

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5000323号
(P5000323)

(45) 発行日 平成24年8月15日 (2012. 8. 15)

(24) 登録日 平成24年5月25日 (2012. 5. 25)

(51) Int. Cl.	F I
B 2 3 K 26/00 (2006. 01)	B 2 3 K 26/00 E
B 2 1 D 11/20 (2006. 01)	B 2 1 D 11/20 Z
B 2 3 K 26/14 (2006. 01)	B 2 3 K 26/14 Z
B 2 3 K 26/18 (2006. 01)	B 2 3 K 26/18
C 2 1 D 1/09 (2006. 01)	C 2 1 D 1/09 A

請求項の数 6 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2007-26019 (P2007-26019)	(73) 特許権者	500210903
(22) 出願日	平成19年2月5日 (2007. 2. 5)		ザ、リージェンツ、オブ、ザ、ユニバーシ
(62) 分割の表示	特願2001-510619 (P2001-510619)		ティ、オブ、カリフォルニア
原出願日	平成12年6月26日 (2000. 6. 26)		THE REGENTS OF THE
(65) 公開番号	特開2007-175777 (P2007-175777A)		UNIVERSITY OF CALIF
(43) 公開日	平成19年7月12日 (2007. 7. 12)		ORNIA
審査請求日	平成19年3月1日 (2007. 3. 1)		アメリカ合衆国カリフォルニア州、オーク
審判番号	不服2010-28470 (P2010-28470/J1)		ランド、フランクリン ストリート 1 1
審判請求日	平成22年12月16日 (2010. 12. 16)		1 1
(31) 優先権主張番号	60/144, 594	(74) 代理人	100117787
(32) 優先日	平成11年7月19日 (1999. 7. 19)		弁理士 勝沼 宏仁
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100091982
			弁理士 永井 浩之
		(74) 代理人	100107537
			弁理士 磯貝 克臣

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザピーニングにより金属に形状および輪郭を成形するための装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一連のレーザパルスを生み出す能力を有するレーザシステムであって、前記一連のレーザパルスの各パルスが1パルス当たり10ジュールから100ジュールの範囲のエネルギーを有しており、かつ前記各レーザパルスは10ナノ秒から20ナノ秒のパルス幅と1ナノ秒未満の立ち上り部とを有しているレーザシステムと、

金属被加工物に固定的に取り付けられた光線を吸収する材料の層と、

前記材料の層上を流れる水の薄膜層と、

前記各レーザパルスの近視野像を前記材料の層上にスポットサイズで結像させるための手段であって、前記金属被加工物の表面に不必要な引張り応力を誘起することなしに所望の形状が形成されるまで前記一連のレーザパルスが前記金属被加工物の表面上に圧縮応力を生成する、手段と、

を備え、

前記各レーザパルスの近視野像を結像させるための手段は、前記各レーザパルスを、前記金属被加工物の表面に60ジュール/平方センチメートルと200ジュール/平方センチメートルとの間のエネルギー流束をもたらすようなスポットサイズで結像させる、金属被加工物に形状および輪郭を形成するための装置。

【請求項 2】

前記材料が合成樹脂から成ることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

10

20

前記合成樹脂がポリビニルアセテート樹脂若しくはポリ塩化ビニル樹脂から成ることを特徴とする請求項 2 に記載の装置。

【請求項 4】

前記合成樹脂が約 200 マイクロメートルの厚みであることを特徴とする請求項 3 に記載の装置。

【請求項 5】

前記水の薄膜層が約 1 ミリメートルの厚みであることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 6】

前記金属被加工物の表面上にラスタ走査式にレーザーパルスを連続して当てるための手段を更に備えるとともに、照射された表面上に圧縮応力が誘起され、この圧縮応力が前記金属被加工物の最上層に歪を生成して前記金属被加工物に湾曲を生じさせることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はレーザー衝撃加工に関し、より詳しくはレーザーピーニングによって金属の輪郭を成形する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

材料特性を改良するために大出力レーザーを用いることは、レーザーの最も重要な産業的利用のうちの 1 つである。レーザーは金属加工のために高エネルギー放射線の制御可能なビームを伝達することができる。第 1 に、レーザーは小さな領域に局所化されかつ制御可能な高い出力密度を生じさせることができる。このことは、経済的かつ効率的なエネルギーの利用をもたらすとともに、周囲の領域における歪みを最小とし、かつ材料の取り扱いを簡単なものとする。レーザーパルスは短い時間間隔で大パワーを付加することができるので、この加工を高速度な製造に適合させることができる。ビームを制御できるという事実は、複雑な形状を有した部品の加工を可能とする。また、精度、一貫性および繰返し性はこのシステムに固有のものである。

【0003】

古代の人類が彼らの兵器および工具を打ち出し成形したように、冷間加工によって金属の強度を改善することは疑いもなく文明の初期に発見されている。1950 年代から、ショットピーニングは金属の疲労特性を改善する手段として用いられている。衝撃加工の他の方法には、高度に爆発性の材料を金属表面に接触させて使用することが含まれる。

【0004】

金属表面を加工するために機械的に衝撃波を発生させるための高強度レーザー出力の使用は、1970 年代から周知である。レーザー衝撃加工は、金属面に強度および腐食破壊に対する抵抗力を与える圧縮応力を生じさせるために用いることができる。

【0005】

出力が 10～100 ジュールでパルス幅が 10～100 ナノ秒のレーザーは、慣性的に閉じ込められたプラズマを金属表面上に発生させるために有用である。これらのプラズマは 10,000～100,000 気圧の範囲の圧力を生じさせ、その結果として生じる衝撃圧力が金属の弾性限度を越えるので、1 ミリメートル若しくはそれよりも深く表面層に圧縮応力を与える。工業生産に適した速度における技術の使用のために意味がある平均出力を持ったレーザーが利用可能となりつつある。

【0006】

レーザー衝撃加工の過程においては、加工される金属表面は塗装され若しくは他の方法で「黒色」とされ、すなわちレーザー光線の吸収性が非常に高められる。この黒色の層は、レーザーエネルギーの吸収体として作用するとともに部品の表面をプラズマの高温に起因する溶融から保護する。典型的に 1～2 ミリメートルの水の薄膜層が、この黒色の表面上に流さ

10

20

30

40

50

れる。この水は、レーザエネルギーが短時間の、典型的には30ナノ秒のパルス幅において吸収されたときに生じるプラズマを慣性的に閉じ込め、若しくはいわゆるタンパ（tamping）作用をする。タンパ作用をする他の適切な材料も用いることができる。この加工の有用性は、空間的に一様なビームとしてレーザエネルギーを金属表面に供給することが可能かにより制限される。一様でない場合には、塗装された金属表面への有意義なエネルギーの供給を妨げる水の内部において、光線の最高強度の領域が崩壊する。レーザ光線を表面に供給する従来の技術では、レーザ出力を1平方センチメートルあたりでおよそ100ジュールから200ジュールの出力密度に圧縮する単体レンズを用いる。この集光技術は、レーザ近距離場強度プロフィルの真の「像」を表面に得ることができないという限界を有する。むしろ、近距離場と遠距離場との間の何かを表す場の強度が生じる。レーザビームの焦点が表面上に合わされるときにレーザの回折は、非常に強い空間変調およびホットスポットをもたらす。

10

【0007】

ビーム内に生じる任意の位相収差、特に高平均出力レーザの作用に関連する位相収差は伝播してビーム内に高強度領域を生じさせる。これらの高ピーク強度領域は水の層において崩壊し、加工する表面へのレーザエネルギーの効率的な供給を妨げる。タンパ材料（tamping material）内における崩壊の潜在的な他の原因は、光学的絶縁破壊および誘導散乱のような非線形効果の生成である。レーザ内における10ナノ秒から100ナノ秒のパルスの標準的な生成においては、出力はいくつかのパルス幅を越える時間にわたってゆっくりと増加する。このゆっくりとした弱い強度は、数十ナノ秒の蓄積時間を必要とする非線形プロセスが実を結ぶことを助ける。従来技術においては、レーザのパルス出力は急速立ち上り電気光学開閉器若しくは起爆箔（exploding foil）のような外部手段によって「分割される」。これらの技術は高価でありかつ信頼性を制限する。

20

【0008】

金属表面の一方への圧縮応力の制御された付加がその表面の予測可能な伸長を生じさせるので、高度に制御可能な方法で金属を湾曲させることができる。湾曲すると、凸状表面は運転中の部品の耐疲労性および耐食性にとってたいへん望ましい残留圧縮応力と共に置かれる。ショットピーニングによってこの圧縮応力を誘起させる技術は周知であり、かつ一般的に使用されている。しかしながら、ショットピーニングは、表面層の大幅かつ望ましくない冷間加工を生じさせることなく誘起され得る強い圧縮応力の深度に限界がある。ピーニングのために用いるショットが必要とする球形形状に起因して、この加工はショットの個々の衝突の間に金属に対して一様でない圧力と時間との関係を与える。圧力は球との最初の接点に生じ、次いで金属が変形するに連れて衝撃領域を横切って広がりショットの断面全体が金属に接触する。このような一様でない圧力の付加は、金属の局所的な押し出し、および衝突領域の中央から外側へのメタルフローに帰着する。その結果として、ショットの衝突により生じる圧力のくさびに起因して材料が押し出され、より多くの冷間加工が金属上に生じる。

30

【0009】

米国特許第4,694,672号「被加工物に単純な輪郭を与えるための方法および装置」は、航空機の外板に単純な輪郭を与えるための従来の方法および装置に向けられている。加工チャンバはそれに取り付けられた被加工物用のコンベヤと、この被加工物を加工するめのショットピーニングブラストユニットとを有している。翼長方向の狭い帯板内および被加工物の共通翼弦百分率線上においてピーニングが行われるように、被加工物およびブラストユニットの向きを定めるための制御装置が設けられている。この方法および装置は、それによって被加工物に翼弦方向の単純な湾曲を生じさせつつ、複雑な湾曲効果を最小とする。なお、米特許第3,668,912号も参照されたい。

40

【0010】

米国特許第4,329,862号「複雑な輪郭のショットピーニング成形」においては、平らな金属薄板部品の両面が従来通りにショットピーニングされる。この部品は、翼弦方向の湾曲に合わせるためのパターンで変化するようにプログラムされた強度でその一方

50

の側がショットピーニングされて、航空機の翼表面の複雑な形状を取る。

【0011】

望ましくは、レーザ加工法が部品の内部に強い応力をより深く達成することができるならば、より厚い部品により大きな湾曲を生じさせることができる。さらに望ましくは、このレーザ加工法がごくわずかな無視できるレベルの冷間変形しか生じさせないならば、表面を非常に滑らかに仕上げることができる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

本発明の目的は、強い応力を部品のかなり深くに生じさせ、それによってより厚い金属部分により大きな湾曲を生じさせることができるレーザピーニング加工を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明は、金属被加工物の表面上にレーザによって誘起される圧縮応力を生じさせることにより金属部分に形状および輪郭を形成するための方法および装置である。このレーザ加工法は、金属表面に不必要な引張り応力を誘起させることなしに厚い部品をも形状付けする深い圧縮応力を生じさせることができる。レーザによって誘起される応力の精度は正確な予測およびその後続く部品の輪郭付けを可能にする。

【0014】

本発明においては、金属表面上の吸収層に60～200ジュール／平方センチメートルのエネルギー流束を生じさせるために、1パルス当たり10～100ジュールの光ビームを投影する。典型的に、吸収層上には水が流される。レーザ光線の吸収はプラズマの形成を生じさせ、その結果として金属に深い残留圧縮応力を誘起する衝撃波が生じる。金属は、この残留応力に反応して曲がる。

【0015】

薄い金属部品に輪郭を与えるために機械的な手段を用いることは、良く知られた概念である。金属内に圧縮応力を誘起する衝撃波を生じさせるためにレーザを用いるという概念は、疲労亀裂および腐食に対する金属部品の抵抗力を改善するために広く行われている。本発明は、正確で局所的な湾曲を生み出すために金属被加工物の一方にレーザにより誘起される衝撃を与える。より広い領域にわたってより全般的に若しくは同じ領域に複数回にわたって衝撃を与えることにより、より大きな規模の湾曲を達成することができる。本発明は、部品の正確な形状付けを達成するために特定のパラメータで作動するように設定された、高いエネルギー、高い平均出力のレーザを用いる。このレーザピーニング加工は、形状付け若しくは輪郭付けが困難な(19.1mm(3/4インチ)を超える)厚い材料にとって特に有効である。

【0016】

金属は、レーザ光線を吸収する材料の層で覆われる。水の薄膜層がこの吸収材料上に流されるとともにレーザが照射される。ラスタ走査式にレーザパルスを連続して当てることにより、照射された表面上に圧縮応力が誘起される。この応力は翻って金属の最上層に歪を生じさせて材料に湾曲を生じさせる。各局所領域に与えられる圧縮応力の強度および深さは、レーザエネルギー、レーザパルスの照射形状とオーバーラップ、パルス幅および各領域に当てるパルス数を選択することによって制御し得る。局所的な応力の衝撃をその上に系統的に与えることにより、この部品をより大きな領域にわたって正確に輪郭付けすることができる。二次元方向の湾曲の追加の制御は、凸状となる表面上に与えられるパルスの特定の密度によって、凹となる表面に補償パルスを与えることによって、かつ部品が湾曲形状に変化するとき、部品内に生成される増加する機械的な慣性モーメントを利用することによって達成することができる。

【0017】

このレーザピーニング技術はまた、不必要な湾曲を有する部品を正確に真っ直ぐとする

ために用いることができる。重要な実施例は、機械加工、熱処理、硬化処理若しくはその他の製造工程の結果として不必要な湾曲がもたらされる機械的な駆動軸を含む。不必要な湾曲の凹側に圧縮応力を選択的に加えることにより、部品を系統的に真っ直ぐとすることができる。

【0018】

ショットピーニングとは対照的に、非常に一様なレーザ強度の輪郭は（平らな頂部輪郭を有するように調整された光線を用いて部品上にこの輪郭を投影するときに）衝撃領域の全体にわたって一様な衝撃を金属に与え、金属の押し出しおよび冷間加工をほとんど生じさせない「鈍い」力に帰着する。これにより、レーザピーニング加工は冷間加工なしに応力が与えられた大容量の金属を生じさせる。金属表面を激しく変形させることなしに、比較的大きな湾曲を厚い金属部分に与えることができる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

レーザピーニングのための技術は係属中の米国特許出願第09/133590号に開示されている「レーザ衝撃加工のためのレーザ光線の時間的および空間的な調整」に開示されているが、その内容はこの参照によって本明細書に組み込まれる。本発明に使用可能なレーザ技術は、米国特許第5,285,310号「高出力再生レーザ増幅器」および米国特許第5,239,408号「高出力、高ビーム品質再生増幅器」に記載されているが、その内容はこの参照によって本明細書に組み込まれる。本発明に使用可能なレーザシステムの実施例は米国特許第5,689,363号「長パルス幅、狭帯域固体レーザ」に記載されているが、その内容はこの参照によって本明細書に組み込まれる。

20

【0020】

金属部分に形状および輪郭を形成する加工は、レーザによって誘起されて金属の表面に生じる圧縮応力の利用を含む。このレーザ加工法は、不必要な引張り応力を金属表面に誘起することなしに厚い部品を形状付けることにおいて大いなる助けとなる、深い圧縮応力を生じさせることができる。レーザによって誘起される応力の精密さは、正確な予測およびその後続く部品の輪郭付けを可能にする。

【0021】

望ましくない引張り応力を誘起させることのない金属部品の正確な成形および形状付けは、国防総省および商業上における適用、特に航空機および航空宇宙部品において重要な用途を有する。（19.1mm～25.4mm（3/4～1インチ）若しくはより厚い）厚みの金属部分を成形する能力は、翼外板のような飛行機部品にとってこれらの厚い部分をいかに成形するかについて革命的な変化をもたらす。この技術は、別の方法では成形することができない部品の成形を可能にする。

30

【0022】

必要に応じ、本発明の詳細な実施例がこの明細書に開示される。しかしながら理解されるべきことは、開示された実施例が様々なシステムにおいて具現化し得る本発明の、単に典型的な具体例であるということである。したがって、この明細書に開示される具体的な詳細が限定的なものとしてではなく、むしろ請求項の基礎および本発明を様々に実施するために当業者を教えるための代表的な基礎として判断されるべきである。

40

【0023】

薄い金属部品の輪郭付けしかつ形状付けするためにピーニングハンマ若しくはより最近ではショットピーニング技術のような機械的な手段を用いることは、周知の概念である。圧縮応力が金属に「打ちこまれる」と、金属はこの応力を除去するために片側が伸長する。異なった伸長は金属面に湾曲を生じさせる。金属に圧縮応力を誘起する衝撃波を生成するためにレーザを用いるという概念は周知であり、かつ疲労亀裂および腐食に対する金属部品の抵抗力を改善するためにかなり広く行われるようになっている。

【0024】

レーザによって誘起される衝撃を金属の一方に適切に与えることにより正確で局所的な湾曲を達成することができるとともに、この衝撃をより広い領域にわたってより全般的に

50

与えることによってより大きなスケールの湾曲を達成することができる。本発明は、部品の正確な形状付けを達成するために特定のパラメータで作動するように設定された高エネルギーで、高い平均出力のレーザを用いる。このレーザピーニング成形加工は、形状付け若しくは輪郭付けが困難な（19. 1mm（3/4インチ）厚より大きな）厚い材料に特に有用である。平らな金属板の上面に対してレーザピーニング加工を実施した後は、金属板は所望の湾曲を獲得する。

【0025】

本発明の一実施例では、1パルスあたり25ジュール（1パルスあたり25～100ジュールが適切な範囲である）で、10～20ナノ秒のパルス幅および1ナノ秒未満の立ち上がり部分を有したレーザを使用する。近視野像が（6ミリ×6ミリから3ミリ×3ミリの範囲の）スポットサイズで（材料の層上で）結像するように投影されると、60～200ジュール／平方センチのエネルギー流束を与える。金属はレーザ光線を吸収する（典型的には約200ミクロン厚のポリビニルアセテート樹脂）材料の層で覆われる。典型的にフローノズルからの水の薄膜層である約1ミリ厚のタンパ層が典型的に吸収材料上に流され、かつレーザ光線が照射される。ラスタ走査式にレーザパルスを連続して当てることにより、照射された表面に圧縮応力が誘起される。ラスタ走査パターンを達成するために、レーザ光線若しくは金属部品を動かすことができる。この応力は金属の最上層に歪を生じさせて材料に湾曲を与える。各局所領域に与えられる圧縮応力の強度および深さは、レーザのエネルギー、レーザパルスの照射形状とオーバーラップ、各領域に負荷されるパルス幅およびパルス数を選択することによって制御することができる。2次元の湾曲は、ピーニング成形する領域と各座標方向に使用するパルスの強度および数とを選択的に制御することによって達成することができる。さらに、レーザピーニング成形パルスを当てる間に（金属の降伏限界以下である）曲げモーメントを機械的に誘起させることにより、任意の方向の変形を強めることができる。

【0026】

局所的に負荷された応力が直接に局所的な湾曲を生じさせるから、広い領域にわたって局所的な応力の衝撃を系統的に当てることによって、より広い領域にわたって部品を正確に輪郭付けすることができる。金属表面上へ「帽子型」の強度特性の各パルスが照射され、ピーニング成形後の金属において歪とそれに対応する応力とが得られる。金属表面に「帽子型」の強度プロファイルを有する正確に間隔が開けられた複数のラスタ走査パルスを照射することにより、一様なピーニング歪を作り出すことができる。レーザ光線の矩形輪郭と組み合わせられた複数のパルスプロファイルの正確な重複および帽子型の均一な強度特性は、ピーニング成形の後に滑らかな表面仕上げを生み出す。

【0027】

アブレーション層上に近視野像を投影するために光学的な設備が用いられる。近視野像は、発散レンズにおいて拡大されるとともに、第1収束レンズにおいてその光線が平行とされ、かつ別の収束レンズによって金属片上のアブレーション層上に結像するように投影される。吸収層上へのレーザ光線の近視野像の結像（投影）は、一様な強度特性を生じさせるとともに位相歪が強いホットスポットを生じさせることを防止する。

【0028】

名目的に平らな金属に所望の形状を与えるための方法と同様に、不必要な湾曲を有した部品を正確に真っ直ぐにするためにレーザピーニング技術を用いることができる。重要な実施例には、機械加工や、熱処理、硬化処理またはその他の製造工程の結果として不必要な湾曲が生じ得る機械的駆動軸が含まれる。不必要な湾曲の凹状の側面に選択的に圧縮応力を付加することにより、部品を系統的に真っ直ぐにすることができる。駆動軸における不必要な湾曲はこの駆動軸の短い側面上におけるピーニング成形によって除去される。この駆動軸には、吸収／アブレーション（ablation）層およびタンパ層（tamping layer）が与えられている。レーザ光線は軸の短い側面上に当てられ、かつ複数のパルスが照射されるにつれてシャフトは真っ直ぐとなる。

【0029】

2重にピーニングされた領域の稠密な列をそれらの間に広いスペースを開けて配置することにより、1次元方向に際立った湾曲が達成される。1次元方向のピーニングは1次元方向の湾曲を生じさせる。パネルは、湾曲した部分の裏側若しくは凹側において直交するY方向に沿って稠密にピーニングすることによりY方向に真っ直ぐとなる。最終的に、湾曲を有した軸（我々の実施例におけるX軸）回りの機械的な慣性モーメント若しくは剛性は、部品が湾曲するに連れて増加することが認められる。上述した2つのテクニックを適用することにより、増加した慣性モーメントは一次元方向の湾曲における好ましい形状の創成を助ける。最初のピーニングのパターンは、湾曲および慣性モーメントが対称に生じるように部品に対して対称的にかつ一様に与えられる。

【0030】

10

本発明の前述の記載は、例証および記載のために提示されており、かつ余すところがないこと若しくは本発明を開示された正味の形態に限定することを意図するものではない。多くの変更および変形物が上述の教示に照らして可能である。実施例は、本発明の原理およびその実質的な適用を最も良く説明することにより、様々な実施例において予期される特定の使用に適した様々な変更と共に当業者が本発明を最も良く利用できるようにするために選択されかつ記載されている。

フロントページの続き

(74)代理人 100105795

弁理士 名塚 聡

(74)代理人 100096895

弁理士 岡田 淳平

(74)代理人 100106655

弁理士 森 秀行

(74)代理人 100127465

弁理士 堀田 幸裕

(72)発明者 ロイド、ハッケル

アメリカ合衆国カリフォルニア州 リバーモア、シェリー、ウェイ、1072

(72)発明者 フリッツ、ハリス

アメリカ合衆国カリフォルニア州 ロックリン、ヘイブンハースト、サークル、5432

合議体

審判長 野村 亨

審判官 菅澤 洋二

審判官 藤井 眞吾

(56)参考文献 国際公開第97/41267 (WO, A1)

特開平11-135913 (JP, A)

特開平9-277069 (JP, A)

特開平11-162800 (JP, A)

特開平10-153750 (JP, A)

特開平1-313113 (JP, A)

米国特許第5730811 (US, A)

米国特許第4937421 (US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23K26/00, 26/14, 26/18

B21D11/20

C21D1/09