

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-1059

(P2017-1059A)

(43) 公開日 平成29年1月5日(2017.1.5)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>B 2 3 K 26/067 (2006.01)</b>	B 2 3 K 26/067	4 E 1 6 8
<b>B 2 3 K 26/38 (2014.01)</b>	B 2 3 K 26/38	A
<b>B 2 3 K 26/142 (2014.01)</b>	B 2 3 K 26/142	
<b>B 2 3 K 26/064 (2014.01)</b>	B 2 3 K 26/064	K

審査請求 有 請求項の数 4 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2015-117126 (P2015-117126)	(71) 出願人	390014672 株式会社アマダホールディングス 神奈川県伊勢原市石田200番地
(22) 出願日	平成27年6月10日 (2015.6.10)	(74) 代理人	100083806 弁理士 三好 秀和
(11) 特許番号	特許第6025917号 (P6025917)	(74) 代理人	100100712 弁理士 岩▲崎▼ 幸邦
(45) 特許公報発行日	平成28年11月16日 (2016.11.16)	(74) 代理人	100101247 弁理士 高橋 俊一
		(74) 代理人	100095500 弁理士 伊藤 正和
		(74) 代理人	100098327 弁理士 高松 俊雄
		(72) 発明者	迫 宏 神奈川県伊勢原市石田200番地 最終頁に続く

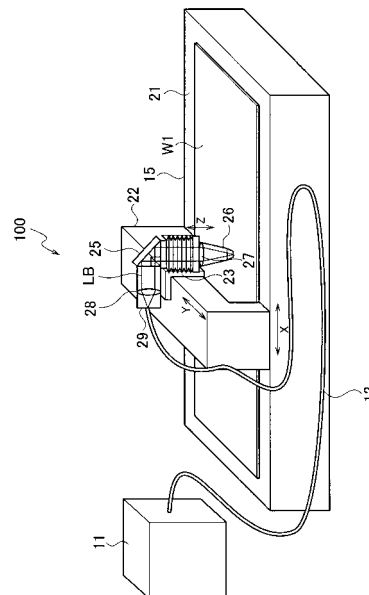
(54) 【発明の名称】 レーザ切断方法

(57) 【要約】

【課題】切断面の品質を従来よりも改善することができる、ファイバレーザ発振器またはDDL発振器を用いたレーザ加工機を提供する。

【解決手段】レーザ加工機100は、レーザ発振器11を備える。レーザ発振器11は、波長が1μm帯またはそれより短い波長帯のビームを励起する。1本のプロセスファイバ12は、レーザ発振器11より射出されたレーザを伝送する。ファセットレンズよりなる集光レンズ27は、集光光学要素の一例である。集光光学要素は、プロセスファイバ12より射出されたレーザが板材W1(被加工材)に照射されるときに、レーザの光軸の半径0.5mmの単位面積内の板材W1を溶融し始めた時点から溶融し終える時点までの単位時間内に、レーザを単位面積内の複数の箇所に集光させる。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

波長が  $1 \mu\text{m}$  帯またはそれより短い波長帯のビームを励起するレーザ発振器と、  
前記レーザ発振器より射出されたレーザを伝送する 1 本のプロセスファイバと、  
前記プロセスファイバより射出されたレーザが被加工材に照射されるときに、レーザの  
光軸の半径  $0.5 \text{ mm}$  の単位面積内の前記被加工材を溶融し始めた時点から溶融し終える  
時点までの単位時間内に、レーザを前記単位面積内の複数の箇所を集光させる集光光学要  
素と、  
を備えることを特徴とするレーザ加工機。

## 【請求項 2】

前記集光光学要素は、それぞれの集光点でのレーザ出力を個別に制御しないことを特徴  
とする請求項 1 記載のレーザ加工機。

## 【請求項 3】

前記レーザ発振器より射出されたレーザを平行光化するコリメートレンズをさらに備え  
、  
前記集光光学要素は、前記コリメートレンズによって平行光化されたレーザを前記被加  
工材に集光させるファセットレンズであることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のレ  
ーザ加工機。

## 【請求項 4】

前記ファセットレンズは、レーザの入射面に、四角形以上の多角形の複数の平面が形成  
されていることを特徴とする請求項 3 記載のレーザ加工機。

## 【請求項 5】

前記集光光学要素は、前記レーザ発振器より射出されたレーザをビーム伝送用ファイバ  
のファイバコアの複数の箇所を集光させることにより、レーザを前記単位面積内の複数の  
箇所を集光させることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のレーザ加工機。

## 【請求項 6】

前記集光光学要素は、回折光学素子であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の  
レーザ加工機。

## 【請求項 7】

前記集光光学要素は、レーザの光軸に対して垂直方向に移動自在の集光レンズであるこ  
とを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のレーザ加工機。

## 【請求項 8】

波長が  $1 \mu\text{m}$  帯またはそれより短い波長帯のビームを励起するレーザ発振器によってレ  
ーザを射出させ、  
前記レーザ発振器より射出されたレーザ 1 本のプロセスファイバで伝送し、  
前記プロセスファイバより射出されたレーザが被加工材に照射されるときに、レーザの  
光軸の半径  $0.5 \text{ mm}$  の単位面積内の前記被加工材を溶融し始めた時点から溶融し終える  
時点までの単位時間内に、レーザを前記単位面積内の複数の箇所を集光させて、前記被加  
工材を切断する  
ことを特徴とするレーザ切断方法。

## 【請求項 9】

レーザを前記単位面積内の複数の箇所を集光させる際に、それぞれの集光点でのレーザ  
出力を個別に制御しないことを特徴とする請求項 8 記載のレーザ切断方法。

## 【請求項 10】

レーザによって前記被加工材を溶融させる際に、前記被加工材にアシストガス圧  $2.0$   
 $\text{MPa}$  以上  $3.0 \text{ MPa}$  以下のアシストガスを供給することを特徴とする請求項 8 または  
9 に記載のレーザ切断方法。

## 【請求項 11】

ビームパラメータ積を  $23 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$  以上  $28 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$  以下とすることを特  
徴とする請求項 8 ~ 10 のいずれか 1 項に記載のレーザ切断方法。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザ加工機及びレーザ切断方法に関する。

【背景技術】

【0002】

レーザ加工機が材料を切断加工するレーザを射出するレーザ発振器としては、CO<sub>2</sub>レーザ発振器、YAGレーザ発振器、ディスクレーザ発振器、ファイバレーザ発振器、ダイレクトダイオードレーザ発振器（DDL発振器）等の各種の発振器がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】国際公開第2013/058072号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

CO<sub>2</sub>レーザ発振器は装置が大型化し、高コストである。これに対して、ファイバレーザ発振器やDDL発振器は装置を小型化することができ、低ランニングコストであることから、近年、レーザ加工機においてファイバレーザ発振器やDDL発振器が広く用いられるようになってきた。

【0005】

金属の板材（特にステンレスやアルミニウム）を窒素ガスなどのアシストガスで無酸化切断する場合に、CO<sub>2</sub>レーザ発振器を用いたレーザ加工機で切断加工した場合と、ファイバレーザ発振器またはDDL発振器を用いたレーザ加工機で切断加工した場合とで比較すると、後者よりも前者の方が切断面粗さが小さく、切断面の品質が優れる。しかも、前者では板厚に関係なく切断面粗さがほぼ一定であるのに対し、後者では板厚が厚くなるほど切断面粗さが悪化する。

【0006】

さらに、ファイバレーザ発振器またはDDL発振器を用いたレーザ加工機で例えば板厚3mm以上の厚板を切断加工すると、ドロスが発生して板材に付着し、切断面の品質が悪化する。

【0007】

このように、ファイバレーザ発振器やDDL発振器は小型で低ランニングコストであるが、切断面の品質が良好でないという短所を有するため、高品質な切断面が求められる場合には、ファイバレーザ発振器やDDL発振器を用いることができない。

【0008】

ファイバレーザ発振器やDDL発振器は、波長が1μm帯またはそれより短い波長帯のビームを励起するレーザ発振器の好適な例である。ファイバレーザ発振器とDDL発振器の代わりにディスクレーザ発振器を用いた場合も同様である。

【0009】

そこで、波長が1μm帯またはそれより短い波長帯のビームを励起するレーザ発振器を用いても、切断面の品質が良好なレーザ加工機の登場が切に望まれている。

【0010】

本発明は、切断面の品質を従来よりも改善することができる、波長が1μm帯またはそれより短い波長帯のビームを励起するレーザ発振器を用いたレーザ加工機及びレーザ切断方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明は、上述した従来技術の課題を解決するため、波長が1μm帯またはそれより短い波長帯のビームを励起するレーザ発振器と、前記レーザ発振器より射出されたレーザ

10

20

30

40

50

を伝送する 1 本のプロセスファイバと、前記プロセスファイバより射出されたレーザーが被加工材に照射されるときに、レーザーの光軸の半径 0.5 mm の単位面積内の前記被加工材を溶融し始めた時点から溶融し終える時点までの単位時間内に、レーザーを前記単位面積内の複数の箇所に集光させる集光光学要素とを備えることを特徴とするレーザー加工機を提供する。

【0012】

上記のレーザー加工機において、前記集光光学要素は、それぞれの集光点でのレーザー出力を個別に制御しないことが好ましい。

【0013】

上記のレーザー加工機において、前記レーザー発振器より射出されたレーザーを平行光化するコリメートレンズをさらに備え、前記集光光学要素を、前記コリメートレンズによって平行光化されたレーザーを前記被加工材に集光させるファセットレンズとした構成とすることができる。

10

【0014】

このとき、前記ファセットレンズは、レーザーの入射面に、四角形以上の多角形の複数の平面が形成されていることが好ましい。

【0015】

上記のレーザー加工機において、前記集光光学要素は、前記レーザー発振器より射出されたレーザーをビーム伝送用ファイバのファイバコアの複数の箇所に集光させることにより、レーザーを前記単位面積内の複数の箇所に集光させるであってもよい。

20

【0016】

上記のレーザー加工機において、前記集光光学要素は、回折光学素子であってもよく、レーザーの光軸に対して垂直方向に移動自在の集光レンズであってもよい。

【0017】

また、本発明は、上述した従来の技術の課題を解決するため、波長が 1 μm 帯またはそれより短い波長帯のビームを励起するレーザー発振器によってレーザーを射出させ、前記レーザー発振器より射出されたレーザー 1 本のプロセスファイバで伝送し、前記プロセスファイバより射出されたレーザーが被加工材に照射されるときに、レーザーの光軸の半径 0.5 mm の単位面積内の前記被加工材を溶融し始めた時点から溶融し終える時点までの単位時間内に、レーザーを前記単位面積内の複数の箇所に集光させて、前記被加工材を切断することを特徴とするレーザー切断方法を提供する。

30

【0018】

上記のレーザー切断方法において、レーザーを前記単位面積内の複数の箇所に集光させる際に、それぞれの集光点でのレーザー出力を個別に制御しないことが好ましい。

【0019】

上記のレーザー切断方法において、レーザーによって前記被加工材を溶融させる際に、前記被加工材にアシストガス圧 2.0 MPa 以上 3.0 MPa 以下のアシストガスを供給することが好ましい。

【0020】

上記のレーザー切断方法において、ビームパラメータ積を 23 mm・mrad 以上 28 mm・mrad 以下とすることが好ましい。

40

【発明の効果】

【0021】

本発明のレーザー加工機及びレーザー切断方法によれば、波長が 1 μm 帯またはそれより短い波長帯のビームを励起するレーザー発振器を用いながら、切断面の品質を従来よりも改善することができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図 1】一実施形態のレーザー加工機の全体的な構成例を示す斜視図である。

【図 2】図 1 中のレーザー発振器 11 をファイバレーザー発振器 11F で構成した場合の概略

50

的な構成を示す図である。

【図 3】図 1 中のレーザ発振器 1 1 をダイレクトダイオードレーザ発振器 1 1 D で構成した場合の概略的な構成を示す図である。

【図 4】板材の切断フロントに入射されるレーザの入射角を説明するための断面図である。

【図 5】レーザ発振器 1 1 として  $CO_2$  レーザ発振器とファイバレーザ発振器 1 1 F と DDL 発振器 1 1 D とを用いたときの、切断フロントに対する入射角とレーザの吸収率との関係を示す特性図である。

【図 6】レーザが切断フロントの全体に入射している状態を示す概念図である。

【図 7】レーザ発振器 1 1 として  $CO_2$  レーザ発振器とファイバレーザ発振器 1 1 F と DDL 発振器 1 1 D とを用いたときの、板厚  $t$  と吸収率最大集光直径  $d_{max}$  との関係を示す特性図である。

【図 8】板材を切断する切断速度  $V$  を説明するための概念的な斜視図である。

【図 9】集光直径  $d$  の計算方法を説明するための図である。

【図 10】レーザ発振器 1 1 としてファイバレーザ発振器 1 1 F または DDL 発振器 1 1 D を使い、入射角  $78, 80, 82.5, 83, 85.6, 87$  度それぞれの、吸収率  $A_b$ 、吸収率最大集光直径  $d_{max}$ 、切断速度規定パラメータ  $A_b / d_{max}$  をまとめて示す図である。

【図 11】レーザ発振器 1 1 としてファイバレーザ発振器 1 1 F または DDL 発振器 1 1 D を使い、入射角  $78, 80, 82.5, 83, 85.6, 87$  度それぞれで、複数の板厚  $t$  と吸収率最大集光直径  $d_{max}$  との関係を示す特性図である。

【図 12】ファセットレンズの一構成例を示す平面図である。

【図 13】吸収率最大集光直径  $d_{max}$  と切断速度規定パラメータ  $A_b / d_{max}$  との関係と、吸収率最大集光直径  $d_{max}$  と切断速度  $V$  との関係を示す特性図である。

【図 14】吸収率最大集光直径  $d_{max}$  と切断面粗さ  $R_a$  との関係と、吸収率最大集光直径  $d_{max}$  と切断速度  $V$  との関係を示す特性図である。

【図 15】一実施形態のレーザ加工機と比較例のレーザ加工機それぞれの、板厚  $t$  と切断面粗さ  $R_a$  との関係を示す特性図である。

【図 16】DOE レンズを概略的に示す平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、一実施形態のレーザ加工機及びレーザ切断方法について、添付図面を参照して説明する。本実施形態においては、波長が  $1 \mu m$  帯またはそれより短い波長帯のビームを励起するレーザ発振器として、ファイバレーザ発振器または DDL 発振器を用いた場合を説明する。

【0024】

図 1 において、レーザ加工機 100 は、レーザ LB を生成して射出するレーザ発振器 11 と、レーザ加工ユニット 15 と、レーザ LB をレーザ加工ユニット 15 へと伝送するプロセスファイバ 12 とを備える。レーザ加工機 100 は、レーザ発振器 11 より射出されたレーザ LB によって、を切断加工する。

【0025】

レーザ発振器 11 は、ファイバレーザ発振器またはダイレクトダイオードレーザ発振器（以下、DDL 発振器）である。プロセスファイバ 12 は、レーザ加工ユニット 15 に配置された X 軸及び Y 軸のケーブルダクト（図示せず）に沿って装着されている。

【0026】

レーザ加工ユニット 15 は、被加工材である板材 W1 を載せる加工テーブル 21 と、加工テーブル 21 上で X 軸方向に移動自在である門型の X 軸キャリッジ 22 と、X 軸キャリッジ 22 上で X 軸に垂直な Y 軸方向に移動自在である Y 軸キャリッジ 23 とを有する。また、レーザ加工ユニット 15 は、Y 軸キャリッジ 23 に固定されたコリメータユニット 29 を有する。

10

20

30

40

50

## 【0027】

コリメータユニット29は、プロセスファイバ12の出力端から射出されたレーザーLBを平行光化して略平行光束とするコリメートレンズ28と、略平行光束に変換されたレーザーLBをX軸及びY軸に垂直なZ軸方向下方に向けて反射させるベンドミラー25とを有する。また、コリメータユニット29は、ベンドミラー25で反射したレーザーLBを集光させる集光レンズ27と、加工ヘッド26とを有する。

## 【0028】

コリメートレンズ28、ベンドミラー25、集光レンズ27、加工ヘッド26は、予め光軸が調整された状態でコリメータユニット29内に固定されている。焦点位置を補正するために、コリメートレンズ28がX軸方向に移動するように構成されていてもよい。

10

## 【0029】

コリメータユニット29は、Y軸方向に移動自在のY軸キャリッジ23に固定され、Y軸キャリッジ23は、X軸方向に移動自在のX軸キャリッジ22に設けられている。よって、レーザー加工ユニット15は、加工ヘッド26から射出されるレーザーLBを板材W1に照射する位置を、X軸方向及びY軸方向に移動させることができる。

## 【0030】

以上の構成によって、レーザー加工機100は、レーザー発振器11より射出されたレーザーLBをプロセスファイバ12によってレーザー加工ユニット15へと伝送させ、板材W1に照射して板材W1を切断加工することができる。

## 【0031】

なお、板材W1を切断加工するとき、板材W1には溶融物を除去するためのアシストガスが噴射される。図1では、アシストガスを噴射する構成については図示を省略している。

20

## 【0032】

図2は、レーザー発振器11をファイバレーザー発振器11Fで構成した場合の概略的な構成を示している。図2において、複数のレーザーダイオード110はそれぞれ波長のレーザーを射出する。励起コンパイナ111は、複数のレーザーダイオード110より射出されたレーザーを空間ビーム結合させる。

## 【0033】

励起コンパイナ111より射出されたレーザーは、2つのファイバブラッググレーティング(FBG)112, 114間のYbドープファイバ113に入射される。Ybドープファイバ113とは、コアに希土類のYb(イッテルビウム)元素が添加されたファイバである。

30

## 【0034】

Ybドープファイバ113に入射されたレーザーは、FBG112, 114間で往復を繰り返して、FBG114からは、波長とは異なる概ね1060nm~1080nmの波長(1µm帯)のレーザーが射出される。FBG114から射出されたレーザーは、フィーディングファイバ115及びビームカップラ116を介してプロセスファイバ12に入射される。ビームカップラ116は、レンズ1161, 1162を有する。

## 【0035】

なお、プロセスファイバ12は1本の光ファイバで構成されており、板材W1に照射されるまで、プロセスファイバ12で伝送されるレーザーが他のレーザーと合成されることはない。

40

## 【0036】

図3は、レーザー発振器11をDDL発振器11Dで構成した場合の概略的な構成を示している。図3において、複数のレーザーダイオード117はそれぞれ互いに異なる波長1~nのレーザーを射出する。波長1~n(1µm帯より短い波長帯)は、例えば910nm~950nmである。

## 【0037】

オプティカルボックス118は、複数のレーザーダイオード117より射出された波長

50

1 ~ n のレーザを空間ビーム結合させる。オプティカルボックス 118 は、コリメートレンズ1181と、グレーティング1182と、集光レンズ1183とを有する。

【0038】

コリメートレンズ1181は、波長 1 ~ n のレーザを平行光化する。グレーティング1182は、平行光化されたレーザの方向を 90 度曲げ、集光レンズ1183に入射させる。集光レンズ1183は、入射されたレーザを集光してプロセスファイバ 12 に入射される。

【0039】

なお、プロセスファイバ 12 は 1 本の光ファイバで構成されており、板材 W1 に照射されるまで、プロセスファイバ 12 で伝送されるレーザが他のレーザと合成されることはない。

10

【0040】

次に、ファイバレーザ発振器 11F または DDL 発振器 11D を用いても、板材 W1 の切断面の品質を良好にするためにはどのようにすればよいかを考察する。

【0041】

図 4 は、図の上方から照射されたレーザが板材 W1 の切断フロント W1cf に入射して反射する状態を概念的に示している。レーザの入射方向と、切断フロント W1cf に直交する破線で示す方向とのなす角度がレーザの入射角  $\theta$  である。切断フロント W1cf が理想的な平面であるとすれば、板材 W1 の底面と切断フロント W1cf とのなす角度も入射角となる。

【0042】

図 5 は、レーザ発振器 11 として CO<sub>2</sub> レーザ発振器とファイバレーザ発振器 11F と DDL 発振器 11D とを用いたときの、入射角  $\theta$  とレーザの吸収率との関係を示している。ここでは、板材 W1 を鉄系材としたときの特性図を示している。

20

【0043】

図 5 に示すように、CO<sub>2</sub> レーザ発振器を用いた場合には、入射角  $\theta$  が 87 度のときに吸収率が最大となる。ファイバレーザ発振器 11F または DDL 発振器 11D を用いた場合には、入射角  $\theta$  が 77.5 度のときに吸収率が最大となる。

【0044】

図 6 に示すように、板材 W1 の板厚を t、レーザの集光直径を d、レーザと切断フロント W1cf とのなす角度を  $\theta$  とし、ビーム直径 d のレーザが切断フロント W1cf の全体に入射すると仮定する。このとき、式 (1) が成立する。なお、 $\theta = 90^\circ$  である。

30

$$d = t \cdot \tan \theta \quad \dots (1)$$

【0045】

図 5 に基づき、式 (1) を用いて、板厚 t と、吸収率が最大となる集光直径 damax (以下、吸収率最大集光直径 damax) との関係性を求めると、図 7 のようになる。図 7 より、レーザ発振器 11 としてファイバレーザ発振器 11F または DDL 発振器 11D を用いると、CO<sub>2</sub> レーザ発振器を用いた場合と比較して、吸収率最大集光直径 damax は 4.2 倍程度大きいことが分かる。

【0046】

ところが、吸収率最大集光直径 damax が大きすぎると、加工点において十分なパワー密度を確保することができず、切断速度が遅くなってしまう。

40

【0047】

図 8 を用いて、板材 W1 を切断する切断速度について説明する。図 8 において、集光レンズ 27 に入射するレーザの入射ビーム直径は D であり、集光レンズ 27 によって集光されたレーザが板材 W1 に照射されている。

【0048】

レーザ出力を P (W) (W = J / s)、板材 W1 へのレーザの吸収率を A<sub>b</sub>、切断幅を b (mm)、板厚を t (mm)、材料を溶融または蒸発させるエネルギーを E (J / cm<sup>3</sup>) とする。レーザによって板材 W1 が切断されていくときの切断速度 V (cm / s) は、式 (2) で表される。

$$V = P \cdot A_b / (E \cdot b \cdot t) \quad \dots (2)$$

50

## 【 0 0 4 9 】

但し、全てのエネルギーが切断カーフの切断フロント $W1cf$ に吸収され、材料の熱伝導によるロスがなく、切断カーフ内の溶融金属がアシストガスによって完全に排出されると仮定する。

## 【 0 0 5 0 】

なお、ドロスが板材 $W1$ に付着せず、切断面の品質を良好にするには、板材 $W1$ に供給するアシストガスの圧力（アシストガス圧）は高い方がよい。アシストガス圧を例えば $2.0\text{MPa}$ 以上 $3.0\text{MPa}$ 以下とするのがよい。

## 【 0 0 5 1 】

式(2)より、切断速度 $V$ は吸収率 $A_b$ に比例し、切断幅 $b$ に反比例することが分かる。切断幅 $b$ は、集光直径 $d$ が小さいほど小さくなる。

10

## 【 0 0 5 2 】

図9を用いて、集光直径 $d$ がどのように求められるかについて説明する。レーザの波長を $\lambda$ 、集光レンズ27の焦点距離を $f$ 、ビームパラメータ積を $BPP$  (Beam Parameter Products) とすると、集光直径 $d$ は、式(3)で表される。

$$d = (1.27 \cdot \lambda \cdot f \cdot BPP) / D \quad \dots (3)$$

## 【 0 0 5 3 】

なお、 $BPP$ はビームの発散角とビームウェスト（ビーム径）の積であって、ビームの品質を表す指標である。一般的にガウス形の美しいビームプロファイルを理想とする場合に $BPP$ 値は1がよいとされている。しかしながら、高エネルギー密度のビームでの板金切断加工、特に、板厚 $3\text{mm}$ 以上の厚板を切断加工する場合には、必ずしも $BPP$ 値を1に近づけることが高品位な加工（面粗度のよい加工）に繋がるとは言えないことが明らかとなった。

20

## 【 0 0 5 4 】

板厚 $3\text{mm}$ 以上の厚板を切断加工する場合には、ビーム径を大きくする方がよく、その場合の $BPP$ は $23\text{mm} \cdot \text{mrad}$ 以上、 $28\text{mm} \cdot \text{mrad}$ 以下とすることが望ましい。

## 【 0 0 5 5 】

レーザ発振器11としてファイバレーザ発振器11FまたはDDL発振器11Dを用い、板厚 $t$ が $5\text{mm}$ であるとき、入射角が $78, 80, 82.5, 83, 85.6, 87$ 度それぞれで、吸収率 $A_b$ 、吸収率最大集光直径 $d_{\text{amax}}$ 、 $A_b / d_{\text{amax}}$ をまとめると、図10に示すようになる。 $A_b / d_{\text{amax}}$ は切断速度 $V$ を決める要素となることから、切断速度規定パラメータと称することとする。

30

## 【 0 0 5 6 】

図5に示すように、入射角 $\theta$ が $77.5$ 度のときに吸収率 $A_b$ が最大となり、入射角が増大するに従って吸収率 $A_b$ が低下する。ところが、図10に示すように、切断速度規定パラメータ $A_b / d_{\text{amax}}$ の値は、入射角 $\theta$ が $87$ 度から $78$ 度へと小さくなるに従って小さくなっていく。

## 【 0 0 5 7 】

切断速度規定パラメータ $A_b / d_{\text{amax}}$ の値が小さいとレーザのパワー密度が小さく、板材 $W1$ を切断するのに比較的長い時間を要することになる。吸収率 $A_b$ と切断速度規定パラメータ $A_b / d_{\text{amax}}$ との双方を考慮すると、図10に太実線で囲んでいるように、板厚 $t$ が $5\text{mm}$ の場合には、入射角 $\theta$ を $83$ 度程度とするのがよい。

40

## 【 0 0 5 8 】

さらに、入射角が $78, 80, 82.5, 83, 85.6, 87$ 度それぞれで、複数の板厚 $t$ と吸収率最大集光直径 $d_{\text{amax}}$ との関係を求めると、図11に示すようになる。

## 【 0 0 5 9 】

ここで、吸収率最大集光直径 $d_{\text{amax}}$ を適宜の値とするのに好適な構成を説明する。本実施形態においては、集光レンズ27として図12に示すようなファセットレンズ27Fを用いる。ファセットレンズ27Fは、凸レンズの表面（レーザに入射面）に複数の六角形

50

状の平面 F 0 が形成されている。また、ファセットレンズ 2 7 F は、複数の曲線を 1 つのレンズ面上に有する。

【 0 0 6 0 】

図 1 0 において、吸収率最大集光直径  $d_{max}$  を 0 . 3 8 m m 以下とするためには、集光レンズ 2 7 として一般的に用いられている標準集光レンズが用いられる。図 1 0 において、吸収率最大集光直径  $d_{max}$  を 0 . 6 1 m m 以上とするには、集光レンズ 2 7 としてファセットレンズ 2 7 F を用いるのが好適である。

【 0 0 6 1 】

ファセットレンズ 2 7 F は、レーザ発振器 1 1 より射出されたレーザが被加工材に照射されるときに、レーザの光軸の半径 0 . 5 m m の単位面積内の被加工材を溶融し始めた時点から溶融し終える時点までの単位時間内に、レーザを単位面積内の複数の箇所を集光させる集光光学要素の一例である。

10

【 0 0 6 2 】

好ましくは、集光光学要素は、レーザの光軸の半径 0 . 4 m m の単位面積内の被加工材を溶融し始めた時点から溶融し終える時点までの単位時間内に、レーザを単位面積内の複数の箇所を集光させる。このとき、集光光学要素は、それぞれの集光点でのレーザ出力を個別に制御しない。よって、それぞれの集光点での光強度に差はない。

【 0 0 6 3 】

本実施形態のレーザ加工機は、集光光学要素を備えることによって、板厚 3 m m 以上の厚板であっても高品位な切断が可能になる。

20

【 0 0 6 4 】

例えば、集光条件 1 として、吸収率最大集光直径  $d_{max}$  を 0 . 3 8 m m とするには、焦点距離  $f$  が 1 9 0 m m の標準集光レンズを用いることができる。集光条件 2 として、吸収率最大集光直径  $d_{max}$  を 0 . 6 1 m m とするには、焦点距離  $f$  が 1 5 0 m m のファセットレンズ 2 7 F を用いることができる。集光条件 3 として、吸収率最大集光直径  $d_{max}$  を 1 . 0 6 m m とするには、焦点距離  $f$  が 1 9 0 m m のファセットレンズ 2 7 F を用いることができる。

【 0 0 6 5 】

ファセットレンズ 2 7 F は、図 1 2 に示す形状に限定されることはなく、凸レンズの表面に複数の四角形状の平面を有する構成であってもよい。ファセットレンズ 2 7 F は、レーザの入射面に、四角形以上の多角形の複数の平面が形成されていればよい。

30

【 0 0 6 6 】

ファセットレンズ 2 7 F の表面に形成されている複数の平面は、それぞれ平面的な異なる位置に焦点を結ぶように形成されている。よって、ファセットレンズ 2 7 F は、焦点をばかすように作用する。

【 0 0 6 7 】

よって、集光レンズ 2 7 としてファセットレンズ 2 7 F を用いると、標準集光レンズを用いる場合と比較して集光直径  $d$  を広げることが可能となる。ファセットレンズ 2 7 F は、吸収率最大集光直径  $d_{max}$  を適宜の比較的大きい値に設定するのに好適である。

【 0 0 6 8 】

図 1 3 に、吸収率最大集光直径  $d_{max}$  と切断速度規定パラメータ  $A b / d_{max}$  との関係と、集光条件 1 ~ 3 における吸収率最大集光直径  $d_{max}$  と切断速度  $V$  との関係を示す。切断速度  $V$  は、集光条件 1 で 1 . 2 m / 分、集光条件 2 で 0 . 6 m / 分、集光条件 3 で 0 . 4 m / 分であった。図 1 3 より分かるように、切断速度  $V$  の傾きは切断速度規定パラメータ  $A b / d_{max}$  の傾きに近似する。

40

【 0 0 6 9 】

図 1 4 は、集光条件 1 ~ 3 それぞれの吸収率最大集光直径  $d_{max}$  と切断面粗さ  $R a$  との関係と、吸収率最大集光直径  $d_{max}$  と切断速度  $V$  との関係を示す。図 1 4 は、レーザ発振器 1 1 として D D L 発振器 1 1 D を用い、板材 W 1 として板厚 5 m m のステンレスを切断した場合を示している。切断面粗さ  $R a$  は、切断面算術平均粗さであってもよい。

50

## 【0070】

図14より分かるように、集光レンズ27としてファセットレンズ27Fを用いた集光条件2,3では、集光レンズ27として標準集光レンズを用いた集光条件1と比較して、切断面粗さRaが大幅に改善されている。特に、吸収率最大集光直径damaxが0.61mmである集光条件2では、切断面粗さRaは2μm程度であり、集光条件1と比較して1/3以下である。

## 【0071】

図15は、レーザ発振器11としてDDL発振器11Dを用い、集光レンズ27としてファセットレンズ27Fを用いた本実施形態のレーザ加工機において、集光直径dを0.61mmとして、板材W1として板厚5mmの他に3mm及び4mmのステンレスを切断した場合の切断面粗さRaを示している。ここでも、切断面粗さRaは、切断面算術平均粗さであってもよい。

10

## 【0072】

比較のため、図15には、CO<sub>2</sub>レーザ発振器と標準集光レンズを用いたレーザ加工機と、ファイバレーザ発振器11Fと標準集光レンズを用いたレーザ加工機とのそれぞれで、複数の板厚tのステンレスを切断した場合の切断面粗さRaも併せて示している。

## 【0073】

ここでは図示していないが、ファイバレーザ発振器11Fとファセットレンズ27Fを用いた本実施形態のレーザ加工機で複数の板厚tのステンレスを切断した場合、DDL発振器11Dとファセットレンズ27Fを用いた本実施形態のレーザ加工機と同様の特性を有する。

20

## 【0074】

逆に、DDL発振器11Dと標準集光レンズを用いたレーザ加工機で複数の板厚tのステンレスを切断した場合には、ファイバレーザ発振器11Fと標準集光レンズを用いたレーザ加工機と同様の特性を有する。

## 【0075】

ファイバレーザ発振器11FまたはDDL発振器11Dと、集光レンズ27としてファセットレンズ27Fを用いた本実施形態のレーザ加工機においては、CO<sub>2</sub>レーザ発振器を用いたレーザ加工機には若干及ばないものの、切断面の品質を従来よりも大幅に改善することができる。

30

## 【0076】

本実施形態によれば、高品質な切断面が求められる場合でも、小型で低ランニングコストのファイバレーザ発振器11FまたはDDL発振器11Dを用いてレーザ加工機を構成することができる。

## 【0077】

集光光学要素は、ファセットレンズ27Fに限定されない。レーザ発振器11と加工ヘッド26との間のビーム伝送路(ビーム伝送用ファイバ)を2つ以上に分け、その2つのファイバ間にビームカプラを設けてもよい。ビームカプラ内のフォーカスレンズを上述した集光光学要素として利用してもよい。

## 【0078】

この場合、集光光学要素は、レーザ発振器11より射出されたレーザをビーム伝送用ファイバのファイバコアの複数の箇所を集光させることにより、レーザを単位面積内の複数の箇所に集光させる。

40

## 【0079】

集光光学要素は、ファセットレンズ27Fの代わりに、回折光学素子であってもよいし、光軸に対して垂直方向に移動自在の集光レンズであってもよい。

## 【0080】

集光光学要素が回折光学素子である場合、例えば、回折型光学レンズ(DOE(Diffractive Optical Elements)レンズ)を用いることができる。

## 【0081】

50

図16は、DOEレンズ30を概略的に示している。図16に示すように、DOEレンズ30は、複数の周状の回折溝31を有する。DOEレンズ30を、集光レンズ27またはコリメートレンズ28として利用することが可能である。図示していないが、バンドミラー25をグレーティングミラーに変更することも可能である。

【0082】

集光光学要素が光軸に対して垂直方向に移動自在の集光レンズである場合、例えば、図2のレンズ1162にその機能を持たせることができる。つまり、レンズ1162を光軸に対して垂直方向に偏芯させて回転させたり、図2の向きにおいて、レンズ1162を光軸に対して垂直方向の上下または前後方向に移動させたりすることによって、集光光学要素の機能を実現することができる。

10

【0083】

レーザの光軸の半径0.5mmの単位面積内の被加工材を溶融し始めた時点から溶融し終える時点までの単位時間内に、レーザを単位面積内の複数の箇所を集光させる集光光学要素を用いると、単位時間当たりのビームエネルギーが単位面積当たりほぼ均一に照射される。これによって、板厚3mm以上の厚板であっても高品位な切断が可能になる。

【0084】

レーザの波長と出力とエネルギー密度と、被加工材の厚みと切断幅と、被加工材のレーザの吸収率と、切断速度と、入射角度と、溶融した被加工材と、アシストガスの種類と圧力とを適宜に組み合わせると、それらの相乗効果によってさらに高品位な切断が可能になる。

20

【0085】

以上の説明では、板材W1として鉄系材（ステンレス）を例としているが、アルミニウムやチタン等であっても同様に、本実施形態のレーザ加工機及びレーザ切断方法によれば、切断面の品質を従来よりも大幅に改善することができる。

【0086】

本発明は以上説明した本実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々変更可能である。ファイバレーザ発振器とDDL発振器の代わりにディスクレーザ発振器を用いてもよい。

【符号の説明】

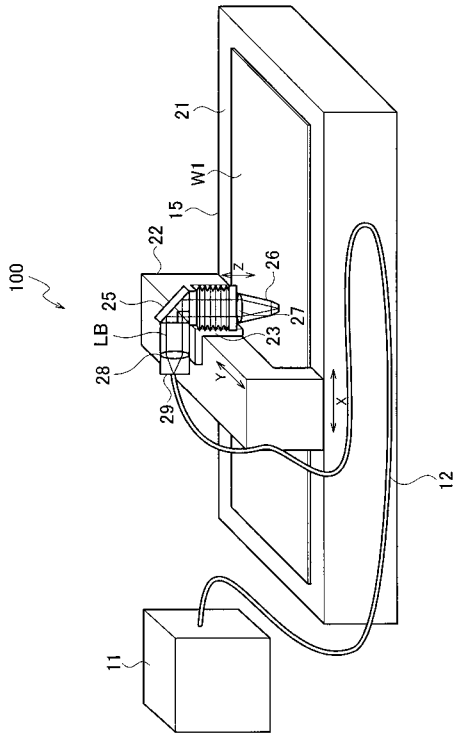
【0087】

- 11 レーザ発振器
- 11D ダイレクトダイオードレーザ発振器（DDL発振器）
- 11F ファイバレーザ発振器
- 15 レーザ加工ユニット
- 27 集光レンズ
- 27F ファセットレンズ
- 28 コリメートレンズ
- 30 回折型光学レンズ（DOEレンズ，回折光学素子）
- 100 レーザ加工機
- W1 板材（被加工材）

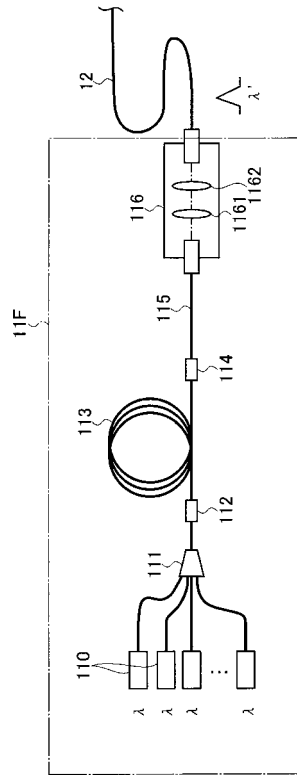
30

40

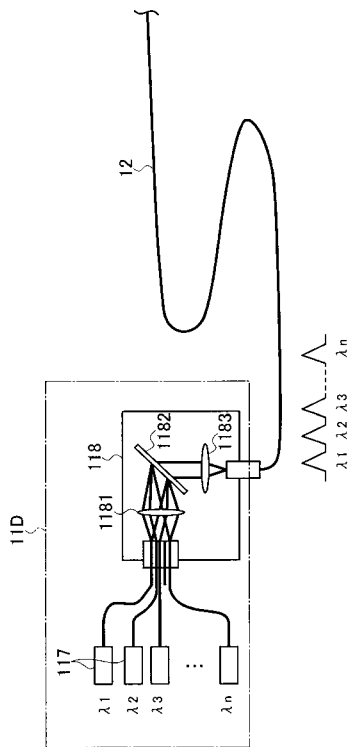
【 図 1 】



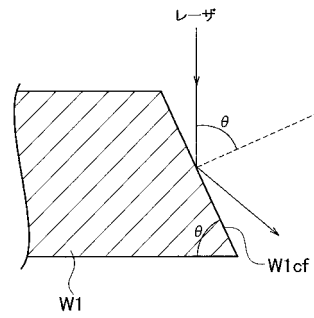
【 図 2 】



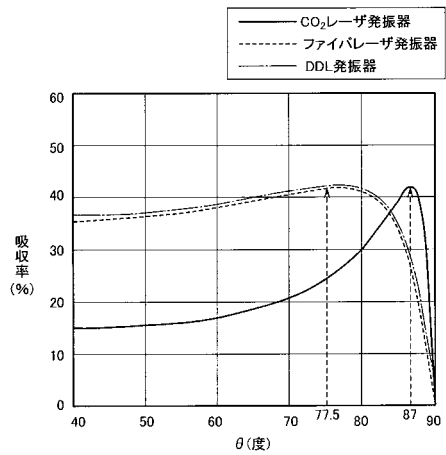
【 図 3 】



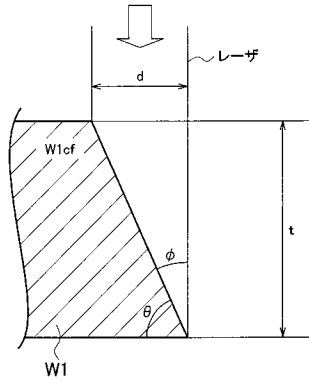
【 図 4 】



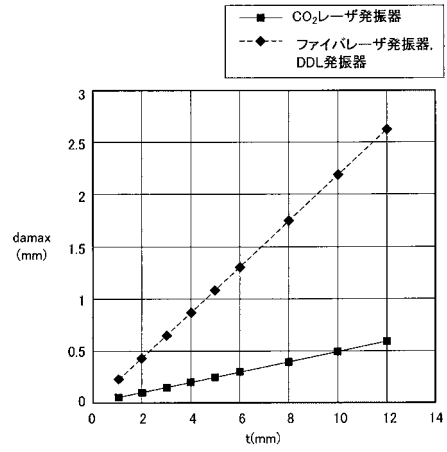
【 図 5 】



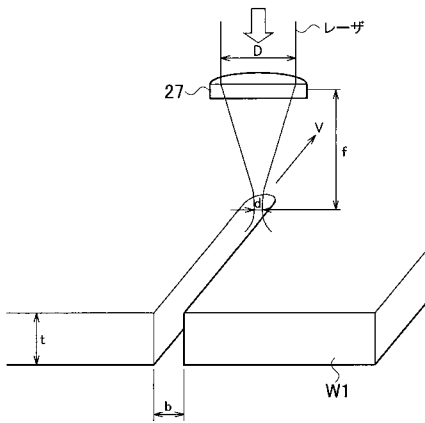
【 図 6 】



【 図 7 】



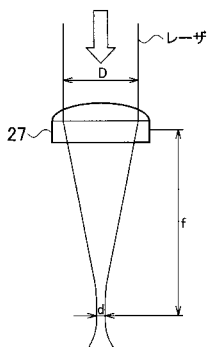
【 図 8 】



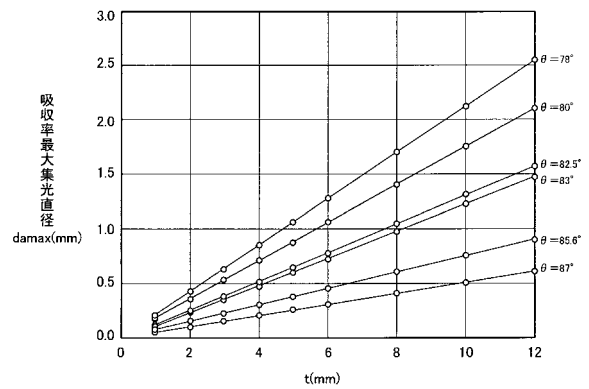
【 図 10 】

入射角 $\theta$ (度)	吸収率 $Ab$ (%)	吸収率最大集光直径 $damax$ (mm)	$Ab / damax$
78	42	1.06	0.38
80	41.2	0.88	0.47
82.5	38.8	0.66	0.59
83	38	0.61	0.62
85.6	31	0.38	0.82
87	25	0.26	0.96

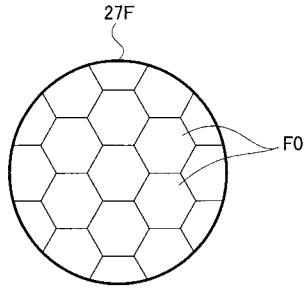
【 図 9 】



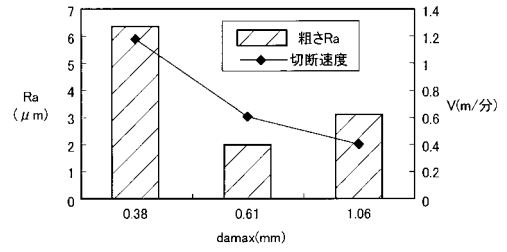
【 図 11 】



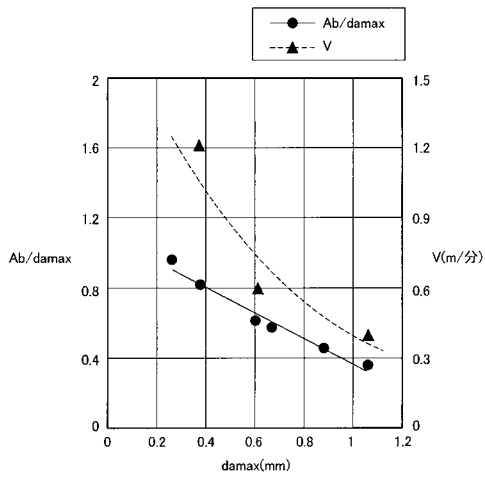
【 図 1 2 】



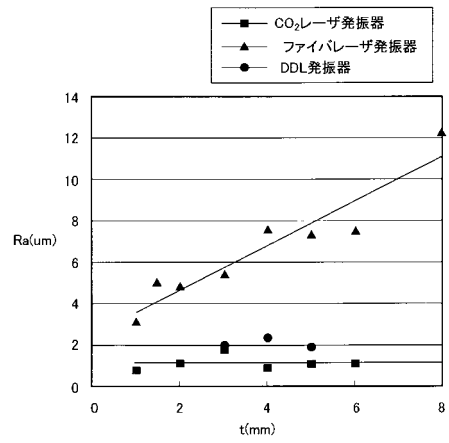
【 図 1 4 】



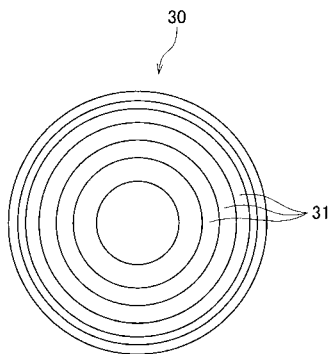
【 図 1 3 】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



## 【手続補正書】

【提出日】平成28年8月3日(2016.8.3)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

波長が $1\ \mu\text{m}$ 帯またはそれより短い波長帯のビームを励起するレーザー発振器によってレーザーを射出させ、

前記レーザー発振器より射出されたレーザーを1本のプロセスファイバで伝送し、

レーザーによって被加工材を溶融させる際に、前記被加工材にアシストガス圧 $2.0\ \text{MPa}$ 以上 $3.0\ \text{MPa}$ 以下のアシストガスを供給し、

前記プロセスファイバより射出されたレーザーが前記被加工材に照射されるときに、レーザーの光軸の半径 $0.5\ \text{mm}$ の単位面積内の前記被加工材を溶融し始めた時点から溶融し終える時点までの単位時間内に、レーザーを前記単位面積内の複数の箇所に集光させて、前記被加工材を切断する

ことを特徴とするレーザー切断方法。

【請求項2】

前記被加工材に照射されるレーザーのビームパラメータ積を $23\ \text{mm}\cdot\text{mrad}$ 以上 $28\ \text{mm}\cdot\text{mrad}$ 以下とすることを特徴とする請求項1に記載のレーザー切断方法。

【請求項3】

波長が $1\ \mu\text{m}$ 帯またはそれより短い波長帯のビームを励起するレーザー発振器によってレーザーを射出させ、

前記レーザー発振器より射出されたレーザーを1本のプロセスファイバで伝送し、

被加工材に照射されるレーザーのビームパラメータ積を $23\ \text{mm}\cdot\text{mrad}$ 以上 $28\ \text{mm}\cdot\text{mrad}$ 以下とし、

前記プロセスファイバより射出されたレーザーが前記被加工材に照射されるときに、レーザーの光軸の半径 $0.5\ \text{mm}$ の単位面積内の前記被加工材を溶融し始めた時点から溶融し終える時点までの単位時間内に、レーザーを前記単位面積内の複数の箇所に集光させて、前記被加工材を切断する

ことを特徴とするレーザー切断方法。

【請求項4】

レーザーを前記単位面積内の複数の箇所に集光させる際に、それぞれの集光点でのレーザー出力を個別に制御しないことを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載のレーザー切断方法。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0001

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0001】

本発明は、レーザー切断方法に関する。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0010

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0010】

本発明は、切断面の品質を従来よりも改善することができる、波長が1 μm帯またはそれより短い波長帯のビームを励起するレーザ発振器を用いたレーザ切断方法を提供することを目的とする。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0011

【補正方法】削除

【補正の内容】

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0012

【補正方法】削除

【補正の内容】

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0013

【補正方法】削除

【補正の内容】

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0014

【補正方法】削除

【補正の内容】

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0015

【補正方法】削除

【補正の内容】

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0016

【補正方法】削除

【補正の内容】

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0017

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0017】

本発明は、上述した従来技術の課題を解決するため、波長が1 μm帯またはそれより短い波長帯のビームを励起するレーザ発振器によってレーザを射出させ、前記レーザ発振器より射出されたレーザを1本のプロセスファイバで伝送し、レーザによって被加工材を溶融させる際に、前記被加工材にアシストガス圧2.0MPa以上3.0MPa以下のアシストガスを供給し、前記プロセスファイバより射出されたレーザが前記被加工材に照射されるときに、レーザの光軸の半径0.5mmの単位面積内の前記被加工材を溶融し始めた時点から溶融し終える時点までの単位時間内に、レーザを前記単位面積内の複数の箇所に集光させて、前記被加工材を切断することを特徴とするレーザ切断方法を提供する。

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0018

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0018】

上記のレーザ切断方法において、前記被加工材に照射されるレーザのビームパラメータ積を $23\text{ mm}\cdot\text{mrad}$ 以上 $28\text{ mm}\cdot\text{mrad}$ 以下とすることが好ましい。

【手続補正13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0019

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0019】

また、本発明は、上述した従来技術の課題を解決するため、波長が $1\ \mu\text{m}$ 帯またはそれより短い波長帯のビームを励起するレーザ発振器によってレーザを射出させ、前記レーザ発振器より射出されたレーザを1本のプロセスファイバで伝送し、被加工材に照射されるレーザのビームパラメータ積を $23\text{ mm}\cdot\text{mrad}$ 以上 $28\text{ mm}\cdot\text{mrad}$ 以下とし、前記プロセスファイバより射出されたレーザが前記被加工材に照射されるときに、レーザの光軸の半径 $0.5\text{ mm}$ の単位面積内の前記被加工材を溶融し始めた時点から溶融し終える時点までの単位時間内に、レーザを前記単位面積内の複数の箇所を集光させて、前記被加工材を切断することを特徴とするレーザ切断方法を提供する。

【手続補正14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0020

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0020】

以上のレーザ切断方法において、レーザを前記単位面積内の複数の箇所を集光させる際に、それぞれの集光点でのレーザ出力を個別に制御しないことが好ましい。

【手続補正15】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0021

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0021】

本発明のレーザ切断方法によれば、波長が $1\ \mu\text{m}$ 帯またはそれより短い波長帯のビームを励起するレーザ発振器を用いながら、切断面の品質を従来よりも改善することができる。

。

---

フロントページの続き

(72)発明者 石黒 宏明

神奈川県伊勢原市石田 2 0 0 番地

(72)発明者 杉山 明彦

神奈川県伊勢原市石田 2 0 0 番地

(72)発明者 溝口 祐也

神奈川県伊勢原市石田 2 0 0 番地

Fターム(参考) 4E168 AD07 CB03 DA02 DA23 DA26 DA28 DA29 DA32 EA02 EA05  
EA06 EA13 EA17 FB01 JA02 JA03 JA05 KA03 KA08