

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4098024号  
(P4098024)

(45) 発行日 平成20年6月11日 (2008. 6. 11)

(24) 登録日 平成20年3月21日 (2008. 3. 21)

|                                 |                       |
|---------------------------------|-----------------------|
| (51) Int. Cl.                   | F I                   |
| <b>B 2 3 K 26/20 (2006. 01)</b> | B 2 3 K 26/20 3 1 O G |
| <b>B 2 3 K 26/06 (2006. 01)</b> | B 2 3 K 26/06 A       |
| <b>B 2 3 K 26/00 (2006. 01)</b> | B 2 3 K 26/00 P       |

請求項の数 3 (全 12 頁)

|           |                              |           |                              |
|-----------|------------------------------|-----------|------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2002-223866 (P2002-223866) | (73) 特許権者 | 000005821                    |
| (22) 出願日  | 平成14年7月31日 (2002. 7. 31)     |           | 松下電器産業株式会社                   |
| (65) 公開番号 | 特開2004-58140 (P2004-58140A)  |           | 大阪府門真市大字門真1006番地             |
| (43) 公開日  | 平成16年2月26日 (2004. 2. 26)     | (74) 代理人  | 110000040                    |
| 審査請求日     | 平成17年7月29日 (2005. 7. 29)     |           | 特許業務法人池内・佐藤アンドパートナーズ         |
|           |                              | (72) 発明者  | 川人 洋介                        |
|           |                              |           | 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内 |
|           |                              | (72) 発明者  | 岡田 俊治                        |
|           |                              |           | 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内 |
|           |                              | 審査官       | 松本 公一                        |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザスポット溶接方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1及び第2のレーザ光のスポットを被加工物の加工点に一致させるレーザスポット溶接方法であって、

前記第1のレーザ光を照射中に、前記第1のレーザ光よりもエネルギー密度が高く照射時間が短いパルス状の第2のレーザ光を前記加工点に照射し、次いで、前記第1のレーザ光を単独で前記加工点に照射することにより、前記被加工物に穴を形成し、前記穴内で前記第1のレーザ光を多重散乱させて前記被加工物材料を溶融せしめ、

前記第2のレーザ光の照射期間終了後で前記加工点からの正反射光の強度が増加し始めた時に、前記第1のレーザ光のエネルギー密度を最大とすることを特徴とするレーザスポット溶接方法。

【請求項 2】

第1及び第2のレーザ光のスポットを被加工物の加工点に一致させるレーザスポット溶接方法であって、

前記第1のレーザ光を照射中に、前記第1のレーザ光よりもエネルギー密度が高く照射時間が短いパルス状の第2のレーザ光を前記加工点に照射し、次いで、前記第1のレーザ光を単独で前記加工点に照射することにより、前記被加工物に穴を形成し、前記穴内で前記第1のレーザ光を多重散乱させて前記被加工物材料を溶融せしめ、

前記加工点からの正反射光を計測し、正反射光の強度変化に基づいて前記被加工物材料が溶融したことを検知し、前記第1のレーザ光のエネルギー密度と照射時間とを制御する

10

20

ことを特徴とするレーザースポット溶接方法。

【請求項3】

第1及び第2のレーザー光のスポットを被加工物の加工点に一致させるレーザースポット溶接方法であって、

前記第1のレーザー光を照射中に、前記第1のレーザー光よりもエネルギー密度が高く照射時間が短いパルス状の第2のレーザー光を前記加工点に照射し、次いで、前記第1のレーザー光を単独で前記加工点に照射することにより、前記被加工物に穴を形成し、前記穴内で前記第1のレーザー光を多重散乱させて前記被加工物材料を溶融せしめ、

前記第2のレーザー光の照射期間終了後に、前記第1のレーザー光を単独で照射中に前記加工点からの近赤外線を計測し、前記近赤外線の変化に基づいて前記第1のレーザー光の照射を停止することを特徴とするレーザースポット溶接方法。

10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する利用分野】

本発明は難加工材料に好適に適用できるレーザースポット溶接方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

高反射率材料である純銅や純アルミのレーザー接合技術は、近い将来に非常に重要な技術のひとつになると考えられる。純銅と純銅の接合の応用分野として電子部品間の半田に代わる半田フリー技術として期待できる。これはリサイクルの観点からも、半田を取り除く工程が不要になるので、コスト・環境に対しても有利な技術といえる。一方、アルミの接合も、リサイクルおよび軽量化の観点から、様々な分野に利用されている。具体的には、従来から自動車のシャーシや車載部品への応用が進められており、近年、電子機器分野（代表例として、携帯電話の電池の外装材等）へも応用が開始されている。

20

【0003】

一般にレーザー溶接に用いられるレーザーは、炭酸ガスレーザー（波長：10.6  $\mu\text{m}$ ）や基本波YAGレーザー（波長：1.064  $\mu\text{m}$ ）で、これらの波長はいずれも近赤外線領域にある。純銅、純アルミ等の高反射率材料に対するこれらの波長帯の光の反射率は99%以上であり、これらのレーザー光はほとんど吸収されない。換言すれば、炭素鋼、ニッケル等のレーザー溶接が一般的に適用される材料に比べて高反射率材料のレーザー光の吸収率は一桁以上も低い。さらにこれら高反射率材料の熱伝導率は、炭素鋼、ステンレス鋼等のレーザー溶接が一般的に適用される材料の熱伝導率の2倍以上も高い。このことは、高反射率材料では加工部に高い加工エネルギーを投入し、溶融させることが難しいことを示している。

30

【0004】

加工エネルギーを投入し、溶融させることが困難であるという課題に対しては、レーザー発振形態の異なる2種類のレーザー光を加工点に同時に照射し、第1のレーザー光よりもエネルギー密度が高く、照射時間が短い第2のレーザー光で穴加工を行うと同時に、第1のレーザー光をこの穴内で多重散乱させることにより穴内に閉じ込めることで、レーザー加工効率を向上させるレーザー溶接方法が用いられている。この溶接方法によれば、投入できるエネルギー量を改善することが可能である。

40

【0005】

しかし、一旦これらの材料が加熱され溶融が開始すると、吸収率が増加するため、一気に加工が進んでしまうという別の考慮すべき面も存在する。これらの理由から、純銅、純アルミに対するレーザー加工では、非常に安定した加工品質を維持するのが難しい。特に、マイクロ領域（約 $\phi$ 2mm以下）の溶接加工では、これらの課題が顕著化してしまう。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

純銅、純アルミ等の高反射率材料のレーザー溶接方法における課題として2点挙げられる。

【0007】

1つ目の課題は、レーザー光の波長に対して高反射率の材料（難加工材料）に対して、発振

50

形態の異なる２種類のレーザ光を加工点で空間的、時間的に一致するように照射するレーザ溶接方法では、投入するエネルギー量が大きいという点である。例えば純銅に溶融深さ 200  $\mu\text{m}$  程度の溶融部を形成するためには数 J 程度のエネルギーを投入する必要がある。これに対して、炭素鋼、ステンレス等に深さ 200  $\mu\text{m}$  の溶融部を形成するために必要な投入エネルギーは数十 mJ ～数百 mJ である。このように、高反射率材料に対するレーザ溶接方法は、投入エネルギーに対する加工効率が悪い。このような加工性悪さを改善するには、単純にレーザ光照射時間を大きくしたり、エネルギー密度を上げたりするだけでは十分でない。その理由としては、次のような問題があるからである。レーザ光照射時間を増加させた場合、加工部周辺への熱影響や加工領域の酸化が生じる。また、エネルギー密度を上げた場合、僅かな加工表面状態の違いによって加工点での溶融の開始時間が変化すると、加工ばらつきが大きくなり、加工品質を一定に保つことが難しい。さらに、投入エネルギーが大きすぎると、溶融材料が吹き飛んでしまい、加工後に穴が埋まらず接合されない加工不良であるアンダーフィルドスポットウェルドの発生確率が増大するので、やみくもにエネルギー密度を増大させることはできない。

10

#### 【0008】

２つ目の課題は、純銅や純アルミ等の高反射率材料は、溶融させるには高いピークパワーが必要であるが、一旦溶融すると反射率が急激に低下し吸収率が増加するため、高いピークパワーのままであると一気に加工が進んでしまうという点である。この課題に対しては、上述した異なる２種類のレーザを用いた従来の加工方法では解決できず、加工品質を一定に保つことが難しく、新たな工夫が必要である。

20

#### 【0009】

以上のように、高反射率材料に対してマイクロスポットレーザ溶接を実施するには、投入エネルギーに対する加工効率の向上と、レーザのピークパワーが高い状態で溶融のための吸収率が増加することに起因する課題とを解決する必要がある。特にマイクロ領域の加工ではこれらの課題が顕在化し、加工を不安定にさせる大きな要因となっている。

#### 【0010】

本発明は、上記の従来の課題を解決し、投入エネルギーに対する加工効率が向上し、レーザのピークパワーが高い状態で溶融のための吸収率が増加することに起因する加工品質の不安定が解消できるレーザスポット溶接方法を提供することを目的とする。

#### 【0011】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明は上記の目的を達成するために以下のように構成される。

#### 【0012】

本発明のレーザスポット溶接方法は、第１及び第２のレーザ光のスポットを被加工物の加工点に一致させるレーザスポット溶接方法であって、前記第１のレーザ光を照射中に、前記第１のレーザ光よりもエネルギー密度が高く照射時間が短いパルス状の第２のレーザ光を前記加工点に照射し、次いで、前記第１のレーザ光を単独で前記加工点に照射することにより、前記被加工物に穴を形成し、前記穴内で前記第１のレーザ光を多重散乱させて前記被加工物材料を溶融せしめる。

第１のレーザスポット溶接方法では、前記第２のレーザ光の照射期間終了後で前記加工点からの正反射光の強度が増加し始めた時に、前記第１のレーザ光のエネルギー密度を最大とする。

40

第２のレーザスポット溶接方法では、前記加工点からの正反射光を計測し、正反射光の強度変化に基づいて前記被加工物材料が溶融したことを検知し、前記第１のレーザ光のエネルギー密度と照射時間とを制御する。

第３のレーザスポット溶接方法では、前記第２のレーザ光の照射期間終了後に、前記第１のレーザ光を単独で照射中に前記加工点からの近赤外線を計測し、前記近赤外線の変化に基づいて前記第１のレーザ光の照射を停止する。

#### 【0016】

##### 【発明の実施の形態】

50

本発明のレーザスポット溶接方法では、第1のレーザ光と、これよりもエネルギー密度が高く照射時間が短いパルス状の第2のレーザ光とを同時に加工点に照射し、被加工物に穴を形成し、穴内で第1のレーザ光を多重散乱させる。これにより、高反射率材料に対する加工効率の向上を図る。一方、高反射率材料に関するレーザのピークパワーが高い状態で溶融のための吸収率が増加することに起因する問題に関しては、第2のレーザ光を照射した後、第1のレーザ光を単独で照射することで解決を図る。

#### 【0017】

本発明者らは、高反射率材料の溶接加工における上述した問題は、溶接プロセスのどの段階でエネルギーをどの程度投入するかに強く起因していると考えた。つまり、溶融部が形成される前又は形成途中にどれだけのエネルギーを投入するか、また、溶融部が形成された後にどれだけのエネルギーを投入するかに起因していると考えた。溶融部の形成前及び形成途中の段階では、反射率が低いため、第1のレーザ光に加えてエネルギー密度が高い第2のレーザ光を照射する。しかしながら、溶融部が形成されると、反射率および熱伝導率が急激に減少するため加工性が向上する。その時点で第1及び第2のレーザ光を照射し続けると、投入エネルギーが過剰となるので、アンダーフィルドスポットウェルドのように溶融材料が吹き飛んでしまう欠陥が発生する。従って、溶融部が形成された後は、第1のレーザ光を単独で照射することにより、投入エネルギーを減少させ、加工の進行を抑える。これにより、高反射率材料の溶接加工においても、深い溶け込みが得られ、アンダーフィルドスポットウェルドのような加工不良の発生を防止して、加工品質を安定させることが可能になる。

#### 【0018】

本発明のレーザスポット溶接方法において、前記パルス状の第2のレーザ光の照射期間内に投入される前記第1のレーザ光によるエネルギー量より、前記第2のレーザ光の照射期間終了後に投入される前記第1のレーザ光によるエネルギー量が多いことが好ましい。上述した通り、溶融後は、高反射率材料の反射率は急激に低下するので、被加工物内に蓄熱するのが容易になる。従って、溶融部の形成途中にエネルギーを投入するよりも、溶融部形成後にエネルギーを投入する方が、投入エネルギーに対する加工効率は向上する。よって、かかる好ましい構成により、少ない投入エネルギーで効率よく高反射率材料の溶接加工を行うことができる。

#### 【0019】

本発明の第1のレーザスポット溶接方法では、前記第2のレーザ光の照射期間終了後に前記第1のレーザ光を単独で照射中に、前記加工点からの正反射光の強度が増加し始めた時に、前記第1のレーザ光のエネルギー密度を最大とする。これにより、投入エネルギーに対する加工効率はより一層向上する。

ここで、レーザ光のエネルギー密度  $dE$  (単位:  $W/m^2$ ) とは、レーザ光の投入エネルギーを  $E$  (単位:  $J$ )、照射時間を  $T$  (単位:  $s$ )、照射面積を  $S$  (単位:  $m^2$ ) としたとき、 $dE = (E/T) / S$  で表される。ここで、 $E/T$  はレーザピークパワーと呼ばれる。

#### 【0020】

また、本発明の第2のレーザスポット溶接方法では、前記加工点からの正反射光を計測し、正反射光の強度変化に基づいて前記被加工物材料が溶融したことを検知し、前記第1のレーザ光のエネルギー密度と照射時間とを制御する。一般に、加工点からの反射光強度は、加工開始後キーホールが形成(即ち、溶融部が形成)されるまでの間は逡減し、その後、逡増する傾向がある。従って、反射光の変化から被加工物材料が溶融したことを検知し、第1のレーザ光のエネルギー密度と照射時間とを制御することにより、投入エネルギーに対する加工効率を向上させることができる。

#### 【0021】

また、本発明の第3のレーザスポット溶接方法では、前記第2のレーザ光の照射期間終了後に、前記第1のレーザ光を単独で照射中に前記加工点からの近赤外線を計測し、前記近赤外線の変化に基づいて前記第1のレーザ光の照射を停止する。本発明者らは加工表面

の酸化の進行と加工点からの近赤外線強度との間には関連性があることを見いだした。従って、かかる構成により、加工部の酸化を抑制することができる。

#### 【0024】

以下、本発明を実施の形態を用いて説明する。

#### 【0025】

(実施の形態1)

図1は、本発明の実施の形態1にかかるレーザスポット溶接装置1の概略構成図である。図1中、2は被加工物(例えば純銅)3の板を載置し、その位置を制御するXYZステージである。5は波長532nmのレーザ光(第2のレーザ光)4を発生するAOQスイッチ第2高調波YAGレーザ発振器、7は波長1064nmのレーザ光(第1のレーザ光)6を発生する基本波YAGパルスレーザ発振器である。8は、波長532nmのレーザ光4を反射し、波長1064nmのレーザ光6を透過させる誘電体コートが施されたミラー、9は、波長532nmのレーザ光4と波長1064nmのレーザ光6とを95%反射し、これら以外の波長の光を透過させる誘電体コートが施されたミラーである。10は集光レンズ、12は正反射光11のうち波長1064nmの光を計測するフォトセンサ、13はレーザ発振器7を制御する制御装置である。

10

#### 【0026】

[実施例1]

図1の装置を用いて30mm×40mm×100μm厚の純銅からなる被加工物3に熔融部を形成した。

20

#### 【0027】

レーザ発振器5から出射した波長532nmの第2高調波YAGレーザ光4とレーザ発振器7から出射した波長1064nmの基本波YAGレーザ光6とをミラー8に入射させ、レーザ光4を反射させ、レーザ光6を透過させて、2つのレーザ光4、6の光軸を揃えた。レーザ光4、6をミラー9で反射させ、集光レンズ10で集光して、純銅3の加工点で各レーザ光のスポットを空間的に一致するように照射した。レーザ光4のスポット径は30μm、レーザ光6のスポット径は150μmとした。

#### 【0028】

図2(A)、図2(B)は、それぞれレーザ光6及びレーザ光4の波形図である。図2(A)、図2(B)の横軸は時間、縦軸はエネルギー密度をそれぞれ示す。図2(A)、図2(B)に示すように時刻t0～時刻t10の間の10ms間に基本波YAGレーザ光6を投入エネルギー7.5Jで照射した。レーザ光6のエネルギー密度は $4.24 \times 10^7$  (kW/m<sup>2</sup>)で一定とした。基本波YAGレーザ光6の照射開始と同時に、エネルギー密度 $1.45 \times 10^{10}$  (kW/m<sup>2</sup>)の第2高調波YAGレーザ光4をパルス幅78nsで1kHz繰り返して4回、投入エネルギー0.8mJで照射した。

30

#### 【0029】

レーザ光4を照射することにより純銅3の表面に直径30μm程度の穴が形成され、レーザ光4の照射後、レーザ光6が該穴内で多重散乱して熔融部が形成された。得られた熔融部径は177μmであり、アンダーフィールドスポットウェルドのような加工不良が発生することなく、深い溶け込みが得られた。

40

#### 【0030】

比較例として、基本波YAGレーザ光6の照射条件を投入エネルギー7.5Jで4msとする以外は上記と同様にした。その結果、熔融部径は80μm程度であった。従って、本実施例1により、効率よく良好な溶け込み形状を得ることができた。

#### 【0031】

[実施例2]

本実施例2が実施例1と相違するのは、波長1064nmの基本波YAGレーザ光6の照射条件を以下のように変更した点のみである。

#### 【0032】

図3(A)、図3(B)は、それぞれレーザ光6及びレーザ光4の波形図である。図3(

50

A), 図3(B)の横軸は時間、縦軸はエネルギー密度をそれぞれ示す。図3(A), 図3(B)に示すように時刻 $t_0$ ～時刻 $t_{10}$ の間の10ms間に基本波YAGレーザ光6を投入エネルギー7.5Jで照射した。基本波YAGレーザ光6の照射開始と同時に、エネルギー密度 $1.45 \times 10^{10}$  (kW/m<sup>2</sup>)の第2高調波YAGレーザ光4をパルス幅78nsで1kHz繰り返しで4回、投入エネルギー0.8mJで照射した。レーザ光6は、レーザ光4が照射される時刻 $t_0$ ～時刻 $t_2$ の期間(3ms)内に全投入エネルギー7.5Jのうちの1.7割に相当する1.3Jを、レーザ光4の照射期間終了後の時刻 $t_2$ ～時刻 $t_{10}$ の期間(7ms)内に残りの8.1割に相当する6.1Jを投入した。レーザ光6のエネルギー密度は、時刻 $t_0$ ～時刻 $t_2$ の間は $2.50 \times 10^7$  (kW/m<sup>2</sup>)で一定とし、時刻 $t_2$ ～時刻 $t_{10}$ の間は $4.99 \times 10^7$  (kW/m<sup>2</sup>)で一定とした。

10

#### 【0033】

レーザ光4を照射することにより純銅3の表面に直径30μm程度の穴が形成され、レーザ光4の照射後、レーザ光6が該穴内で多重散乱して溶融部が形成された。得られた溶融部径は281μmであり、実施例1より効率よく溶融部を形成することができた。また、溶融部は厚さ100μmの純銅3の裏面(レーザ光の入射側とは反対側の面)まで達し、裏面での溶融部径は186μmであった。また、実施例1と同様にアンダーフィルドスポットウェルドのような加工不良が発生することなく、深い溶け込みが得られた。

#### 【0034】

##### [実施例3]

本実施例3が実施例1と相違するのは、純銅3の加工点からの正反射光を測定し、正反射光の強度変化に基づいて純銅3が溶融したことを検知し、基本波YAGレーザ光6のエネルギー密度と照射時間を制御した点、及び、波長1064nmの基本波YAGレーザ光6の照射条件を以下のように変更した点のみである。

20

#### 【0035】

図1に示す装置を用い、純銅3の加工点での正反射光11を集光レンズ10を通過させ、更にその一部をミラー9を透過させてフォトセンサ12に入射させた。フォトセンサ12は、正反射光11のうち波長1064nmの光の強度に応じた信号を出力し、制御装置13は、この信号強度に応じてレーザ発振器7を制御して、これから出射される波長1064nmのレーザ光6のエネルギー密度と照射時間が調整されるように設定されている。

#### 【0036】

30

図4(A), 図4(B)は、それぞれレーザ光6及びレーザ光4の波形図である。図4(A), 図4(B)に示すように時刻 $t_0$ ～時刻 $t_{10}$ の間の10ms間に基本波YAGレーザ光6を投入エネルギー7.5Jで照射した。基本波YAGレーザ光6の照射開始と同時に、エネルギー密度 $1.45 \times 10^{10}$  (kW/m<sup>2</sup>)の第2高調波YAGレーザ光4をパルス幅78nsで1kHz繰り返しで4回、投入エネルギー0.8mJで照射した。

#### 【0037】

図5にフォトセンサ12で検出された波長1064nmの反射光強度を示す。図5において、横軸は時間、縦軸は正反射光11の強度である。正反射光11の強度は、時刻 $t_0$ でレーザ光4, 6の照射を開始した後徐々に減衰し、レーザ光4の照射が終了した後の時刻 $t_4$ ～時刻 $t_5$ の約2ms間一定の値になってから、時刻 $t_5$ で再び増加し始めた。この正反射光11の変化をフォトセンサ12で検知し、正反射光11が増加し始めた時刻 $t_5$ (レーザ光の照射開始から7ms経過した時)に、レーザ光6のエネルギー密度を増加させた。即ち、図4(A)に示すように、時刻 $t_5$ にレーザ光6のエネルギー密度を $1.3 \times 10^7$  (kW/m<sup>2</sup>)に上昇させ、時刻 $t_5$ から1msの間に、レーザ光6の全投入エネルギー7.5Jの3.1割に相当する2.32Jを投入した。この期間以外のレーザ光6のエネルギー密度は $3.26 \times 10^7$  (kW/m<sup>2</sup>)で一定とした。

40

#### 【0038】

得られた溶融部径は、レーザ光の入射側の面で272μm、レーザ光の出射側の面で188μmであった。実施例2に比べて、溶融部径の表裏の差が小さくなり(即ち、溶融部の

50

テーパ角度が小さくなり)、溶融部形状が改善された。また、実施例 1 と同様にアンダーフィルドスポットウェルドのような加工不良が発生することなく、深い溶け込みが得られた。

#### 【0039】

(実施の形態 2)

図 6 は、本発明の実施の形態 2 にかかるレーザスポット溶接装置 14 の概略構成図である。図 6 中、2 は被加工物 (例えば純銅) 3 の板を載置し、その位置を制御する XYZ ステージである。5 は波長 532 nm のレーザ光 (第 2 のレーザ光) 4 を発生する A O Q スイッチ第 2 高調波 Y A G レーザ発振器、7 は波長 1064 nm のレーザ光 (第 1 のレーザ光) 6 を発生する基本波 Y A G パルスレーザ発振器である。8 は、波長 532 nm のレーザ光 4 を反射し、波長 1064 nm のレーザ光 6 を透過させる誘電体コートが施されたミラー、15 は、波長 532 nm のレーザ光 4 と波長 1064 nm のレーザ光 6 とを反射し、波長 1.25  $\mu$ m 以上の近赤外光を透過させる誘電体コートが施されたミラーである。10 は集光レンズ、17 は加工点から出射し、集光レンズ 10 及びミラー 15 を透過した波長 1.55  $\mu$ m の近赤外光 16 を計測する I n G a A s のフォトセンサ、18 はレーザ発振器 7 を制御する制御装置である。

#### 【0040】

[実施例 4]

図 6 の装置を用いて 30 mm  $\times$  40 mm  $\times$  200  $\mu$ m 厚の純銅からなる被加工物 3 に溶融部を形成した。

#### 【0041】

レーザ発振器 5 から出射した波長 532 nm の第 2 高調波 Y A G レーザ光 4 とレーザ発振器 7 から出射した波長 1064 nm の基本波 Y A G レーザ光 6 とをミラー 8 に入射させ、レーザ光 4 を反射させ、レーザ光 6 を透過させて、2 つのレーザ光 4, 6 の光軸を揃えた。レーザ光 4, 6 をミラー 15 で反射させ、集光レンズ 10 で集光して、純銅 3 の加工点で各レーザ光のスポットを空間的に一致するように照射した。レーザ光 4 のスポット径は 30  $\mu$ m、レーザ光 6 のスポット径は 150  $\mu$ m とした。

#### 【0042】

図 7 (A)、図 7 (B) は、それぞれレーザ光 6 及びレーザ光 4 の波形図である。図 7 (A)、図 7 (B) の横軸は時間、縦軸はエネルギー密度をそれぞれ示す。図 7 (A)、図 7 (B) に示すように時刻 t 0 ~ 時刻 t 10 の間の 20 ms 間に基本波 Y A G レーザ光 6 を投入エネルギー 20 J で照射した。レーザ光 6 のエネルギー密度は  $5.66 \times 10^7$  (kW/m<sup>2</sup>) で一定とした。基本波 Y A G レーザ光 6 の照射開始と同時に、エネルギー密度  $1.45 \times 10^{10}$  (kW/m<sup>2</sup>) の第 2 高調波 Y A G レーザ光 4 をパルス幅 78 ns で 1 kHz 繰り返して 7 回、投入エネルギー 0.8 mJ で照射した。加工点から出射した波長 1.55  $\mu$ m の近赤外光 16 を集光レンズ 10、ミラー 15 を順に透過させてフォトセンサ 17 に入射させた。

#### 【0043】

フォトセンサ 17 により計測された近赤外光 16 の強度を図 8 に示す。図 8 において、横軸は時間、縦軸は近赤外光 16 の正規化された強度である。図 8 に示すように、近赤外光 16 はレーザ光 4, 6 の照射を開始した時刻 t 0 から 12 ms 経過した時刻 t 6 まで増加し、その後、約 2 ms の間減少し、時刻 t 7 から再び増加に転じた。

#### 【0044】

図 9 (A)、図 9 (B)、図 9 (C)、図 9 (D) は、レーザ光 6 の照射時間を順に 10 ms、12 ms、14 ms、20 ms とした以外は図 7 (A)、図 7 (B) と同じ条件でレーザ光 4, 6 を照射したときの純銅 3 のレーザ光照射側の面の加工部を写した写真である。これらから、図 9 (C) の 14 ms 程度で加工を終了したとき、加工形状、表面の溶融状態、および加工部周辺部の酸化状態が良好であることが分かる。レーザ光の照射開始から 14 ms は、図 8 より近赤外光 16 の強度が減少傾向から再び増加に転じる時刻 t 7 に相当する。

10

20

30

40

50

## 【0045】

そこで、次に、上記と同様の条件でレーザ光4, 6を照射しながら、フォトセンサ17で近赤外光16を計測し、制御装置18を用いて近赤外光16の強度が減少傾向から再び増加に転じる時刻 $t_7$ を検出し、レーザ発振器7を停止するように制御したところ（レーザ光6の投入エネルギーは14J）、形状、溶融状態、および酸化状態が良好な加工部を得ることができた。

## 【0046】

上記の実施例1～4では、単層の純銅にレーザ光を照射して溶融部を形成する例を示した。実際の溶接加工では金属板が2枚以上積層される。この場合も上記の実施例で得られたのと定性的に同じ結果が得られることを確認した。

10

## 【0047】

## 【発明の効果】

以上のように、本発明により、高反射率材料の溶接加工においても、深い溶け込みが得られ、アンダーフィルドスポットウェルドのような加工不良の発生を防止して、加工品質を安定させることが可能になる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態1にかかるレーザスポット溶接装置の概略構成を示した図

【図2】 図2（A）、図2（B）は、それぞれ本発明の実施例1における基本波YAGレーザ光及び第2高調波YAGレーザ光の波形図

【図3】 図3（A）、図3（B）は、それぞれ本発明の実施例2における基本波YAGレーザ光及び第2高調波YAGレーザ光の波形図

20

【図4】 図4（A）、図4（B）は、それぞれ本発明の実施例3における基本波YAGレーザ光及び第2高調波YAGレーザ光の波形図

【図5】 本発明の実施例3において、加工部からの波長1064nmの反射強度の変化を示した図

【図6】 本発明の実施の形態2にかかるレーザスポット溶接装置の概略構成を示した図

【図7】 図7（A）、図7（B）は、それぞれ本発明の実施例4における基本波YAGレーザ光及び第2高調波YAGレーザ光の波形図

【図8】 本発明の実施例4において、加工部からの近赤外光の強度の変化を示した図

【図9】 図9（A）、図9（B）、図9（C）、図9（D）は、本発明の実施例3において、基本波レーザ光の照射時間を10ms、12ms、14ms、20msとしたときの純銅のレーザ光照射側の面の加工部を写した写真

30

## 【符号の説明】

- 1 レーザスポット溶接装置
- 2 XYZステージ
- 3 被加工物
- 4 高調波YAGレーザ光（第2のレーザ光）
- 5 AQCスイッチ第2高調波YAGレーザ発振器
- 6 基本波YAGレーザ光（第1のレーザ光）
- 7 基本波YAGパルスレーザ発振器
- 8 ミラー
- 9 ミラー
- 10 集光レンズ
- 11 正反射光
- 12 フォトセンサ
- 13 レーザ制御装置
- 14 レーザスポット溶接装置
- 15 ミラー
- 16 近赤外光
- 17 フォトセンサ

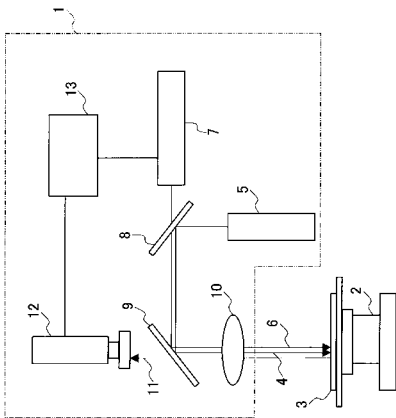
40

50

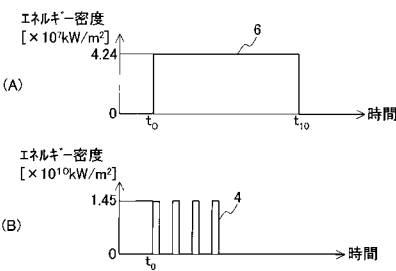


1 8 レーザ制御装置

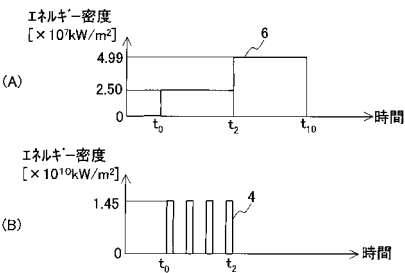
【図 1】



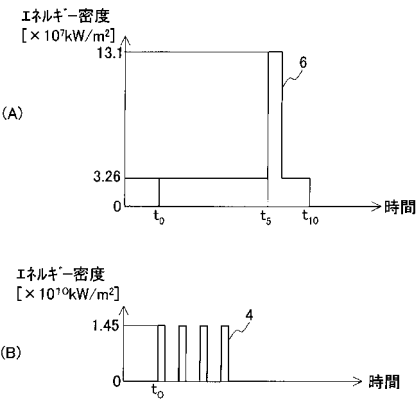
【図 2】



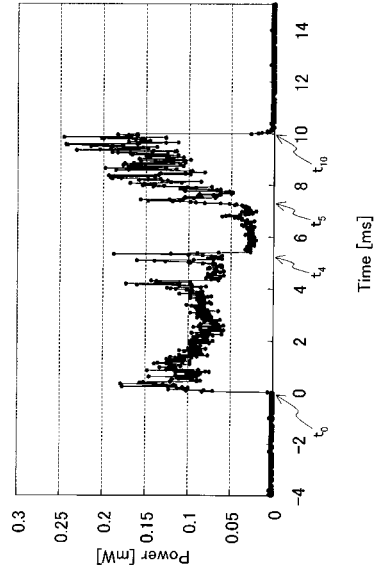
【図 3】



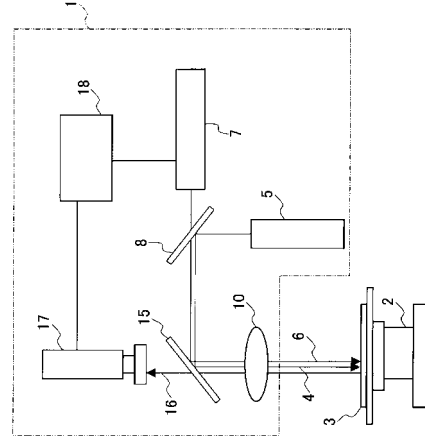
【図 4】



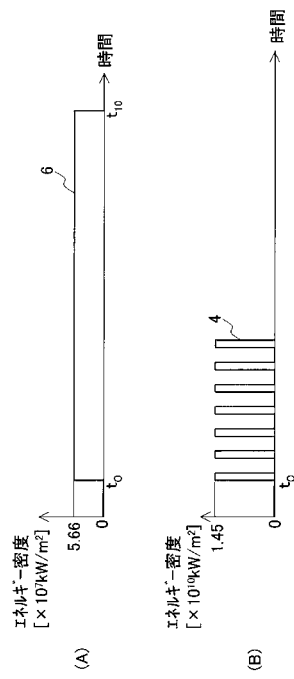
【図 5】



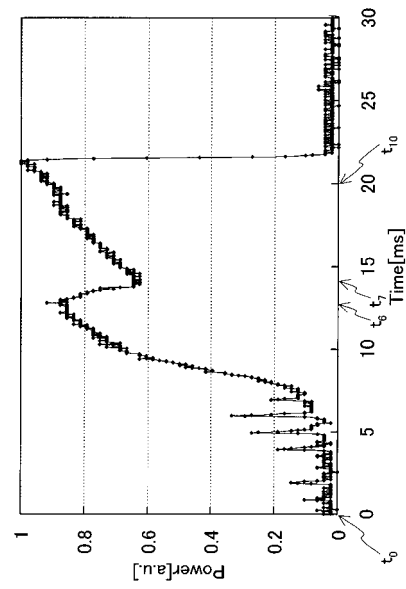
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【図 9】

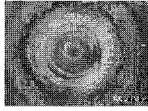
(A)



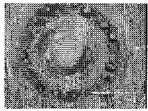
(B)



(C)



(D)



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平05-092284 (JP, A)  
特開平07-214360 (JP, A)  
特開平04-322892 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
B23K 26/00- 26/42