

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2017年10月19日(19.10.2017)



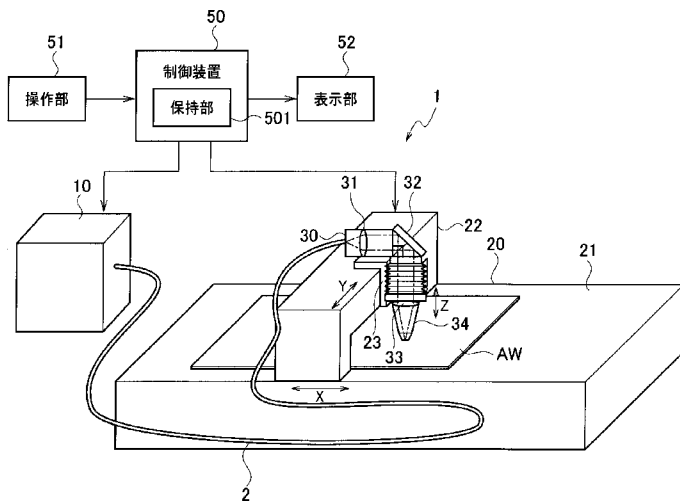
(10) 国際公開番号  
WO 2017/179642 A1

- (51) 国際特許分類:  
B23K 26/38 (2014.01) B23K 26/00 (2014.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/015073
- (22) 国際出願日: 2017年4月13日(13.04.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2016-081539 2016年4月14日(14.04.2016) JP  
特願 2017-077515 2017年4月10日(10.04.2017) JP
- (71) 出願人: 株式会社アマダホールディングス  
(AMADA HOLDINGS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2591196  
神奈川県伊勢原市石田200番地 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 杉山 明彦 (SUGIYAMA Akihiko); 〒  
2591196 神奈川県伊勢原市石田200番地  
Kanagawa (JP). 溝口 祐也 (MIZOGUCHI Yuya); 〒  
2591196 神奈川県伊勢原市石田200番地  
Kanagawa (JP). 伊藤 雅仁 (ITO Masahito); 〒  
2591196 神奈川県伊勢原市石田200番地  
Kanagawa (JP). 國廣 正人 (KUNIHIRO Masato); 〒  
2591196 神奈川県伊勢原市石田200番地  
Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 三好 秀和, 外(MIYOSHI Hidekazu et al.);  
〒1050001 東京都港区虎ノ門一丁目2番8号  
虎ノ門琴平タワー Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保  
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,  
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,  
CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG,  
ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL,  
IN, IR, IS, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC,  
LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW,  
MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG,  
PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG,  
SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,  
UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保  
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,  
MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー  
ラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー  
ロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,  
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

[続葉有]

(54) Title: LASER MACHINING APPARATUS AND LASER MACHINING METHOD

(54) 発明の名称: レーザ加工機及びレーザ加工方法



50 Control device  
51 Operation part  
52 Display part  
501 Holding part

(57) Abstract: According to the present invention: movement time  $t_p$  is the time in which a laser light is moving in an interior region that is an area that corresponds to 44% of the total heat energy within the area of the beam spot of the laser light from the center of the beam spot; melting time  $t_m$  is the time in which an aluminum sheet material melts as calculated from formula (1), in which  $c$  is specific heat,  $\rho$  is density,  $\lambda$  is thermal conductivity,  $T$  is melting temperature,  $T_0$  is environmental temperature,  $A$  is light absorption, and  $P_d$  is the energy density of the interior region;  $x$  is the sheet thickness of the sheet material;  $y$  is the value  $t_m/t_p$  of dividing the melting time  $t_m$  by the movement time  $t_p$ ; and a laser machining unit cuts the sheet material with the value of  $y$  set between a lower limit found from formula (2) and an upper limit found from formula (3). (1)  $t_m = c \times \rho \times \lambda \times \pi [(T - T_0) / (2 \times A \times P_d)]^2 \dots$  (1)  $y = 0.0027e^{0.36x} \dots$  (2)  $y = 0.0026e^{0.4512x} \dots$

(57) 要約: レーザ光が、レーザ光のビームスポットの面積のうち、ビームスポットの中心から面積内の全熱エネルギーのうちの44%の熱エネルギーに相当

する面積の内部領域を移動する時間を移動時間  $t_p$  とする。  $c$  を比熱、  $\rho$  を密度、  $\lambda$  を熱伝導度、  $T$  を融解温度、  $T_0$  を環境温度、  $A$  を光吸収率、  $P_d$  を内部領域のエネルギー密度として、式(1)で計算される時間をアルミニウムの板材が融解する融解時間  $t_m$  とする。板材の板厚を  $x$ 、融解時間  $t_m$  を移動時間  $t_p$  で除した  $t_m/t_p$  の値を  $y$  としたとき、レーザ加工ユニットは、値  $y$  を式(2)で得られる下限値から式(3)で得られる上限値までの間となるように設定して、板材を切断加工する。  $t_m = c \times \rho \times \lambda \times \pi [(T - T_0) / (2 \times A \times P_d)]^2 \dots$  (1)  $y = 0.0027e^{0.36x} \dots$  (2)  $y = 0.0026e^{0.4512x} \dots$  (3)



WO 2017/179642 A1

MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, 添付公開書類:  
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, — 國際調查報告 (條約第 21 條(3))  
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

## 明 細 書

発明の名称： レーザ加工機及びレーザ加工方法

### 技術分野

[0001] 本開示は、レーザ光を照射してアルミニウムの板材を切断するレーザ加工機及びレーザ加工方法に関する。

### 背景技術

[0002] レーザ発振器から射出されたレーザ光を被加工物に照射することにより被加工物を切断加工するレーザ加工機が普及している。レーザ発振器として、CO<sub>2</sub>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。

[0003] 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。また、CO<sub>2</sub>レーザ発振器は、射出するレーザ光の波長が10μm程度であるのに対し、ファイバレーザ発振器またはDDL発振器は、射出するレーザ光の波長が1μm程度である。従って、ファイバレーザ発振器またはDDL発振器が射出するレーザ光は、ビームウエストが小さく、パワー密度が高いため、板厚が薄い板材を高速で加工するのに適している。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：特開平11-170077号公報  
特許文献2：特表2015-500571号公報

#### 非特許文献

[0005] 非特許文献1：片山、「溶接接合教室－基礎を学ぶ 第1章 溶接法および機器（1-4）レーザ溶接」、溶接学会誌 第78巻（2009）第2号、溶接学会、2009年3月、p124～138

### 発明の概要

[0006] レーザ加工機が、ファイバレーザ発振器またはDDL発振器より射出された1 μm帯のレーザ光を用いて被加工物としてアルミニウムを主成分とする板材を切断すると、ドロスが発生しやすい。特許文献1にはドロスの発生を抑制する手法が記載されているが、特許文献1に記載された手法のみではドロスの発生を十分に抑制することができないことがあった。そこで、アルミニウムの板材を切断する際のドロスの発生を十分に抑制する新たな手法が望まれる。

[0007] 実施形態は、ドロスの発生を十分に抑制して、アルミニウムの板材を良好な切断加工品質で切断することができるレーザ加工機及びレーザ加工方法を提供することを目的とする。

[0008] 実施形態の第1の態様によれば、波長が1 μm帯であるレーザ光を射出するレーザ発振器と、前記レーザ発振器から射出されたレーザ光を、1000系の材料記号を有するアルミニウムの板材に照射し、前記板材に対するレーザ光の照射位置を移動させて前記板材を切断加工するレーザ加工ユニットとを備え、レーザ光が、前記板材に照射されるレーザ光のビームスポットの面積のうち、前記ビームスポットの中心から前記面積内の全熱エネルギーのうちの44%の熱エネルギーに相当する面積の内部領域を移動する時間を移動時間 $t_p$ とし、 $c$ を前記板材の比熱、 $\rho$ を前記板材の密度、 $\lambda$ を前記板材の熱伝導度、 $T$ を前記板材の融解温度、 $T_0$ を環境温度、 $A$ を前記板材の光吸収率、 $P_d$ を前記内部領域のエネルギー密度として、式(1)で計算される時間を前記板材が融解する融解時間 $t_m$ とし、前記板材の板厚を $x$ 、融解時間 $t_m$ を移動時間 $t_p$ で除した $t_m/t_p$ の値を $y$ としたとき、前記レーザ加工ユニットは、値 $y$ を式(2)で得られる下限値から式(3)で得られる上限値までの間となるように設定して、前記板材を切断加工することを特徴とするレーザ加工機が提供される。

$$t_m = c \times \rho \times \lambda \times \pi \left[ (T - T_0) / (2 \times A \times P_d) \right]^2 \quad \dots (1)$$

$$y = 0.0027e^{0.36x} \quad \dots (2)$$

$$y = 0.0026e^{0.4512x} \quad \dots (3)$$

[0009] 実施形態の第2の態様によれば、波長が1 μm帯であるレーザ光を射出するレーザ発振器と、前記レーザ発振器から射出されたレーザ光を、5000系の材料記号を有するアルミニウムの板材に照射し、前記板材に対するレーザ光の照射位置を移動させて前記板材を切断加工するレーザ加工ユニットとを備え、レーザ光が、前記板材に照射されるレーザ光のビームスポットの面積のうち、前記ビームスポットの中心から前記面積内の全熱エネルギーのうちの44%の熱エネルギーに相当する面積の内部領域を移動する時間を移動時間 $t_p$ とし、 $c$ を前記板材の比熱、 $\rho$ を前記板材の密度、 $\lambda$ を前記板材の熱伝導度、 $T$ を前記板材の融解温度、 $T_0$ を環境温度、 $A$ を前記板材の光吸収率、 $P_d$ を前記内部領域のエネルギー密度として、式(1)で計算される時間を前記板材が融解する融解時間 $t_m$ とし、前記板材の板厚を $x$ 、融解時間 $t_m$ を移動時間 $t_p$ で除した $t_m/t_p$ の値を $y$ としたとき、前記レーザ加工ユニットは、値 $y$ を式(4)で得られる下限値から式(5)で得られる上限値までの間となるように設定して、前記板材を切断加工することを特徴とするレーザ加工機が提供される。

$$t_m = c \times \rho \times \lambda \times \pi \left[ (T - T_0) / (2 \times A \times P_d) \right]^2 \quad \dots (1)$$

$$y = 0.0009e^{0.5839x} \quad \dots (4)$$

$$y = 0.0019e^{0.4582x} \quad \dots (5)$$

[0010] 実施形態の第3の態様によれば、波長が1 μm帯であるレーザ光を、1000系の材料記号を有するアルミニウムの板材に照射し、前記板材に対するレーザ光の照射位置を移動させて前記板材を切断加工し、レーザ光が、前記板材に照射されるレーザ光のビームスポットの面積のうち、前記ビームスポットの中心から前記面積内の全熱エネルギーのうちの44%の熱エネルギーに相当する面積の内部領域を移動する時間を移動時間 $t_p$ とし、 $c$ を前記板材の比熱、 $\rho$ を前記板材の密度、 $\lambda$ を前記板材の熱伝導度、 $T$ を前記板材の融解温度、 $T_0$ を環境温度、 $A$ を前記板材の光吸収率、 $P_d$ を前記内部領域のエネルギー密度として、式(1)で計算される時間を前記板材が融解する融解時間 $t_m$ とし、前記板材の板厚を $x$ 、融解時間 $t_m$ を移動時間 $t_p$ で除した $t$

$m/t_p$ の値を $y$ としたとき、値 $y$ を式(2)で得られる下限値から式(3)で得られる上限値までの間となるように設定して、前記板材を切断加工することを特徴とするレーザ加工方法が提供される。

$$t_m = c \times \rho \times \lambda \times \pi \left[ (T - T_0) / (2 \times A \times P_d) \right]^2 \quad \dots (1)$$

$$y = 0.0027e^{0.36x} \quad \dots (2)$$

$$y = 0.0026e^{0.4512x} \quad \dots (3)$$

[0011] 実施形態の第4の態様によれば、波長が $1 \mu\text{m}$ 帯であるレーザ光を、5000系の材料記号を有するアルミニウムの板材に照射し、前記板材に対するレーザ光の照射位置を移動させて前記板材を切断加工し、レーザ光が、前記板材に照射されるレーザ光のビームスポットの面積のうち、前記ビームスポットの中心から前記面積内の全熱エネルギーのうちの44%の熱エネルギーに相当する面積の内部領域を移動する時間を移動時間 $t_p$ とし、 $c$ を前記板材の比熱、 $\rho$ を前記板材の密度、 $\lambda$ を前記板材の熱伝導度、 $T$ を前記板材の融解温度、 $T_0$ を環境温度、 $A$ を前記板材の光吸収率、 $P_d$ を前記内部領域のエネルギー密度として、式(1)で計算される時間を前記板材が融解する融解時間 $t_m$ とし、前記板材の板厚を $x$ 、融解時間 $t_m$ を移動時間 $t_p$ で除した $t_m/t_p$ の値を $y$ としたとき、値 $y$ を式(4)で得られる下限値から式(5)で得られる上限値までの間となるように設定して、前記板材を切断加工することを特徴とするレーザ加工方法が提供される。

$$t_m = c \times \rho \times \lambda \times \pi \left[ (T - T_0) / (2 \times A \times P_d) \right]^2 \quad \dots (1)$$

$$y = 0.0009e^{0.5839x} \quad \dots (4)$$

$$y = 0.0019e^{0.4582x} \quad \dots (5)$$

[0012] 実施形態のレーザ加工機及びレーザ加工方法によれば、ドロスの発生を十分に抑制して、アルミニウムの板材を良好な切断加工品質で切断することができる。

### 図面の簡単な説明

[0013] [図1]図1は、一実施形態のレーザ加工機の全体的な構成例を示す斜視図である。

[図2]図2は、一実施形態のレーザ加工機の混合ガス供給部の概略的な構成例を示す図である。

[図3]図3は、リング形状のビームプロファイルを示す図である。

[図4]図4は、図1中のレーザ発振器をファイバレーザ発振器で構成した場合の概略的な構成を示す図である。

[図5]図5は、図1中のレーザ発振器をダイレクトダイオードレーザ発振器で構成した場合の概略的な構成を示す図である。

[図6A]図6Aは、1000系の材料記号を有するアルミニウムの板材を切断したときの各サンプルのパラメータを示す図である。

[図6B]図6Bは、1000系の材料記号を有するアルミニウムの板材を切断したときの指標と評価との関係を示す図である。

[図7]図7は、1000系の材料記号を有するアルミニウムの板材を切断するときの板厚と指標の下限値及び上限値との関係を近似式で示す特性図である。

。

[図8A]図8Aは、5000系の材料記号を有するアルミニウムの板材を切断したときの各サンプルのパラメータを示す図である。

[図8B]図8Bは、5000系の材料記号を有するアルミニウムの板材を切断したときの指標と評価との関係を示す図である。

[図9]図9は、5000系の材料記号を有するアルミニウムの板材を切断するときの板厚と指標の下限値及び上限値との関係を近似式で示す特性図である。

。

### 発明を実施するための形態

[0014] 以下、一実施形態のレーザ加工機及びレーザ加工方法について、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帯であるレーザ光を射出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。ファイバレーザ発振器が射出するレーザ光の波長は一般的に1060nm~1080nm、DDL発振器が射出するレーザ光の波長は一般的に910nm~950nmである。波長900~1100

を1  $\mu\text{m}$ 帯と称する。

- [0015] 図1に示すように、レーザ加工機1は、一点鎖線にて示すレーザ光をアルミニウムを主成分とする板材AW（以下、アルミ板材AWと称す）に照射することにより、アルミ板材AWを切断加工する。レーザ加工機1は、レーザ発振器10と、レーザ加工ユニット20と、プロセスファイバ2と、制御装置50と、操作部51と、表示部52とを備える。制御装置50は保持部501を備える。保持部501は制御装置50の外部に設けられていてもよい。制御装置50は、NC装置によって構成することができる。
- [0016] 制御装置50は、レーザ発振器10及びレーザ加工ユニット20を制御する。オペレータは、操作部51を操作してアルミ板材AWを加工するときの各種のパラメータを設定することができる。制御装置50は、自動的に設定されるパラメータまたは操作部51によって手動で設定されたパラメータに基づいて、アルミ板材AWを加工するようレーザ加工機1を制御する。制御装置50は、表示部52に各種の情報を表示するよう制御する。
- [0017] レーザ発振器10は、波長が1  $\mu\text{m}$ 帯であるレーザ光を生成して射出する。レーザ発振器10は、ファイバレーザ発振器またはDDL発振器である。但し、波長が1  $\mu\text{m}$ 帯であるレーザ光を射出するレーザ発振器であれば、ファイバレーザ発振器またはDDL発振器以外であってもよい。
- [0018] プロセスファイバ2は、入力端側がレーザ発振器10に接続され、出力端側がレーザ加工ユニット20に接続されている。プロセスファイバ2は、レーザ加工ユニット20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。プロセスファイバ2は、レーザ発振器10から射出されたレーザ光をレーザ加工ユニット20へ伝送する。
- [0019] レーザ加工ユニット20は、アルミ板材AW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（図1では左右方向）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（図1では手前奥方向）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20は、Y軸キャリッジ23に固定されたコリメ



ータユニット30を有する。

[0020] コリメータユニット30は、プロセスファイバ2の出力端から伝送されたレーザ光を平行光化して略平行光束とするコリメートレンズ31と、略平行光束に変換されたレーザ光をX軸及びY軸に垂直なZ軸方向（図1では上下方向）の下方に向けて反射させるベンドミラー32とを有する。また、コリメータユニット30は、ベンドミラー32で反射したレーザ光を高エネルギー密度に集束させる集束レンズ33（フォーカシングレンズ）と、加工ヘッド34とを有する。

[0021] コリメートレンズ31、ベンドミラー32、集束レンズ33、及び、加工ヘッド34は、予め光軸が調整された状態でコリメータユニット30内に固定されている。集束レンズ33は単焦点レンズである。

[0022] 図2に示すように、集束レンズ33により集束されたレーザ光は、加工ヘッド34の先端部のノズル35から射出されてアルミ板材AWに照射される。具体的には、レーザ光は、ビームウエスト（焦点位置）がアルミ板材AWよりもわずかにノズル35側（加工ヘッド34側）に位置するように調整された状態でアルミ板材AWに照射されるのがよい。焦点位置を補正するために、コリメートレンズ31がX軸方向に移動するように構成されていてもよい。

[0023] コリメータユニット30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、レーザ加工ユニット20は、加工ヘッド34から射出されるレーザ光がアルミ板材AWに照射される位置を、X軸方向及びY軸方向に移動させることができる。

[0024] レーザ加工機1は、混合ガス供給部40を備える。混合ガス供給部40は、窒素ガスと酸素ガスとを混合させる混合器（酸素濃度調整器）41と、窒素ガスと酸素ガスの混合ガス、即ち酸素を含む混合ガスを一時貯蔵して昇圧させ、ガス圧を調整する昇圧器42とを有する。

[0025] 混合器41に対して、液体窒素ガスボンベから窒素ガスを供給してもよい

し、空気から窒素を分離可能な中空糸で構成された窒素分離膜により精製された窒素リッチなガスを供給してもよい。また、混合器41に対して、酸素ガスボンベから酸素ガスを供給してもよいし、空気から酸素を分離可能な中空糸で構成された酸素分離膜により精製された酸素リッチなガスを供給してもよい。

[0026] 混合器41は、窒素ガスと酸素ガスとを混合させ、混合ガスの酸素濃度（体積％）を調整する。例えば、混合器41は、窒素ガスまたは酸素ガスの圧力を等圧にする弁を介して混合ガスの流量を自動制御するマスフローコントローラである。自動制御の代わりに単にセンシングを行うマスフローメータの測定結果からマスフロー（質量流量）を手動で調整するようにしてもよい。

[0027] 通常、空気は約21％（体積％）の酸素と、約78％（体積％）の窒素とを有する。そこで、微粒子を取り除いた清浄な空気と窒素ガスとを混合器41で混合させ、混合ガスの酸素濃度（体積％）を調整するようにしてもよい。

[0028] 昇圧器42は、圧力調整された混合ガスを、加工ヘッド34の内部に供給する。加工ヘッド34の内部に供給された混合ガスは、加工ヘッド34の先端部のノズル35からアシストガスAGとしてアルミ板材AWに噴出される。アシストガスAGを併用してレーザ光による切断加工を施すことにより、アルミ板材AWの溶解を促進させることができる。これにより、アルミ板材AWの切断速度や切断面の面粗度を向上させ、ドロスの発生を抑制することができる。

[0029] 以上の構成により、レーザ加工機1は、窒素ガスと酸素ガスとの混合ガスであり、酸素濃度が調整されたアシストガスAGをアルミ板材AWに噴出させながら、レーザ光をアルミ板材AWに照射し、アルミ板材AWを切断加工する。

[0030] 図1に示すレーザ加工機1の代わりに、ロボット型のレーザ加工機としてもよい。

- [0031] レーザ発振器 10 には、特許文献 2 に記載されているような、ビームパラメータ積 (Beam Parameter Products) (以下、BPP と略記する) を調整する BPP 調整装置が設けられている。BPP は、ビームウエストの半径とビームの発散角の半値半幅との積で表される。BPP 調整装置は、レーザ発振器 10 がプロセスファイバ 2 に射出するレーザ光の BPP を調整して、所定のビームプロファイルを有するレーザ光を生成する。
- [0032] レーザ発振器 10 は、BPP 調整装置がレーザ光の BPP を調整することにより、図 3 に示すような、中心部のビーム強度が低く、周辺部のビーム強度が高い、いわゆるリング形状のビームプロファイルを有するレーザ光を射出する。
- [0033] 図 4 は、レーザ発振器 10 をファイバレーザ発振器 110 で構成した場合の概略的な構成を示している。
- [0034] ファイバレーザ発振器 110 は、複数のレーザダイオード 111 と、励起コンバイナ 112 と、2 つのファイバブラッググレーティング (FBG) 113, 115 と、Yb ドープファイバ 114 と、フィーディングファイバ 116 と、ビームカップラ 120 とを有する。ビームカップラ 120 は、レンズ 121, 122 を有する。
- [0035] 複数のレーザダイオード 111 はそれぞれ波長  $\lambda$  のレーザ光を射出する。励起コンバイナ 112 は、複数のレーザダイオード 111 から射出されたレーザ光を空間ビーム結合させる。
- [0036] 励起コンバイナ 112 で空間ビーム結合されたレーザ光は、FBG 113 を介して Yb ドープファイバ 114 に入射される。Yb ドープファイバ 114 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。
- [0037] Yb ドープファイバ 114 に入射されたレーザ光は、FBG 113 と FBG 115 との間で往復を繰り返す。その結果、FBG 115 からは、波長  $\lambda$  とは異なる概ね  $1060\text{ nm} \sim 1080\text{ nm}$  の波長  $\lambda'$  のレーザ光が射出される。

- [0038] FBG 115から射出されたレーザ光は、フィーディングファイバ116を介してビームカップラ120に入射される。ビームカップラ120に入射したレーザ光は、レンズ121, 122を介してプロセスファイバ2に入射される。
- [0039] なお、プロセスファイバ2は1本の光ファイバで構成されており、アルミ板材AWに照射されるまで、プロセスファイバ2で伝送されるレーザ光が他のレーザ光と合成されることはない。
- [0040] 図5は、レーザ発振器10をDDL発振器210で構成した場合の概略的な構成を示している。
- [0041] DDL発振器210は、複数のレーザダイオード2111~211nと、オプティカルボックス220とを有する。レーザダイオード2111~211nはそれぞれ互いに異なる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ のレーザ光を射出する。波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ は910nm~950nmである。
- [0042] オプティカルボックス220は、レーザダイオード2111~211nから射出されたレーザ光を空間ビーム結合させる。オプティカルボックス220は、コリメートレンズ221と、グレーティング222と、集束レンズ223とを有する。
- [0043] コリメートレンズ221は、空間ビーム結合されたレーザ光を平行光化する。グレーティング222は、平行光化されたレーザ光を90度偏向させ、集束レンズ223に入射させる。集束レンズ223は、レーザ光を集束してプロセスファイバ2に入射させる。
- [0044] なお、プロセスファイバ2は1本の光ファイバで構成されており、アルミ板材AWに照射されるまで、プロセスファイバ2で伝送されるレーザ光が他のレーザ光と合成されることはない。
- [0045] 代表的なアルミ板材AWの材質として、例えば材料記号が1000系の純アルミニウム系材料と、材料記号が5000系のアルミニウムマグネシウム合金であるAl-Mg系材料とがある。純アルミニウム系材料及びAl-Mg系材料を含め、アルミニウムを主成分とする材料をアルミニウムと称する

こととする。

[0046] 例えば、純アルミニウム系材料（1000系）であるA1050（材料記号）は、99.5%以上がアルミニウム成分で構成され、Si、Fe、Cu、Mn、Mg、Zn、Ti等の化学成分を含む。なお、Siの含有率は0.25%以下であり、Feの含有率は0.4%以下である。それ以外の化学成分は、それぞれ0.05%以下である。

[0047] アルミニウムマグネシウム合金（5000系）であるA5052（材料記号）は、アルミニウム合金の中で中間的な強度を有す代表的な材料であり、最もよく使用される合金である。A5052は、主成分のアルミニウムにSi、Fe、Cu、Mn、Mg、Cr、Zn等の化学成分が含まれている。A5052は、Mgの含有率が2.2%~2.8%である。

[0048] 次に、本発明者は、以下のように、ドロスの発生が少なく、アルミ板材AWを良好な切断加工品質で切断することができる条件を検証した。レーザ発振器10を図4に示すファイバレーザ発振器110とし、1060nm~1080nmの単波長のレーザ光を用いた。ファイバレーザ発振器110の出力を2kWとした。アルミ板材AWの切断端面へのレーザ光の入射角を84°とした。

[0049] アルミ板材AWとしてA1050及びA5052のアルミニウムを用い、板厚を2mm、3mm、4mmとした。アルミニウムは、比熱913（J/kg・℃）、比重（密度）2700（kg/m<sup>3</sup>）、熱伝導度225（W/m℃）であり、最大融解温度を657℃とした。

[0050] アルミ板材AWの板厚に対するドロス高さの比率が、板厚が2mm及び3mmの場合には3%以下、板厚が4mmの場合には3.5%以下であるとき、ドロスの発生が十分に抑制されて切断加工品質が良好であるとする。

[0051] 図6A及び図6Bは、アルミ板材AWとしてA1050のアルミニウムを用い、番号1~29の29個のサンプルをレーザ加工機1によって切断したときの実験結果を示している。図6A（及び後述する図8A）において、ノズル径とは、図2に示すノズル35の開口径Rnである。

- [0052] 板厚が厚くなれば、切断される面積が広がる。板厚が厚くなれば、切断幅を大きくすることが望ましい。切断時に融解された金属量は板厚に比例し、融解された金属を一定時間内に吹き飛ばすためには、ノズル35の開口径 $R_n$ を大きくすることが望ましい。
- [0053] ガス圧は図2に示すアシストガスAGの圧力である。焦点オフセットは、アルミ板材AWの表面から、ノズル35側にわずかに離れて位置するレーザー光のビームウエストまでの距離である。酸素濃度とは、アシストガスAGに含まれる酸素濃度である。切断速度は、アルミ板材AWに対するレーザー光の照射位置の移動速度である。
- [0054] 図6B（及び後述する図8B）において、44%スポット径とは、図3に示すように、レーザー光のビームスポットの面積のうち、ビームスポットの中心から面積内の全熱エネルギーのうちの44%の熱エネルギーに相当する面積の内部領域の径である。本実施形態においては、一般的に用いられるビームスポットの中心から面積内の全熱エネルギーのうちの86%の熱エネルギーに相当する面積の内部領域よりも中心側の44%の内部領域を用いた指標に基づいて、切断加工品質を検証した。
- [0055] パワー密度 $P_d$ とは、44%スポット径におけるエネルギー密度（単位 $W/m^2$ ）である。移動時間 $t_p$ とは、アルミ板材AWを切断しながら移動するレーザー光が44%スポット径を移動する時間である。44%スポット径を $d$ 、アルミ板材AWの切断速度を $v$ とすれば、移動時間 $t_p$ は $d/v$ で表される。融解時間 $t_m$ とは、44%スポット径のレーザー光がアルミ板材AWに照射されたときに、アルミ板材AWが融解する論理的な時間である。
- [0056] 融解時間 $t_m$ は、A1050及びA5052のアルミニウム共通で、式（1）で計算される。式（1）において、 $c$ はアルミニウム（即ち、アルミ板材AW）の比熱（単位 $J/kg \cdot ^\circ C$ ）、 $\rho$ はアルミニウムの密度（単位 $kg/m^3$ ）、 $\lambda$ はアルミニウムの熱伝導度（単位 $(W/m \cdot ^\circ C)$ ）、 $T$ はアルミニウムの融解温度（単位 $^\circ C$ ）、 $T_0$ は環境温度（単位 $^\circ C$ ）、 $A$ はアルミニウムの光吸収率（単位%）である。式（1）は、非特許文献1に記載されている

事項から導くことができる。

$$t_m = c \times \rho \times \lambda \times \pi \left[ (T - T_0) / (2 \times A \times P d) \right]^2 \quad \dots (1)$$

[0057] 本発明者は、融解時間  $t_m$  を移動時間  $t_p$  で除した  $t_m / t_p$  が発生するドロスの高さに影響を与えるとの知見に基づき、 $t_m / t_p$  を指標として用いて切断加工品質を評価した。評価の欄におけるOKとは、上記のように、アルミ板材AWの板厚に対するドロス高さの比率が、板厚が2mm及び3mmの場合に3%以下、板厚が4mmの場合に3.5%以下を満たすことを意味する。

[0058] NGとはドロス高さの比率がその条件を満たさないか、アルミ板材AWを切断できなかったことを意味する。図6A及び図6Bにおいて、NGと評価されたサンプルのうち、サンプル5及び26以外ではアルミ板材AWを切断できたもののドロス高さの比率が条件を満たさず、サンプル5及び26ではアルミ板材AWを切断できなかった。

[0059] 図6Bより、アルミ板材AWとして板厚が2mmのA1050のアルミニウムを切断する場合、 $t_m / t_p$  を1.153%以上、1.596%以下とするのがよいことが分かる。アルミ板材AWとして板厚が3mmのA1050のアルミニウムを切断する場合、 $t_m / t_p$  を0.817%以上、0.894%以下とするのがよいことが分かる。アルミ板材AWとして板厚が4mmのA1050のアルミニウムを切断する場合、 $t_m / t_p$  を0.561%以上、0.647%以下とするのがよいことが分かる。

[0060] レーザ光の焦点位置はアルミ板材AWの表面よりもノズル35側に2.0mm～2.5mmシフトした位置とすることが好ましい。ノズル35の開口径  $R_n$  は板厚の67%～100%であることが好ましい。アシストガスAGは0.17体積%～0.40体積%の酸素を含むことが好ましく、ガス圧は1.0MPa～1.6MPaであることが好ましい。

[0061] 図7は、横軸を板厚、縦軸を  $t_m / t_p$  の値とし、板厚2mm、3mm、4mmそれぞれの  $t_m / t_p$  の値の下限値と上限値をプロットしたグラフである。板厚を  $x$ 、 $t_m / t_p$  の値を  $y$  とすると、下限値及び上限値はそれぞれ

れ式 (2) 及び (3) で示す近似式で表すことができる。

[0062]  $y = 0.0027e^{0.36x} \quad \dots (2)$

$y = 0.0026e^{0.4512x} \quad \dots (3)$

[0063] 図7より、アルミ板材AWの板厚が2mm、3mm、4mmのみに限らず、板厚によって決まる  $t_m / t_p$  の値が式(2)で求められる下限値から式(3)で求められる上限値までの間にあれば、A1050のアルミ板材AWを、ドロスの発生を十分に抑制して、良好な切断加工品質で切断することができるということになる。

[0064] 次に、アルミ板材AWとしてA5052のアルミニウムを用いた場合の実験結果を説明する。図8A及び図8Bは、アルミ板材AWとしてA5052のアルミニウムを用い、番号1~28の28個のサンプルをレーザ加工機1によって切断したときの実験結果を示している。

[0065] 図8A及び図8Bにおいて、NGと評価されたサンプルのうち、サンプル24及び25以外ではアルミ板材AWを切断できたもののドロス高さの比率が条件を満たさず、サンプル24及び25ではアルミ板材AWを切断できなかった。

[0066] 図8Bより、アルミ板材AWとして板厚が2mmのA5052のアルミニウムを切断する場合、 $t_m / t_p$ を1.104%以上、1.239%以下とするのがよいことが分かる。アルミ板材AWとして板厚が3mmのA5052のアルミニウムを切断する場合、 $t_m / t_p$ を0.507%以上、0.642%以下とするのがよいことが分かる。アルミ板材AWとして板厚が4mmのA5052のアルミニウムを切断する場合、 $t_m / t_p$ を0.315%以上、0.496%以下とするのがよいことが分かる。

[0067] レーザ光の焦点位置はアルミ板材AWの表面よりもノズル35側に2.5mm~4.0mmシフトした位置とすることが好ましい。ノズル35の開口径  $R_n$  は板厚の67%~100%であることが好ましい。アシストガスAGは0.13体積%~0.34体積%の酸素を含むことが好ましく、ガス圧は0.9MPa~1.6MPaであることが好ましい。



[0068] 図9は、横軸を板厚、縦軸を  $t_m / t_p$  の値とし、板厚 2 mm、3 mm、4 mm それぞれの  $t_m / t_p$  の値の下限値と上限値をプロットしたグラフである。板厚を  $x$ 、 $t_m / t_p$  の値を  $y$  とすると、下限値及び上限値はそれぞれ式 (4) 及び (5) で示す近似式で表すことができる。

$$[0069] \quad y = 0.0009e^{0.5839x} \quad \dots (4)$$

$$y = 0.0019e^{0.4582x} \quad \dots (5)$$

[0070] 図9より、アルミ板材 AW の板厚が 2 mm、3 mm、4 mm のみに限らず、板厚によって決まる  $t_m / t_p$  の値が式 (4) で求められる下限値から式 (5) で求められる上限値までの間にあれば、A5052 のアルミ板材 AW を、ドロスの発生を十分に抑制して、良好な切断加工品質で切断することができるということになる。

[0071] 図1において、保持部 501 は、式 (2) 及び (3)、式 (4) 及び式 (5) を保持する。制御装置 50 は、レーザ加工ユニット 20 によって、1000 系の材料記号を有するアルミニウムの所定の板厚の板材を設定されたパラメータに基づく加工条件で切断加工しようとするときに、値  $y$  が式 (2) で得られる下限値から式 (3) で得られる上限値までの間となるか否かを判定する。

[0072] 制御装置 50 は、レーザ加工ユニット 20 によって、5000 系の材料記号を有するアルミニウムの所定の板厚の板材を設定されたパラメータに基づく加工条件で切断加工しようとするときに、値  $y$  が式 (4) で得られる下限値から式 (5) で得られる上限値までの間となるか否かを判定する。

[0073] なお、保持部 501 に保存される式 (2) 及び (3)、式 (4) 及び式 (5) は指数近似曲線式であって、板厚によって決まる  $t_m / t_p$  の値の変化率が  $t_m / t_p$  の値に比例する近似式である。その近似式は、 $t_m / t_p$  の値の変化率から微分方程式で解くことができる。自然対数の底の累乗に使われる定数と積分定数とを算出することによって、鋼材メーカーの違い等に起因する近似式を微量に調整することができる。式 (2) ~ (5) において、0.0027, 0.0026, 0.0009, 0.0019 が積分定数である。

- [0074] 各  $t_m / t_p$  の値を鋼材メーカーの違い等に応じて変更して保持部 501 に保持し、制御装置 50 が近似式の定数と積分定数とを算出して式 (2) ~ (5) を生成して、式 (2) ~ (5) を保持部 501 に保持すればよい。
- [0075] 制御装置 50 は、アルミ板材 AW をレーザ加工ユニット 20 によって設定された加工条件で切断加工しようとするときに、値  $y$  が下限値から上限値までの間となるか否かの判定結果を表示部 52 に表示するよう制御する。制御装置 50 は、値  $y$  が下限値から上限値までの間となるか否かで異なる文字、記号、または画像を表示部 52 に表示する。
- [0076] 例えば、制御装置 50 は、値  $y$  が下限値の 105% よりも大きく、上限値の 95% よりも小さいときには良好を示す記号  $\circ$  を表示部 52 に表示する。制御装置 50 は、値  $y$  が下限値の 95% 以上 105% 以下であるか、上限値の 95% 以上 105% 以下であるときには注意を示す記号  $\Delta$  を表示部 52 に表示する。制御装置 50 は、値  $y$  が下限値の 95% 未満であるか、上限値の 105% より大きいときには不可を示す記号  $\times$  を表示部 52 に表示する。
- [0077] 記号  $\circ$ ,  $\Delta$ ,  $\times$  は記号の一例であり、制御装置 50 は、「良好」、「注意」、「不可」のように表示部 52 に文字を表示してもよい。注意とする範囲は下限値及び上限値の  $\pm 5\%$  に限定されず、制御装置 50 は、 $\pm 3\%$  または  $\pm 7\%$  のように適宜に設定すればよい。
- [0078] レーザ加工ユニット 20 がアルミ板材 AW の切断加工を開始する前に制御装置 50 が表示部 52 に判定結果を表示することにより、オペレータは、ドロスの発生が十分に抑制され、良好な切断加工品質が得られるか否かを確認することができる。
- [0079] 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。
- 産業上の利用可能性**
- [0080] 本発明は、アルミニウムの板材をレーザ光によって切断する際に利用できる。

## 請求の範囲

[請求項1]

波長が1 μm帯であるレーザー光を射出するレーザー発振器と、

前記レーザー発振器から射出されたレーザー光を、1000系の材料記号を有するアルミニウムの板材に照射し、前記板材に対するレーザー光の照射位置を移動させて前記板材を切断加工するレーザー加工ユニットと、

を備え、

レーザー光が、前記板材に照射されるレーザー光のビームスポットの面積のうち、前記ビームスポットの中心から前記面積内の全熱エネルギーのうちの44%の熱エネルギーに相当する面積の内部領域を移動する時間を移動時間 $t_p$ とし、

$c$ を前記板材の比熱、 $\rho$ を前記板材の密度、 $\lambda$ を前記板材の熱伝導度、 $T$ を前記板材の融解温度、 $T_0$ を環境温度、 $A$ を前記板材の光吸収率、 $P_d$ を前記内部領域のエネルギー密度として、式(1)で計算される時間を前記板材が融解する融解時間 $t_m$ とし、

$$t_m = c \times \rho \times \lambda \times \pi \left[ (T - T_0) / (2 \times A \times P_d) \right]^2 \quad \dots (1)$$

前記板材の板厚を $x$ 、融解時間 $t_m$ を移動時間 $t_p$ で除した $t_m / t_p$ の値を $y$ としたとき、

$$y = 0.0027e^{0.36x} \quad \dots (2)$$

$$y = 0.0026e^{0.4512x} \quad \dots (3)$$

前記レーザー加工ユニットは、値 $y$ を式(2)で得られる下限値から式(3)で得られる上限値までの間となるように設定して、前記板材を切断加工する

ことを特徴とするレーザー加工機。

[請求項2]

式(2)及び式(3)を保持する保持部と、

前記レーザー加工ユニットによって、1000系の材料記号を有するアルミニウムの所定の板厚の板材を設定された加工条件で切断加工し

ようとするときに、値  $y$  が式 (2) で得られる下限値から式 (3) で得られる上限値までの間となるか否かを判定して、判定結果を表示部に表示するよう制御する制御装置と、

をさらに備えることを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ加工機。

[請求項 3]

波長が  $1 \mu\text{m}$  帯であるレーザ光を射出するレーザ発振器と、

前記レーザ発振器から射出されたレーザ光を、5000系の材料記号を有するアルミニウムの板材に照射し、前記板材に対するレーザ光の照射位置を移動させて前記板材を切断加工するレーザ加工ユニットと、

を備え、

レーザ光が、前記板材に照射されるレーザ光のビームスポットの面積のうち、前記ビームスポットの中心から前記面積内の全熱エネルギーのうちの44%の熱エネルギーに相当する面積の内部領域を移動する時間を移動時間  $t_p$  とし、

$c$  を前記板材の比熱、 $\rho$  を前記板材の密度、 $\lambda$  を前記板材の熱伝導度、 $T$  を前記板材の融解温度、 $T_0$  を環境温度、 $A$  を前記板材の光吸収率、 $P_d$  を前記内部領域のエネルギー密度として、式 (1) で計算される時間を前記板材が融解する融解時間  $t_m$  とし、

$$t_m = c \times \rho \times \lambda \times \pi \left[ (T - T_0) / (2 \times A \times P_d) \right]^2 \quad \dots (1)$$

前記板材の板厚を  $x$ 、融解時間  $t_m$  を移動時間  $t_p$  で除した  $t_m / t_p$  の値を  $y$  としたとき、

$$y = 0.0009e^{0.5839x} \quad \dots (4)$$

$$y = 0.0019e^{0.4582x} \quad \dots (5)$$

前記レーザ加工ユニットは、値  $y$  を式 (4) で得られる下限値から式 (5) で得られる上限値までの間となるように設定して、前記板材を切断加工する

ことを特徴とするレーザ加工機。

[請求項4] 式(4)及び式(5)を保持する保持部と、  
前記レーザ加工ユニットによって、1000系の材料記号を有するアルミニウムの所定の板厚の板材を設定された加工条件で切断加工しようとするときに、値yが式(4)で得られる下限値から式(5)で得られる上限値までの間となるか否かを判定して、判定結果を表示部に表示するよう制御する制御装置と、

をさらに備えることを特徴とする請求項3に記載のレーザ加工機。

[請求項5] 前記板材の板厚は、2mm～4mmであることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載のレーザ加工機。

[請求項6] 波長が1μm帯であるレーザ光を、1000系の材料記号を有するアルミニウムの板材に照射し、

前記板材に対するレーザ光の照射位置を移動させて前記板材を切断加工し、

レーザ光が、前記板材に照射されるレーザ光のビームスポットの面積のうち、前記ビームスポットの中心から前記面積内の全熱エネルギーのうちの44%の熱エネルギーに相当する面積の内部領域を移動する時間を移動時間 $t_p$ とし、

$c$ を前記板材の比熱、 $\rho$ を前記板材の密度、 $\lambda$ を前記板材の熱伝導度、 $T$ を前記板材の融解温度、 $T_0$ を環境温度、 $A$ を前記板材の光吸収率、 $P_d$ を前記内部領域のエネルギー密度として、式(1)で計算される時間を前記板材が融解する融解時間 $t_m$ とし、

$$t_m = c \times \rho \times \lambda \times \pi \left[ (T - T_0) / (2 \times A \times P_d) \right]^2 \quad \dots (1)$$

前記板材の板厚を $x$ 、融解時間 $t_m$ を移動時間 $t_p$ で除した $t_m / t_p$ の値を $y$ としたとき、

$$y = 0.0027e^{0.36x} \quad \dots (2)$$

$$y = 0.0026e^{0.4512x} \quad \dots (3)$$

値 $y$ を式(2)で得られる下限値から式(3)で得られる上限値ま

での間となるように設定して、前記板材を切断加工することを特徴とするレーザ加工方法。

[請求項7]

式(2)及び式(3)を保持部に保持し、

1000系の材料記号を有するアルミニウムの所定の板厚の板材を設定された加工条件で切断加工しようとするときに、値yが式(2)で得られる下限値から式(3)で得られる上限値までの間となるか否かを判定し、

判定結果に基づき、値yが式(2)で得られる下限値から式(3)で得られる上限値までの間となるか否かで異なる文字、記号、または画像を表示部に表示する

ことを特徴とする請求項6に記載のレーザ加工方法。

[請求項8]

波長が1 μm帯であるレーザ光を、5000系の材料記号を有するアルミニウムの板材に照射し、

前記板材に対するレーザ光の照射位置を移動させて前記板材を切断加工し、

レーザ光が、前記板材に照射されるレーザ光のビームスポットの面積のうち、前記ビームスポットの中心から前記面積内の全熱エネルギーのうちの44%の熱エネルギーに相当する面積の内部領域を移動する時間を移動時間t<sub>p</sub>とし、

cを前記板材の比熱、ρを前記板材の密度、λを前記板材の熱伝導度、Tを前記板材の融解温度、T<sub>0</sub>を環境温度、Aを前記板材の光吸収率、P<sub>d</sub>を前記内部領域のエネルギー密度として、式(1)で計算される時間を前記板材が融解する融解時間t<sub>m</sub>とし、

$$t_m = c \times \rho \times \lambda \times \pi \left[ (T - T_0) / (2 \times A \times P_d) \right]^2 \quad \dots (1)$$

前記板材の板厚をx、融解時間t<sub>m</sub>を移動時間t<sub>p</sub>で除したt<sub>m</sub>/t<sub>p</sub>の値をyとしたとき、

$$y = 0.0009e^{0.5839x} \quad \dots (4)$$

$$y = 0.0019e^{0.4582x} \quad \dots (5)$$

値  $y$  を式 (4) で得られる下限値から式 (5) で得られる上限値までの間となるように設定して、前記板材を切断加工することを特徴とするレーザ加工方法。

[請求項9]

式 (4) 及び式 (5) を保持部に保持し、

5000系の材料記号を有するアルミニウムの所定の板厚の板材を設定された加工条件で切断加工しようとするときに、値  $y$  が式 (4) で得られる下限値から式 (5) で得られる上限値までの間となるか否かを判定し、

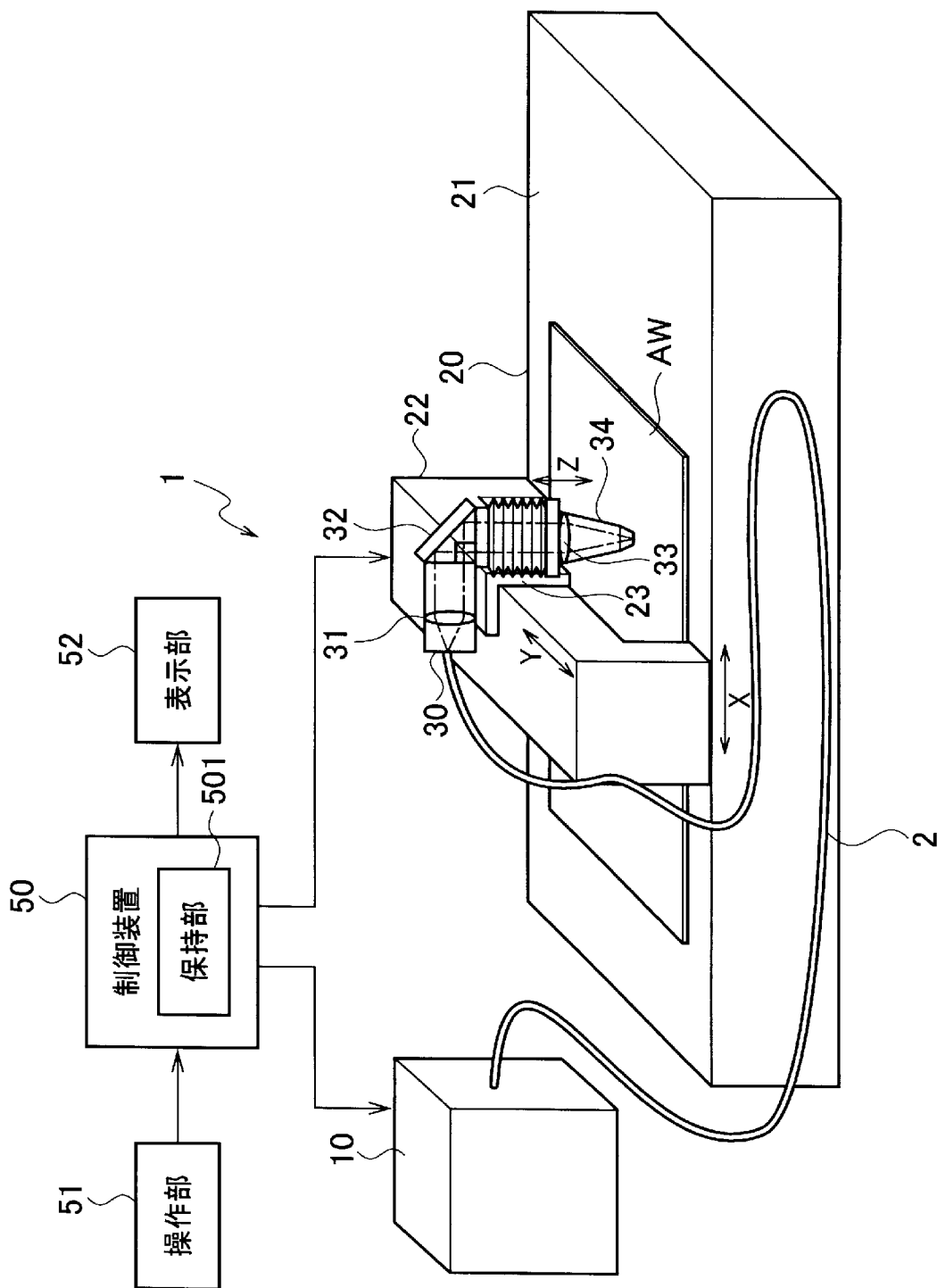
判定結果に基づき、値  $y$  が式 (4) で得られる下限値から式 (5) で得られる上限値までの間となるか否かで異なる文字、記号、または画像を表示部に表示する

ことを特徴とする請求項8に記載のレーザ加工方法。

[請求項10]

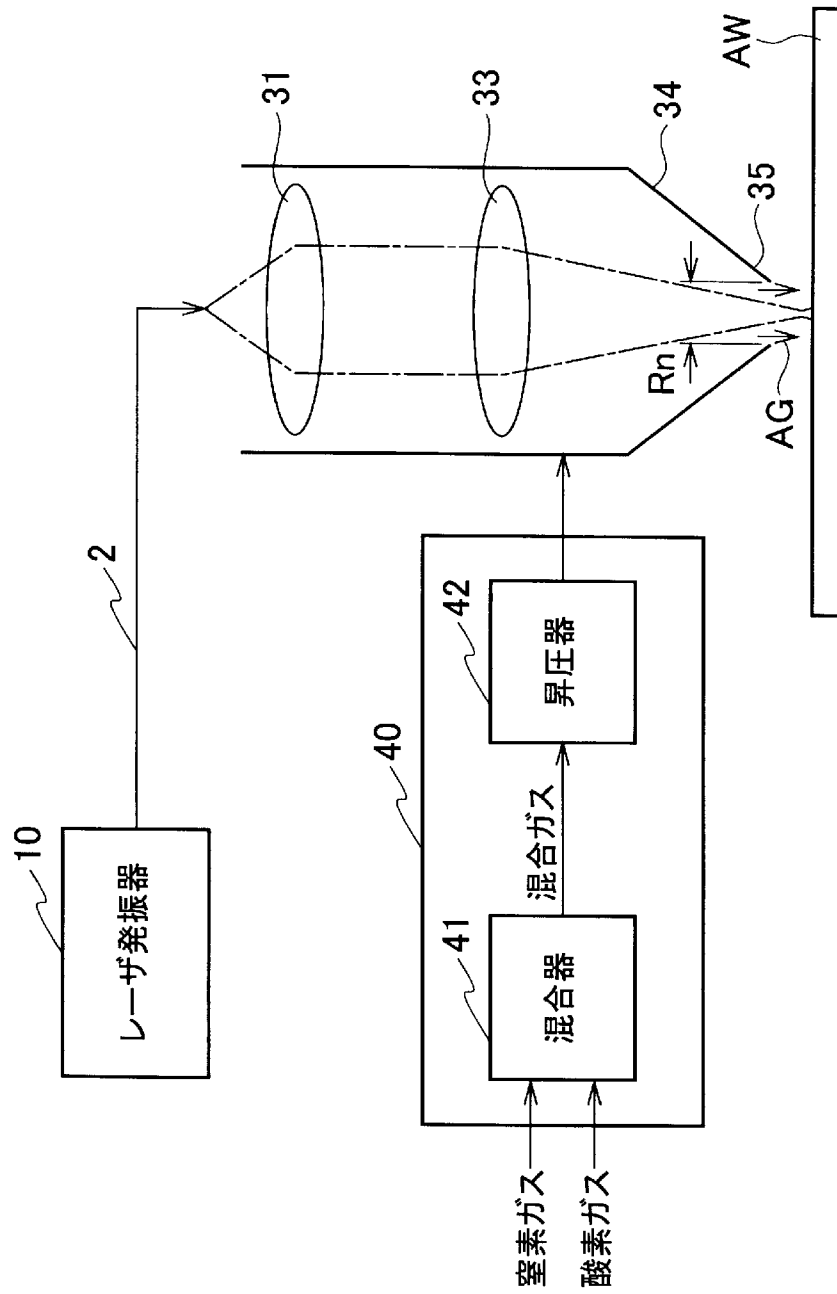
前記板材の板厚は、2mm～4mmであることを特徴とする請求項6～9のいずれか1項に記載のレーザ加工方法。

[図1]

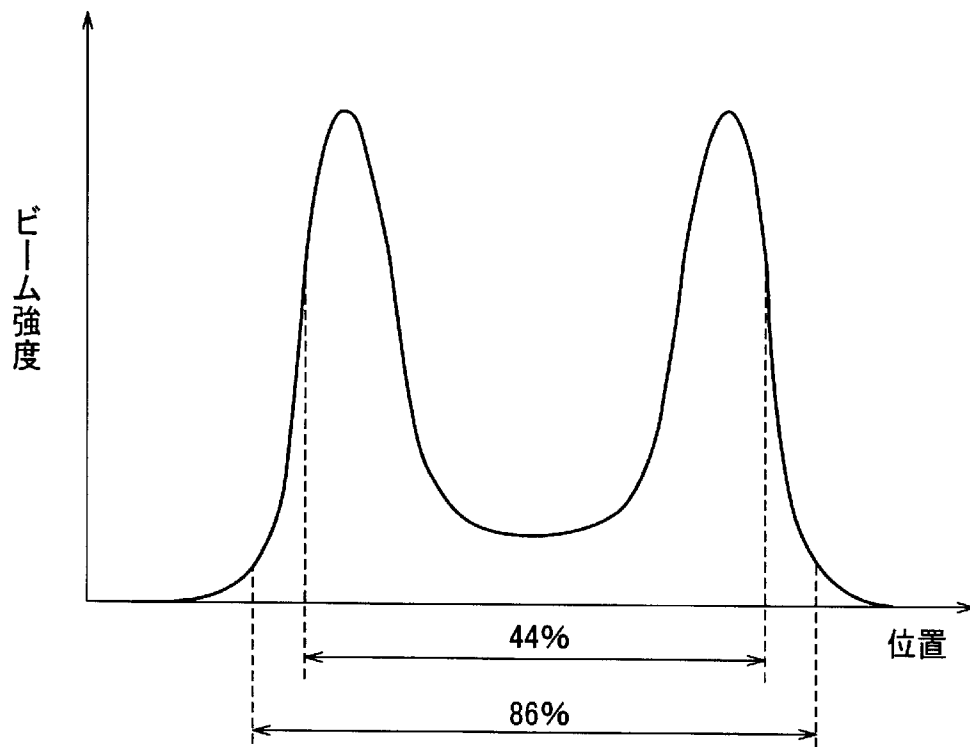




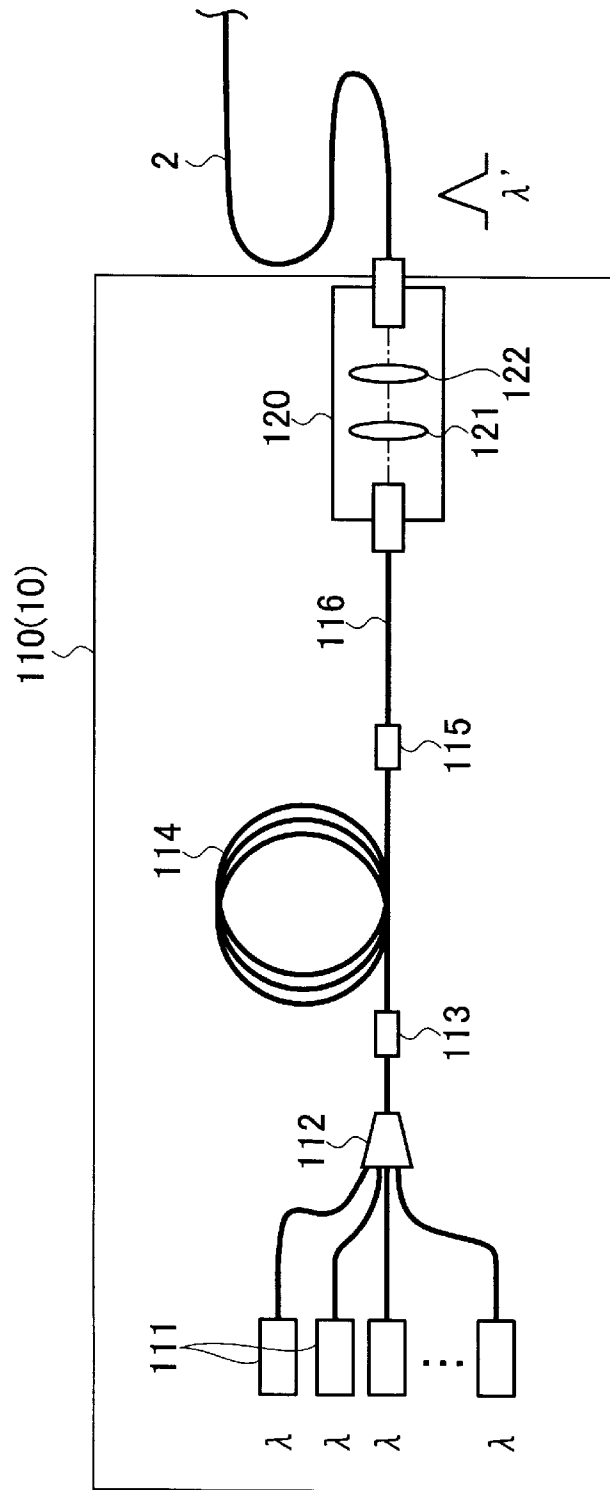
[図2]



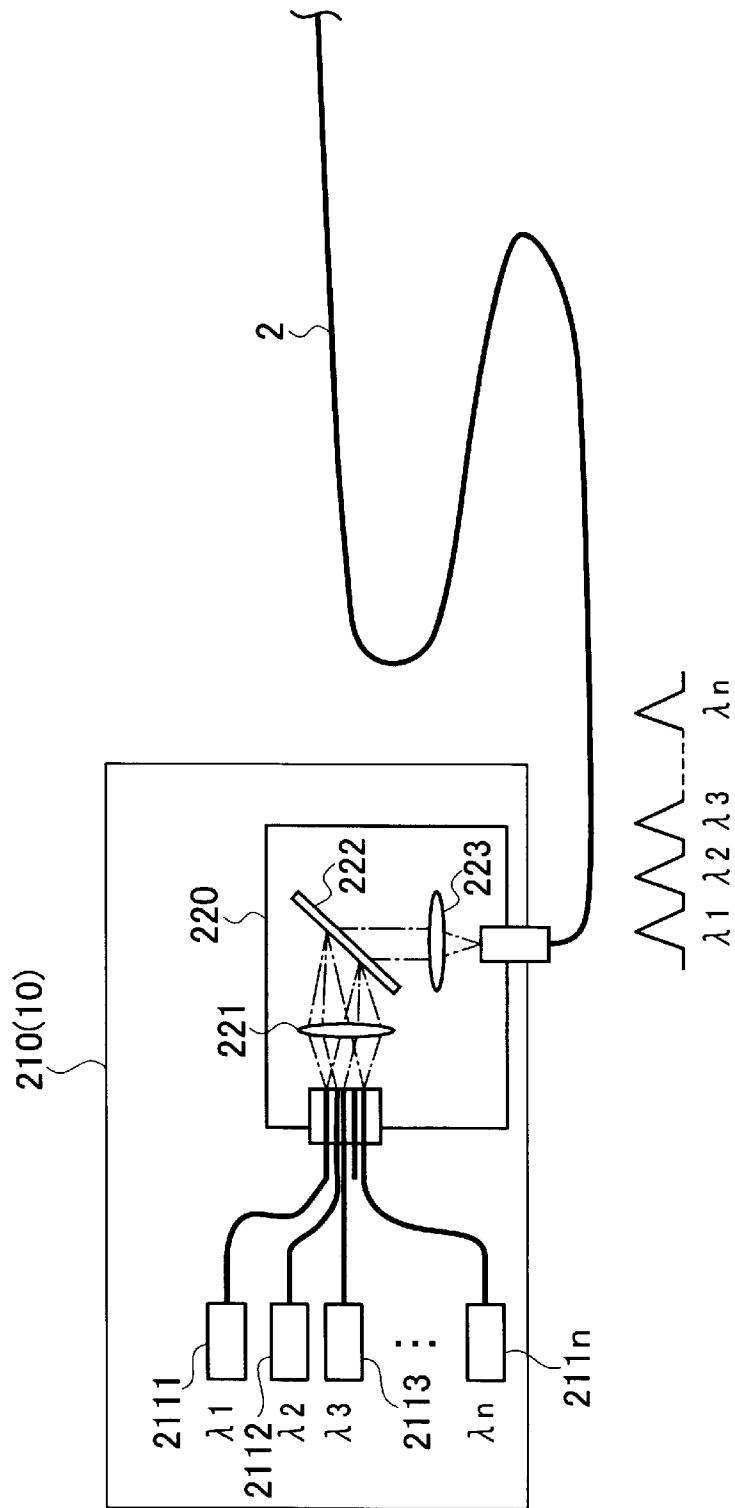
[図3]



[図4]



[図5]



[図6A]

材料 A1050

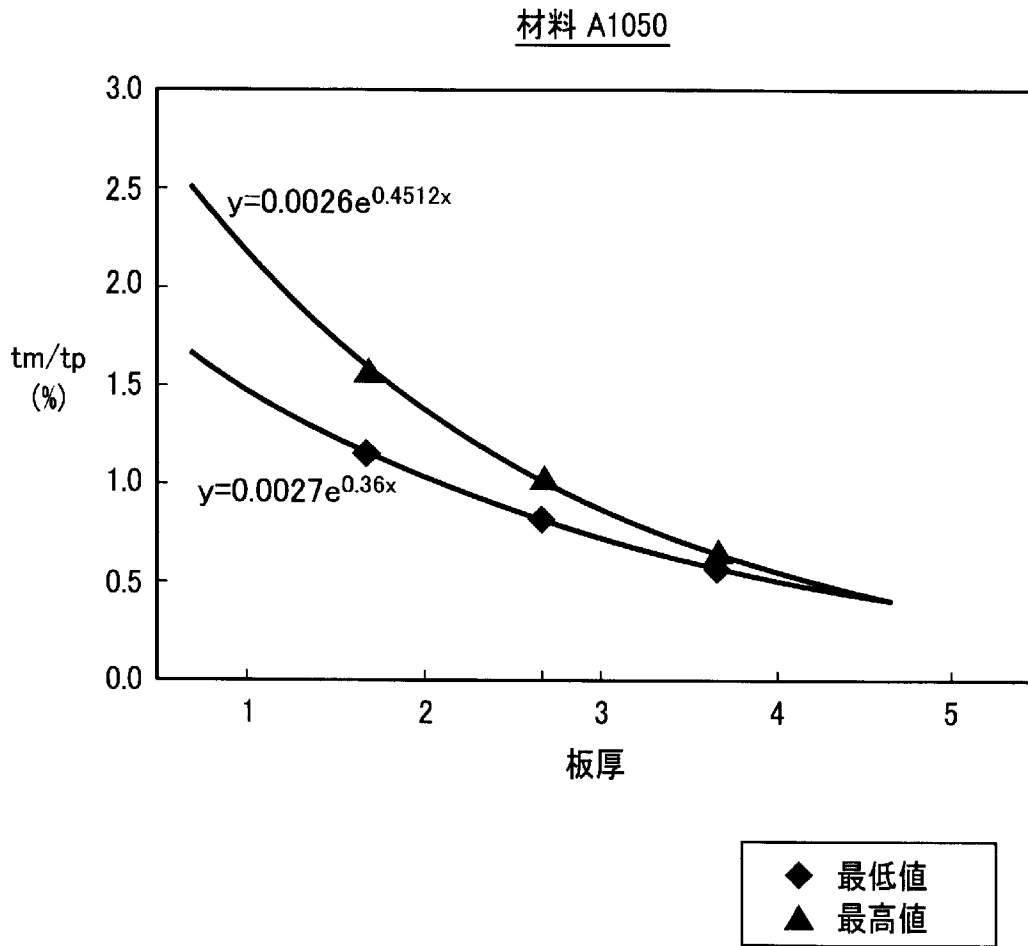
No.	板厚 (mm)	ノズル径 (mm)	ガス圧 (MPa)	酸素濃度 (%)	焦点 オフセット (mm)	切断速度 (m/分)
1	4	4	1.0	0.17	2.5	1.1
2	4	4	1.0	0.17	2.5	1.3
3	4	4	1.0	0.17	2.5	1.4
4	4	4	1.0	0.17	2.5	1.5
5	4	4	1.0	0.17	2.5	1.7
6	4	4	1.0	0.20	2.5	1.3
7	4	4	1.0	0.20	2.5	1.3
8	4	4	1.0	0.20	2.5	1.3
9	4	4	1.0	0.20	2.5	1.3
10	3	2	1.6	0.20	2.5	3.0
11	3	2	1.6	0.20	2.5	3.2
12	3	2	1.6	0.20	2.5	3.5
13	3	2	1.6	0.20	2.5	3.7
14	3	2	1.6	0.20	2.5	4.0
15	3	2	1.6	0.20	2.5	4.2
16	3	2	1.6	0.20	2.5	4.5
17	3	2	1.6	0.20	2.5	3.5
18	3	2	1.6	0.20	2.5	3.5
19	3	2	1.6	0.20	2.5	3.5
20	2	2	1.6	0.40	2.0	6.5
21	2	2	1.6	0.40	2.0	7.0
22	2	2	1.6	0.40	2.0	7.5
23	2	2	1.6	0.40	2.0	8.0
24	2	2	1.6	0.40	2.0	8.5
25	2	2	1.6	0.40	2.0	9.0
26	2	2	1.6	0.40	2.0	9.5
27	2	2	1.6	0.40	2.0	7.5
28	2	2	1.6	0.40	2.0	7.5
29	2	2	1.6	0.40	2.0	7.5

[図6B]

材料 A1050

No.	44%スポット径 (mm)	パワー密度Pd (W/m <sup>2</sup> )	移動時間tp (s)	融解時間tm (s)	tm/tp (%)	評価
1	$3.067 \times 10^{-4}$	$1.243 \times 10^{10}$	$1.673 \times 10^{-2}$	$7.942 \times 10^{-5}$	0.475	NG
2	$3.067 \times 10^{-4}$	$1.243 \times 10^{10}$	$1.415 \times 10^{-2}$	$7.942 \times 10^{-5}$	0.561	OK
3	$3.067 \times 10^{-4}$	$1.243 \times 10^{10}$	$1.314 \times 10^{-2}$	$7.942 \times 10^{-5}$	0.604	OK
4	$3.067 \times 10^{-4}$	$1.243 \times 10^{10}$	$1.227 \times 10^{-2}$	$7.942 \times 10^{-5}$	0.647	OK
5	$3.067 \times 10^{-4}$	$1.243 \times 10^{10}$	$1.082 \times 10^{-2}$	$7.942 \times 10^{-5}$	0.734	NG
6	$2.520 \times 10^{-4}$	$1.866 \times 10^{10}$	$1.163 \times 10^{-2}$	$3.525 \times 10^{-5}$	0.303	NG
7	$2.520 \times 10^{-4}$	$1.513 \times 10^{10}$	$1.163 \times 10^{-2}$	$5.362 \times 10^{-5}$	0.461	NG
8	$3.067 \times 10^{-4}$	$1.243 \times 10^{10}$	$1.415 \times 10^{-2}$	$7.942 \times 10^{-5}$	0.561	OK
9	$3.442 \times 10^{-4}$	$1.108 \times 10^{10}$	$1.589 \times 10^{-2}$	$1.001 \times 10^{-4}$	0.630	OK
10	$2.300 \times 10^{-4}$	$1.866 \times 10^{10}$	$4.600 \times 10^{-3}$	$3.525 \times 10^{-5}$	0.766	NG
11	$2.300 \times 10^{-4}$	$1.866 \times 10^{10}$	$4.313 \times 10^{-3}$	$3.525 \times 10^{-5}$	0.817	OK
12	$2.300 \times 10^{-4}$	$1.866 \times 10^{10}$	$3.943 \times 10^{-3}$	$3.525 \times 10^{-5}$	0.894	OK
13	$2.300 \times 10^{-4}$	$1.866 \times 10^{10}$	$3.730 \times 10^{-3}$	$3.525 \times 10^{-5}$	0.945	OK
14	$2.300 \times 10^{-4}$	$1.866 \times 10^{10}$	$3.450 \times 10^{-3}$	$3.525 \times 10^{-5}$	1.022	OK
15	$2.300 \times 10^{-4}$	$1.866 \times 10^{10}$	$3.286 \times 10^{-3}$	$3.525 \times 10^{-5}$	1.073	NG
16	$2.300 \times 10^{-4}$	$1.866 \times 10^{10}$	$3.067 \times 10^{-3}$	$3.525 \times 10^{-5}$	1.150	NG
17	$2.080 \times 10^{-4}$	$2.355 \times 10^{10}$	$3.566 \times 10^{-3}$	$2.213 \times 10^{-5}$	0.621	NG
18	$2.300 \times 10^{-4}$	$1.866 \times 10^{10}$	$3.943 \times 10^{-3}$	$3.525 \times 10^{-5}$	0.894	OK
19	$2.520 \times 10^{-4}$	$1.513 \times 10^{10}$	$4.320 \times 10^{-3}$	$5.362 \times 10^{-5}$	1.241	NG
20	$2.080 \times 10^{-4}$	$2.355 \times 10^{10}$	$1.920 \times 10^{-3}$	$2.213 \times 10^{-5}$	1.153	OK
21	$2.080 \times 10^{-4}$	$2.355 \times 10^{10}$	$1.783 \times 10^{-3}$	$2.213 \times 10^{-5}$	1.241	OK
22	$2.080 \times 10^{-4}$	$2.355 \times 10^{10}$	$1.664 \times 10^{-3}$	$2.213 \times 10^{-5}$	1.330	OK
23	$2.080 \times 10^{-4}$	$2.355 \times 10^{10}$	$1.560 \times 10^{-3}$	$2.213 \times 10^{-5}$	1.419	OK
24	$2.080 \times 10^{-4}$	$2.355 \times 10^{10}$	$1.468 \times 10^{-3}$	$2.213 \times 10^{-5}$	1.507	OK
25	$2.080 \times 10^{-4}$	$2.355 \times 10^{10}$	$1.387 \times 10^{-3}$	$2.213 \times 10^{-5}$	1.596	OK
26	$2.080 \times 10^{-4}$	$2.355 \times 10^{10}$	$1.314 \times 10^{-3}$	$2.213 \times 10^{-5}$	1.685	NG
27	$2.080 \times 10^{-4}$	$2.355 \times 10^{10}$	$1.664 \times 10^{-3}$	$2.213 \times 10^{-5}$	1.330	OK
28	$2.300 \times 10^{-4}$	$1.866 \times 10^{10}$	$1.840 \times 10^{-3}$	$3.525 \times 10^{-5}$	1.916	NG
29	$2.520 \times 10^{-4}$	$1.513 \times 10^{10}$	$2.016 \times 10^{-3}$	$5.362 \times 10^{-5}$	2.660	NG

[図7]



[図8A]

## 材料 A5052

No.	板厚 (mm)	ノズル径 (mm)	ガス圧 (MPa)	酸素濃度 (%)	焦点 オフセット (mm)	切断速度 (m/分)
1	4	4	0.9	0.13	2.5	1.4
2	4	4	0.9	0.13	2.5	1.6
3	4	4	0.9	0.13	2.5	1.8
4	4	4	0.9	0.13	2.5	2.0
5	4	4	0.9	0.13	2.5	2.2
6	4	4	0.9	0.13	2.5	2.4
7	4	4	0.9	0.13	2.5	2.0
8	4	4	0.9	0.13	2.5	2.0
9	4	4	0.9	0.13	2.5	2.0
10	3	2	1.4	0.20	4.0	4.0
11	3	2	1.4	0.20	4.0	4.5
12	3	2	1.4	0.20	4.0	4.9
13	3	2	1.4	0.20	4.0	5.3
14	3	2	1.4	0.20	4.0	5.7
15	3	2	1.4	0.20	4.0	6.1
16	3	2	1.6	0.20	4.0	4.5
17	3	2	1.6	0.20	4.0	4.5
18	3	2	1.6	0.20	4.0	4.5
19	2	2	1.6	0.34	3.0	9.0
20	2	2	1.6	0.34	3.0	9.5
21	2	2	1.6	0.34	3.0	10.0
22	2	2	1.6	0.34	3.0	10.5
23	2	2	1.6	0.34	3.0	11.0
24	2	2	1.6	0.34	3.0	11.5
25	2	2	1.6	0.34	3.0	12.0
26	2	2	1.6	0.34	3.0	10.0
27	2	2	1.6	0.34	3.0	10.0
28	2	2	1.6	0.34	3.0	10.0

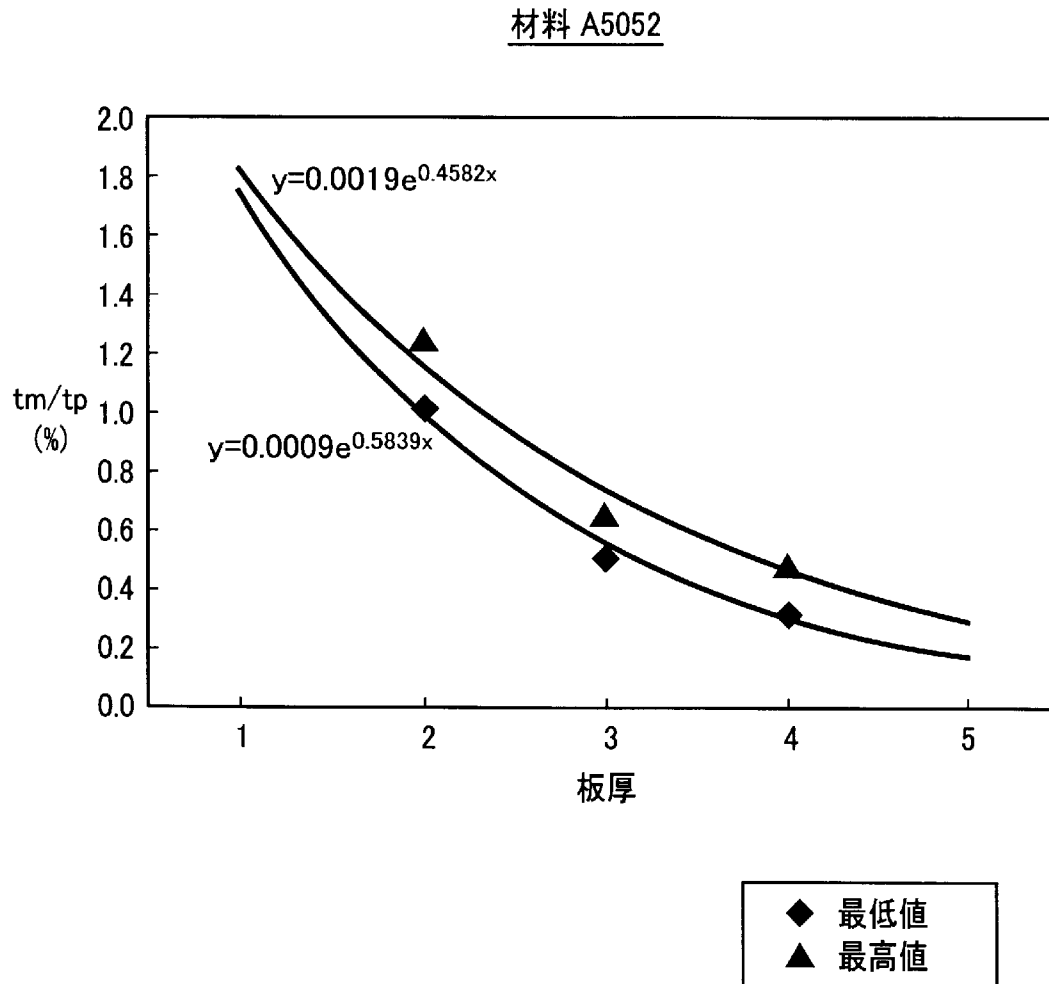


[図8B]

材料 A5052

No.	44%スポット径 (mm)	パワー密度Pd (W/m <sup>2</sup> )	移動時間tp (s)	融解時間tm (s)	tm/tp (%)	評価
1	2.520 × 10 <sup>-4</sup>	1.513 × 10 <sup>10</sup>	1.080 × 10 <sup>-2</sup>	3.406 × 10 <sup>-5</sup>	0.315	OK
2	2.520 × 10 <sup>-4</sup>	1.513 × 10 <sup>10</sup>	9.450 × 10 <sup>-3</sup>	3.406 × 10 <sup>-5</sup>	0.360	OK
3	2.520 × 10 <sup>-4</sup>	1.513 × 10 <sup>10</sup>	8.400 × 10 <sup>-3</sup>	3.406 × 10 <sup>-5</sup>	0.405	OK
4	2.520 × 10 <sup>-4</sup>	1.513 × 10 <sup>10</sup>	7.560 × 10 <sup>-3</sup>	3.406 × 10 <sup>-5</sup>	0.451	OK
5	2.520 × 10 <sup>-4</sup>	1.513 × 10 <sup>10</sup>	6.873 × 10 <sup>-3</sup>	3.406 × 10 <sup>-5</sup>	0.496	OK
6	2.520 × 10 <sup>-4</sup>	1.513 × 10 <sup>10</sup>	6.300 × 10 <sup>-3</sup>	3.406 × 10 <sup>-5</sup>	0.541	NG
7	2.080 × 10 <sup>-4</sup>	2.355 × 10 <sup>10</sup>	6.240 × 10 <sup>-3</sup>	1.406 × 10 <sup>-5</sup>	0.225	NG
8	2.300 × 10 <sup>-4</sup>	1.866 × 10 <sup>10</sup>	6.900 × 10 <sup>-3</sup>	2.239 × 10 <sup>-5</sup>	0.325	OK
9	2.520 × 10 <sup>-4</sup>	1.513 × 10 <sup>10</sup>	7.560 × 10 <sup>-3</sup>	3.406 × 10 <sup>-4</sup>	0.451	OK
10	2.080 × 10 <sup>-4</sup>	2.355 × 10 <sup>10</sup>	3.120 × 10 <sup>-3</sup>	1.406 × 10 <sup>-5</sup>	0.451	NG
11	2.080 × 10 <sup>-4</sup>	2.355 × 10 <sup>10</sup>	2.773 × 10 <sup>-3</sup>	1.406 × 10 <sup>-5</sup>	0.507	OK
12	2.080 × 10 <sup>-4</sup>	2.355 × 10 <sup>10</sup>	2.547 × 10 <sup>-3</sup>	1.406 × 10 <sup>-5</sup>	0.552	OK
13	2.080 × 10 <sup>-4</sup>	2.355 × 10 <sup>10</sup>	2.355 × 10 <sup>-3</sup>	1.406 × 10 <sup>-5</sup>	0.597	OK
14	2.080 × 10 <sup>-4</sup>	2.355 × 10 <sup>10</sup>	2.189 × 10 <sup>-3</sup>	1.406 × 10 <sup>-5</sup>	0.642	OK
15	2.080 × 10 <sup>-4</sup>	2.355 × 10 <sup>10</sup>	2.046 × 10 <sup>-3</sup>	1.406 × 10 <sup>-5</sup>	0.687	NG
16	2.080 × 10 <sup>-4</sup>	2.355 × 10 <sup>10</sup>	2.773 × 10 <sup>-3</sup>	1.406 × 10 <sup>-5</sup>	0.507	OK
17	2.300 × 10 <sup>-4</sup>	1.866 × 10 <sup>10</sup>	3.067 × 10 <sup>-3</sup>	2.239 × 10 <sup>-5</sup>	0.730	NG
18	2.520 × 10 <sup>-4</sup>	1.513 × 10 <sup>10</sup>	3.360 × 10 <sup>-3</sup>	3.406 × 10 <sup>-5</sup>	1.014	NG
19	2.080 × 10 <sup>-4</sup>	2.355 × 10 <sup>10</sup>	1.387 × 10 <sup>-3</sup>	1.406 × 10 <sup>-5</sup>	1.014	OK
20	2.080 × 10 <sup>-4</sup>	2.355 × 10 <sup>10</sup>	1.314 × 10 <sup>-3</sup>	1.406 × 10 <sup>-5</sup>	1.070	OK
21	2.080 × 10 <sup>-4</sup>	2.355 × 10 <sup>10</sup>	1.248 × 10 <sup>-3</sup>	1.406 × 10 <sup>-5</sup>	1.126	OK
22	2.080 × 10 <sup>-4</sup>	2.355 × 10 <sup>10</sup>	1.189 × 10 <sup>-3</sup>	1.406 × 10 <sup>-5</sup>	1.183	OK
23	2.080 × 10 <sup>-4</sup>	2.355 × 10 <sup>10</sup>	1.135 × 10 <sup>-3</sup>	1.406 × 10 <sup>-5</sup>	1.239	OK
24	2.080 × 10 <sup>-4</sup>	2.355 × 10 <sup>10</sup>	1.085 × 10 <sup>-3</sup>	1.406 × 10 <sup>-5</sup>	1.295	NG
25	2.080 × 10 <sup>-4</sup>	2.355 × 10 <sup>10</sup>	1.040 × 10 <sup>-3</sup>	1.406 × 10 <sup>-5</sup>	1.352	NG
26	2.080 × 10 <sup>-4</sup>	2.355 × 10 <sup>10</sup>	1.248 × 10 <sup>-3</sup>	1.406 × 10 <sup>-5</sup>	1.126	OK
27	2.300 × 10 <sup>-4</sup>	1.866 × 10 <sup>10</sup>	1.380 × 10 <sup>-3</sup>	2.239 × 10 <sup>-5</sup>	1.623	NG
28	2.520 × 10 <sup>-4</sup>	1.513 × 10 <sup>10</sup>	1.512 × 10 <sup>-3</sup>	3.406 × 10 <sup>-5</sup>	2.253	NG

[図9]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2017/015073

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
B23K26/38(2014.01) i, B23K26/00(2014.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
B23K26/38, B23K26/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-264839 A (Sumitomo Metal Industries, Ltd., Tada Electric Co., Ltd., Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corp.), 06 November 2008 (06.11.2008), paragraph [0059]; table 2; fig. 1 (Family: none)	1-10
A	JP 2013-094838 A (Nissan Tanaka Corp.), 20 May 2013 (20.05.2013), paragraphs [0030], [0044] & US 2014/0246405 A1 paragraphs [0050], [0087] & WO 2013/065484 A1 & CN 103906597 A & KR 10-2014-0067151 A	1-10

Further documents are listed in the continuation of Box C.  See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 26 April 2017 (26.04.17)	Date of mailing of the international search report 16 May 2017 (16.05.17)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer  Telephone No.
--	---

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2017/015073

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	WO 2016/059937 A1 (Amada Holdings Co., Ltd.), 21 April 2016 (21.04.2016), fig. 7 to 10 & JP 2016-78073 A	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. B23K26/38(2014.01)i, B23K26/00(2014.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. B23K26/38, B23K26/00		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2017年 日本国実用新案登録公報 1996-2017年 日本国登録実用新案公報 1994-2017年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2008-264839 A（住友金属工業株式会社，多田電機株式会社，東芝三菱電機産業システム株式会社）2008.11.06，段落0059，表2及び図1（ファミリーなし）	1-10
A	JP 2013-094838 A（日酸TANAKA株式会社）2013.05.20，段落0030，0044 & US 2014/0246405 A1，段落0050，0087 & WO 2013/065484 A1 & CN 103906597 A & KR 10-2014-0067151 A	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 26.04.2017	国際調査報告の発送日 16.05.2017	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 奥隅 隆 電話番号 03-3581-1101 内線 3363	3 P 4016

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
P, A	WO 2016/059937 A1 (株式会社アマダホールディングス) 2016.04.21, 図 7-10 & JP 2016-78073 A	1-10