

(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2020-116640

(P2020-116640A)

(43) 公開日 令和2年8月6日(2020.8.6)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 3 K 26/38 (2014.01)	B 2 3 K 26/38 A	4 E 1 6 8
B 2 3 K 26/064 (2014.01)	B 2 3 K 26/064 K	5 F 1 7 3
B 2 3 K 26/142 (2014.01)	B 2 3 K 26/142	
H O 1 S 5/022 (2006.01)	H O 1 S 5/022	

審査請求 有 請求項の数 13 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2020-73399 (P2020-73399)	(71) 出願人	390014672
(22) 出願日	令和2年4月16日 (2020.4.16)		株式会社アマダ
(62) 分割の表示	特願2016-183106 (P2016-183106) の分割	(74) 代理人	100083806 神奈川県伊勢原市石田200番地
原出願日	平成26年10月15日 (2014.10.15)	(74) 代理人	100083806 弁理士 三好 秀和
		(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
		(72) 発明者	石黒 宏明 神奈川県伊勢原市石田200番地

最終頁に続く

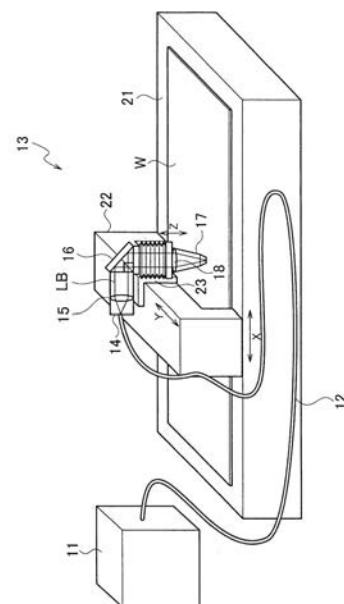
(54) 【発明の名称】 ダイレクトダイオードレーザ加工装置及びこれを用いた板金の加工方法

(57) 【要約】

【課題】被加工材を良好な品質で高速に切断することができるダイレクトダイオードレーザ加工装置を提供する。

【解決手段】多波長のレーザ光を発振するレーザ共振器と、前記レーザ共振器により発振された多波長のレーザ光を伝送する伝送ファイバと、前記伝送ファイバにより伝送された多波長のレーザ光を集光して被加工材を加工するレーザ加工機とを備え、前記被加工材の厚さ及び吸収率に基づいて、前記多波長のレーザ光の波長を1000nm未満、前記多波長のレーザ光のビームパラメータ積を4mm・mrad~25mm・mrad、且つ前記被加工材の切断速度を0.1m/min~60m/minに制御する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

多波長のレーザ光を発振するレーザ共振器と、
 前記レーザ共振器により発振された多波長のレーザ光を伝送する伝送ファイバと、
 前記伝送ファイバにより伝送された多波長のレーザ光を集光して被加工材を加工するレーザ加工機
 とを備え、
 前記被加工材の厚さ及び吸収率に基づいて、
 前記多波長のレーザ光の波長を 1000 nm 未満、
 前記多波長のレーザ光のビームパラメータ積を $4\text{ mm} \cdot \text{mrad} \sim 25\text{ mm} \cdot \text{mrad}$ 10
 、且つ
 前記被加工材の切断速度を $0.1\text{ m/min} \sim 60\text{ m/min}$
 に制御することを特徴とするダイレクトダイオードレーザ加工装置。

【請求項 2】

前記被加工材に吹き付けるアシストガスの圧力を $0.05\text{ MPa} \sim 1.5\text{ MPa}$ に制御
 することを特徴とする請求項 1 に記載のダイレクトダイオードレーザ加工装置。

【請求項 3】

前記多波長のレーザ光の集光直径を $247\text{ }\mu\text{m} \sim 364\text{ }\mu\text{m}$ に制御することを特徴とする
 請求項 1 又は 2 に記載のダイレクトダイオードレーザ加工装置。

【請求項 4】

前記被加工材の単位切断長さ当たりのジュール熱を $6.9\text{ J/mm} \sim 137.1\text{ J/mm}$
 に制御することを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載のダイレクトダイオード
 レーザ加工装置。 20

【請求項 5】

前記多波長のレーザ光の集光直径に対する、入射角 70° の吸収率の比を $0.00042\text{ \%}/\mu\text{m} \sim 0.11\text{ \%}/\mu\text{m}$ に制御することを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項
 に記載のダイレクトダイオードレーザ加工装置。

【請求項 6】

前記被加工材が厚さ $1\text{ mm} \sim 16\text{ mm}$ の軟鋼であり、
 前記被加工材に吹き付けるアシストガスの圧力を $0.05\text{ MPa} \sim 1.5\text{ MPa}$ 、 30
 前記被加工材の単位切断長さ当たりのジュール熱を $12.0\text{ J/mm} \sim 137.1\text{ J/mm}$ 、且つ
 前記被加工材の切断速度を $14.6\text{ mm/秒} \sim 166.7\text{ mm/秒}$
 に制御することを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載のダイレクトダイオード
 レーザ加工装置。

【請求項 7】

前記被加工材が厚さ $1\text{ mm} \sim 4\text{ mm}$ のアルミニウムであり、
 前記被加工材に吹き付けるアシストガスの圧力を $0.8\text{ MPa} \sim 1.5\text{ MPa}$ 、
 前記被加工材の単位切断長さ当たりのジュール熱が $6.9\text{ J/mm} \sim 43.6\text{ J/mm}$ 40
 、且つ
 前記被加工材の切断速度を $45.8\text{ mm/秒} \sim 291.7\text{ mm/秒}$
 に制御することを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載のダイレクトダイオード
 レーザ加工装置。

【請求項 8】

請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項のダイレクトダイオードレーザ加工装置を用いて板金を切
 断加工することを特徴とする板金の加工方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ダイレクトダイオードレーザ加工装置及びこれを用いた板金の加工方法に関 50

する。

【背景技術】

【0002】

従来、板金加工用のレーザ加工装置として、炭酸ガス（ CO_2 ）レーザ発振器やYAGレーザ発振器、ファイバレーザ発振器をレーザ光源として用いたものが知られている。ファイバレーザ発振器は、YAGレーザ発振器よりも光品質に優れ、発振効率が極めて高い等の利点を有する。このため、ファイバレーザ発振器を用いたファイバレーザ加工装置は、産業用、特に板金加工用（切断又は溶接等）に利用されている。

【0003】

更に近年では、ダイレクトダイオードレーザ（DDL：Direct Diode Laser）発振器をレーザ光源として用いるDDL加工装置が開発されている（特許文献1参照）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】米国特許第5715270号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1では、DDL加工装置を切断加工に適用し得ることを示唆しているにすぎず、DDL加工装置による切断加工の品質及び速度を、従来から使用されている CO_2 レーザ加工装置やファイバレーザ加工装置に対抗できる水準まで高めるための具体的な比較検討は成されていない。

20

【0006】

本発明は上記課題に鑑みて成されたものであり、その目的は、被加工材を良好な品質で高速に切断することができるダイレクトダイオードレーザ加工装置及びこれを用いた板金の加工方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一態様によれば、多波長のレーザ光を発振するレーザ共振器と、レーザ共振器により発振された多波長のレーザ光を伝送する伝送ファイバと、伝送ファイバにより伝送された多波長のレーザ光を集光して被加工材を加工するレーザ加工機とを備え、被加工材の厚さ及び吸収率に基づいて、多波長のレーザ光の波長を1000nm未満、多波長のレーザ光のビームパラメータ積を $4\text{mm}\cdot\text{mrad}\sim 25\text{mm}\cdot\text{mrad}$ 、且つ被加工材の切断速度を $0.1\text{m}/\text{min}\sim 60\text{m}/\text{min}$ に制御するダイレクトダイオードレーザ加工装置及びこれを用いた板金の加工方法が提供される。

30

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、被加工材を良好な品質で高速に切断することができるダイレクトダイオードレーザ加工装置及びこれを用いた板金の加工方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

40

【0009】

【図1】本発明の実施形態に係るDDL加工装置の一例を示す斜視図である。

【図2】図2（a）は、本発明の実施形態に係るレーザ発振器の一例を示す側面図である。図2（b）は、本発明の実施形態に係るレーザ発振器の一例を示す正面図である。

【図3】本発明の実施形態に係るDDLモジュールの一例を示す概略図である。

【図4】本発明の実施形態に係るDDL加工装置における光学パラメータを説明するための概略図である。

【図5】本発明の実施形態に係るDDL加工装置におけるレーザ光の入射角を説明するための概略図である。

【図6】本発明の実施形態に係る被加工部材の良好な切断品位の切断面を示す画像である

50

。

【図 7】本発明の第 1 の実施例に係る軟鋼の厚さに対する DDL 加工装置の切断速度比、 A/d 比、ファイバレーザ加工装置の切断速度比を表すグラフである。

【図 8】本発明の第 2 の実施例に係るアルミニウムの厚さに対する DDL 加工装置の切断速度比、 A/d 比、ファイバレーザ加工装置の切断速度比を表すグラフである。

【図 9】図 9 (a) は、第 3 の実施例に係るレーザ光の入射角と鉄の吸収率との関係を示すグラフである。図 9 (b) は、第 3 の実施例に係るレーザ光の入射角とアルミニウムの吸収率との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

10

図面を参照して、本発明の実施形態を説明する。以下の図面の記載において、同一又は類似の部分には同一又は類似の符号を付している。

【 0 0 1 1 】

図 1 を参照して、本発明の実施形態に係るダイレクトダイオードレーザ（以下、「DDL」という）加工装置の全体構成を説明する。本発明の実施形態に係る DDL 加工装置は、図 1 に示すように、多波長のレーザ光 LB を発振するレーザ発振器 11 と、レーザ発振器 11 により発振されたレーザ光 LB を伝送する伝送ファイバ（プロセスファイバ）12 と、伝送ファイバ 12 により伝送されたレーザ光 LB を高エネルギー密度に集光させて被加工材（ワーク）W に照射するレーザ加工機 13 とを備える。

【 0 0 1 2 】

20

レーザ加工機 13 は、伝送ファイバ 12 から射出されたレーザ光 LB をコリメータレンズ 15 で略平行光に変換するコリメータユニット 14 と、略平行光に変換されたレーザ光 LB を、X 軸及び Y 軸方向に垂直な Z 軸方向下方に向けて反射するベンドミラー 16 と、ベンドミラー 16 により反射されたレーザ光 LB を集光レンズ 18 で集光する加工ヘッド 17 とを備える。コリメータレンズ 15 及び集光レンズ 18 としては、例えば石英製の平凸レンズ等の一般的なレンズが使用可能である。

【 0 0 1 3 】

なお、図 1 では図示を省略するが、コリメータユニット 14 内には、コリメータレンズ 15 を光軸に平行な方向（X 軸方向）に駆動するレンズ駆動部が設置されている。また、DDL 加工装置は、レンズ駆動部を制御する制御部を更に備える。

30

【 0 0 1 4 】

レーザ加工機 13 は更に、被加工材 W が載置される加工テーブル 21 と、加工テーブル 21 上において X 軸方向に移動する門型の X 軸キャリッジ 22 と、X 軸キャリッジ 22 上において X 軸方向に垂直な Y 軸方向に移動する Y 軸キャリッジ 23 とを備える。コリメータユニット 14 内のコリメータレンズ 15、ベンドミラー 16、及び加工ヘッド 17 内の集光レンズ 18 は、予め光軸の調整が成された状態で Y 軸キャリッジ 23 に固定され、Y 軸キャリッジ 23 と共に Y 軸方向に移動する。なお Y 軸キャリッジ 23 に対して上下方向へ移動可能な Z 軸キャリッジを設け、当該 Z 軸キャリッジに集光レンズ 18 を設けることも出来る。

【 0 0 1 5 】

40

本発明の実施形態に係る DDL 加工装置は、集光レンズ 18 により集光されて最も小さい集光直径（最小集光直径）のレーザ光 LB を被加工材 W に照射し、また同軸にアシストガスを噴射して溶融物を除去しながら、X 軸キャリッジ 22 及び Y 軸キャリッジ 23 を移動させる。これにより、DDL 加工装置は被加工材 W を切断加工することができる。被加工材 W としては、ステンレス鋼、軟鋼、アルミニウム等の種々の材料が挙げられる。被加工材 W の板厚は、例えば 0.1 mm ~ 50 mm 程度である。

【 0 0 1 6 】

次に、図 2 及び図 3 を参照して、レーザ発振器 11 について説明する。レーザ発振器 11 は、図 2 (a) 及び図 2 (b) に示すように、筐体 60 と、筐体 60 内に收容され、伝送ファイバ 12 に接続されている DDL モジュール 10 と、筐体 60 内に收容され、D D

50

Lモジュール10に電力を供給する電源部61と、筐体60内に収容され、DDLモジュール10の出力等を制御する制御モジュール62等が設けられている。また、筐体60の外側には、筐体60内の温度及び湿度を調整する空調機器63が設置されている。

【0017】

DDLモジュール10は、図3に示すように、多波長(multiple-wavelength) λ_1 , λ_2 , λ_3 , $\dots$, λ_n のレーザ光を重畳して出力する。DDLモジュール10は、複数のレーザダイオード(以下、「LD」という) 3_1 , 3_2 , 3_3 , $\dots$, 3_n (n は4以上の整数)と、LD 3_1 , 3_2 , 3_3 , $\dots$, 3_n にファイバ 4_1 , 4_2 , 4_3 , $\dots$, 4_n を介して接続され、多波長 λ_1 , λ_2 , λ_3 , $\dots$, λ_n のレーザ光に対してスペクトルビーム結合(spectral beam combining)を行うスペクトルビーム結合部50と、
10
スペクトルビーム結合部50からのレーザ光を集光して伝送ファイバ12へ入射させる集光レンズ54とを備える。

【0018】

複数のLD 3_1 , 3_2 , 3_3 , $\dots$, 3_n としては、各種の半導体レーザが採用可能である。LD 3_1 , 3_2 , 3_3 , $\dots$, 3_n の種類と数の組み合わせは特に限定されず、板金加工の目的に合わせて適宜選択可能である。LD 3_1 , 3_2 , 3_3 , $\dots$, 3_n の波長 λ_1 , λ_2 , λ_3 , $\dots$, λ_n は、例えば1000nm未満で選択したり、800nm~990nmの範囲で選択したり、910nm~950nmの範囲で選択したりすることができる。

【0019】

多波長 λ_1 , λ_2 , λ_3 , $\dots$, λ_n のレーザ光は、例えば、波長帯域毎に群(ブロック)管理されて制御される。そして、波長帯域毎に個別に出力を可変調節することができる。また、全波長帯域の出力を所望の吸収率となるよう調整することができる。

【0020】

切断加工に際しては、LD 3_1 , 3_2 , 3_3 , $\dots$, 3_n を同時に動作させると共に、酸素、窒素等の適宜のアシストガスを焦点位置近傍へ吹き付ける。これにより、LD 3_1 , 3_2 , 3_3 , $\dots$, 3_n からの各波長のレーザ光が、相互に協働すると共に、酸素等のアシストガスとも協働してワークを高速で溶融する。また当該溶融ワーク材料がアシストガスにより吹き飛ばされてワークが高速で切断される。

【0021】

スペクトルビーム結合部50は、ファイバ 4_1 , 4_2 , 4_3 , $\dots$, 4_n の射出端側を束ねて固定しファイバアレイ4とする固定部51と、ファイバ 4_1 , 4_2 , 4_3 , $\dots$, 4_n からのレーザ光を平行光にするコリメータレンズ52と、多波長 λ_1 , λ_2 , λ_3 , $\dots$, λ_n のレーザ光を回折し光軸を一致させる回折格子(diffraction grating) 53と、LD 3_1 , 3_2 , 3_3 , $\dots$, 3_n 後端部に設けた反射面と共に共振器を構成する部分反射カブラ55を備える。図3では一例として、部分反射カブラ55がコリメータレンズ52と集光レンズ54との間に配置されているが、部分反射カブラ55の配置位置はこれに限定されるものではない。具体的には、部分反射カブラ55は光軸に対して45度の角度で配置され、反射光の一部は、外部に設けたミラー(図示省略)とLD 3_1 , 3_2 , 3_3 , $\dots$, 3_n との間で、特定の波長を共振させることで波長を固定(ロック)し安定化させている。
30
40

【0022】

次に、図4を参照して、伝送ファイバ12から射出されたレーザ光の光学パラメータについて説明する。伝送ファイバ12から広がり角 θ で射出されたレーザ光LBは、コリメータレンズ15によりビーム径Dの平行光に変換され、集光レンズ18により集光され、焦点距離fにおいて最小集光直径dとなる。レーザ光の波長 λ 、焦点距離f以後のレーザ光の広がり角 α である場合、最小集光直径d、レーザ長Zr、及びビームパラメータ積(BPP)は、次の(1)式~(3)式により表される。ただし、 W_0 は最小集光半径であり、 $M^2 = BPP \times \pi / \lambda$ である。

【0023】

10

20

30

40

50

$$d = 2 W_0 = 1.27 \times f \times M^2 \times \lambda / D \quad \dots (1)$$

$$Zr = \pi d^2 / 4 M^2 \lambda \quad \dots (2)$$

$$BPP = W_0 \times \alpha \text{ (mm} \cdot \text{mrad)} \quad \dots (3)$$

【0024】

また、被加工材Wの切断速度V [mm/s]は、下記式(4)により表すことができる。

【0025】

【数1】

$$V = \frac{PA}{Edt} [\text{mm/s}] \quad \dots (4)$$

10

【0026】

ここで、P：レーザパワー[W]、A：吸収率、E：融解エネルギーあるいは蒸発エネルギー[J/mm³]、d：ビーム直径[mm]、t：板厚[mm]である。但し、すべてのエネルギーは吸収され、溶融材料はアシストガスによって完全に排出されると仮定する。

【0027】

本発明の実施形態においては、被加工材Wの切断加工において良好な切断品位を実現するために、被加工材Wの厚さ及び吸収率に応じて、DDL加工装置の加工条件を以下のように制御する。

20

【0028】

多波長のレーザ光の波長は、例えば1000nm未満であり、800nm～900nm程度であってもよく、910nm～950nm程度であってもよい。

【0029】

多波長のレーザ光のBPPは、例えば4mm・mrad～25mm・mrad程度であり、7mm・mrad～20mm・mrad程度であってもよい。またレーザパワーは、例えば1.2kW～4.0kW程度であり、1.6kW～2.0kW程度が好ましい。

【0030】

集光直径(ビームウエスト)は、例えば150μm～370μm程度であり、247μm～364μm程度であってもよく、150μm～364μm程度であってもよい。ビームウエストを形成する集光レンズ18への入射直径は20mmで、例えば集光直径dは、300μm～364μm程度であり、焦点距離は例えば150mm～190mm程度である。

30

【0031】

被加工材Wの厚さは、例えば0.2mm～30mm程度である。被加工材Wが銅板の場合には0.4mm～6mm程度であり、軟鋼板の場合には厚さは1mm～12mm程度であり、アルミニウム板の場合には厚さは0.8mm～4mm程度であり、ステンレス鋼板の場合には厚さは0.3mm～12mm程度である。

【0032】

被加工材Wの切断速度は、例えば0.1m/min～60m/min程度であり、0.8m/min～18m/min程度であってもよく、14.6mm/秒～291.7mm/秒程度であってもよい。被加工材Wの単位切断長さ当たりのジュール熱は、例えば6.9J/mm～137.1J/mm程度である。

40

【0033】

<第1の実施例>

次に、第1の実施例として、本発明の実施形態に係るDDL加工装置と、比較例としてのCO₂レーザ加工装置とYbファイバレーザ加工装置を用いて、1.0mm、1.6mm、2.3mm、3.2mm、4.5mm、6mm、9mm、12mm、16mmの板厚の軟鋼の高速切断加工した実験結果を説明する。

【0034】

50

高速切断加工を目的として、レーザの種類以外の条件を一致させるために、出力は2 kWとし、入射角70°における吸収率に基づいて加工条件を制御する。入射角とは、図5に示すように、レーザ光LBの中心線と、レーザ光が照射される被加工材Wの切断前面(切断フロント)Fからの垂線とのなす角 β をいう。例えば、集光直径d当たりの、入射角70°における材料の吸収率は、0.00042%/μm~0.11%/μm程度である。

【0035】

各種加工装置による熱加工の場合、材料を溶かしながら加工を行うため、特に材料の切断時にその溶けた物質が材料下部に溶融物(ドロス)となって付着する場合があるが、第1の実施例では、図6に示すように、ドロスが未発生であり、切断面が均一で融け落ちて凹んだり波打ったりしていない状態を良好な切断品位であると定め、各加工装置において、この良好な切断品位が得られる加工条件に制御する。

10

【0036】

第1の実施例では、DDL加工装置におけるレーザ光のBPPは10.3mm・mradとし、CO₂レーザ加工装置におけるレーザ光のBPPは8mm・mradとし、ファイバレーザ加工装置におけるレーザ光のBPPは2.3mm・mradとした。

【0037】

また、各加工装置において、アシストガスは酸素とし、DDL加工装置においてはアシストガスのガス圧を0.05MPa~1.5MPaで制御した。また、DDL加工装置において、集光直径dは一定の364μmで制御し、被加工材Wの単位切断長さ当たりのジュール熱を12.0J/mm~137.1J/mmで制御し、切断速度は14.6mm/秒~166.7mm/秒で制御した。

20

【0038】

ここで、レーザ板金加工の切断速度と、被加工材Wの吸収率と集光直径と、出力とに着目した。即ち、単位切断長さ当たりのジュール熱Ein(J/mm)と、集光直径dにおける吸収率Aの比(A/d)に着目した。また、各加工装置の対比のため、CO₂レーザ加工装置の値を基準の1.0とした切断速度比と、集光直径dにおける吸収率Aの比(A/d比)を計算した。

【0039】

【表1】

30

軟鋼1.0mm
アシストガス: O₂

	BPP (mm *mrad)	ガス 圧 (MPa)	集光直径 d (μm)	ジュール熱 (J/mm)	切断速度 (mm/sec) @2kW	速度比	吸収率 A(%) @70度	A/d	A/d 比
DDL (2kW)	10.3	1.5	364	12.0	166.7	2.1	41	0.11	1.3
CO ₂ (2kW)	8	0.7	250	25.0	80.0	1.0	21	0.08	1.0
Fiber (2kW)	2.3	0.9	160	18.5	108.3	1.4	40	0.25	3.0

40

【0040】

表1は、1.0mmの軟鋼を切断した場合の実験結果を示す。表1から、DDL加工装置の単位切断長さ当たりのジュール熱は最も小さく良好であることが分かる。また、DDL加工装置の切断速度は最も速く、高速で加工できたことが分かる。また、DDL加工装置のA/dは、CO₂レーザ加工装置よりも大きく、効率が良いことが分かる。

【0041】

【表 2】

軟鋼1.6mm
アシストガス：O₂

	BPP (mm *mrad)	ガス 圧 (MPa)	集光直径 d (um)	ジュール熱 (J/mm)	切断速度 (mm/sec) @2kW	速度比	吸収率 A(%) @70度	A/d	A/d 比
DDL (2kW)	10.3	0.8	364	17.5	114.6	1.7	41	0.11	1.3
CO ₂ (2kW)	8	0.8	250	30.0	66.7	1.0	21	0.08	1.0
Fiber (2kW)	2.3	1.1	160	32.4	61.7	0.9	40	0.25	3.0

10

【0042】

表 2 に、1.6mm の軟鋼を切断した場合の実験結果を示す。表 2 から、DDL 加工装置の単位切断長さ当たりのジュール熱は最も小さく良好であることが分かる。また、DDL 加工装置の切断速度は最も速く、高速で加工できたことが分かる。また、DDL 加工装置の A/d は、CO₂ レーザ加工装置よりも大きく、効率が良いことが分かる。

【0043】

20

【表 3】

軟鋼2.3mm
アシストガス：O₂

	BPP (mm *mrad)	ガス 圧 (MPa)	集光直径 d (um)	ジュール熱 (J/mm)	切断速度 (mm/sec) @2kW	速度比	吸収率 A(%) @70度	A/d	A/d 比
DDL (2kW)	10.3	0.1	364	21.3	93.8	1.6	41	0.11	1.3
CO ₂ (2kW)	8	0.8	250	33.3	60.0	1.0	21	0.08	1.0
Fiber (2kW)	2.3	1.6	160	34.3	58.3	1.0	40	0.25	3.0

30

【0044】

表 3 に、2.3mm の軟鋼を切断した場合の実験結果を示す。表 3 から、DDL 加工装置の単位切断長さ当たりのジュール熱は最も小さく良好であることが分かる。また、DDL 加工装置の切断速度は最も速く、高速で加工できたことが分かる。また、DDL 加工装置の A/d は、CO₂ レーザ加工装置よりも大きく、効率が良いことが分かる。

【0045】

40

【表 4】

軟鋼3.2mm
アシストガス：O₂

	BPP (mm *mrad)	ガス 圧 (MPa)	集光直径 d (um)	ジュール熱 (J/mm)	切断速度 (mm/sec) @2kW	速度比	吸収率 A(%) @70度	A/d	A/d 比
DDL (2kW)	10.3	0.09	364	25.3	79.2	1.6	41	0.11	1.3
CO ₂ (2kW)	8	1.20	250	39.5	50.7	1.0	21	0.08	1.0
Fiber (2kW)	2.3	1.80	160	42.9	46.7	0.9	40	0.25	3.0

10

【0046】

表4は、3.2mmの軟鋼を切断した場合の実験結果を示す。表4から、DDL加工装置の単位切断長さ当たりのジュール熱は最も小さく良好であることが分かる。また、DDL加工装置の切断速度は最も速く、高速で加工できたことが分かる。また、DDL加工装置のA/dは、CO₂レーザ加工装置よりも大きく、効率が良いことが分かる。

【0047】

20

【表 5】

軟鋼4.5mm
アシストガス：O₂

	BPP (mm *mrad)	ガス 圧 (MPa)	集光直径 d (um)	ジュール熱 (J/mm)	切断速度 (mm/sec) @2kW	速度比	吸収率 A(%) @70度	A/d	A/d 比
DDL (2kW)	10.3	0.07	364	34.3	58.3	1.3	41	0.11	1.3
CO ₂ (2kW)	8	0.10	250	44.1	45.3	1.0	21	0.08	1.0
Fiber (2kW)	2.3	0.05	160	50.0	40.0	0.9	40	0.25	3.0

30

【0048】

表5は、4.5mmの軟鋼を切断した場合の実験結果を示す。表5から、DDL加工装置の単位切断長さ当たりのジュール熱は最も小さく良好であることが分かる。また、DDL加工装置の切断速度は最も速く、高速で加工できたことが分かる。また、DDL加工装置のA/dは、CO₂レーザ加工装置よりも大きく、効率が良いことが分かる。

【0049】

40

【表 6】

軟鋼6mm
アシストガス：O₂

	BPP (mm *mrad)	ガス 圧 (MPa)	集光直径 d (um)	ジュール熱 (J/mm)	切断速度 (mm/sec) @2kW	速度比	吸収率 A(%) @70度	A/d	A/d 比
DDL (2kW)	10.3	0.07	364	48.0	41.7	1.2	41	0.11	1.3
CO ₂ (2kW)	8	0.07	250	57.7	34.7	1.0	21	0.08	1.0
Fiber (2kW)	2.3	0.07	160	63.2	31.7	0.9	40	0.25	3.0

10

【 0 0 5 0 】

表 6 は、6 mm の軟鋼を切断した場合の実験結果を示す。表 6 から、DDL 加工装置の単位切断長さ当たりのジュール熱は最も小さく良好であることが分かる。また、DDL 加工装置の切断速度は最も速く、高速で加工できたことが分かる。また、DDL 加工装置の A / d は、CO₂ レーザ加工装置よりも大きく、効率が良いことが分かる。

【 0 0 5 1 】

20

【表 7】

軟鋼9mm
アシストガス：O₂

	BPP (mm *mrad)	ガス 圧 (MPa)	集光直径 d (um)	ジュール熱 (J/mm)	切断速度 (mm/sec) @2kW	速度比	吸収率 A(%) @70度	A/d	A/d 比
DDL (2kW)	10.3	0.05	364	80.0	25.0	1.3	41	0.11	1.3
CO ₂ (2kW)	8	0.07	250	107.1	18.7	1.0	21	0.08	1.0
Fiber (2kW)	2.3	0.05	160	100.0	20.0	1.1	40	0.25	3.0

30

【 0 0 5 2 】

表 7 は、9 mm の軟鋼を切断した場合の実験結果を示す。表 7 から、DDL 加工装置の単位切断長さ当たりのジュール熱は最も小さく良好であることが分かる。また、DDL 加工装置の切断速度は最も速く、高速で加工できたことが分かる。また、DDL 加工装置の A / d は、CO₂ レーザ加工装置よりも大きく、効率が良いことが分かる。

【 0 0 5 3 】

40

【表 8】

軟鋼12mm
アシストガス：O₂

	BPP (mm *mrad)	ガス 圧 (MPa)	集光直径 d (um)	ジュール熱 (J/mm)	切断速度 (mm/sec) @2kW	速度比	吸収率 A(%) @70度	A/d	A/d 比
DDL (2kW)	10.3	0.05	364	106.7	18.8	1.3	41	0.11	1.3
CO ₂ (2kW)	8	0.07	250	136.7	14.7	1.0	21	0.08	1.0
Fiber (2kW)	2.3	0.06	160	141.2	14.2	1.0	40	0.25	3.0

10

【0054】

表 8 は、12mm の軟鋼を切断した場合の実験結果を示す。表 8 から、DDL 加工装置の単位切断長さ当たりのジュール熱は最も小さく良好であることが分かる。また、DDL 加工装置の切断速度は最も速く、高速で加工できたことが分かる。また、DDL 加工装置の A/d は、CO₂ レーザ加工装置よりも大きく、効率が良いことが分かる。

【0055】

20

【表 9】

軟鋼16mm
アシストガス：O₂

	BPP (mm *mrad)	ガス 圧 (MPa)	集光直径 d (um)	ジュール熱 (J/mm)	切断速度 (mm/sec) @2kW	速度比	吸収率 A(%) @70度	A/d	A/d 比
DDL (2kW)	10.3	0.09	364	137.1	14.6	1.4	41	0.11	1.3
CO ₂ (2kW)	8	0.08	250	187.5	10.7	1.0	21	0.08	1.0
Fiber (2kW)	2.3	0.05	160	184.6	10.8	1.0	40	0.25	3.0

30

【0056】

表 9 は、16mm の軟鋼を切断した場合の実験結果を示す。表 9 から、DDL 加工装置の単位切断長さ当たりのジュール熱は最も小さく良好であることが分かる。また、DDL 加工装置の切断速度は最も速く、高速で加工できたことが分かる。また、DDL 加工装置の A/d は、CO₂ レーザ加工装置よりも大きく、効率が良いことが分かる。

【0057】

40

表 1～表 9 に示した実験結果から、図 7 に示すグラフを作成した。図 7 に示すように、DDL 加工装置は表 1～表 9 に示した加工条件の下で、CO₂ レーザ加工装置より高速に切断可能で、ファイバレーザ加工装置と比較しても高速に切断可能であると評価できる。なお、ステンレス鋼（厚さ 1mm）における結果は、切断速度比が 1.9 であり、大まかな傾向として、対 CO₂ レーザ加工装置の結果が軟鋼の結果に一致している。

【0058】

< 第 2 の実施例 >

次に、第 2 の実施例として、第 1 の実施例と同様に、本発明の実施形態に係る DDL 加工装置と、比較例としての CO₂ レーザ加工装置と Yb ファイバレーザ加工装置を用いて、1mm、2mm、3mm、4mm の板厚のアルミニウムの高速切断加工について説明す

50

る。第2の実施例でも、各加工装置について、図6に示した良好な切断品位が得られる加工条件を選択した。

【0059】

第2の実施例では、DDL加工装置におけるレーザ光のBPPは $10.3\text{ mm}\cdot\text{mrad}$ とし、CO₂レーザ加工装置におけるレーザ光のBPPは $8\text{ mm}\cdot\text{mrad}$ とし、ファイバレーザ加工装置におけるレーザ光のBPPは $2.3\text{ mm}\cdot\text{mrad}$ とした。

【0060】

また、各加工装置において、アシストガスは窒素とし、DDL加工装置においてはアシストガスのガス圧を $0.8\text{ MPa}\sim 1.5\text{ MPa}$ で制御した。また、DDL加工装置において、集光直径dは一定の $364\text{ }\mu\text{m}$ 又は $300\text{ }\mu\text{m}$ で制御し、被加工材Wの単位切断長さ当たりのジュール熱は $6.9\text{ J/mm}\sim 43.6\text{ J/mm}$ で制御し、且つ被加工材Wの切断速度は $45.8\text{ mm/秒}\sim 291.7\text{ mm/秒}$ で制御した。

【0061】

【表10】

アルミニウム1mm
アシストガス：N₂

	BPP (mm *mrad)	ガス 圧 (MPa)	集光直径 d (μm)	ジュール熱 (J/mm)	切断速度 (mm/sec) @2kW	速度比	吸収率 A(%) @70度	A/d	A/d 比
DDL (2kW)	10.3	0.8	247	6.9	291.7	2.7	0.126	0.00051	6.8
CO ₂ (2kW)	8	0.8	250	18.8	106.7	1.0	0.019	0.00008	1.0
Fiber (2kW)	2.3	0.8	160	4.0	500.0	4.7	0.074	0.00046	6.2

【0062】

表10は、1mmのアルミニウムを切断した場合の実験結果を示す。表10から、DDL加工装置の単位切断長さ当たりのジュール熱はCO₂レーザ加工装置よりも小さく良好であることが分かる。また、DDL加工装置の切断速度はCO₂レーザ加工装置よりも速く、高速で加工できたことが分かる。また、DDL加工装置のA/dは、最も大きく、効率が良いことが分かる。

【0063】

【表11】

アルミニウム2mm
アシストガス：N₂

	BPP (mm *mrad)	ガス 圧 (MPa)	集光直径 d (μm)	ジュール熱 (J/mm)	切断速度 (mm/sec) @2kW	速度比	吸収率 A(%) @70度	A/d	A/d 比
DDL (2kW)	10.3	1.2	247	16.0	125.0	2.1	0.126	0.00051	6.8
CO ₂ (2kW)	8	0.8	250	34.1	58.7	1.0	0.019	0.00008	1.0
Fiber (2kW)	2.3	0.8	160	20.0	100.0	1.7	0.074	0.00046	6.2

【0064】

表11は、2mmのアルミニウムを切断した場合の実験結果を示す。表11から、DDL

L 加工装置の単位切断長さ当たりのジュール熱は最も小さく良好であることが分かる。また、DDL 加工装置の切断速度は最も速く、高速で加工できたことが分かる。また、DDL 加工装置の A / d は、最も大きく、効率が良いことが分かる。

【 0 0 6 5 】

【表 1 2】

アルミニウム3mm

アシストガス: N₂

	BPP (mm *mrad)	ガス 圧 (MPa)	集光直径 d (μ m)	ジュール熱 (J/mm)	切断速度 (mm/sec) @2kW	速度比	吸収率 A(%) @70度	A/d	A/d 比
DDL (2kW)	10.3	1.5	247	24.0	83.3	2.4	0.126	0.00051	6.8
CO ₂ (2kW)	8	0.8	250	57.7	34.7	1.0	0.019	0.00008	1.0
Fiber (2kW)	2.3	0.8	160	30.0	66.7	1.9	0.074	0.00046	6.2

10

【 0 0 6 6 】

表 1 2 は、3 mm のアルミニウムを切断した場合の実験結果を示す。表 1 2 から、DDL 加工装置の単位切断長さ当たりのジュール熱は最も小さく良好であることが分かる。また、DDL 加工装置の切断速度は最も速く、高速で加工できたことが分かる。また、DDL 加工装置の A / d は、最も大きく、効率が良いことが分かる。

20

【 0 0 6 7 】

【表 1 3】

アルミニウム4mm

アシストガス: N₂

	BPP (mm *mrad)	ガス 圧 (MPa)	集光直径 d (μ m)	ジュール熱 (J/mm)	切断速度 (mm/sec) @2kW	速度比	吸収率 A(%) @70度	A/d	A/d 比
DDL (2kW)	10.3	1.2	300	43.6	45.8	1.9	0.126	0.00042	5.6
CO ₂ (2kW)	8	0.8	250	93.3	24.0	1.0	0.019	0.00008	1.0
Fiber (2kW)	2.3	0.8	160	42.9	46.7	1.9	0.074	0.00046	6.2

30

【 0 0 6 8 】

表 1 3 は、4 mm のアルミニウムを切断した場合の実験結果を示す。表 1 3 の実験では、DDL 加工装置の集光直径 d を 247 μ m から 300 μ m に変更したため、A / d 及び A / d 比の値も変化している。表 1 3 から、DDL 加工装置の単位切断長さ当たりのジュール熱は CO₂ レーザ加工装置よりも小さく、ファイバレーザ加工装置と同等であり良好であることが分かる。また、DDL 加工装置の切断速度は CO₂ レーザ加工装置よりも速く、ファイバレーザ加工装置と同等であり高速で加工できたことが分かる。また、DDL 加工装置の A / d は、CO₂ レーザ加工装置よりも大きく、ファイバレーザ加工装置と同等であり効率が良いことが分かる。

40

【 0 0 6 9 】

表 1 0 ~ 表 1 3 に示した実験結果から、図 8 のグラフを作成した。図 8 に示すように、DDL 加工装置は上記加工条件の下で、CO₂ レーザ加工装置より高速に切断可能である

50

と評価できる。また、ファイバレーザ加工装置と比較しても、アルミニウムの厚さ 2 mm 以上 4 mm 未満においては、表 10 ~ 表 13 に示した加工条件の下で高速に切断可能であると評価できる。

【0070】

< 第 3 の実施例 >

第 3 の実施例として、被加工材 W に対するレーザ光の入射角と材料の吸収率との関係について説明する。

【0071】

図 9 (a) 及び図 9 (b) は、鉄及びアルミニウムについての吸収特性の計算結果をそれぞれ示す。例えば、 $10.6 \mu\text{m}$ は、 CO_2 レーザ加工装置で使用される波長であり、 1080 nm は、ファイバレーザ加工装置で使用される波長であり、 $910 \text{ nm} \sim 950 \text{ nm}$ の範囲は、DDL 加工装置で使用される波長である。

10

【0072】

図 9 (a) 及び図 9 (b) において、第 1 及び第 2 の実施例で示したように、レーザ光の切断前面への入射角が 70 度の吸収率に着目すると、鉄及びアルミニウムのいずれにおいても、 $910 \text{ nm} \sim 950 \text{ nm}$ の波長範囲に対する吸収率が、 $10.6 \mu\text{m}$ の波長に対する吸収率よりも高いことが分かる。即ち、一般的に DDL 加工装置で使用される波長の範囲の吸収率は、 CO_2 レーザ加工装置で使用される波長の範囲の吸収率よりも大幅に高いことが分かる。

【0073】

20

したがって、DDL 加工装置で使用される波長の範囲の吸収率特性を有効利用するように、DDL 加工装置における多波長のレーザ光の波長として、 1000 nm 未満、好ましくは $910 \text{ nm} \sim 950 \text{ nm}$ の範囲で選択しつつ、他の加工条件を制御することにより、 CO_2 レーザ加工装置よりも高速で切断加工できる。

【0074】

以上説明したように、本発明の実施形態によれば、被加工材 W の吸収率及び厚さに応じて、DDL 加工装置の切断速度等の加工条件を制御することにより、 CO_2 レーザ加工装置よりも入射角を小さくでき、レーザ切断加工における熱切断の比切断材の溶融効果を CO_2 レーザ加工装置よりも高めることができる。また、被加工材 W の材質と厚さによっては、被加工材 W の吸収率及び厚さと集光径との関係から、ファイバレーザ加工装置よりも効率良く高速に加工することができる。

30

【0075】

(その他の実施形態)

本発明は実施形態によって記載したが、この開示の一部をなす論述及び図面はこの発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施形態、実施例及び運用技術が明らかとなろう。本発明はここでは記載していない様々な実施形態等を含むことは勿論である。したがって、本発明の技術的範囲は上記の説明から妥当な特許請求の範囲に係る発明特定事項によってのみ定められるものである。

【符号の説明】

【0076】

40

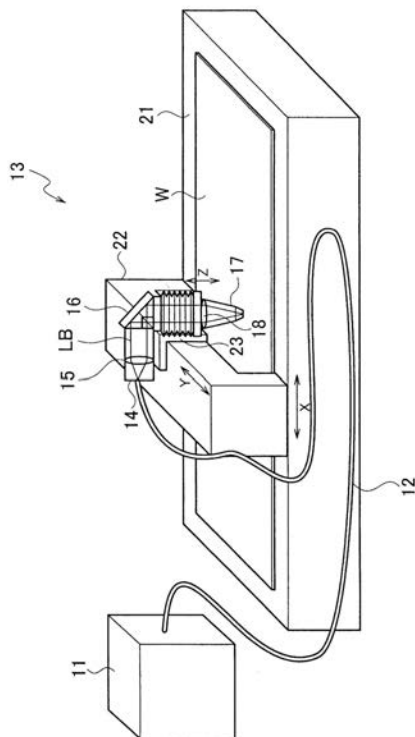
- 10 ... DDL モジュール
- 11 ... レーザ発振器
- 12 ... 伝送ファイバ (プロセスファイバ)
- 13 ... レーザ加工機
- 14 ... コリメータユニット
- 15 ... コリメータレンズ
- 16 ... ベンドミラー
- 17 ... 加工ヘッド
- 18 ... 集光レンズ
- 21 ... 加工テーブル

50

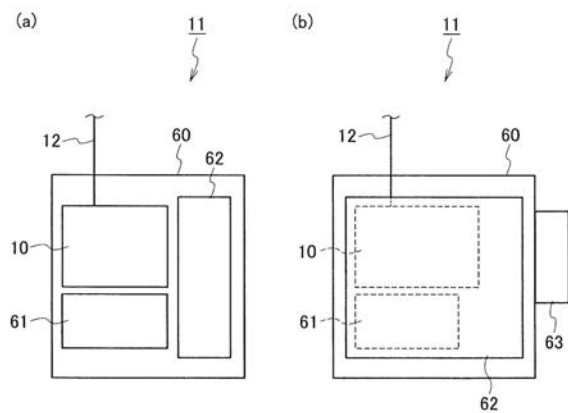
- 2 2 ... X 軸 キャリッジ
- 2 3 ... Y 軸 キャリッジ
- 3 ₁ , 3 ₂ , 3 ₃ , . . . 3 _n ... レーザダイオード (L D)
- 4 ₁ , 4 ₂ , 4 ₃ , . . . 4 _n ... ファイバ
- 5 0 ... スペクトルビーム結合部
- 5 1 ... 固定部
- 5 2 ... コリメータレンズ (光学素子)
- 5 3 ... 回折格子 (光学素子)
- 5 4 ... 集光レンズ (光学素子)
- 5 5 ... 部分反射カブラ
- 6 0 ... 筐体
- 6 1 ... 電源部
- 6 2 ... 制御モジュール
- 6 3 ... 空調機器

10

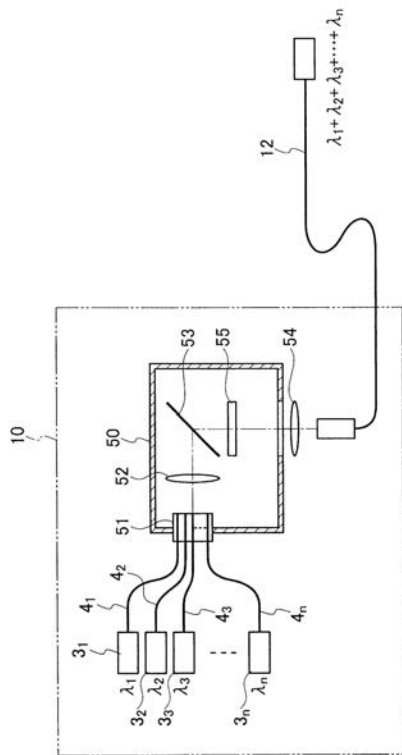
【 図 1 】



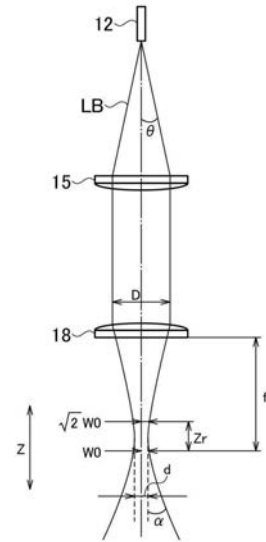
【 図 2 】



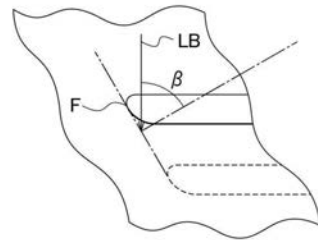
【図 3】



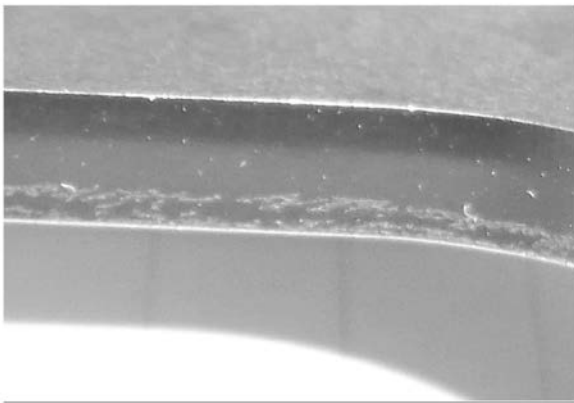
【図 4】



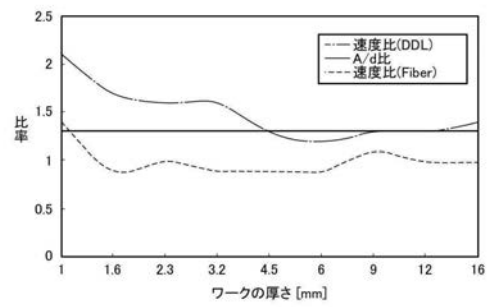
【図 5】



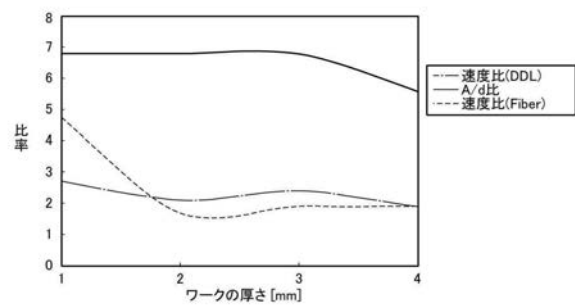
【図 6】



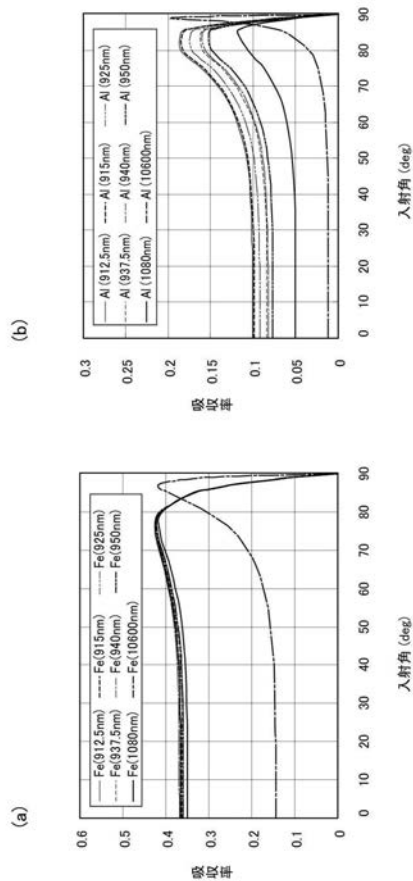
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【手続補正書】

【提出日】令和2年5月13日(2020.5.13)

【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】

多波長のレーザ光を発振するレーザ共振器と、

前記レーザ共振器により発振された多波長のレーザ光を伝送する伝送ファイバと、

前記伝送ファイバにより伝送された多波長のレーザ光を集光して被加工材を加工するレーザ加工機と、を備えたダイレクトダイオードレーザ加工装置であって、

P はレーザパワー [W] であり、 A は吸収率であり、 E は融解エネルギー又は蒸発エネルギー [J / mm³] であり、 d はビーム直径 [mm] であり、 t は板厚 [mm] であるとき、

前記被加工材の厚さ及び吸収率に基づいて、

前記多波長のレーザ光の波長を、1000nm未満、

前記多波長のレーザ光のビームパラメータ積を、4mm・mrad～25mm・mrad、前記被加工材の切断速度 V を、 $V = P \cdot A / E \cdot d \cdot t$ (mm/s)

とし、且つ

波長帯域毎に個別に出力を可変調節することができるダイレクトダイオードレーザ加工装置。

【請求項 2】

多波長のレーザ光を発振するレーザ共振器と、

前記レーザ共振器により発振された多波長のレーザ光を伝送する伝送ファイバと、
前記伝送ファイバにより伝送された多波長のレーザ光を集光して被加工材を加工するレ
ーザ加工機と、を備えたダイレクトダイオードレーザ加工装置であって、

P はレーザパワー [W] であり、A は吸収率であり、E は融解エネルギー又は蒸発エネ
ルギー [J / mm³] であり、d はビーム直径 [mm] であり、t は板厚 [mm] である
とき、

前記被加工材の厚さ及び吸収率に基づいて、

前記多波長のレーザ光の波長を、1 0 0 0 nm 未満、

前記多波長のレーザ光のビームパラメータ積を、4 mm · m r a d ~ 2 5 mm · m r a

d、前記被加工材の切断速度Vを、 $V = P \cdot A / E \cdot d \cdot t$ (mm/s)

とし、且つ

全波長帯域の出力を所望の吸収率となるよう調整することができるダイレクトダイオ
ードレーザ加工装置。

【請求項 3】

前記被加工材に吹き付けるアシストガスの圧力を 0 . 0 5 M P a ~ 1 . 5 M P a に制御
することを特徴とする請求項 1 乃至 2 のいずれか 1 項に記載のダイレクトダイオードレ
ーザ加工装置。

【請求項 4】

前記多波長のレーザ光の集光直径を 2 4 7 μ m ~ 3 6 4 μ m に制御することを特徴とす
る請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のダイレクトダイオードレーザ加工装置。

【請求項 5】

前記被加工材の単位切断長さ当たりのジュール熱を 6 . 9 J / mm ~ 1 3 7 . 1 J / m
m に制御することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のダイレクトダイオ
ードレーザ加工装置。

【請求項 6】

入射角 7 0 ° における、前記多波長のレーザ光の集光直径と吸収率との比を 0 . 0 0 0
4 2 % / μ m ~ 0 . 1 1 % / μ m に制御することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか
1 項に記載のダイレクトダイオードレーザ加工装置。

【請求項 7】

前記被加工材が厚さ 1 mm ~ 1 6 mm の軟鋼であり、

前記被加工材に吹き付けるアシストガスの圧力を 0 . 0 5 M P a ~ 1 . 5 M P a 、前記
被加工材の単位切断長さ当たりのジュール熱を 1 2 . 0 J / mm ~ 1 3 7 . 1 J / mm
、且つ

前記被加工材の切断速度を 1 4 . 6 mm / 秒 ~ 1 6 6 . 7 mm / 秒に制御することを特
徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載のダイレクトダイオードレーザ加工装置。

【請求項 8】

前記被加工材が厚さ 1 mm ~ 4 mm のアルミニウムであり、

前記被加工材に吹き付けるアシストガスの圧力を 0 . 8 M P a ~ 1 . 5 M P a 、

前記被加工材の単位切断長さ当たりのジュール熱が 6 . 9 J / mm ~ 4 3 . 6 J / mm

、且つ

前記被加工材の切断速度を 4 5 . 8 mm / 秒 ~ 2 9 1 . 7 mm / 秒

に制御することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載のダイレクトダイオ
ードレーザ加工装置。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載のダイレクトダイオードレーザ加工装置を用いて
板金を切断加工することを特徴とする板金の加工方法。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載のダイレクトダイオードレーザ加工装置を用い、
波長帯域毎に個別に出力を調節して板金を切断加工する板金の加工方法。

【請求項 11】

請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載のダイレクトダイオードレーザ加工装置を用い、全波長帯域の出力を所望の吸収率となるよう調整して板金を切断加工する板金の加工方法
。

【請求項 1 2】

請求項 1 0 又は 1 1 の板金の加工方法であって、板金の主成分は軟鋼又はアルミニウムである板金の加工方法。

【請求項 1 3】

多波長のレーザ光は、波長帯域毎に個別に出力を可変調節することを特徴とする請求項 1 乃至 2 のいずれか 1 項に記載のダイレクトダイオードレーザ加工装置。

フロントページの続き

F ターム(参考) 4E168 AD07 CB03 CB15 DA02 DA13 DA23 DA26 DA28 DA32 EA05
EA17 FC04 JA02 JA03
5F173 MA08 ME44 MF02 MF03 MF23 MF28 MF38