(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)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2017/179641 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/JP2017/015065

(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 2016-081417 2016年4月14日(14.04.2016) JP
特願 2017-077513 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).

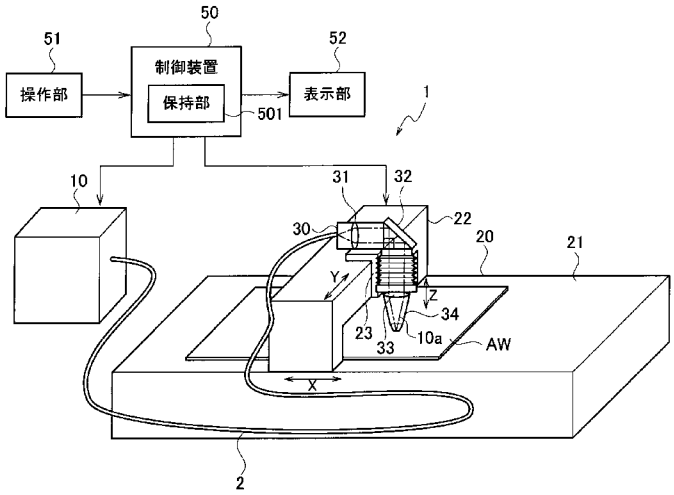
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[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**: A laser machining apparatus (1) that comprises a laser oscillator (10), a laser machining unit (20), and a mixed gas supply part (40). The laser oscillator (10) emits 1-μm-band laser light (10a). The laser machining unit (20) irradiates an aluminum sheet material (AW) with the laser light (10a) and ejects an assist gas (AG) that includes oxygen. For a 1000 series aluminum sheet material (AW) that has a sheet thickness of x mm, the mixed gas supply part (40) adjusts the assist gas (AG) such that an index that is calculated by multiplying the oxygen concentration of the assist gas (AG) by the volume flow rate of the assist gas (AG), the sheet thickness of the aluminum sheet (AW), and the assist gas pressure, dividing by the open area of a nozzle (35), and multiplying by 1000 is set between an upper limit $ya=0.0043e^{0.6424x}$ and a lower limit $yc=0.0034e^{0.3896x}$.

(57) 要約: 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）と混合ガス供給部（４０）を備える。レーザ発振器（１０）は１μｍ帯のレーザ光（１０ａ）を射出する。レーザ加工ユニット（２０）は、アルミ板材（ＡＷ）にレーザ光（１０ａ）を照射し、酸素を含むアシストガス（ＡＧ）を噴出する。混合ガス供給部（４０）は、アルミ板材（ＡＷ）が１０００系であり板厚をｘｍｍとした場合、アシストガス（ＡＧ）中の酸素濃度に、アシストガス（ＡＧ）の体積流量とアルミ板材（ＡＷ）の板厚とアシストガス圧とを乗算し、ノズル（３５）の開口面積で除算した値を１０００倍することにより算出される指標が、$ya=0.0043e^{0.6424x}$ で表される上限値と、$yc=0.0034e^{0.3896x}$ で表される下限値との範囲内に設定されるようにアシストガス（ＡＧ）を調整する。

WO 2017/179641 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

# 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。特許文献１には、窒素ガスと酸素ガスの混合ガスを用いてアルミニウム被加工物を切断加工するレーザ加工機が記載されている。

[0003]　レーザ発振器として、$CO_2$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。

[0004]　$CO_2$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、$CO_2$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

[0005] 特許文献1：特許第４８６９６４０号公報

## 発明の概要

[0006]　$CO_2$レーザ発振器を用いるレーザ加工機は、窒素ガスに微量の酸素ガスを混合させることにより、切断面を過度に酸化させることなく、ドロスの少ない加工が可能である。

[0007] 一方、ファイバレーザ発振器またはＤＤＬ発振器を用いるレーザ加工機は、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場合、混合ガスによる酸化反応により切断面のエッジ部が欠損しやすい。また、窒素ガスを用いてアルミニウムの板材を切断する場合、ドロスが発生しやすい。エッジ部の欠損とドロスの発生の程度は板材の材質や板厚によっても異なる。

[0008] そのため、ファイバレーザ発振器またはＤＤＬ発振器を用いるレーザ加工機でアルミニウムの板材を切断する場合、特許文献１に記載されている混合ガス条件ではエッジ部の欠損及びドロスの発生を十分に抑制することができない場合がある。

[0009] 例えば、特許文献１に記載されているような混合ガス条件では、材料記号が５０００系のアルミニウムマグネシウム合金に対しては有効である。一方、材料記号が１０００系の純アルミニウムに対してはエッジ部の欠損及びドロスの発生を十分に抑制することができず、良好な切断加工品質を得ることができない場合がある。また、特許文献１に記載されている混合ガス条件の範囲外の混合ガス条件でも良好な切断加工品質を得ることができる場合がある。

[0010] 実施形態は、エッジ部の欠損及び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。

[0011] 実施形態の第１の態様によれば、波長が１μｍ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アルミニウムを主成分とする板材に照射して前記板材を切断加工する加工ヘッドを有するレーザ加工ユニットと、酸素を含む混合ガスの酸素濃度及びガス圧を調整して前記加工ヘッドに供給する混合ガス供給部とを備え、前記レーザ加工ユニットは、前記レーザ光のビームウエストが前記板材よりも前記加工ヘッド側に位置するように調整された状態で、前記加工ヘッドの先端部に設けられているノズルから射出された前記レーザ光を前記板材に照射し、前記混合ガスをアシストガスとして前記板材に噴出し、前記板材が１０００系の材料記

号を有する純アルミニウム系材料であり、前記板材の板厚をｘｍｍとしたとき、前記混合ガス供給部は、前記アシストガス中の酸素濃度に、前記アシストガスの体積流量と前記板材の板厚とアシストガス圧とを乗算し、前記ノズルの開口面積で除算した値を１０００倍することにより算出される指標が、式（５）で得られる上限値ｙａと式（６）で得られる下限値ｙｃとの範囲内に設定されるように前記混合ガスを調整することを特徴とするレーザ加工機が提供される。

$y_a = 0.0043e^{0.6424x}$ …（５）

$y_c = 0.0034e^{0.3896x}$ …（６）

[0012] 実施形態の第２の態様によれば、波長が１μｍ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アルミニウムを主成分とする板材に照射して前記板材を切断加工する加工ヘッドを有するレーザ加工ユニットと、酸素を含む混合ガスの酸素濃度及びガス圧を調整して前記加工ヘッドに供給する混合ガス供給部とを備え、前記レーザ加工ユニットは、前記レーザ光のビームウエストが前記板材よりも前記加工ヘッド側に位置するように調整された状態で、前記加工ヘッドの先端部に設けられているノズルから射出された前記レーザ光を前記板材に照射し、前記混合ガスをアシストガスとして前記板材に噴出し、前記板材が５０００系の材料記号を有するアルミニウムマグネシウム合金であり、前記板材の板厚をｘｍｍとしたとき、前記混合ガス供給部は、前記アシストガス中の酸素濃度に、前記アシストガスの体積流量と前記板材の板厚とアシストガス圧とを乗算し、前記ノズルの開口面積で除算した値を１０００倍することにより算出される指標が、式（７）で得られる上限値ｙｄと式（８）で得られる下限値ｙｆとの範囲内に設定されるように前記混合ガスを調整することを特徴とするレーザ加工機が提供される。

$y_d = 0.0041e^{0.7233x}$ …（７）

$y_f = 0.0029e^{0.23x}$ …（８）

[0013] 実施形態の第３の態様によれば、１０００系の材料記号を有する純アルミ

ニウム系材料である板材を加工対象の板材とし、加工ヘッドの先端部に設けられたノズルから、波長が１μｍ帯であるレーザ光を射出し、前記レーザ光のビームウエストが前記ノズル側に位置するように調整された状態で前記レーザ光を前記板材に照射し、前記板材の板厚をｘｍｍとしたとき、アシストガス中の酸素濃度に、前記アシストガスの体積流量と前記板材の板厚とアシストガス圧とを乗算し、前記ノズルの開口面積で除算した値を１０００倍することにより算出される指標が、式（５）で得られる上限値ｙａと式（６）で得られる下限値ｙｃとの範囲内に設定されるように、前記アシストガスを調整して前記板材に噴出させながら、前記レーザ光によっ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。

$y_a = 0.0043e^{0.6424x}$ …（５）

$y_c = 0.0034e^{0.3896x}$ …（６）

[0014] 実施形態の第４の態様によれば、５０００系の材料記号を有するアルミニウムマグネシウム合金である板材を加工対象の板材とし、加工ヘッドの先端部に設けられたノズルから、波長が１μｍ帯であるレーザ光を射出し、前記レーザ光のビームウエストが前記ノズル側に位置するように調整された状態で前記レーザ光を前記板材に照射し、前記板材の板厚をｘｍｍとしたとき、アシストガス中の酸素濃度に、前記アシストガスの体積流量と前記板材の板厚とアシストガス圧とを乗算し、前記ノズルの開口面積で除算した値を１０００倍することにより算出される指標が、式（７）で得られる上限値ｙｄと式（６）で得られる下限値ｙｆとの範囲内に設定されるように、前記アシストガスを調整して前記板材に噴出させながら、前記レーザ光によっ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。

$y_d = 0.0041e^{0.7233x}$ …（７）

$y_f = 0.0029e^{0.23x}$ …（８）

[0015] 実施形態のレーザ加工機及びレーザ加工方法によれば、エッジ部の欠損及び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

[0016] [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、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4]図４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5]図５は、アルミ板材ＡＷの材質が純アルミニウム系材料のＡ１０５０である場合のレーザ加工条件と加工品質の関係を示す図である。

[図6]図６は、アルミ板材ＡＷの材質が純アルミニウム系材料のＡ１０５０である場合の板厚と指標ＧＲとの関係を示す図である。

[図7A]図７Ａは、アルミ板材ＡＷの材質がアルミニウムマグネシウム合金のＡ５０５２である場合のレーザ加工条件と加工品質の関係を示す図である。

[図7B]図７Ｂは、アルミ板材ＡＷの材質がアルミニウムマグネシウム合金のＡ５０５２である場合のレーザ加工条件と加工品質の関係を示す図である。

[図8]図８は、アルミ板材ＡＷの材質がアルミニウムマグネシウム合金のＡ５０５２である場合の板厚と指標ＧＲとの関係を示す図である。

[図9]図９は、アルミ板材ＡＷの材質が純アルミニウム系材料のＡ１０５０、及び、アルミニウムマグネシウム合金のＡ５０５２である場合の板厚と指標ＧＲとの関係を示す図である。

## 発明を実施するための形態

[0017] 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１μｍ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９００ｎｍ～１１００ｎｍを１μｍ帯と称する。

[0018] 図１に示すように、レーザ加工機１は、レーザ光１０ａ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。

[0019] 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。

[0020] レーザ発振器１０は、波長が１μｍ帯であるレーザ光１０ａ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１μｍ帯であるレーザ光１０ａ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。

[0021] 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１０ａをレーザ加工ユニット２０へ伝送する。

[0022] 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。

[0023] 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１０ａ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１０ａ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１０ａを高エネルギ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。

[0024] 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。

[0025] 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１０ａ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に単焦点で照射される。具体的には、レーザ光１０ａは、ビームウエストがアルミ板材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に単焦点で照射される。ノズル３５は、１つの開口を有するシングルノズルである。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。

[0026] 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１０ａ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。

[0027] 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。

[0028] 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。

[0029] 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。

[0030] 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。

[0031] 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１０ａ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、ドロスの低減を図ることができる。

[0032] 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１０ａをアルミ板材ＡＷに照射し、アルミ板材ＡＷを切断加工する。

[0033] 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。

[0034] 図３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。

[0035] 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。

[0036] 複数のレーザダイオード１１１はそれぞれ波長λ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。

[0037] 励起コンバイナ１１２で空間ビーム結合されたレーザ光は、ＦＢＧ１１３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。

[0038] Ｙｂドープファイバ１１４に入射されたレーザ光は、ＦＢＧ１１３とＦＢＧ１１５との間で往復を繰り返す。その結果、ＦＢＧ１１５からは、波長λとは異なる概ね１０６０ｎｍ～１０８０ｎｍの波長λ’のレーザ光が射出される。

[0039] ＦＢＧ１１５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。プロセスファイバ２に入射されるレーザ光は、図１に示すレーザ光１０ａに相当する。

[0040] 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。

[0041] 図４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。

[0042] 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λ１～λｎのレーザ光を射出する。波長λ１～λｎは９１０ｎｍ～９５０ｎｍである。

[0043] 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。

[0044] 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。プロセスファイバ２に入射されるレーザ光は、図１に示すレーザ光１０ａに相当する。

[0045] 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。

[0046] レーザ加工機１を用いてアルミ板材ＡＷを切断加工するレーザ加工方法を説明する。

[0047] レーザ加工条件はアルミ板材ＡＷの材質や板厚によって異なる。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とがある。

[0048] 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。

[0049] 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。

[0050] 板厚が厚くなれば、切断される面積が広くなる。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（ノズル径）Ｒｎ（図２参照）を大きくすることが望ましい。

[0051] 板厚に応じて、即ち化学反応させる面積または体積に応じて、単位面積または単位体積あたりの化学成分に対する酸素の供給割合を一定にして、酸素の供給量を調整することが重要である。

[0052] ノズル３５から噴出されるアシストガスＡＧの体積流量Ｑ（$m^3$／ｓ）は、式（１）で表すことができる。

[0053] Ｑ＝Ｃ×Ａ×Ｖ　…（１）

[0054] 式（１）において、Ｃは流出係数、Ａは流路面積、具体的にはノズル３５の開口面積（ノズル開口面積）（$m^2$）、ＶはアシストガスＡＧの体積流速（ｍ／ｓ）である。

[0055] 体積流速Ｖは、式（２）で表すことができる。

[0056] [数1]

$$V=\sqrt{2\times P/\rho} \qquad \cdots (2)$$

[0057] 式（２）において、Ｐはアシストガス圧、ρは流体密度、具体的にはアシストガスＡＧの密度である。なお、同じ板厚では一定のアシストガス圧Ｐでレーザ加工を行うので、流出係数Ｃ及び流体密度ρは一定である。そこで、Ｃ＝１、及び、ρ＝１とする。

[0058] 本実施形態では、レーザ加工条件として、式（３）に示す指標ＧＲ（ガスパラメータ比（％・Ｎ／ｓ））を設定する。

[0059] ＧＲ＝Ｏｘｇ×（Ｑ／Ａ）×（ｔ×Ｐ）×１０００　…（３）

[0060] 式（３）において、ＯｘｇはアシストガスＡＧ中の酸素濃度（体積％）、ｔは加工対象のアルミ板材ＡＷの板厚（ｍｍ）である。即ち、指標ＧＲは、アシストガスＡＧ中の酸素濃度に、アシストガスＡＧの体積流量とアルミ板材ＡＷの板厚とアシストガス圧とを乗算し、ノズル３５の開口面積で除算した値を１０００倍することにより算出される。板厚ｔとノズル開口面積Ａは予め分かっている。従って、指標ＧＲは、混合ガス供給部４０により調整することが可能である。なお、Ｏｘｇ×（Ｑ／Ａ）×（ｔ×Ｐ）を１０００倍している理由は、指標ＧＲの数値の桁を調整して見やすい数値にするためである。

[0061] また、指標ＧＲは、式（４）で表すことができる。

[0062] ＧＲ＝Ｏｘｇ×加速度（ｍ／ｓ$^2$）×質量流量（ｋｇ／ｓ）×１０００
＝Ｏｘｇ×力（Ｎ）／ｓ×１０００　…（４）

[0063] 即ち、指標ＧＲは、単位時間当たりの酸素濃度と力との乗算値を１０００倍した値に相当する。

[0064] レーザ加工条件として指標ＧＲを設定した理由を説明する、流体であるアシストガスＡＧ中の酸素を、被加工物であるアルミ板材ＡＷと連続的に化学反応させることが重要である。そこで、アシストガスＡＧ中の酸素濃度（体積％）にアシストガスＡＧの体積流速Ｖ（体積流量Ｑ／ノズル開口面積Ａ）を乗算することで酸素の体積流速が算出される。

[0065] アシストガスＡＧ中の酸素とアルミ板材ＡＷとを連続的に化学反応させるためには、質量を有する流体であるアシストガスＡＧ（具体的にはアシストガスＡＧ中の酸素）を加速させてアルミ板材ＡＷに衝突させることが重要である。そこで、算出された酸素の体積流速にさらにアシストガス圧Ｐを乗算する。

[0066] また、アルミ板材ＡＷが厚いほど切断加工面積が大きくなるため、その分の酸素が必要になる。そこで、アシストガス圧Ｐが乗算された値にさらにアルミ板材ＡＷの板厚ｔを乗算する。これにより、式（３）が導き出される。

[0067] アシストガスＡＧの質量流量を一定にするためには、アルミ板材ＡＷに対してアシストガス圧Ｐを定常的にかけることが重要である。式（４）における力は、アシストガス圧Ｐを定常的にかけるための力であり、アシストガスＡＧの加速度に相当する。加速度×質量流量＝力／時間の関係を有する。即ち、式（４）におけるＯｘｇ×力（Ｎ）／ｓは、アルミ板材ＡＷに対する、アシストガスＡＧ中の酸素の単位時間当たりの定常圧力に相当する。

[0068] 図５～図９を用いて、アルミ板材ＡＷの材質が、Ａ１０５０である場合とＡ５０５２である場合のレーザ加工条件（切断加工条件）と加工品質の評価結果について説明する。図５、図７Ａ、及び図７Ｂ中の指標ＧＲは、上記の式（３）により算出される。

[0069] 図５、図７Ａ、及び図７Ｂ中のドロス高さとは、アルミ板材ＡＷの板厚に対するドロスの高さである。ドロス高さの欄には、切断後のドロス部分を含むアルミ板材ＡＷの板厚を複数箇所（例えば９箇所）で測定し、その平均値から切断前のアルミ板材ＡＷの板厚を減算した値を示している。

[0070] レーザ切断加工では、切断によるエッジ部の欠損がなく、ドロスが少ない良好な切断加工品質を得ることが重要である。

[0071] 図５、図７Ａ、及び図７Ｂ中のドロス評価の判定の欄では、切断によるエッジ部の欠損がなく、かつ、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８ｍｍ～４ｍｍの場合には３．５％以下、３ｍｍ～２ｍｍの場合には３％以下の条件を満たす場合を切断加工品質が良好であると判定し、それ以外の場合を不良であると判定している。

[0072] 具体的には、アルミ板材ＡＷの板厚が８ｍｍではドロス高さが２８０μｍ以下、５ｍｍではドロス高さが１７５μｍ以下、４ｍｍではドロス高さが１４０μｍ以下、板厚が３ｍｍではドロス高さが９０μｍ以下、板厚が２ｍｍではドロス高さが６０μｍ以下の条件を満たす場合を加工品質が良好であると判定し、それ以外の場合を不良であると判定している。

[0073] ［実施例１］

図５及び図６を用いて、アルミ板材ＡＷとして純アルミニウム系材料（１

０００系）のＡ１０５０をレーザ加工（切断加工）する場合について説明する。

[0074] 図５に示すように、純アルミニウム系材料（Ａ１０５０）のアルミ板材ＡＷでは、板厚が４ｍｍの場合、指標ＧＲを０．７３５％・Ｎ／ｓ～１．５８４％・Ｎ／ｓの範囲にすることで、切断によるエッジ部の欠損がなく、かつ、ドロスが少ない良好な切断加工品質が得られる。このときの酸素濃度（体積％）は０．１３％～０．２８％の範囲である。

[0075] 板厚が３ｍｍの場合、指標ＧＲを１．６３１％・Ｎ／ｓ～２．９１９％・Ｎ／ｓの範囲にすることで、切断によるエッジ部の欠損がなく、かつ、ドロスが少ない良好な切断加工品質が得られる。このときの酸素濃度（体積％）は０．１９％～０．３４％の範囲である。

[0076] 板厚が２ｍｍ、ノズル径Ｒｎが２ｍｍの場合には、指標ＧＲを１．１４５％・Ｎ／ｓ～１５．４５６％・Ｎ／ｓの範囲にすることで、切断によるエッジ部の欠損がなく、かつ、ドロスが少ない良好な切断加工品質が得られる。このときの酸素濃度（体積％）は０．２０％～２．７０％の範囲である。

[0077] 板厚が２ｍｍ、ノズル径Ｒｎが１．５ｍｍの場合には、指標ＧＲを１．６９０％・Ｎ／ｓ～４．２２６％・Ｎ／ｓの範囲にすることで、切断によるエッジ部の欠損がなく、かつ、ドロスが少ない良好な切断加工品質が得られる。このときの酸素濃度（体積％）は０．７０％～１．７５％の範囲である。

[0078] 純アルミニウム系材料の場合、アルミニウム以外の化学成分比が少ない。そのため、板厚が厚ければ切断速度が遅い分、切断面に滞留する酸素とアルミニウム自体の酸化反応が切断に寄与する。一方、板厚が薄い場合は融解合金が吹き飛ばされることを考慮して高濃度の酸素を供給することで、アルミニウム自体の酸化反応が切断に寄与するものと推察される。

[0079] アルミ板材ＡＷ（Ａ１０５０）の板厚の６７％～７５％の範囲となるようなノズル径Ｒｎのノズルを標準ノズルとしたときに、アルミ板材ＡＷの板厚が薄いと、指標ＧＲの範囲は広がる結果となっている。また、標準ノズルよりも大きなノズル径Ｒｎ（例えばアルミ板材ＡＷの板厚と同等）のノズルを

用いる場合、アシストガスの体積流速が標準ノズルの場合と同じになるようにアシストガス圧を調整する。ノズル径Ｒｎを大きくし、アシストガス圧を高くすると、指標ＧＲの範囲は広がる結果となっている。

[0080] 従って、純アルミニウム系材料（Ａ１０５０）のアルミ板材ＡＷでは、２ｍｍ～３ｍｍの板厚で、アルミ板材ＡＷの板厚の６７％～１００％の範囲のノズル径Ｒｎの場合、指標ＧＲを１．６９０％・Ｎ／ｓ～２．９１９％・Ｎ／ｓの範囲にすることにより、切断によるエッジ部の欠損がなく、かつ、ドロスが少ない良好な切断加工品質が得られる。また、４ｍｍの板厚で、アルミ板材ＡＷの板厚と同じノズル径Ｒｎの場合、指標ＧＲを０．７３５％・Ｎ／ｓ～１．５８４％・Ｎ／ｓの範囲にすることにより、切断によるエッジ部の欠損がなく、かつ、ドロスが少ない良好な切断加工品質が得られる。

[0081] 純アルミニウム系材料（Ａ１０５０）のアルミ板材ＡＷにおける板厚と指標ＧＲとの関係を図６に示す。図６中の測定点Ｐ４ａは板厚が４ｍｍの場合の上限（酸素濃度＝０．２８％）、測定点Ｐ４ｃは下限（酸素濃度＝０．１３％）の指標ＧＲを示している。

[0082] 図６中の測定点Ｐ３ａは板厚が３ｍｍの場合の上限（酸素濃度＝０．３４％）、測定点Ｐ３ｃは下限（酸素濃度＝０．１３％）の指標ＧＲを示している。図６中の測定点Ｐ２ａは板厚が２ｍｍの場合の上限（酸素濃度＝１．００％）、測定点Ｐ２ｃは下限（酸素濃度＝０．２８％）の指標ＧＲを示している。

[0083] 測定点Ｐ４ａと測定点Ｐ３ａと測定点Ｐ２ａとにより算出される指数近似曲線Ｌａは指標ＧＲの上限値を示す上限線、測定点Ｐ４ｃと測定点Ｐ３ｃと測定点Ｐ２ｃとにより算出される指数近似曲線Ｌｃは指標ＧＲの下限値を示す下限線である。

[0084] 純アルミニウム系材料（Ａ１０５０）のアルミ板材ＡＷにおける板厚をｘ（ｍｍ）、指標ＧＲの上限値をｙａ、下限値をｙｃとしたとき、指標ＧＲの上限値ｙａ及び下限値ｙｃは、式（５）及び式（６）で示す近似式で表すことができる。

[0085] $y_a = 0.0043e^{0.6424x}$ …（５）

$y_c = 0.0034e^{0.3896x}$ …（６）

[0086] 即ち、板厚が１ｍｍ～５ｍｍの範囲、好ましくは２ｍｍ～４ｍｍの範囲において、指標ＧＲが、式（５）で示す近似式で表される上限値ｙａと、式（５）で示す近似式で表される下限値ｙｃとの範囲内であれば、レーザ加工ユニット２０は、１０００系の材料記号を有するアルミニウムの板材を、切断によるエッジ部の欠損がなく、かつ、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。

[0087] ［実施例２］

図７Ａ及び図７Ｂを用いて、アルミ板材ＡＷとしてアルミニウムマグネシウム合金（５０００系）のＡ５０５２をレーザ加工（切断加工）する場合について説明する。

[0088] 図７Ａに示すように、アルミニウムマグネシウム合金（Ａ５０５２）のアルミ板材ＡＷでは、板厚が８ｍｍの場合、指標ＧＲを１．８７４％・Ｎ／ｓにすることで、切断によるエッジ部の欠損がなく、かつ、ドロスが少ない切断加工品質の良好な切断加工が可能になる。このときの酸素濃度（体積％）は０．１０％である。

[0089] 板厚が５ｍｍの場合、指標ＧＲを０．４６５％・Ｎ／ｓ～０．９３０％・Ｎ／ｓの範囲にすることで、切断によるエッジ部の欠損がなく、かつ、ドロスが少ない切断加工品質の良好な切断加工が可能になる。このときの酸素濃度（体積％）は０．０５％～０．１０％の範囲である。

[0090] 板厚が４ｍｍの場合、指標ＧＲを０．２８３％・Ｎ／ｓ～１．４１４％・Ｎ／ｓの範囲にすることで、切断によるエッジ部の欠損がなく、かつ、ドロスが少ない切断加工品質の良好な切断加工が可能になる。このときの酸素濃度（体積％）は０．０５％～０．２５％の範囲である。

[0091] 図７Ｂに示すように、板厚が３ｍｍの場合、指標ＧＲを０．６８７％・Ｎ／ｓ～４．２９３％・Ｎ／ｓの範囲にすることで、切断によるエッジ部の欠損がなく、かつ、ドロスが少ない良好な切断加工品質が得られる。このとき

の酸素濃度（体積%）は０．０８%～０．５０%の範囲である。

[0092] 板厚が２ｍｍ、ノズル径Ｒｎが２．０ｍｍの場合には、指標ＧＲを０．７４４%・Ｎ／ｓ～７．１５５%・Ｎ／ｓの範囲にすることで、切断によるエッジ部の欠損がなく、かつ、ドロスが少ない良好な切断加工品質が得られる。このときの酸素濃度（体積%）は０．１３%～１．２５%の範囲である。

[0093] 板厚が２ｍｍ、ノズル径Ｒｎが１．５ｍｍの場合には、指標ＧＲを０．１４５%・Ｎ／ｓ～４．４６８%・Ｎ／ｓの範囲にすることで、切断によるエッジ部の欠損がなく、かつ、ドロスが少ない良好な切断加工品質が得られる。このときの酸素濃度（体積%）は０．０６%～２．１７%の範囲である。

[0094] アルミニウムマグネシウム合金の場合、マグネシウムの酸化反応熱は板厚が厚いほど寄与するが、板厚が厚ければ融解した合金を吹き飛ばす量も増える。逆に板厚が薄いほどマグネシウムの酸化反応熱が寄与する間も無く、融解された合金をアシストガス圧により容易に吹き飛ばすことができる。

[0095] アルミニウムマグネシウム合金（Ａ５０５２）の板厚の６７%～７５%の範囲となるようなノズル径Ｒｎのノズルを標準ノズルとしたときに、アルミ板材ＡＷの板厚が薄いと、指標ＧＲの範囲は広がる結果となっている。また、標準ノズルよりも大きなノズル径Ｒｎ（例えばアルミ板材ＡＷの板厚と同等）のノズルを用いる場合、アシストガスの体積流速が標準ノズルの場合と同じになるようにアシストガス圧を調整する。ノズル径Ｒｎを大きくし、アシストガス圧を高くすると、指標ＧＲの範囲は広がる結果となっている。

[0096] 従って、アルミニウムマグネシウム合金（Ａ５０５２）のアルミ板材ＡＷでは、２ｍｍ～４ｍｍの板厚で、アルミ板材ＡＷの板厚の６７%～１００%の範囲のノズル径Ｒｎの場合、指標ＧＲを０．７４４%・Ｎ／ｓ～１．４１４%・Ｎ／ｓの範囲にすることにより、切断によるエッジ部の欠損がなく、かつ、ドロスが少ない良好な切断加工品質が得られる。

[0097] ５ｍｍの板厚で指標ＧＲを０．４６５%・Ｎ／ｓ～０．９３０%・Ｎ／ｓの範囲にすることにより、８ｍｍの板厚で指標ＧＲを１．８７４%・Ｎ／ｓとすることにより、切断によるエッジ部の欠損がなく、かつ、ドロスが少な

い良好な切断加工品質が得られる。

[0098] アルミニウムマグネシウム合金（Ａ５０５２）のアルミ板材ＡＷにおける板厚と指標ＧＲとの関係を図８に示す。図８中の測定点Ｐ５ｄは板厚が５ｍｍの場合の上限（酸素濃度＝０．１０％）、測定点Ｐ５ｆは下限（酸素濃度＝０．０５％）の指標ＧＲを示している。測定点Ｐ４ｄは板厚が４ｍｍの場合の上限（酸素濃度＝０．２５％）、測定点Ｐ４ｆは下限（酸素濃度＝０．０５％）の指標ＧＲを示している。

[0099] 図８中の測定点Ｐ３ｄは板厚が３ｍｍの場合の上限（酸素濃度＝０．５０％）、測定点Ｐ３ｆは下限（酸素濃度＝０．０８％）の指標ＧＲを示している。図８中の測定点Ｐ２ｄは板厚が２ｍｍ、ノズル径Ｒｎが２ｍｍの場合の上限（酸素濃度＝１．２５％）、測定点Ｐ２ｆは下限（酸素濃度＝０．１３％）の指標ＧＲを示している。

[0100] 測定点Ｐ４ｄと測定点Ｐ３ｄと測定点Ｐ２ｄとにより算出される指数近似曲線Ｌｄは指標ＧＲの上限値を示す上限線、測定点Ｐ４ｆと測定点Ｐ３ｆと測定点Ｐ２ｆとにより算出される指数近似曲線Ｌｆは指標ＧＲの下限値を示す下限線である。

[0101] アルミニウムマグネシウム合金（Ａ５０５２）のアルミ板材ＡＷにおける板厚をｘ（ｍｍ）、指標ＧＲの上限値をｙｄ、下限値をｙｆとしたとき、指標ＧＲの上限値ｙｄ及び下限値ｙｆは、式（７）及び式（８）で示す近似式で表すことができる。

[0102] $y_d = 0.0041e^{0.7233x}$ …（７）

$y_f = 0.0029e^{0.23x}$ …（８）

[0103] 即ち、板厚が１ｍｍ～５ｍｍの範囲、好ましくは２ｍｍ～５ｍｍの範囲において、指標ＧＲが、式（７）で示す近似式で表される上限値ｙｄと、式（８）で示す近似式で表される下限値ｙｆとの範囲内であれば、レーザ加工ユニット２０は、５０００系の材料記号を有するアルミニウムの板材を、切断によるエッジ部の欠損がなく、かつ、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。

[0104] 図９は、アルミ板材ＡＷに純アルミニウム系材料（Ａ１０５０）及びアルミニウムマグネシウム合金（Ａ５０５２）を用いた場合の各指標ＧＲの上限値と下限値を示している。

[0105] 図１において、保持部５０１は、式（５）～式（８）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、指標ＧＲが式（５）で得られる上限値ｙａと式（６）で得られる下限値ｙｃとの範囲内であるか否かを判定する。

[0106] 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、指標ＧＲが式（７）で得られる上限値ｙｄと式（８）で得られる下限値ｙｆとの範囲内であるか否かを判定する。

[0107] なお、保持部５０１に保存される式（５）及び（６）、式（７）及び式（８）は指数近似曲線式であって、板厚によって決まる指標ＧＲの値の変化率が指標ＧＲの値に比例する近似式である。その近似式は、指標ＧＲ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（５）～（８）において、0.0043，0.0034，0.0041，0.0029が積分定数である。

[0108] 各指標ＧＲの値を鋼材メーカ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（５）～（８）を生成して、式（５）～（８）を保持部５０１に保持すればよい。

[0109] 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、指標ＧＲが上限値ｙａ，ｙｄと下限値ｙｃ，ｙｆとの範囲内であ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、指標ＧＲが上限値ｙａ，ｙｄと下限値ｙｃ，ｙｆとの範囲内であ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。

[0110] 例えば、制御装置５０は、指標ＧＲが上限値ｙａ，ｙｄの９５％よりも小さい、または下限値ｙｃ，ｙｆの１０５％よりも大きいときには良好を示す記号○を表示部５２に表示する。制御装置５０は、指標ＧＲが上限値ｙａ，ｙｄの９５％以上１０５％以下、または下限値ｙｃ，ｙｆの９５％以上１０５％以下であるときには注意を示す記号△を表示部５２に表示する。制御装置５０は、指標ＧＲが上限値ｙａ，ｙｄの１０５％よりも大きい、または下限値ｙｃ，ｙｆの９５％未満であるときには不可を示す記号×を表示部５２に表示する。

[0111] 記号○，△，×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。注意とする範囲は上限値ｙａ，ｙｄ及び下限値ｙｃ，ｙｆの±５％に限定されず、制御装置５０は、±３％または±７％のように適宜に設定すればよい。

[0112] 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、エッジ部の欠損及び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。

[0113] 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

[0114] 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１μｍ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アルミニウムを主成分とする板材に照射して前記板材を切断加工する加工ヘッドを有するレーザ加工ユニットと、

酸素を含む混合ガスの酸素濃度及びガス圧を調整して前記加工ヘッドに供給する混合ガス供給部と、

を備え、

前記レーザ加工ユニットは、前記レーザ光のビームウエストが前記板材よりも前記加工ヘッド側に位置するように調整された状態で、前記加工ヘッドの先端部に設けられているノズルから射出された前記レーザ光を前記板材に照射し、前記混合ガスをアシストガスとして前記板材に噴出し、

前記板材が１０００系の材料記号を有する純アルミニウム系材料であり、前記板材の板厚をｘｍｍとしたとき、

$y_a = 0.0043e^{0.6424x}$ …（５）

$y_c = 0.0034e^{0.3896x}$ …（６）

前記混合ガス供給部は、前記アシストガス中の酸素濃度に、前記アシストガスの体積流量と前記板材の板厚とアシストガス圧とを乗算し、前記ノズルの開口面積で除算した値を１０００倍することにより算出される指標が、式（５）で得られる上限値ｙａと式（６）で得られる下限値ｙｃとの範囲内に設定されるように前記混合ガスを調整することを特徴とするレーザ加工機。

[請求項2] 式（５）及び式（６）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、前記指標が式（５）で得られる上限値ｙａと式（６）で得られる下限値ｙｃとの範囲内であ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１μｍ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アルミニウムを主成分とする板材に照射して前記板材を切断加工する加工ヘッドを有するレーザ加工ユニットと、

酸素を含む混合ガスの酸素濃度及びガス圧を調整して前記加工ヘッドに供給する混合ガス供給部と、

を備え、

前記レーザ加工ユニットは、前記レーザ光のビームウエストが前記板材よりも前記加工ヘッド側に位置するように調整された状態で、前記加工ヘッドの先端部に設けられているノズルから射出された前記レーザ光を前記板材に照射し、前記混合ガスをアシストガスとして前記板材に噴出し、

前記板材が５０００系の材料記号を有するアルミニウムマグネシウム合金であり、前記板材の板厚をｘｍｍとしたとき、

$yd = 0.0041e^{0.7233x}$ …（７）

$yf = 0.0029e^{0.23x}$ …（８）

前記混合ガス供給部は、前記アシストガス中の酸素濃度に、前記アシストガスの体積流量と前記板材の板厚とアシストガス圧とを乗算し、前記ノズルの開口面積で除算した値を１０００倍することにより算出される指標が、式（７）で得られる上限値ｙｄと式（８）で得られる下限値ｙｆとの範囲内に設定されるように前記混合ガスを調整することを特徴とするレーザ加工機。

[請求項4] 式（７）及び式（８）を保持する保持部と、

前記レーザ加工ユニットによって、５０００系の材料記号を有するアルミニウムマグネシウム合金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、前記指標が式（７）で得られる

上限値ｙｄと式（８）で得られる下限値ｙｆとの範囲内であ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１ｍｍ～５ｍｍの範囲内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] １０００系の材料記号を有する純アルミニウム系材料である板材を加工対象の板材とし、

加工ヘッドの先端部に設けられたノズルから、波長が１μｍ帯であるレーザ光を射出し、

前記レーザ光のビームウエストが前記ノズル側に位置するように調整された状態で前記レーザ光を前記板材に照射し、

前記板材の板厚をｘｍｍとしたとき、

$y_a = 0.0043e^{0.6424x}$ …（５）

$y_c = 0.0034e^{0.3896x}$ …（６）

アシストガス中の酸素濃度に、前記アシストガスの体積流量と前記板材の板厚とアシストガス圧とを乗算し、前記ノズルの開口面積で除算した値を１０００倍することにより算出される指標が、式（５）で得られる上限値ｙａと式（６）で得られる下限値ｙｃとの範囲内に設定されるように、前記アシストガスを調整して前記板材に噴出させながら、前記レーザ光によっ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（５）及び式（６）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、前記指標が式（５）で得られる上限値ｙａと式（６）で得られる下限値ｙｃとの範囲内であ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] ５０００系の材料記号を有するアルミニウムマグネシウム合金であ

る板材を加工対象の板材とし、

加工ヘッドの先端部に設けられたノズルから、波長が１μｍ帯であるレーザ光を射出し、

前記レーザ光のビームウエストが前記ノズル側に位置するように調整された状態で前記レーザ光を前記板材に照射し、

前記板材の板厚をｘｍｍとしたとき、

$yd = 0.0041e^{0.7233x}$ …（７）

$yf = 0.0029e^{0.23x}$ …（８）

アシストガス中の酸素濃度に、前記アシストガスの体積流量と前記板材の板厚とアシストガス圧とを乗算し、前記ノズルの開口面積で除算した値を１０００倍することにより算出される指標が、式（７）で得られる上限値ｙｄと式（６）で得られる下限値ｙｆとの範囲内に設定されるように、前記アシストガスを調整して前記板材に噴出させながら、前記レーザ光によっ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。

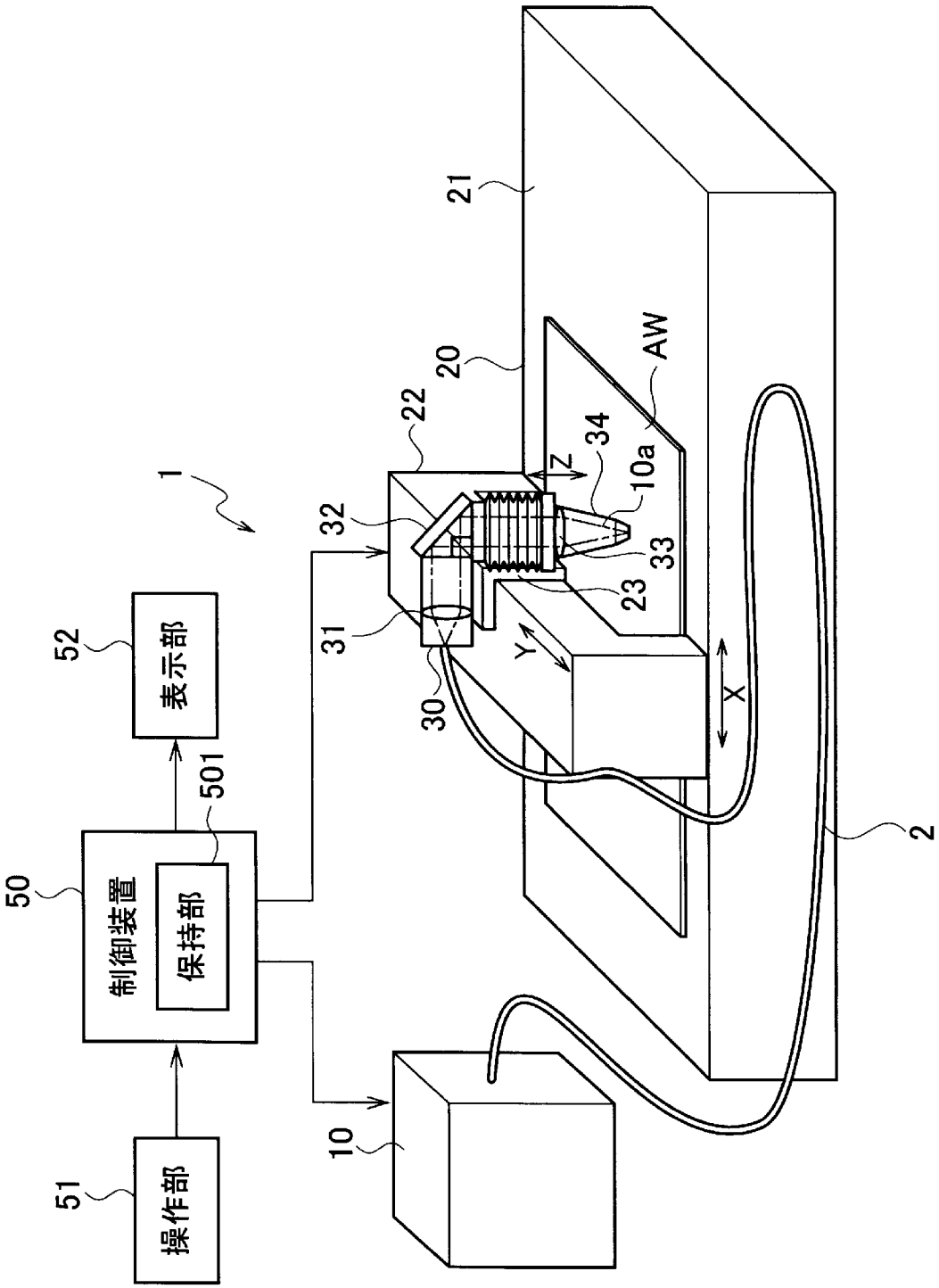
[請求項9] 式（７）及び式（８）を保持部に保持し、

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、前記指標が式（７）で得られる上限値ｙｄと式（８）で得られる下限値ｙｆとの範囲内であ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

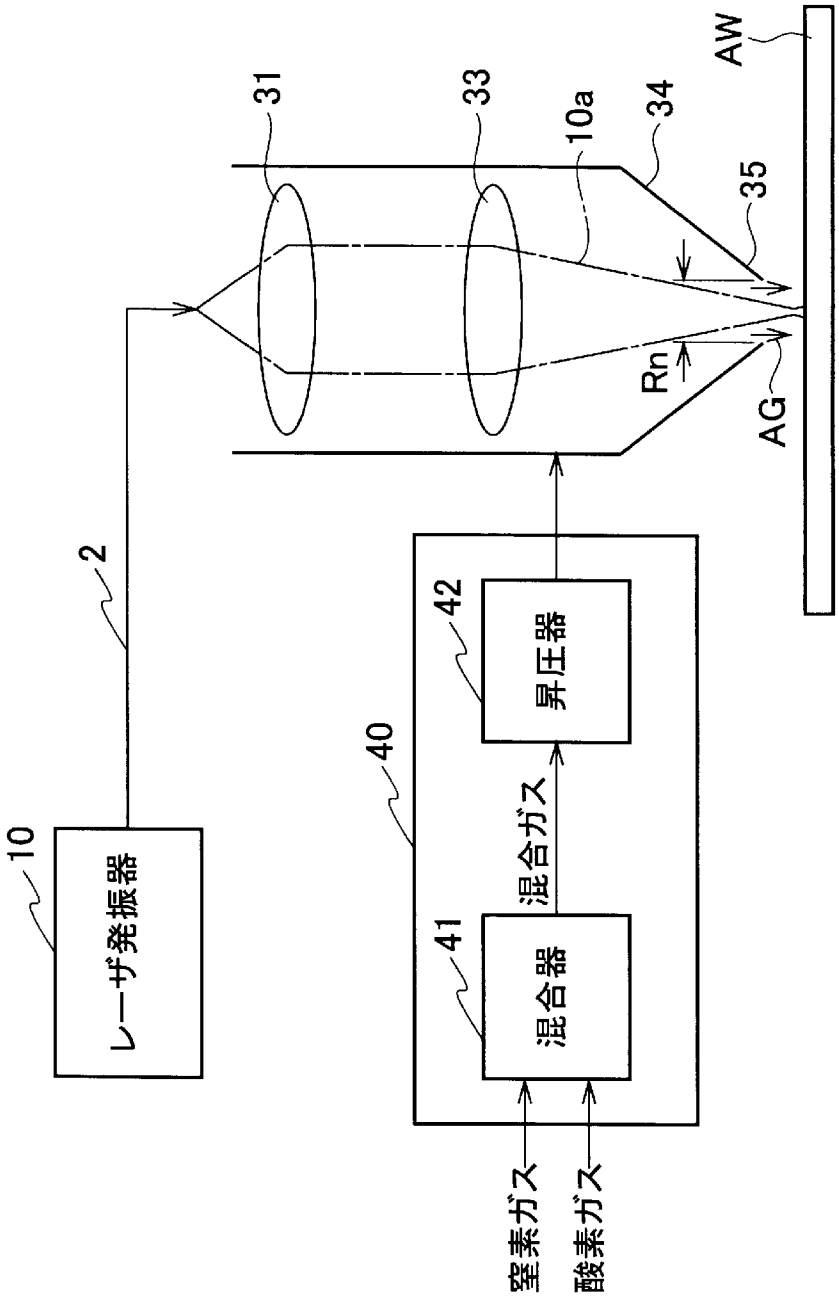
ことを特徴とする請求項８に記載のレーザ加工方法。

[請求項10] 前記板材の板厚は１ｍｍ～５ｍｍの範囲内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。

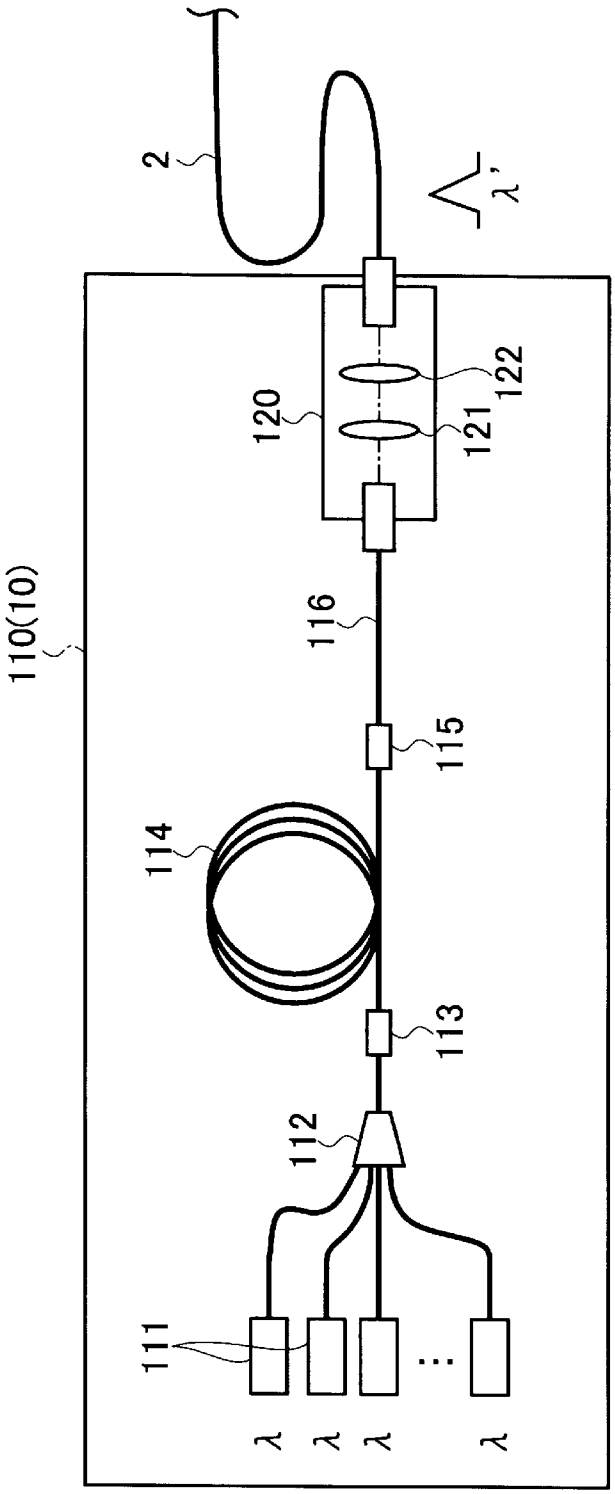
[図1]


1
2
10
10a
20
21
22
23
30
31
32
33
34
AW
X
Y
Z
50
制御装置
501
保持部
51
操作部
52
表示部

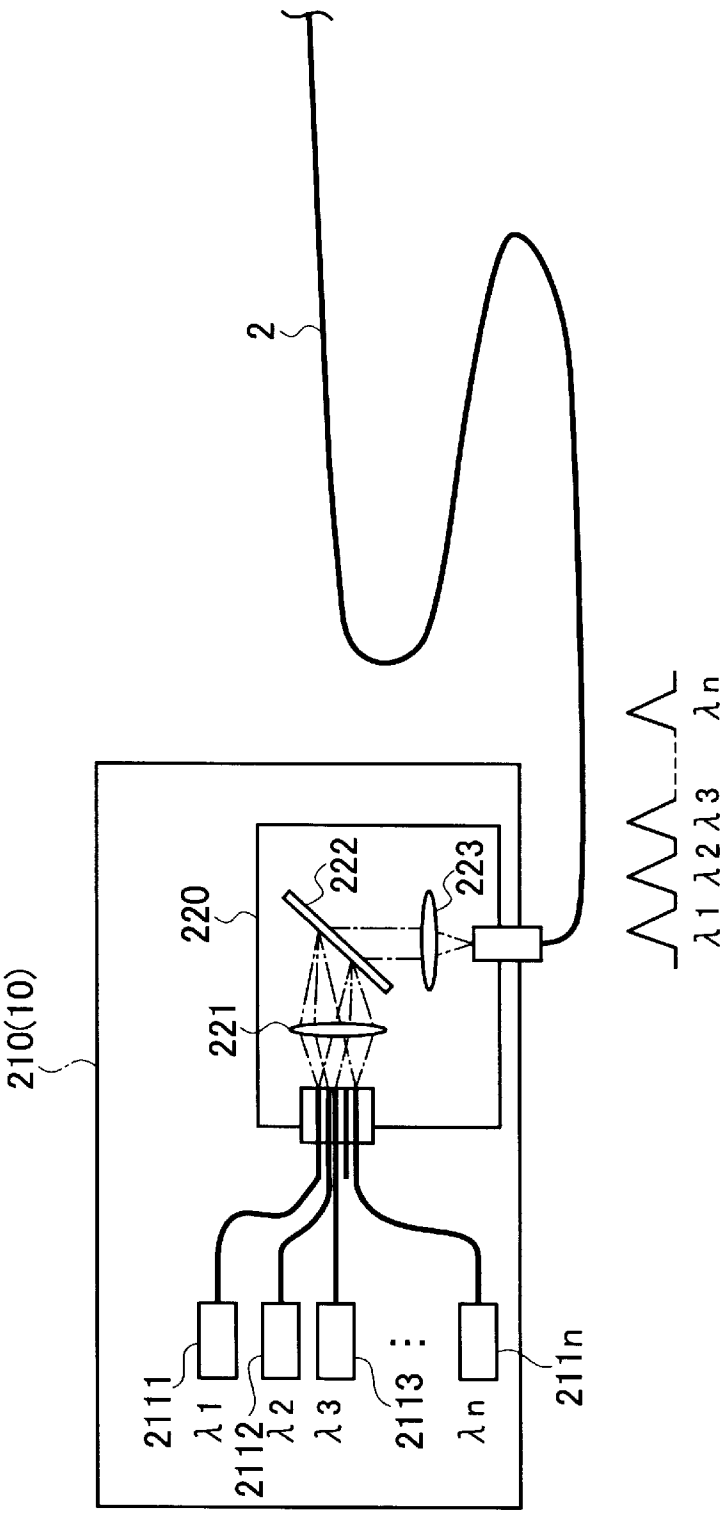
[図2]


10
レーザ発振器
2
40
41
混合器
窒素ガス
酸素ガス
混合ガス
42
昇圧器
31
33
10a
34
35
Rn
AG
AW

[図3]



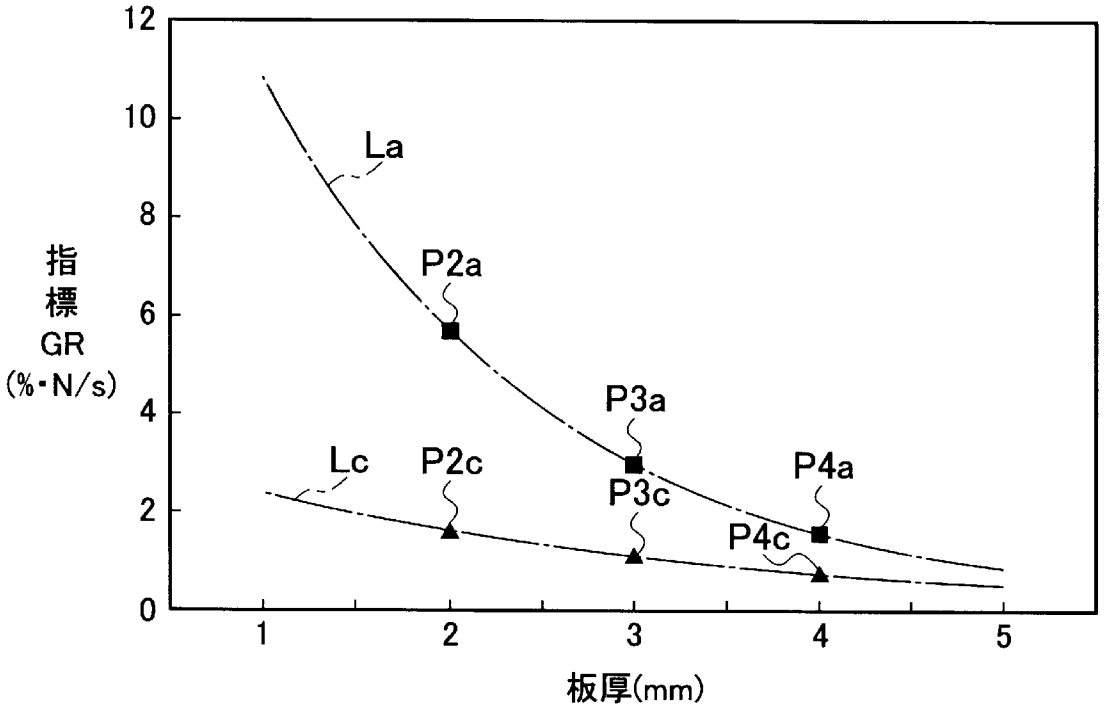
[図4]


2
λ1 λ2 λ3 λn
210(10)
220
221
222
223
2111
λ1
2112
λ2
λ3
2113
λn
211n

[図5]

| 板厚 t | 酸素濃度 Oxg | ノズル径 Rn | ノズル開口面積A | アシストガスAG | | | 指標GR | ドロス評価 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ガス圧P | 体積流量Q | 体積流速V | | ドロス高さ | 判定 |
| (mm) | (体積%) | (mm) | ($m^2$) | (Mpa) | ($m^3/s$) | (m/s) | (%·N/s) | (μm) | |
| 4 | 0.05 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.0 | $1.78\times10^{-8}$ | 1.4142 | 0.283 | 197 | 不良 |
| 4 | 0.13 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.0 | $1.78\times10^{-8}$ | 1.4142 | 0.735 | 138 | 良好 |
| 4 | 0.17 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.0 | $1.78\times10^{-8}$ | 1.4142 | 0.962 | 114 | 良好 |
| 4 | 0.20 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.0 | $1.78\times10^{-8}$ | 1.4142 | 1.131 | 106 | 良好 |
| 4 | 0.25 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.0 | $1.78\times10^{-8}$ | 1.4142 | 1.414 | 118 | 良好 |
| 4 | 0.28 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.0 | $1.78\times10^{-8}$ | 1.4142 | 1.584 | 132 | 良好 |
| 4 | 0.40 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.0 | $1.78\times10^{-8}$ | 1.4142 | 2.263 | 149 | 不良 |
| 3 | 0.13 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 1.116 | 95 | 不良 |
| 3 | 0.19 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 1.631 | 67 | 良好 |
| 3 | 0.20 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 1.717 | 72 | 良好 |
| 3 | 0.30 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 2.576 | 67 | 良好 |
| 3 | 0.34 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 2.919 | 64 | 良好 |
| 3 | 0.50 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 4.293 | 95 | 不良 |
| 2 | 0.20 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 1.145 | 52 | 良好 |
| 2 | 0.28 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 1.603 | 47 | 良好 |
| 2 | 0.40 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 2.290 | 39 | 良好 |
| 2 | 0.50 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 2.862 | 40 | 良好 |
| 2 | 1.00 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 5.724 | 40 | 良好 |
| 2 | 1.88 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 10.762 | 55 | 良好 |
| 2 | 2.70 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 15.456 | 52 | 良好 |
| 2 | 0.30 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 0.724 | 73 | 不良 |
| 2 | 0.70 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 1.690 | 50 | 良好 |
| 2 | 0.80 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 1.932 | 42 | 良好 |
| 2 | 0.90 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 2.173 | 39 | 良好 |
| 2 | 1.15 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 2.777 | 41 | 良好 |
| 2 | 1.40 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 3.381 | 51 | 良好 |
| 2 | 1.75 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 4.226 | 52 | 良好 |
| 2 | 1.85 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 4.468 | 70 | 不良 |

[図6]



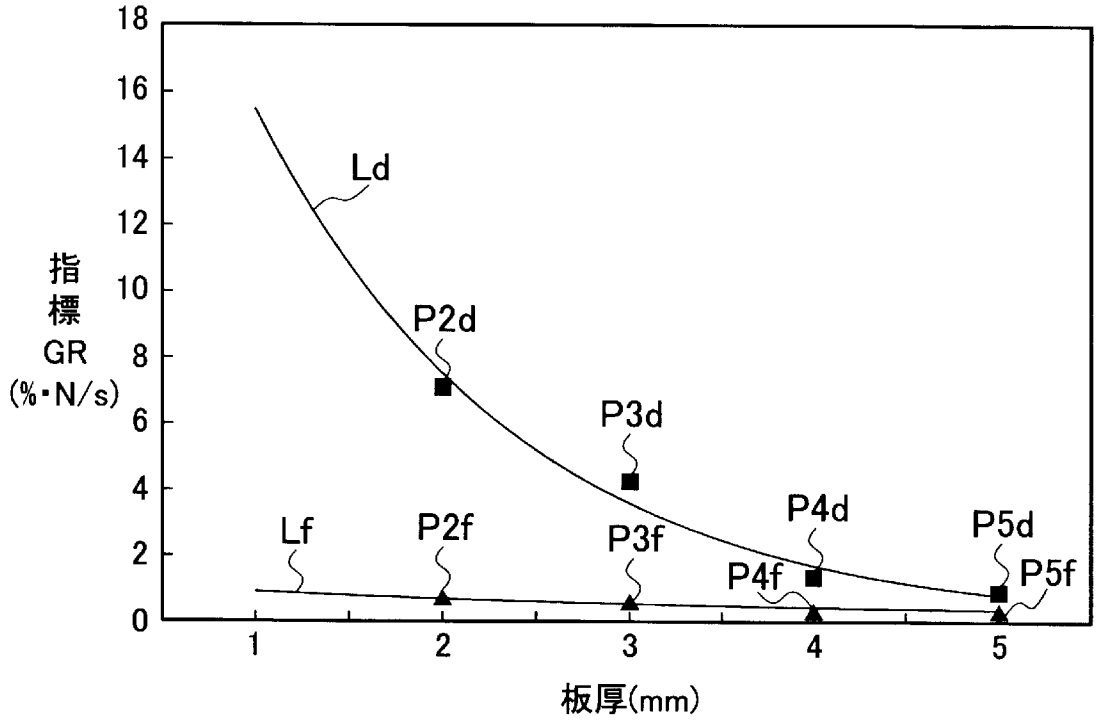
[図7A]

| 板厚 t | 酸素濃度 Oxg | ノズル径 Rn | ノズル開口面積A | アシストガスAG | | | 指標GR | ドロス評価 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ガス圧P | 体積流量Q | 体積流速V | | ドロス高さ | 判定 |
| (mm) | (体積%) | (mm) | ($m^2$) | (Mpa) | ($m^3/s$) | (m/s) | (%·N/s) | (μm) | |
| 8 | 0.02 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.4 | $2.10\times10^{-8}$ | 1.6733 | 0.375 | 362 | 不良 |
| 8 | 0.10 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.4 | $2.10\times10^{-8}$ | 1.6733 | 1.874 | 234 | 良好 |
| 5 | 0.02 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.2 | $1.95\times10^{-8}$ | 1.5492 | 0.186 | 328 | 不良 |
| 5 | 0.05 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.2 | $1.95\times10^{-8}$ | 1.5492 | 0.465 | 174 | 良好 |
| 5 | 0.07 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.2 | $1.95\times10^{-8}$ | 1.5492 | 0.651 | 138 | 良好 |
| 5 | 0.10 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.2 | $1.95\times10^{-8}$ | 1.5492 | 0.930 | 71 | 良好 |
| 5 | 0.15 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.2 | $1.95\times10^{-8}$ | 1.5492 | 1.394 | 180 | 不良 |
| 5 | 0.50 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.2 | $1.95\times10^{-8}$ | 1.5492 | 4.648 | 246 | 不良 |
| 4 | 0.02 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.0 | $1.78\times10^{-8}$ | 1.4142 | 0.113 | 366 | 不良 |
| 4 | 0.05 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.0 | $1.78\times10^{-8}$ | 1.4142 | 0.283 | 140 | 良好 |
| 4 | 0.09 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.0 | $1.78\times10^{-8}$ | 1.4142 | 0.509 | 100 | 良好 |
| 4 | 0.13 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.0 | $1.78\times10^{-8}$ | 1.4142 | 0.735 | 90 | 良好 |
| 4 | 0.25 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.0 | $1.78\times10^{-8}$ | 1.4142 | 1.414 | 84 | 良好 |
| 4 | 0.28 | 4.0 | $1.26\times10^{-5}$ | 1.0 | $1.78\times10^{-8}$ | 1.4142 | 1.584 | 224 | 不良 |

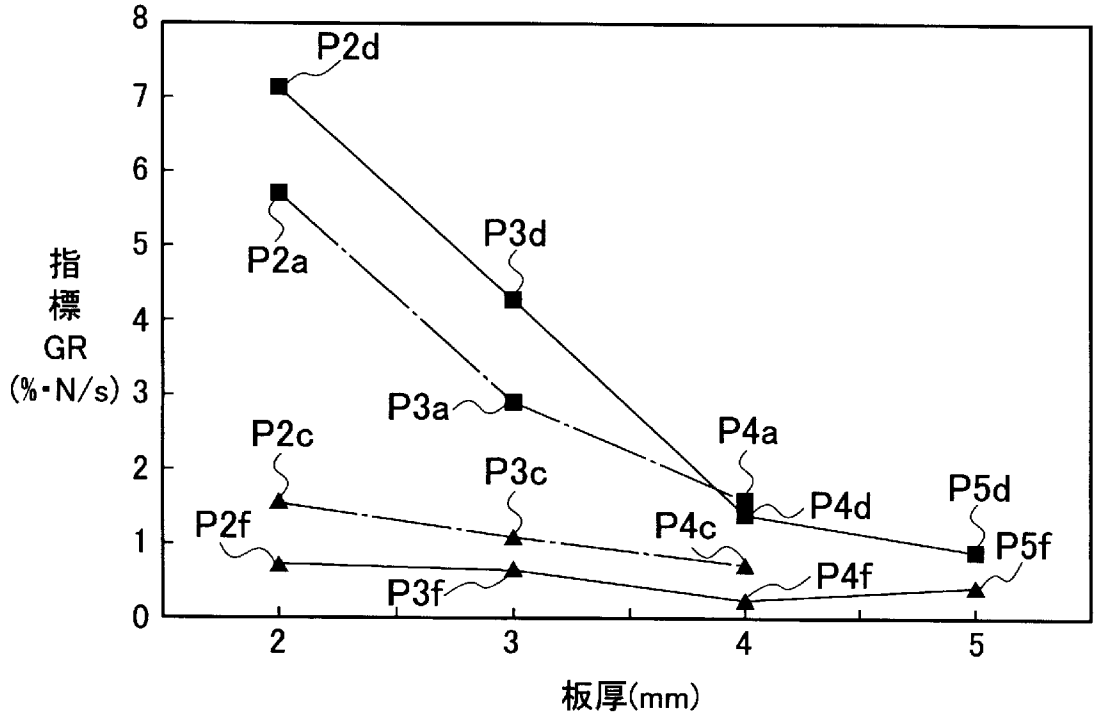
[図7B]

| 板厚 t | 酸素濃度 Oxg | ノズル径 Rn | ノズル開口面積A | アシストガスAG | | | 指標GR | ドロス評価 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ガス圧P | 体積流量Q | 体積流速V | | ドロス高さ | 判定 |
| (mm) | (体積%) | (mm) | ($m^2$) | (Mpa) | ($m^3/s$) | (m/s) | (%·N/s) | (μm) | |
| 3 | 0.07 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 0.601 | 125 | 不良 |
| 3 | 0.08 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 0.687 | 86 | 良好 |
| 3 | 0.09 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 0.773 | 77 | 良好 |
| 3 | 0.11 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 0.945 | 74 | 良好 |
| 3 | 0.13 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 1.116 | 63 | 良好 |
| 3 | 0.17 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 1.460 | 56 | 良好 |
| 3 | 0.19 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 1.631 | 62 | 良好 |
| 3 | 0.50 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 4.293 | 80 | 良好 |
| 3 | 0.87 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 7.470 | 109 | 不良 |
| 3 | 1.12 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 9.617 | 102 | 不良 |
| 2 | 0.05 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 0.286 | 284 | 不良 |
| 2 | 0.10 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 0.572 | 87 | 不良 |
| 2 | 0.13 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 0.744 | 47 | 良好 |
| 2 | 0.20 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 1.145 | 42 | 良好 |
| 2 | 0.34 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 1.946 | 41 | 良好 |
| 2 | 0.40 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 2.290 | 49 | 良好 |
| 2 | 0.50 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 2.862 | 50 | 良好 |
| 2 | 1.00 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 5.724 | 50 | 良好 |
| 2 | 1.25 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 7.155 | 55 | 良好 |
| 2 | 1.80 | 2.0 | $3.14\times10^{-6}$ | 1.6 | $5.62\times10^{-9}$ | 1.7889 | 10.304 | 66 | 不良 |
| 2 | 0.03 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 0.072 | 141 | 不良 |
| 2 | 0.06 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 0.145 | 48 | 良好 |
| 2 | 0.09 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 0.217 | 47 | 良好 |
| 2 | 0.20 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 0.483 | 36 | 良好 |
| 2 | 0.50 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 1.207 | 34 | 良好 |
| 2 | 1.15 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 2.777 | 38 | 良好 |
| 2 | 1.42 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 3.429 | 44 | 良好 |
| 2 | 1.66 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 4.009 | 52 | 良好 |
| 2 | 1.85 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 4.468 | 59 | 良好 |
| 2 | 2.04 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 4.009 | 59 | 良好 |
| 2 | 2.17 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 4.468 | 60 | 良好 |
| 2 | 2.30 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 4.009 | 67 | 不良 |
| 2 | 2.43 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 4.468 | 77 | 不良 |
| 2 | 2.53 | 1.5 | $1.77\times10^{-6}$ | 0.9 | $2.37\times10^{-9}$ | 1.3416 | 5.554 | 76 | 不良 |

[図8]


18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
指標
GR
(%・N/s)
Ld
P2d
P3d
P4d
P5d
Lf
P2f
P3f
P4f
P5f
1
2
3
4
5
板厚(mm)

[図9]


8
7
6
5
4
3
2
1
0
指標
GR
(%・N/s)
P2d
P2a
P3d
P3a
P2c
P3c
P4a
P4d
P4c
P5d
P2f
P3f
P4f
P5f
2
3
4
5
板厚(mm)

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/015065

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:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"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)
"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
"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
"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
"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
"&" document member of the same patent family

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/JP2017/015065

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|---|---|---|
| A | JP 2007-313545 A (TG Showa Kabushiki Kaisha), 06 December 2007 (06.12.2007), paragraphs [0021] to [0023] (Family: none) | 1-10 |

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／０１５０６５

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<br>& US 2014/0246405 A1，段落0050,0087 & WO 2013/065484 A1<br>& CN 103906597 A & KR 10-2014-0067151 A | 1-10 |

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　☐　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の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 | 国際調査報告の発送日 |
|---|---|
| ２６．０４．２０１７ | １６．０５．２０１７ |

| 国際調査機関の名称及びあて先 | 特許庁審査官（権限のある職員） | ３Ｐ | ４０１６ |
|---|---|---|---|
| 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）<br>郵便番号１００－８９１５<br>東京都千代田区霞が関三丁目４番３号 | 奥隅　隆<br>電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３６３ | | |

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 |
|---|---|---|
| A | JP 2007-313545 A（ＴＧ昭和株式会社）2007.12.06, 段落 0021-0023 (ファミリーなし) | 1-10 |