

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6159428号
(P6159428)

(45) 発行日 平成29年7月5日(2017.7.5)

(24) 登録日 平成29年6月16日(2017.6.16)

(51) Int.Cl.	F 1
B23K 26/364 (2014.01)	B23K 26/364
B23K 26/064 (2014.01)	B23K 26/064 A
B23K 26/08 (2014.01)	B23K 26/08 D

請求項の数 15 外国語出願 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2016-5742 (P2016-5742)	(73) 特許権者	390041542 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー アメリカ合衆国、ニューヨーク州 123 45、スケネクタディ、リバーロード、1 番
(22) 出願日	平成28年1月15日(2016.1.15)	(74) 代理人	100137545 弁理士 荒川 智志
(65) 公開番号	特開2016-132035 (P2016-132035A)	(74) 代理人	100105588 弁理士 小倉 博
(43) 公開日	平成28年7月25日(2016.7.25)	(74) 代理人	100129779 弁理士 黒川 俊久
審査請求日	平成28年3月15日(2016.3.15)	(74) 代理人	100113974 弁理士 田中 拓人
(31) 優先権主張番号	14/599,612		
(32) 優先日	平成27年1月19日(2015.1.19)		
(33) 優先権主張国	米国(US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】レーザ加工システム及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ワークピース(12、112)をレーザ加工するための方法(200)であって、
250mmを超える長い焦点距離を有するF-レンズから、レンズの光軸から非垂直なビーム傾斜角で、シルクハット型プロファイル及び1度乃至3度未満の狭いビーム発散角を有するレーザビーム(28)を、少なくともX方向及びY方向に移動可能なステージ(60)上に配置されたワークピース(12、112)に向かって誘導するステップ(210)と、

誘導されたレーザビーム(28)をワークピース(12、112)に係合するステップ(220)と、

ワークピース(12、112)及び誘導されたレーザビーム(28)を互いにに対して移動させるステップ(230)と、

加工面を画成するために、誘導されたレーザビーム(28)でワークピース(12、112)の一部分を除去するステップ(240)と
 を含む方法(200)。

【請求項2】

誘導するステップ(210)は、加工面がZ方向に対してほぼ0度を有するように、3度~6度の非垂直なビーム傾斜角でレーザビーム(28)を誘導するステップを含む、請求項1に記載の方法(200)。

【請求項3】

誘導するステップ(210)は、420mmを超える長い焦点距離を有するF-レンズから誘導するステップを含む、請求項1に記載の方法(200)。

【請求項4】

レーザビーム(28)は、周辺部を有する使用可能な視野を規定するビーム傾斜角の範囲で誘導可能であり、

係合するステップ(220)は、誘導されたレーザビーム(28)の軸が使用可能な視野の周辺部から離間するように、誘導されたレーザビーム(28)を使用可能な視野に配置されたワークピース(12、112)に係合するステップを含み、

除去するステップ(240)は、加工面がZ方向に対してほぼ0度を有するように、誘導されたレーザビーム(28)を用いてワークピース(12、112)の一部分を除去するステップを含む、請求項1に記載の方法(200)。 10

【請求項5】

レーザビーム(28)は、周辺部を有する使用可能な視野を規定する光軸からビーム傾斜角の範囲で誘導可能であり、

係合するステップ(220)は、誘導されたレーザビーム(28)の軸が使用可能な視野の周辺部から15mm～30mm離間するように、誘導されたレーザビーム(28)を使用可能な視野に配置されたワークピース(12、112)に係合するステップを含み、

除去するステップ(240)は、加工面がZ方向に対してほぼ0度を有するように、誘導されたレーザビーム(28)を用いてワークピース(12、112)の一部分を除去するステップを含む、請求項1に記載の方法(200)。 20

【請求項6】

レーザビーム(28)は、周辺部を有する使用可能な視野を規定する光軸からビーム傾斜角の範囲で誘導可能であり、

係合するステップ(220)は、誘導されたレーザビーム(28)の軸が使用可能な視野の周辺部から離間するように、誘導されたレーザビーム(28)を使用可能な視野に配置されたワークピース(12、112)に係合するステップを含み、

除去するステップ(240)は、加工面がZ方向に対して負のテープを有するように、誘導されたレーザビーム(28)を用いてワークピース(12、112)の一部分を除去するステップを含む、請求項1に記載の方法(200)。

【請求項7】

レーザビーム(28)は、周辺部を有する使用可能な視野を規定する光軸からビーム傾斜角の範囲で誘導可能であり、

係合するステップ(220)は、誘導されたレーザビーム(28)の軸が使用可能な視野の周辺部から15mmの範囲内で離間するように、誘導されたレーザビーム(28)を使用可能な視野に配置されたワークピース(12、112)に係合するステップを含み、

除去するステップ(240)は、加工面がZ方向に対して負のテープを有するように、誘導されたレーザビーム(28)を用いてワークピース(12、112)の一部分を除去するステップを含む、請求項1に記載の方法(200)。

【請求項8】

誘導するステップ(210)は、シルクハット型プロファイル及び固定角の狭いビーム発散を有するレーザビーム(28)を誘導するステップを含み、 40

移動させるステップ(230)は、ステージ(60)をX方向及び/又はY方向に移動させるステップを含む、請求項1に記載の方法(200)。

【請求項9】

誘導するステップ(210)は、ガウス型プロファイルを有するレーザビーム(28)を、シルクハット型プロファイルを有する誘導されたレーザビーム(28)に変換するステップをさらに含む、請求項1に記載の方法(200)。

【請求項10】

変換するステップは、光ファイバ装置を通してガウス型プロファイルを有するレーザビーム(28)を通過させるステップを含む、請求項9に記載の方法(200)。 50

【請求項 1 1】

誘導されたレーザビーム(28)をワークピース(12、112)に係合するステップは、加工面の角度に基づいて使用可能な視野の中心からのシフト距離及び方向を決定し、加工すべきワークピース(12、112)の一部を使用可能な視野の中心から所定の距離及び方向に位置決めするためにステージ(60)を移動させるステップを含む、請求項1に記載の方法(200)。

【請求項 1 2】

ワークピース(12、112)をレーザ加工するためのレーザ加工システム(10)であって、レーザ加工システム(10)は、

ガウス型プロファイルを有するレーザビーム(28)を生成するように動作可能なレーザと、10

ガウス型プロファイルを有するレーザビーム(28)を、シルクハット型プロファイルを有するレーザビーム(28)に変換する変換器(30)と、

250mmを超える長い焦点距離を有するF-レンズと、

少なくともX方向及びY方向に移動可能な、ワークピース(12、112)を支持し移動させるように動作可能なステージ(60)と、

シルクハット型プロファイルを有するレーザビーム(28)を受け取り、ステージ(60)上のワークピース(12、112)に向かってレンズの光軸からある角度でF-レンズを通してレーザビーム(28)を誘導するビームステアリング装置(40)であって、レーザビーム(28)は、周辺部を有する使用可能な視野を規定するレンズの光軸からある範囲の角度にわたって誘導可能であり、1度乃至3度未満の狭いビーム発散角を有する、ビームステアリング装置(40)と、20

ステージ(60)及び/又はビームステアリング装置(40)の動作を制御して、F-レンズを通してシルクハット型プロファイルを有するレーザビーム(28)をワークピース(12、112)上に配向させ、加工面を画成するために誘導されたレーザビーム(28)によりワークピース(12、112)の一部分を除去するように動作可能なコントローラ(70)と

を備えるレーザ加工システム(10)。

【請求項 1 3】

ビームステアリング装置(40)は、加工面がZ方向に対してほぼ0度を有するように、3度~6度の非垂直なビーム傾斜角でレーザビーム(28)を誘導するように動作可能である、請求項1 2に記載のレーザ加工システム(10)。30

【請求項 1 4】

F-レンズの焦点距離は、420mmを超えるものを含む、請求項1 2に記載のレーザ加工システム(10)。

【請求項 1 5】

システム(10)は、加工面がZ方向に対して0度を有するように、誘導されたレーザビーム(28)の軸が使用可能な視野の周辺部から離間するように、誘導されたレーザビーム(28)を使用可能な視野に配置されたワークピース(12、112)に係合するように動作可能である、請求項1 2に記載のレーザ加工システム(10)。40

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本開示は、一般的には、レーザ加工に関し、より具体的には、0及び負のテーパ加工した切り込みを形成するために均一なビームプロファイル及び狭いビーム発散を有するレーザビームを用いたレーザ加工システム及び方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

レーザ加工では、レーザビーム発生装置は、加工されるワークピース上にレーザビームを誘導する光学系と組み合わせて使用される。ワークピース上でのレーザビームの衝突に50

より、ワークピース材料を局所的に溶融及び／又は気化させて、ワークピースに孔又は切り込みを生成又は延長させる。ワークピース上でのレーザビームの衝突点の位置は、レーザビーム及びワークピースの一方又は両方を移動させることにより制御することができ、それによって、孔又は切り込みの幾何学的形状を制御することができる。

【0003】

ワークピースのレーザ加工は、しばしば、テーパを示す切削形状に沿ったエッジを生成する。テーパのついたエッジを回避する1つの方法は、固定チルト角でスポット位置においてレーザビームを回転させる特別なトレバニングヘッドを使用することである。部品は、静止したままである。このような方法は、小さい孔の穿孔にのみ有効である。別のアプローチは、レーザビームと同じ入射角に維持しつつ、部品を物理的に回転させることであるが、これは0度のテーパの切り込みを実現するために高精度CNCステージ（通常4～5軸）及び高度な制御ソフトウェアを必要とする。10

【0004】

0度及び負のテーパ加工した切り込みを形成するための均一なビームプロファイル及び狭いビーム発散を有するレーザビームを用いたレーザ加工システム及び方法が必要とされている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】米国特許出願公開第2014/0263212号明細書20

【発明の概要】

【0006】

本開示は、第1の態様では、ワークピースをレーザ加工するための方法を提供する。本方法は、約250mmを超える長い焦点距離を有するF-レンズから、レンズの光軸から非垂直なビーム傾斜角で、シルクハット型プロファイル及び約1度～約3度の狭いビーム発散角を有するレーザビームを、少なくともX方向及びY方向に移動可能なステージ上に配置されたワークピースに向かって誘導するステップと、誘導されたレーザビームを使用可能な視野に配置されたワークピースに係合するステップと、ワークピース及び誘導されたレーザビームを互いに対し移動させるステップと、加工面を画成するために、誘導されたレーザビームでワークピースの一部分を除去するステップとを含む。30

【0007】

本開示は、第2の態様では、ワークピースをレーザ加工するためのレーザ微細加工システムを提供する。レーザ微細加工システムは、レーザと、変換器と、F-レンズと、ステージと、ビームステアリング装置と、コントローラとを含む。レーザは、ガウス型プロファイルを有するレーザビームを生成するように動作可能である。変換器は、ガウス型プロファイルを有するレーザビームをシルクハット型プロファイルを有するレーザビームに変換するように動作可能である。F-レンズは、約250mmを超える長い焦点距離を有する。ステージは、少なくともX方向及びY方向に移動可能なワークピースを支持し移動させるように動作可能である。ビームステアリング装置は、シルクハット型プロファイルを有するレーザビームを受け取り、ステージ上のワークピースに向かってレンズの光軸からある角度でF-レンズを通してレーザビームを誘導するように動作可能である。レーザビームは、周辺部を有する使用可能な視野を規定するレンズの光軸からある範囲の角度にわたって誘導可能であり、約1度～約3度の狭いビーム発散角を有する。コントローラは、ステージ及び／又はビームステアリング装置の動作を制御して、F-レンズを通してシルクハット型プロファイルを有するレーザビームをワークピース上に配向させ、加工面を画成するために誘導されたレーザビームによりワークピースの一部分を除去するように動作可能である。40

【0008】

本発明の上述した及び他の特徴、態様、並びに利点は、添付した図面と合わせて、本開示の様々な態様についての以下の詳細な説明から明らかになろう。50

【図面の簡単な説明】**【0009】**

【図1】ワークピースを加工するように動作可能な本発明の態様によるレーザ加工システムの模式図である。

【図2】シルクハット型プロファイルを有するレーザビームを用いる図1のレーザ加工システムを用いて作製した複数の加工された切り込みの側面断面図である。

【図3】ガウス型プロファイルを有するレーザビームを用いる従来技術のレーザ加工システムを用いて作製した複数の加工された切り込みの側面断面図である。

【図4】焦点距離の長いF - レンズを用いる図1のレーザ加工システムを用いて作製した複数の加工された切り込みの側面断面図である。 10

【図5】焦点距離の短いレンズを用いる従来技術のレーザ加工システムを用いて作製した複数の加工された切り込みの側面断面図である。

【図6】本開示の態様によるレーザ加工方法を示す図である。

【図7】本開示の態様によるレーザ加工方法を示す図である。

【図8】本開示の態様によるレーザ加工方法を示す図である。

【図9】本開示の態様による、ワークピースをレーザ加工するための方法のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】**【0010】**

以下に示す各実施形態は、本開示の特定の態様の説明を容易にするものであって、本開示の範囲を限定するものと解釈するべきではない。さらに、近似する文言は、本明細書及び特許請求の範囲の全体にわたってここで用いられるように、それが関連する基本的機能の変更をもたらすことなく許容範囲で変化することができる定量的表現を修飾するために適用することができる。したがって、例えば「およそ」という1つ又は複数の用語によって修飾される値は、指定された正確な値に限定されない。場合によっては、近似する文言は、値を測定するための機器の精度に対応してもよい。様々な実施形態の要素を導入する場合に、「1つの(a)」、「1つの(an)」、「前記(the)」及び「前記(said)」は1つ又は複数の要素があることを意味するものである。「備える(comprising)」、「含む(including)」、及び「有する(having)」という用語は、包括的なものであって、列挙された要素以外の付加的な要素があり得ることを意味している。本明細書で用いる「することができる(may)」及び「あってもよい(may be)」という用語は、一組の状況内での発生の可能性、指定された性質、特性もしくは機能の所有を示し、及び/又は修飾された動詞と関係する能力、性能、もしくは可能性のうちの1つ又は複数を表現することによって別の動詞を修飾する。したがって、「することができる(may)」及び「あってもよい(may be)」の使用は、修飾された用語が示された能力、機能、又は使用について、明らかに適切であるか、可能であるか、又は好適であることを示すが、いくつかの状況では、修飾された用語が適切でなかったり、可能でなかったり、又は好適でなかったりする場合があり得ることを考慮する。動作パラメータのいかなる例も、開示された実施形態の他のパラメータを排除するものではない。記載され、図示され、又はそうでなければ任意の特定の実施形態に関連して本明細書で開示された構成要素、態様、特徴、構成、配置、及び用途等は、本明細書に開示された他のいずれの実施形態にも同様に適用することができる。 30 40

【0011】

本開示は、とりわけ、レーザ加工システム、より具体的には、0又は負のテーパ加工した切り込みを実現するために小さいビーム傾斜角が要求されるので、より小さい発散及びより均一なプロファイルを有するレーザビームを用いるレーザ加工システムに対処し、それを向上させる。例えば、本開示の技術は、ガウス型ビームプロファイルを有するレーザビームをシルクハット型ビームプロファイルを有するレーザビームに変換して、シルクハット型レーザビームが長い焦点距離を有するF - レンズを通るようにすることを含む。以下に詳述するように、F - レンズからの誘導されたシルクハット型プロファイルのレ 50

レーザビームは、概ね狭い発散角と高い強度とを有する。さらに、F - レンズからの誘導されたシルクハット型プロファイルのレーザビームは、F - レンズの光軸に近くて、F レンズの使用可能な視野の周辺部から離間している0テーパの切り込みを形成するよう 10 に動作可能である。ライン切り込み及び溝付きスロットは、加工すべきワークピースを支持し移動させるための2次元ステージとの組み合わせで容易に実現することができる。レーザ加工のこのような技術によって、同技術を用いるシステムは、特殊なトレパニングヘッド又は高価な精密CNC機械を必要とする従来のレーザ加工に比べて安価になり得る。また、このような技術は、従来のレーザ加工処理と比較して、より少ない電力損失で動作可能とすることができる。さらに、このような技術は、セラミック母材の複合引張り試験片の切削に適する場合があり、シールスロットなどの他の形状にも適用することができる。

【0012】

図1は、0テーパ又は制御されたもしくは角度のついたテーパを有するワークピースを加工するように動作可能な本発明の態様によるレーザ加工システム10の模式図である。例えば、レーザ微細加工システム10は、一般に、レーザ20と、レーザビーム変換器30と、ビームステアリング装置40と、ビーム成形光学素子50と、ワークピース12を支持することができる可動ステージ60と、コントローラ70とを含むことができる。

【0013】

レーザ源は、選択されたワークピースに所望の加工作業を行うことに適合する十分なパワー、コヒーレンシ、パルス幅、パルス繰り返し時間、及び波長のレーザビームを生成することができる任意のタイプのレーザシステムであってもよい。例えば、レーザ源は、約0.1ワットから約20,000ワットまでのパワーを有する固体、CO₂、又はファイバーレーザであってもよい。当業者には理解されるように、レーザシステムで使用される光部品は、動作中にこれらの部品を損傷することを回避するように、レーザ源に動作可能に適合している。レーザ20は、断面においてガウス型プロファイル分布又は空間特性を有するレーザビーム22又はパルスを出射し、それは、変換器30で、断面においてシルクハット型プロファイル分布又は空間特性を有するレーザビーム24又はレーザパルスに変換又は再成形される。このようなシルクハット型プロファイルの強度プロファイルでは、ガウス型ビームの強度プロファイルと異なり、ビームの強度はビームの直径など断面全体にわたって比較的一定である。したがって、成形されたビームのエッジは、ビームの中心とほぼ同じ強度を有し、ビームのエッジにおける強度低下を低減する。ガウス型からシルクハット型への変換器は、伝送損失を最小限に抑えつつ、1次元又は2次元のシングルモードガウス型ビームプロファイルをフラットトップ型プロファイルに変換する光学装置であってもよい。変換器は、屈折素子、回折素子、光ファイバ、その他の動作可能な部品、及びこれらの組み合わせを用いることができる。

【0014】

ビームステアリング装置40は、シルクハット型プロファイル分布を有するレーザビーム24を受け取り、レーザビーム24をビーム成形光学素子50に向けてリダイレクトするための可動ミラー42を含むことができる。例えば、x-yチルトミラーは、加工するためのワークピース上にレーザスポットを位置決め又は走査するために使用することができる。ビームステアリング装置のミラーは、ビーム成形光学素子50の光軸Aに垂直な第1軸の周りに動的かつ往復的に傾斜可能であってもよい。また、ビームステアリング装置のミラーは、第1軸に垂直な第2軸の周りに動的かつ往復的に傾斜可能であってもよい。例えば、ビームステアリング装置は、x軸及びy軸にそれぞれ1つずつ配置された2つの検流計に基づくスキャナを含むことができ、検流計、ミラー（又は複数のミラー）、及びビームステアリング装置を制御するサーボドライバ基板を含んでもよい。

【0015】

ビーム成形光学素子50は、長い焦点距離を有するF - レンズを含むことができ、その焦点距離は、例えば約250mm超でもよいし、250mm超でもよいし、約250mm ~ 約420mmであってもよいし、約420mm超でもよいし、或いは420mm超で

10

20

30

40

50

もよい。ビームステアリング装置 40 とビーム成形光学素子 50 との組み合わせによって、ステージ 60 上に配置されたワークピース 12 向かうシルクハット型プロファイルを有する制御可能な誘導されたレーザビーム 28 が得られる。F - レンズは、平面上に画像を形成するためと、走査長さ x と走査又は傾斜角 θ の間の線形関係を提供するための両方のために、以下のいわゆる F - 条件に従って設計される。

【0016】

$$x = f \cdot \theta$$

走査長さ x は、単純に入射走査角 θ に焦点距離 f を乗じたものに等しい。すなわち、撮像面上のスポットの位置は、走査角に正比例する。これは、標準的な走査レンズに必要な複雑な電子的補正の必要性を取り除く。

10

【0017】

レーザビームは、集束レンズの中心を直接通過しない。代りに、レーザビームは、レンズの光軸 A に対して角度 α でレンズに入射する。レンズは、レーザビームを曲げて、ビームがレンズの中心軸に対してビーム傾斜角 β でワークピースに到達するようとする。ビーム傾斜角 β は、レンズの形状及びレーザビームとレンズの中心軸との間の距離に依存する。レーザビームと中心軸との間の距離を変化させると、ビーム傾斜角 β が変化する。一様では、レーザ加工中に、レーザビームはレンズの光軸から一定の距離を維持することができ、その結果、一定のビーム傾斜角 β が得られる。誘導されたレーザビーム 28 は、周辺部 P を有する視野 FOV の上にビーム成形光学素子 50 の中心光軸 A に対してビーム傾斜角 β で誘導することができる。

20

【0018】

ステージ 60 は、ワークピース 12 を保持して X 方向及び Y 方向に沿ってレーザビーム軸に対してワークピースを移動させるための移動制御装置（図示せず）を含むことができる。例えば、ステージは、X 軸リニアモータ及び Y 軸リニアモータを含むことができる。好適なステージは、直交する 3 軸（X、Y、及び Z）の平行移動及び 3 軸の周りの回転を含む 6 つまでの軸で移動可能とすることが理解されよう。

【0019】

コントローラ 70 は、プロセッサもしくはマイクロプロセッサ、1 つもしくは複数の入力及び出力装置、並びに 1 つもしくは複数のメモリを含む動作可能なコンピューティングユニットであってもよい。コントローラ 70 は、レーザ 20、ビームステアリング装置 40、ビーム成形光学素子 50、及びステージ 60 に動作可能に接続される。コントローラ 70 は、レーザビーム経路に沿ってレーザビーム又はパルスを出射するようにレーザを指示し、誘導されたレーザビームに対してワークピースを位置決めするためにビームステアリング光学素子とステージとを調整し、誘導されたレーザビームがワークピースと係合してレーザ加工を行うように動作可能である。コントローラからのコマンド信号は、一般に、メモリに記憶されたプログラミング命令に基づいて出力され、プログラミング命令の各自的機能は、コンピューティングユニットのロジックによって実行される。ビームステアリング装置などの種々の構成要素は、コントローラとの間でデータをやり取りするそれ自体のコントローラを含んでもよい。さらに、コントローラは、パーソナルコンピュータなどのコンピュータに組み込まれてもよい。

30

【0020】

図 2 は、本発明の態様による図 1 のシステムを用いたレーザ加工を示す図であり、レーザビーム又はパルスは、ビーム成形光学素子の垂直光軸 A に対して異なるビーム傾斜角 β でワークピース 12 に 3 つの切り込みを得るためのシルクハット型強度プロファイル分布を有する。図 3 は、ビーム成形光学素子の垂直光軸 A に対して異なるビーム傾斜角 β でワークピース 12 に 3 つの切り込みを得るためのガウス型強度プロファイル分布を有するレーザビーム又はパルスを用いたレーザ加工のための従来技術の方法を示す。図 2 と図 3 を比較して示すように、シルクハット型ビームプロファイルを用いることにより、ガウス型プロファイルを有するレーザビームを用いて作製された切り込み又は加工面のテーパ角 θ と比較して、加工された切り込み又は加工面のテーパ角 θ 1 (例えれば、約 3 度乃至約

40

2) と比較して、加工された切り込み又は加工面のテーパ角 θ 1 (例えれば、約 3 度乃至約

50

5度未満)が小さくなる。さらに、ガウス型強度分布を有するレーザビームを用いる場合のビーム傾斜角2と比較して、シルクハット型プロファイルを有するレーザビームを用いて0テーパの切り込みを実現するためには、より小さいビーム傾斜角1(例えば、約4度~約7度)が必要である。さらに、ビーム傾斜角及びテーパ角をより小さくすることにより、ガウス型強度分布プロファイルを有するレーザビームを用いた距離X2に比べて、例えば、走査ヘッド視野FOV(図1)の周辺部P(図1)の内側のより大きな領域内においてビーム成形光学素子の光軸Aから小さい距離X1で0テーパの切り込みを加工することができる。

【0021】

図4は、ビーム成形光学素子の垂直光軸Aに対して異なる角度で4つの切り込みを得るための長い有効焦点距離EFL1(例えば、約250mmより長い)を有するF-レンズなどのビーム成形光学素子50を用いる、本発明の態様による図1のシステムを用いたレーザ加工を示す。図5は、ビーム成形光学素子の垂直光軸Aに対して異なる角度で3つの切り込みを得るための短い有効焦点距離EFL2を有するビーム成形光学素子を用いたレーザビーム又はパルスを用いたレーザ加工のための従来技術の方法を示す。図4と図5とを比較して示されるように、焦点距離の長いF-レンズを用いることで、焦点距離の短いレンズのビーム発散角2と比較して、より小さいビーム発散角1(例えば約1度~約3度)が得られる。さらに、焦点距離の長いF-レンズを用いることにより、焦点距離の短いレンズを用いて加工された切り込み又は加工面のテーパ角4と比較して、加工された切り込み又は加工面のより小さなテーパ角度3(例えば、約3度乃至5度未満)が得られる。さらに、焦点距離の短いレンズを用いた場合のビーム傾斜角4と比較して、焦点距離が長いF-レンズを用いて0テーパの切り込みを実現するためには、より小さいビーム傾斜角3(例えば、約4度~約7度)が必要である。また、ビーム傾斜角をより小さくすることにより、例えば、走査ヘッド視野FOV(図1)の周辺部P(図1)の内側のより大きな領域内においてビーム成形光学素子の光軸Aからの距離X3で0テーパの切り込みを加工することができる。さらに、ビーム傾斜角及びテーパ角をより小さくすることにより、焦点距離の短いレンズを用いた距離X4に比べて、例えば、走査ヘッド視野FOV(図1)の周辺部P(図1)の内側のより大きな領域内においてビーム成形光学素子の光軸Aから小さい距離X3で0テーパの切り込みを加工することができる。言い換えれば、より小さいビーム発散角には、より小さいビーム傾斜角(3<4)が必要である。0テーパのためのより小さいビーム傾斜によって、走査ヘッド視野の周辺部の内側のより大きな領域内において加工が可能になる。

【0022】

本開示の態様による、図1のレーザ加工システムのさらなる実施形態は、長い有効焦点距離EFL1(例えば、約250mm・約420mm)を有するF-レンズなどのビーム成形光学素子と組み合わせて、シルクハット型強度プロファイル分布を有するレーザビーム又はパルスを用いることを含むことができる。このような構成によって、ガウス型強度分布プロファイルを有するレーザビーム及び焦点距離の短いレンズを用いる場合のビーム傾斜に比べて、0テーパの切り込みを実現するために必要となる、より小さいビーム傾斜角(例えば、約3度~約6度)が得られる。さらに、このような構成により、走査ヘッド視野の周辺部(例えば、周辺部から約15mm~約30mm)の内側のより大きな領域内で加工を可能にする0テーパのためのより小さいビーム傾斜が得られる。

【0023】

本開示の技術は、一般的に、レーザ加工中の切削面又は加工面のテーパを低減及び/又は制御することを可能にすることが理解されよう。具体的なレーザビームの入射角又は傾斜角は、0又はさらに負のテーパの切り込み角を有する形状を加工するために選択することができる。例えば、X-Y移動ステージを使用することによって、ワークピースの所望のレーザ加工形状をビーム成形光学素子の光学中心又は光軸から較正された距離にシフトさせて、所望のレーザ加工形状に対応して試料の厚さを貫通する0又はさらに負のテーパの切り込みを行うように、レーザビームを所望のビーム傾斜角で誘導することができる。

10

20

30

40

50

レーザ処理パラメータ及びシフト距離を制御することにより、異なる角度のテーパ（正から負まで）を実現することができる。

【0024】

図6～図8は、ワークピースの異なる方向又は形状のエッジに対してほぼ同一の加工テーパ角を実現するための本開示の態様による処理を模式的に示す。例えば、図6に示すように、ワークピース112をステージ60上に配置することができる。システム10（図1）は、ステージの中心軸Aから離れる特定の方向に各切削エッジをシフトさせるように動作可能にプログラムすることができる。最初に、この処理は、グリッドパターン（図6）を用いて全レーザ走査フィールドを較正し、第1の切削についてレーザ加工設定及び形状エッジ方向に基づいて要求される0又は特定のテーパ値の切り込みのシフト距離及び方向を決定し、図7に示すように、中心軸Aから所定の距離及び方向に加工エッジを移動させることを含むことができる。レーザ加工は、一部が静止状態（レーザを走査又は移動させる）で、又はステージ及びその上のワークピースを移動させることにより、エッジ113に対して行うことができる。その後、ワークピースを中心に戻して、第2の切削についてレーザ加工設定及び形状エッジ方向に基づいて要求される0又は特定のテーパ値の切り込みのシフト距離及び方向を決定し、図8に示すように、中心軸Aから所定の距離及び方向に加工エッジを移動させることができる。レーザ加工は、一部が静止状態（レーザを走査又は移動させる）で、又はステージ及びその上のワークピースを移動させることにより、エッジ114に対して行うことができる。この処理は、エッジ115及び116などのさらなるエッジ又は形状を加工するために繰り返すことができる。

10

20

【0025】

図9は、本開示の態様による、ワークピースをレーザ加工するための方法200のフローチャートを示す。方法200は、約250mmを超える長い焦点距離を有するF-レンズから、レンズの光軸から非垂直なビーム傾斜角で、シルクハット型プロファイル及び約1度乃至3度未満の狭いビーム発散角を有するレーザビームを、少なくともX方向及びY方向に移動可能なステージ上に配置されたワークピースに向かって誘導するステップ210を含む。ステップ220で、誘導されたレーザビームは、ワークピースに係合される。ステップ230で、ワークピース及び/又は誘導されたレーザビームを互いに対しても移動させ、ステップ240で、誘導されたレーザビームによりワークピースの一部分を除去して、加工面を画成する。

30

【0026】

1つの構成では、レーザビームは、固定された位置に誘導されて維持され、ステージが移動する。他の構成では、運動制御ステージ又はビームステアリング光学素子、或いはその両方を、ワークピースをレーザ加工するためにワークピースに対してレーザビーム経路を位置決めするために使用することができる。

【0027】

本開示の本レーザ加工処理は、例えば、セラミック、金属、ガラス、宝石、ゴム、ポリマー、及び複合材料のほぼ任意の種類のワークピース材料で使用することができる。以上説明したように、本開示は、走査ヘッドによるレーザ加工において2D形状の切削又はスロット溝加工のテーパを制御するように動作可能な方法を提供する。部品の1つもしくは複数の、又は全部のエッジについて、0又はさらに負のテーパを実現することができる。

40

【0028】

本開示は、より大きなビーム発散、より短い焦点深度、及びより大きなパワー空間分布を用いる現行のレーザ加工と比較して、例えばCMC引張り試験片の切削などの多くの用途の部品の上部と底部との間の良好な公差管理を可能にすることができる。

【0029】

したがって、本技術の利点は、物理的傾斜又は特殊トレバニング光学系を用いずに、部品サイズの公差要件を満たすように、レーザ加工CMC又は他の材料などの0又は所望のテーパでレーザ加工することを可能にすることを含むことができる。また、本技術は、標準的な走査ヘッド及び2軸平面運動ハードウェアだけを使用して、より安価でより簡素な

50

テーパ制御を提供することができる。また、例えば、特別なトレパニングヘッドを使用する場合よりも、処理速度はより速く、焦点距離の長いF - レンズを通過する際のパワー損失はより小さくなり得る。本技術は、シールスロット加工などのC M C部品の様々な形状に適用可能であり得る。

【0030】

上記の説明は例示するものであって、限定することを意図したものではないことを理解すべきである。添付の特許請求の範囲及びその均等物によって定義される本開示の一般的な趣旨及び範囲から逸脱することなく、当業者は多くの変更及び修正を行うことができる。例えば、上記の実施形態（及び／又はその態様）は、互いに組み合わせて用いることができる。さらに、本発明の範囲を逸脱せずに特定の状況又は材料を様々な実施形態の教示に適応させるために、多くの修正を行うことができる。本明細書に記載した材料の寸法及び種類は、様々な実施形態のパラメータを規定するためのものであるが、それらは決して限定的なものではなく、単に例示的なものにすぎない。多くの他の実施形態は、上記の説明を検討することにより当業者には明らかであろう。したがって、様々な実施形態の範囲は、添付した特許請求の範囲に与えられる均等物の完全な範囲と共に、添付した特許請求の範囲によって決定されなければならない。添付した特許請求の範囲において、「含む（including）」及び「そこにおいて（in which）」という用語は、それぞれ「含む（comprising）」及び「そこにおいて（wherein）」という用語の平易な英語に相当するものとして用いられる。さらに、以下の特許請求の範囲において、「第1の」、「第2の」、及び「第3の」等の用語は、単にラベルとして用いており、それらの対象物に対して数の要件を課すことを意図するものではない。また、結合された、接続された、接合された、封止された等の用語と併用された「動作可能に」という用語は、本明細書において、分離した個別の構成要素が直接的又は間接的に結合されることによる接続と、構成要素が一体に（すなわち、ワンピースに、一体に、又はモノリシックに）形成されることによる接続と、の両方をさすものとして使用される。さらに、以下の特許請求の範囲の限定は、そのような特許請求の範囲の限定が「そのための手段（means for）」の後にさらなる構造のない機能についての記載が続くフレーズを明白に用いない限り、そしてそうするまでは、ミーンズプラスファンクション形式で書かれたものではなく、米国特許法第112条第6項に基づいて解釈されることを意図するものではない。任意の特定の実施形態に基づいて、上述したすべてのこののような対象物又は利点が必ずしも達成できるわけではないことを理解すべきである。したがって、例えば、当業者には明らかなように、本明細書に記載されたシステム及び技術は、本明細書で教示又は示唆されるように他の目的又は利点を必ずしも達成することなく、本明細書で教示される1つの利点もしくは1群の利点を達成又は最適化する態様で具現化又は実施してもよい。

【0031】

本開示について限られた数の実施形態にのみ関連して詳述しているが、本開示がこのような開示された実施形態に限定されないことが直ちに理解されるべきである。むしろ、これまでに記載されていない任意の数の変形、変更、置換又は等価な構成を組み込むために、本開示を修正することができ、それらは本開示の趣旨と範囲に相応している。さらに、本開示の様々な実施形態について記載しているが、本開示の態様は記載した実施形態のうちのいくつかのみを含んでもよいことを理解すべきである。したがって、本開示は、上記の説明によって限定されるとみなされるのではなく、添付した特許請求の範囲によって限定されるだけである。

【0032】

この明細書は、最良の形態を含む実施例を用いており、また、いかなる当業者も本開示を実施することができるように実施例を用いており、任意のデバイス又はシステムを製作し使用し、任意の組み込まれた方法を実行することを含んでいる。本開示の特許され得る範囲は、請求項によって定義され、当業者が想到する他の実施例を含むことができる。このような他の実施例が請求項の字義通りの文言と異なる構造要素を有する場合、又は、それらが請求項の字義通りの文言と実質的な差異がない等価な構造要素を含む場合には

10

20

30

40

50

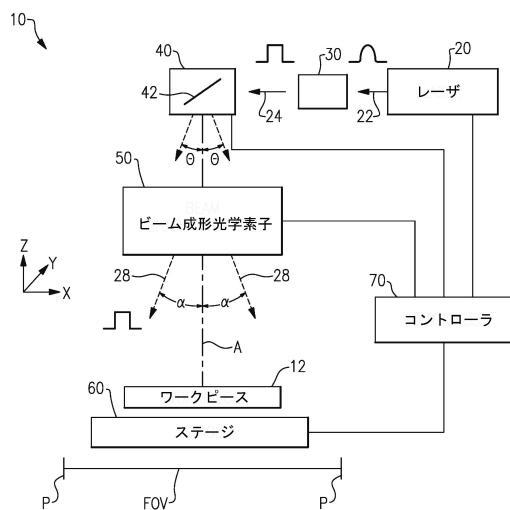
、このような他の実施例は特許請求の範囲内であることを意図している。

【符号の説明】

【0033】

- 10 レーザ加工システム
- 12 ワークピース
- 20 レーザ
- 22 レーザビーム
- 24 レーザビーム
- 28 誘導されたレーザビーム
- 30 レーザビーム変換器
- 40 ビームステアリング装置
- 42 可動ミラー
- 50 ビーム成形光学素子
- 60 可動ステージ
- 70 コントローラ
- 112 ワークピース
- 113 エッジ
- 114 エッジ
- 115 エッジ
- 116 エッジ
- 200 方法
- 210 ステップ
- 220 ステップ
- 230 ステップ
- 240 ステップ

【図1】



【図2】

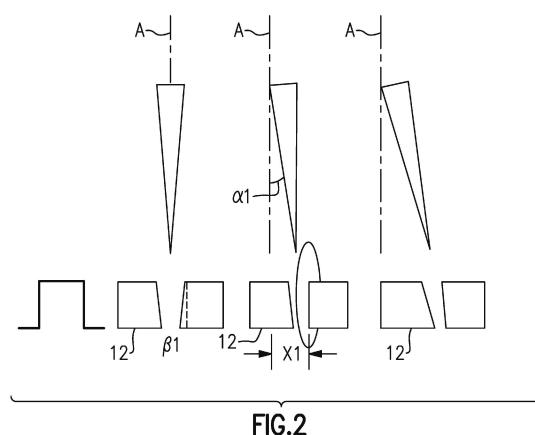
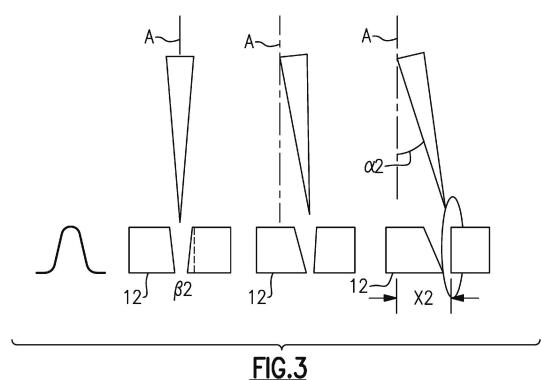


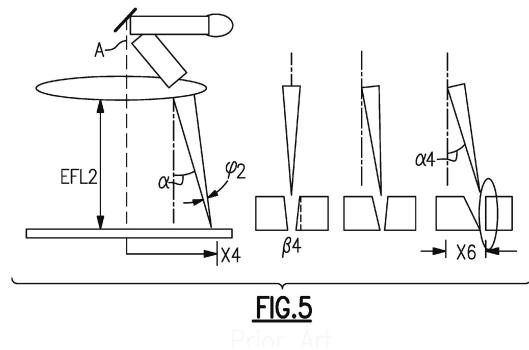
FIG.2

FIG.1

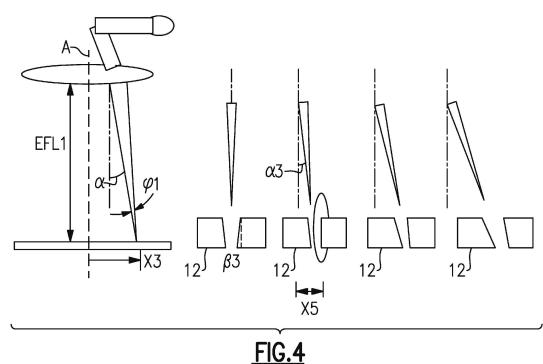
【図3】



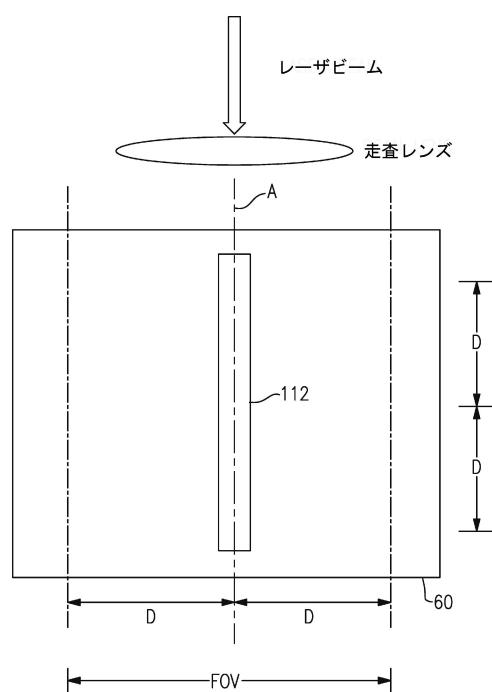
【図5】



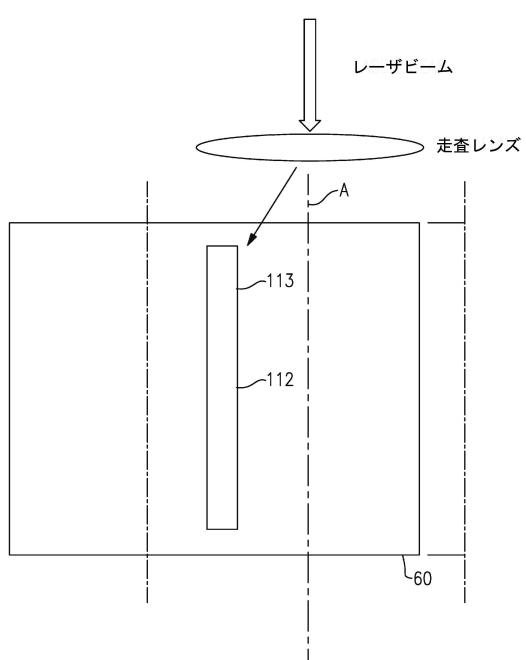
【図4】



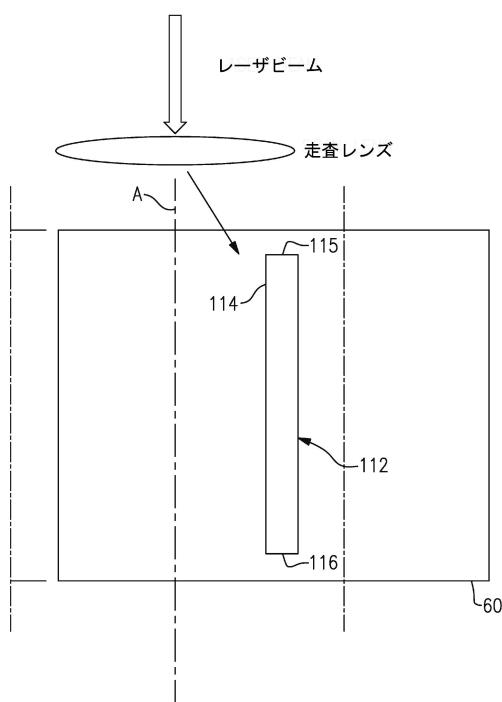
【図6】



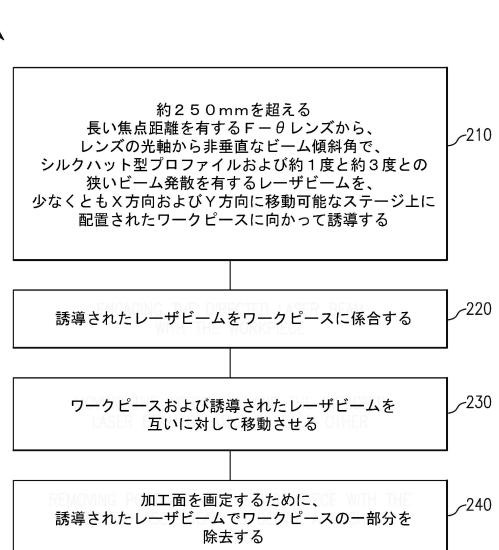
【図7】



【図8】

FIG.8

【図9】

FIG.9

フロントページの続き

(72)発明者 ホンチャン・チェン

アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、ニスカユナ、ワン・リサーチ・サークル

(72)発明者 スティーブン・ロバート・ハヤシ

アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、ニスカユナ、ワン・リサーチ・サークル

(72)発明者 シイ・ツアン

アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、ニスカユナ、ワン・リサーチ・サークル

審査官 篠原 将之

(56)参考文献 特開2012-071314(JP,A)

特開2013-082006(JP,A)

特開2009-208092(JP,A)

特開2014-226706(JP,A)

特開2009-297781(JP,A)

特開平07-009172(JP,A)

米国特許出願公開第2004/0188401(US,A1)

米国特許出願公開第2009/0057282(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23K 26/00 - 26/70