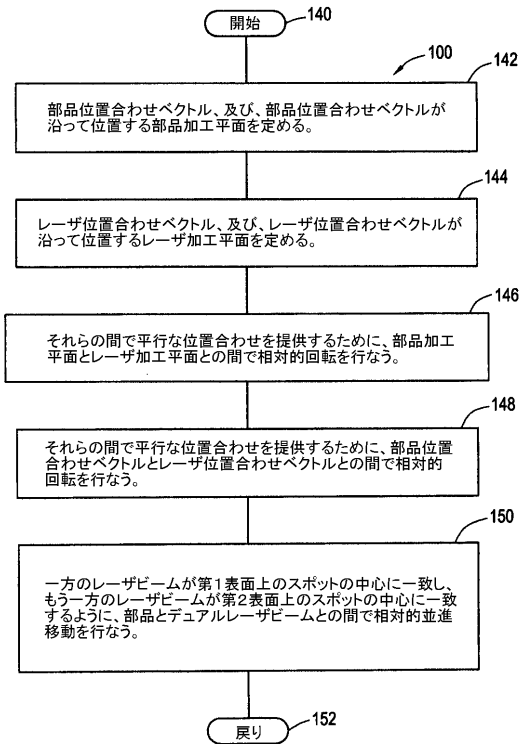
【図 7】



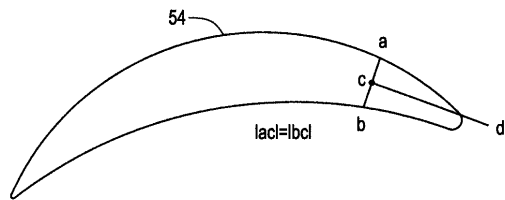
【図 10】



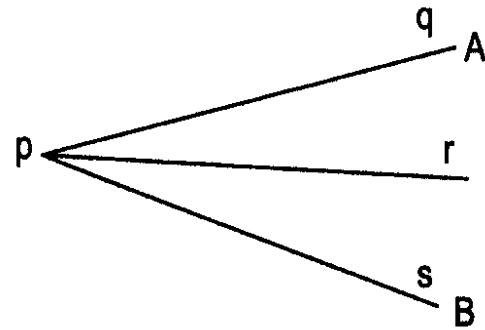
【図 1 1】



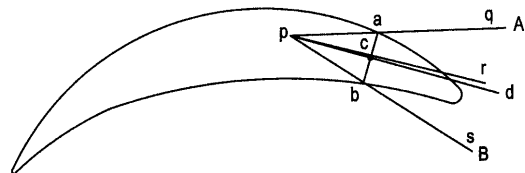
【図 1 2】



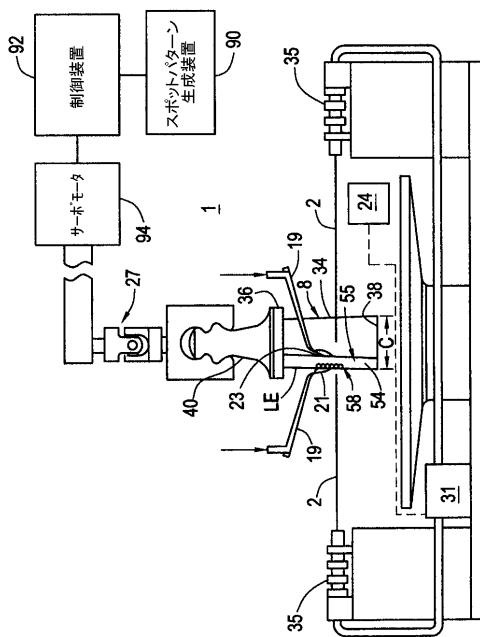
【図 1 3】



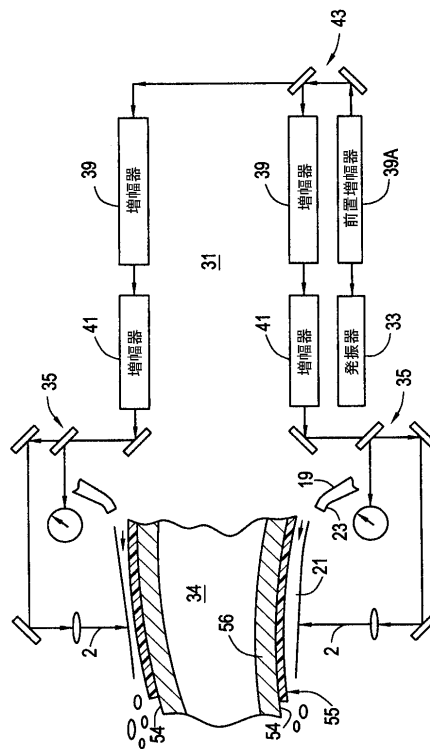
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
C 2 2 F 1/00 (2006.01) C 2 2 F 1/00 6 3 0 G

審査官 青木 正博

(56)参考文献 特開平 1 1－2 5 4 1 5 7 (J P, A)
特開平 1 1－2 5 4 1 5 6 (J P, A)
特開 2 0 0 1－2 5 2 7 7 5 (J P, A)
特開昭 6 1－0 6 0 2 9 0 (J P, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., D B名)

B23K 26/00-26/42

F01D 5/28

C21D 7/06

C21D 10/00

C22F 3/00

C22F 1/18

C22F 1/00