

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5947740号
(P5947740)

(45) 発行日 平成28年7月6日 (2016.7.6)

(24) 登録日 平成28年6月10日 (2016.6.10)

(51) Int.Cl.	F I	
B 2 3 K 26/00 (2014.01)	B 2 3 K 26/00	P
B 2 3 K 26/21 (2014.01)	B 2 3 K 26/00	M
G O 1 N 19/04 (2006.01)	B 2 3 K 26/21	A
G O 1 N 21/88 (2006.01)	G O 1 N 19/04	A
	G O 1 N 21/88	Z

請求項の数 6 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2013-73202 (P2013-73202)	(73) 特許権者	000003207
(22) 出願日	平成25年3月29日 (2013.3.29)		トヨタ自動車株式会社
(65) 公開番号	特開2014-195822 (P2014-195822A)		愛知県豊田市トヨタ町1番地
(43) 公開日	平成26年10月16日 (2014.10.16)	(73) 特許権者	000006622
審査請求日	平成27年5月29日 (2015.5.29)		株式会社安川電機
			福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
		(74) 代理人	100091096
			弁理士 平木 祐輔
		(74) 代理人	100105463
			弁理士 関谷 三男
		(74) 代理人	100129861
			弁理士 石川 滝治
		(74) 代理人	100182176
			弁理士 武村 直樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 溶接部の検査装置とその検査方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数のワーク同士を溶接する際に形成される溶接部の溶接状態を検査する溶接部の検査装置であって、

ワーク同士を溶接するために該ワークに設定された溶接軌跡に沿って溶接用レーザ光を照射する、もしくは、溶接用レーザ光によって溶融されたワークの溶融池に設定された走査軌跡に沿って検査用レーザ光を照射する照射部と、

前記照射部によって照射された溶接用レーザ光もしくは検査用レーザ光によるワークの溶融池からの反射光、ワークの溶融蒸発によって生じる蒸気発光、およびワークの溶融池から放射される熱放射光の少なくとも一つを含む戻り光を受光する受光部と、

前記溶接用レーザ光を溶接軌跡に沿って照射した際もしくは前記検査用レーザ光を走査軌跡に沿って照射した際に前記受光部によって受光される戻り光の強度変化に基づいて、前記ワークの溶接部の溶接状態を検査する検査部と、を備え、

前記照射部は、同一の溶接軌跡に沿って溶接用レーザ光を複数回照射し、もしくは、同一の走査軌跡に沿って検査用レーザ光を複数回照射し、

前記検査部は、前記溶接用レーザ光を前記同一の溶接軌跡に沿って照射した際もしくは前記検査用レーザ光を前記同一の走査軌跡に沿って照射した際の前記戻り光の強度変化の周期性に基づいて、前記ワークの溶接部の溶接状態を検査するようになっている溶接部の検査装置。

【請求項 2】

前記溶接用レーザ光を前記同一の溶接軌跡に沿って照射する際の該溶接用レーザ光の走査周期、もしくは、前記検査用レーザ光を前記同一の走査軌跡に沿って照射する際の該検査用レーザ光の走査周期は、前記ワークの溶接部の溶接状態が正常である場合の前記戻り光の強度変化の固有周期と同一である、請求項 1 に記載の溶接部の検査装置。

【請求項 3】

前記検査部は、前記戻り光の強度をフーリエ変換もしくは微分して、前記ワークの溶接部の溶接状態を検査するようになっている、請求項 1 または 2 に記載の溶接部の検査装置。

【請求項 4】

複数のワーク同士を溶接する際に形成される溶接部の溶接状態を検査する溶接部の検査方法であって、

10

ワーク同士を溶接するために該ワークに設定された溶接軌跡に沿って溶接用レーザ光を照射し、もしくは、溶接用レーザ光によって溶融されたワークの溶融池に設定された走査軌跡に沿って検査用レーザ光を照射し、前記溶接用レーザ光もしくは検査用レーザ光によるワークの溶融池からの反射光、ワークの溶融蒸発によって生じる蒸気発光、およびワークの溶融池から放射される熱放射光の少なくとも一つを含む戻り光を受光する第 1 のステップと、

前記溶接用レーザ光を溶接軌跡に沿って照射した際もしくは前記検査用レーザ光を走査軌跡に沿って照射した際に受光された戻り光の強度変化に基づいて、前記ワークの溶接部の溶接状態を検査する第 2 のステップと、からなり、

20

前記第 1 のステップにおいて、同一の溶接軌跡に沿って溶接用レーザ光を複数回照射し、もしくは、同一の走査軌跡に沿って検査用レーザ光を複数回照射し、

前記第 2 のステップにおいて、前記溶接用レーザ光を前記同一の溶接軌跡に沿って照射した際もしくは前記検査用レーザ光を前記同一の走査軌跡に沿って照射した際の前記戻り光の強度変化の周期性に基づいて、前記ワークの溶接部の溶接状態を検査する溶接部の検査方法。

【請求項 5】

前記第 1 のステップにおいて、前記ワークの溶接部の溶接状態が正常である場合の前記戻り光の強度変化の固有周期で、前記溶接用レーザ光を前記同一の溶接軌跡に沿って照射し、もしくは、前記検査用レーザ光を前記同一の走査軌跡に沿って照射する、請求項 4 に記載の溶接部の検査方法。

30

【請求項 6】

前記第 2 のステップにおいて、前記戻り光の強度をフーリエ変換もしくは微分して、前記ワークの溶接部の溶接状態を検査する、請求項 4 または 5 に記載の溶接部の検査方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は溶接部の検査装置とその検査方法に関し、たとえばレーザ光で複数のワーク同士を溶接する際に形成される溶接部の溶接状態を検査する検査装置とその検査方法に関するものである。

40

【背景技術】

【0002】

従来から、たとえば二枚の鋼板を重ね合わせてレーザ溶接する際には、そのレーザ溶接によって形成される溶接部の品質評価が行われている。このようなレーザ溶接による溶接部の品質評価の一例として、たとえば特許文献 1 には、レーザ光の反射光を用いてレーザ溶接の品質評価を行う技術が開示されている。

【0003】

特許文献 1 に開示されているレーザ溶接品質判定システムは、レーザトーチから例えば YAG レーザを照射し、第 1 の受光出力手段によってレーザ反射光を溶接進行方向の前方斜め上方から受光し、第 2 の受光出力手段によって蒸気発光（ブルーム）やレーザ反射光

50

を含む溶接光をレーザ光の照射方向と同軸方向にて受光し、この所定の2方向から同時に受光されたレーザ反射光と溶接光をそれらの強度に応じた電気信号に変換し、この電気信号の信号強度またはその変化に基づいて溶接品質を判定するシステムである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2008-87056号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

10

特許文献1に開示されているレーザ溶接品質判定システムによれば、所定の異なる2方向からレーザ反射光と溶接光を同時に受光し、それぞれの受光信号強度と適宜に設定された閾値を比較することによって、たとえば鋼板間の隙間を埋めるために溶接ビードが窪んでしまう引け溶接（アンダーフィル）、鋼板間の隙間が過大であるために上下の鋼板同士が接合しない未接合溶接、やはり鋼板間の隙間が過大であるためにビードが陥没する落ち溶接、熱バランスの変動などに起因して突発的にビードが無くなる溶断溶接、穴あき溶接などといった多様な形態の溶接不良のいずれか一つが生じていることを判定することができる。

【0006】

しかしながら、特許文献1に開示されているレーザ溶接品質判定システムにおいては、たとえばレーザトーチとワーク（鋼板）とが離間している場合に、受光されたレーザ反射光や溶接光から得られる電気信号が微弱となるため、溶接不良の判定精度が低下する可能性がある。特に、レーザ溶接時にビードが陥没する落ち溶接などにおいては、溶接不良に起因する電気信号の変化が小さくなるため、ワークの溶接不良を精緻に検出することができないといった問題が生じ得る。さらに、ワークの溶融蒸発によって生じる蒸気発光やワークの溶融池から放射される熱放射光はワーク温度に応じて変化し、受光されたレーザ反射光や溶接光から得られる電気信号およびレーザ溶接品質を判定するための閾値がワーク温度に応じて変化することが知られており、レーザ溶接時のワーク温度の変動が大きい場合には、ワークの溶接不良の判定精度が更に低下するといった問題が生じ得る。

20

【0007】

本発明は上記する課題に鑑みてなされたものであり、たとえばレーザトーチとワークを離間して溶接するリモート溶接において、ワークの溶接部の溶接状態を精緻に検査することができる溶接部の検査装置とその検査方法を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0008】

前記目的を達成すべく、本発明による溶接部の検査装置は、複数のワーク同士を溶接する際に形成される溶接部の溶接状態を検査する溶接部の検査装置であって、ワーク同士を溶接するために該ワークに設定された溶接軌跡に沿って溶接用レーザ光を照射する、もしくは、溶接用レーザ光によって溶融されたワークの溶融池に設定された走査軌跡に沿って検査用レーザ光を照射する照射部と、前記照射部によって照射された溶接用レーザ光もしくは検査用レーザ光によるワークの溶融池からの反射光、ワークの溶融蒸発によって生じる蒸気発光、およびワークの溶融池から放射される熱放射光の少なくとも一つを含む戻り光を受光する受光部と、前記溶接用レーザ光を溶接軌跡に沿って照射した際もしくは前記検査用レーザ光を走査軌跡に沿って照射した際に前記受光部によって受光される戻り光の強度変化に基づいて、前記ワークの溶接部の溶接状態を検査する検査部と、を備えているものである。

40

【0009】

上記する溶接部の検査装置によれば、溶接用レーザ光を溶接軌跡に沿って照射した際もしくは検査用レーザ光を走査軌跡に沿って照射した際に受光部で受光される戻り光の強度変化に基づいて、ワークの溶接部の溶接状態を検査することによって、たとえば照射部と

50

ワークを離間して溶接するリモート溶接において、受光部で受光される戻り光から得られる電気信号が微弱となる場合や、受光部で受光される戻り光の強度がワーク温度の変化に応じて変化する場合であっても、ワークの溶接部の溶接状態を精緻に検査することができる。

【 0 0 1 0 】

また、上記する溶接部の検査装置は、前記照射部が、同一の溶接軌跡に沿って溶接用レーザー光を複数回照射し、もしくは、同一の走査軌跡に沿って検査用レーザー光を複数回照射し、前記検査部が、前記溶接用レーザー光を前記同一の溶接軌跡に沿って照射した際もしくは前記検査用レーザー光を前記同一の走査軌跡に沿って照射した際の前記戻り光の強度変化の周期性に基づいて、前記ワークの溶接部の溶接状態を検査するようになっているものである。

10

【 0 0 1 1 】

上記する溶接部の検査装置によれば、溶接用レーザー光を同一の溶接軌跡に沿って複数回照射した際もしくは検査用レーザー光を同一の走査軌跡に沿って複数回照射した際の戻り光の強度変化の周期性に基づいて、ワークの溶接部の溶接状態を検査することによって、たとえば溶接用レーザー光を溶接軌跡に沿って一回だけ照射した際もしくは検査用レーザー光を走査軌跡に沿って一回だけ照射した際の戻り光から得られる電気信号が微弱であったり、戻り光から得られる電気信号がノイズを含む場合であっても、当該戻り光に含まれるノイズ等による検査精度の低下を抑制することができ、溶接部の溶接状態の検査精度を高めることができる。

20

【 0 0 1 2 】

また、上記する溶接部の検査装置は、前記溶接用レーザー光を前記同一の溶接軌跡に沿って照射する際の該溶接用レーザー光の走査周期、もしくは、前記検査用レーザー光を前記同一の走査軌跡に沿って照射する際の該検査用レーザー光の走査周期が、前記ワークの溶接部の溶接状態が正常である場合の前記戻り光の強度変化の固有周期と同一であるものである。

【 0 0 1 3 】

溶接用レーザー光の照射によってワークに形成される溶融池の液面は溶融池の固有周波数と同じ周波数で振動するため、ワークの溶接部の溶接状態が正常である場合であっても、受光部で受光される戻り光の強度は周期的に変化する。上記する溶接部の検査装置によれば、溶接用レーザー光や検査用レーザー光の走査周期が、ワークの溶接部の溶接状態が正常である場合の戻り光の強度変化の固有周期と同一であることによって、受光部で受光される戻り光の強度変化から溶接用レーザー光の照射に起因する戻り光の周期的な強度変化を簡便に特定することができ、溶接不良に起因する戻り光の強度変化を精緻に特定することができるため、ワークの溶接部の溶接状態の検査精度を一層高めることができる。

30

【 0 0 1 4 】

なお、溶接用レーザー光や検査用レーザー光の走査周期とは、溶接用レーザー光を同一の溶接軌跡に沿って複数回照射する際や検査用レーザー光を同一の走査軌跡に沿って複数回照射する際に溶接用レーザー光や検査用レーザー光が所定の長さの溶接軌跡や走査軌跡を一回走査する時間であって、溶接用レーザー光が照射される溶接軌跡の長さを溶接用レーザー光の走査速度で除して得られる時間、あるいは、検査用レーザー光が照射される走査軌跡の長さを検査用レーザー光の走査速度で除して得られる時間である。

40

【 0 0 1 5 】

また、上記する溶接部の検査装置は、前記検査部が、前記戻り光の強度をフーリエ変換もしくは微分して、前記ワークの溶接部の溶接状態を検査するようになっているものである。

【 0 0 1 6 】

上記する溶接部の検査装置によれば、溶接用レーザー光の照射に起因する周期的な強度変化を含む戻り光の強度をフーリエ変換もしくは微分することによって、戻り光の強度変化から溶接用レーザー光の照射に起因する戻り光の周期的な強度変化を簡便に特定することができ、溶接不良に起因する戻り光の強度変化を精緻に特定することができるため、ワーク

50

の溶接部の溶接状態の検査精度をより一層高めることができる。

【0017】

また、本発明による溶接部の検査方法は、複数のワーク同士を溶接する際に形成される溶接部の溶接状態を検査する溶接部の検査方法であって、ワーク同士を溶接するために該ワークに設定された溶接軌跡に沿って溶接用レーザ光を照射し、もしくは、溶接用レーザ光によって溶融されたワークの溶融池に設定された走査軌跡に沿って検査用レーザ光を照射し、前記溶接用レーザ光もしくは検査用レーザ光によるワークの溶融池からの反射光、ワークの溶融蒸発によって生じる蒸気発光、およびワークの溶融池から放射される熱放射光の少なくとも一つを含む戻り光を受光する第1のステップと、前記溶接用レーザ光を溶接軌跡に沿って照射した際もしくは前記検査用レーザ光を走査軌跡に沿って照射した際に受光された戻り光の強度変化に基づいて、前記ワークの溶接部の溶接状態を検査する第2のステップと、からなる方法である。

10

【0018】

上記する溶接部の検査方法によれば、溶接用レーザ光を溶接軌跡に沿って照射した際もしくは検査用レーザ光を走査軌跡に沿って照射した際に受光された戻り光の強度変化に基づいて、ワークの溶接部の溶接状態を検査することによって、たとえばレーザ照射部とワークを離間して溶接するリモート溶接において、受光された戻り光から得られる電気信号が微弱となる場合や、受光される戻り光の強度がワーク温度の変化に応じて変化する場合であっても、ワークの溶接部の溶接状態を精緻に検査することができる。

20

【発明の効果】

【0019】

以上の説明から理解できるように、本発明の溶接部の検査装置やその検査方法によれば、複数のワーク同士を溶接する際に、溶接用レーザ光を溶接軌跡に沿って照射した際もしくは検査用レーザ光を走査軌跡に沿って照射した際の戻り光の強度変化に基づいて、ワークの溶接部の溶接状態を検査するという簡便な構成により、たとえば戻り光から得られる電気信号が微弱となる場合や戻り光の強度がワーク温度の変化に応じて変化する場合であっても、ワークの溶接部の溶接状態を精緻に検査することができる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】本発明の溶接部の検査装置の実施の形態1の全体構成を模式的に示した全体構成図である。

30

【図2】図1で示す検査装置の溶接用照射部による溶接用レーザ光の照射の形態を説明した上面図である。

【図3】図1で示す検査装置の検査用照射部による検査用レーザ光の照射の形態を説明した上面図である。

【図4】戻り光の強度の一例を時系列で示した図である。

【図5A】溶接部の溶接状態が正常である場合の溶融池と検査用レーザ光の焦点の関係を説明した上面図である。

【図5B】図5AのA5 - A5矢視図である。

【図6A】溶接部の溶接状態が不良である場合の溶融池と検査用レーザ光の焦点の関係を説明した上面図である。

40

【図6B】図6AのA6 - A6矢視図である。

【図7】戻り光の周波数と振幅の関係の一例を示した図である。

【図8】本発明の溶接部の検査装置の実施の形態2の全体構成を模式的に示した全体構成図である。

【図9A】検査用試料による実施例1の溶接部を拡大して示した上面図である。

【図9B】図9AのA9 - A9矢視図である。

【図9C】検査用試料による実施例1の戻り光の強度を時系列で示した図である。

【図10A】検査用試料による実施例2の溶接部を拡大して示した上面図である。

【図10B】図10AのA10 - A10矢視図である。

50

【図 1 0 C】検査用試料による実施例 2 の戻り光の強度を時系列で示した図である。

【図 1 1 A】検査用試料による実施例 3 の溶接部を拡大して示した上面図である。

【図 1 1 B】図 1 1 A の A 1 1 - A 1 1 矢視図である。

【図 1 1 C】検査用試料による実施例 3 の戻り光の強度を時系列で示した図である。

【図 1 2】検査用試料による実施例 1 ~ 3 の戻り光の周波数と振幅の関係を示した図である。

【図 1 3】検査用試料による実施例 1 ~ 3 の戻り光の周波数と振幅の関係の他例を示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、図面を参照して本発明の溶接部の検査装置とその検査方法の実施の形態を説明する。

【0022】

[溶接部の検査装置の実施の形態 1]

まず、図 1 ~ 図 3 を参照して、本発明の溶接部の検査装置の実施の形態 1 を説明する。

【0023】

図 1 は、本発明の溶接部の検査装置の実施の形態 1 の全体構成を模式的に示した全体構成図である。また、図 2 は、図 1 で示す検査装置の溶接用照射部による溶接用レーザ光の照射の形態を説明した上面図であり、図 3 は、検査用照射部による検査用レーザ光の照射の形態を説明した上面図である。

【0024】

図 1 に示す検査装置 100 は、主に、溶接用照射部 1、検査用照射部 5、受光部 2、変換部 3、アンプ 4、検査部 6、および C R T (Cathode Ray Tube) 7 から構成されている。

【0025】

溶接用照射部 1 は、重ね合わされた若しくは僅かに離間して配置された二枚のワーク（たとえば鋼板など）W 1、W 2 同士を溶接するために、二枚のワーク W 1、W 2 に対して溶接用レーザ光（たとえば所定のレーザ波長を有する Y A G レーザ）L 1 を照射する。具体的には、溶接用照射部 1 は、図 2 で示すように、ワーク W 1 に設定された半径 R 1 1 を有する略円形状の溶接軌跡 C 1 1 に沿って溶接用レーザ光 L 1 の焦点 F 1 を複数回回転させ、その溶接軌跡 C 1 1 上で溶接用レーザ光 L 1 を複数回照射する。次いで、溶接用レーザ光 L 1 の焦点 F 1 を溶接軌跡 C 1 1 の内側へ移動させ、半径 R 1 1 よりも小さい半径 R 1 2 を有し且つ溶接軌跡 C 1 1 と同心である略円形状の溶接軌跡 C 1 2 に沿って溶接用レーザ光 L 1 の焦点 F 1 を複数回回転させ、その溶接軌跡 C 1 2 上で溶接用レーザ光 L 1 を複数回照射する。このような溶接用レーザ光 L 1 の照射工程を繰り返すことによって、ワーク W 1、W 2 に略円形状の溶接部を形成してワーク W 1、W 2 同士を溶接接合する（Laser Screw Welding ともいう）。なお、溶接軌跡 C 1 1 や溶接軌跡 C 1 2 の中心 C 0 が、ワーク W 1、W 2 に形成される溶接部の溶接中心となる。

【0026】

ここで、溶接用照射部 1 による溶接用レーザ光 L 1 の照射によって、溶接用レーザ光 L 1 の進行方向に対して当該溶接用レーザ光 L 1 の左右や後方には、ワーク W 1、W 2 が溶融された溶融池 Y 1 が形成される。本実施の形態 1 では、上記するように略円形状の溶接軌跡 C 1、C 2 に沿って溶接用レーザ光 L 1 が照射されるため、ワーク W 1、W 2 に略円形状の溶融池 Y 1 が形成されることとなる。

【0027】

検査用照射部 5 は、図 1 で示すように、光学系 8 と受光部 2 を介してその溶融状態の溶融池 Y 1 に対して検査用レーザ光 L 5 を照射する。具体的には、検査用照射部 5 は、図 3 で示すように、溶融池 Y 1 の外縁の内側に設定された半径 R 5 1 を有する略円形状の走査軌跡 C 5 1 に沿って検査用レーザ光 L 5 の焦点 F 5 を略一定速度で複数回回転させ、その走査軌跡 C 5 1 上で検査用レーザ光 L 5 を複数回照射する。次いで、検査用レーザ光 L 5

10

20

30

40

50

の焦点F 5を走査軌跡C 5 1の内側へ移動させ、半径R 5 1よりも小さい半径R 5 2を有し且つ走査軌跡C 5 1と同心である略円形状の走査軌跡C 5 2に沿って検査用レーザ光L 5の焦点F 5を複数回回転させ、その走査軌跡C 5 2上で検査用レーザ光L 5を複数回照射する。このような検査用レーザ光L 5の照射工程を繰り返すことによって、検査用照射部5は、ワークW 1、W 2に形成された略円形状の溶融池Y 1全体に検査用レーザ光L 5を照射する。なお、走査軌跡C 5 1、C 5 2の中心は、たとえば上記する溶接軌跡C 1 1、C 1 2の中心C 0に設定されている。

【0028】

受光部2は、図1で示すように、検査用照射部5から溶融池Y 1に対して検査用レーザ光L 5を照射しながら、検査用レーザ光L 5によるワークW 1、W 2の溶融池Y 1からの反射光やワークW 1、W 2の溶融蒸発によって生じる蒸気発光（プラズマ光）、ワークW 1、W 2の溶融池Y 1から放射される熱放射光（赤外光）などを含む戻り光L 2を受光する。

【0029】

変換部3は、受光部2で受光され、光学系8と集光レンズ9を介して集光された戻り光L 2を電気信号へ変換し、その電気信号をアンプ4へ出力する。アンプ4は、変換部3から出力された電気信号の信号強度を増幅して検査部6へ送信する。

【0030】

検査部6は、アンプ4から送信された電気信号を信号処理してワークW 1、W 2に形成される溶接部の溶接状態を検査する。具体的には、検査部6は、検査用照射部5から溶融池Y 1に対して検査用レーザ光L 5を走査軌跡C 5 1、C 5 2に沿って複数回照射する際に受光部2によって受光される戻り光L 2の強度変化を検出し、その強度変化の周期性に基づいてワークW 1、W 2に形成される溶接部の溶接状態を検査する。また、検査部6は、アンプ4から送信された電気信号の信号処理結果をCRT 7へ送信し、CRT 7は検査部6から送信された信号処理結果を表示する。

【0031】

[溶接部の検査方法の実施の形態1]

次に、図4～図7を参照して、図1で示す溶接部の検査装置100を用いた本発明の溶接部の検査方法の実施の形態1を説明する。

【0032】

図4は、図1で示す検査装置100の検査部6へ送信される戻り光の強度の一例を時系列で示した図である。また、図5Aは、溶接部の溶接状態が正常である場合の溶融池と検査用レーザ光の焦点の関係を説明した上面図であり、図5Bは、図5AのA5-A5矢視図である。また、図6Aは、溶接部の溶接状態が不良である場合の溶融池と検査用レーザ光の焦点の関係を説明した上面図であり、図6Bは、図6AのA6-A6矢視図である。また、図7は、検査部6で信号処理された戻り光の周波数と振幅の関係の一例を示した図である。

【0033】

図5Aおよび図5Bで示すように、溶接部の溶接状態が正常である場合（ワークW 1、W 2同士が正常に溶接される場合）には、溶融池Y 1に設定された略円形状の走査軌跡C 5 1に沿って検査用レーザ光L 5の焦点F 5を複数回回転させ、その走査軌跡C 5 1上で検査用レーザ光L 5を複数回照射した際、検査用レーザ光L 5によるワークW 1、W 2からの反射光や蒸気発光、熱放射光などの強度変化は相対的に小さいと考えられる。そのため、図4の破線で示すように、受光部2で受光され、変換部3やアンプ4を介して検査部6へ送信される戻り光L 2の強度変化は相対的に小さい。

【0034】

一方で、図6Aおよび図6Bで示すように、溶接部の溶接状態が不良である場合（たとえば一方のワークの溶接ビードが陥没する片落ち溶接の場合）には、溶融池Y 1に設定された略円形状の走査軌跡C 5 1に沿って検査用レーザ光L 5の焦点F 5を複数回回転させ、その走査軌跡C 5 1上で検査用レーザ光L 5を複数回照射した際、検査用レーザ光L 5

の走査軌跡 C 5 1 上に溶接不良部 X 1 が存在し、走査軌跡 C 5 1 の一部で検査用レーザ光 L 5 によるワーク W 1、W 2 からの反射光の強度が大きく変化する。そのため、図 4 の実線で示すように、受光部 2 で受光され、変換部 3 やアンプ 4 を介して検査部 6 へ送信される戻り光 L 2 の強度は、検査用レーザ光 L 5 の一走査周期（たとえば検査用レーザ光 L 5 が走査周期 C 5 1 を一周回する周期）内の一部で変化する、且つその検査用レーザ光 L 5 の走査周期毎に周期的に変化する。

【 0 0 3 5 】

実施の形態 1 の検査方法によれば、このような戻り光 L 2 の強度変化の周期性を検査部 6 で検出することによって、たとえば戻り光 L 2 から得られる電気信号が微弱となる場合や戻り光 L 2 の強度がワーク温度の変化に応じて変化する場合であっても、溶融池 Y 1 の外縁の内側に溶接不良部 X 1 が存在するか否か、すなわちワーク W 1、W 2 に形成される溶接部に溶接不良が発生するか否かを検査することができる。特に、本実施の形態 1 では、溶融池 Y 1 に対して略円形状の走査軌跡 C 5 1、C 5 2 に沿って検査用レーザ光 L 5 が照射されるため、溶融池 Y 1 の外縁の内側に溶接中心 C 0 から偏在する溶接不良部 X 1 が存在するか否か、あるいは、溶融池 Y 1 の外縁の内側にたとえば楕円形状や略多角形状などの非円形状の溶接不良部 X 1 が存在するか否かを検査することができる。

【 0 0 3 6 】

また、検査部 6 へ送信される戻り光 L 2 の強度（図 4 参照）をフーリエ変換すると、図 7 で示すように、溶接部の溶接状態が正常である場合には特定の周波数での振幅ピークが検出されず（図 7 中、破線）、溶接部の溶接状態が不良である場合には特定の周波数（図 7 中、三つの周波数）での振幅ピークが検出される（図 7 中、実線）。このように、戻り光 L 2 の強度をフーリエ変換することによって、溶接部の溶接状態の不良に起因する戻り光の強度変化を簡便に検出することができるため、ワーク W 1、W 2 に形成される溶接部に溶接不良が発生するか否かをより精緻に検査することができる。

【 0 0 3 7 】

ここで、溶接用レーザ光 L 1 の照射によってワーク W 1、W 2 に形成される溶融池 Y 1 の液面は周期的に振動し、溶接部の溶接状態が正常である場合であっても、戻り光 L 2 の強度は周期的に変化することが本発明者等によって確認されている。すなわち、図 7 で振幅ピークが検出された周波数の一つは、溶接部の溶接状態が正常である場合の戻り光 L 2 の強度変化の固有周波数であると考えられる。

【 0 0 3 8 】

そこで、溶融池 Y 1 に設定された略円形状の走査軌跡 C 5 1、C 5 2 に沿って検査用レーザ光 L 5 を照射する際、たとえば検査用レーザ光 L 5 の走査速度を調整し、検査用レーザ光 L 5 の走査周期（たとえば検査用レーザ光 L 5 が走査軌跡 C 5 1 や走査軌跡 C 5 2 を一周回する周期）を戻り光 L 2 の強度変化の固有周期と一致させる。これにより、たとえば溶接部の溶接状態が正常である場合に検査部 6 へ送信される戻り光 L 2 の強度変化を略サインカーブ状とすることができる（図 4 中、点線）。そして、この溶接部の溶接状態が正常である場合の戻り光 L 2 の強度をフーリエ変換することによって、図 7 で振幅ピークが検出された周波数から溶接部の溶接状態が正常である場合の戻り光 L 2 の強度変化の固有周波数を特定することができる（図 7 中、点線）。なお、フーリエ変換に代えて、戻り光 L 2 の強度を微分することによって、戻り光 L 2 の強度変化の周期性を特定することもできる。

【 0 0 3 9 】

このように、ワーク W 1、W 2 の溶接部の溶接状態が正常である場合の戻り光 L 2 の強度変化の固有周期で、検査用レーザ光 L 5 を走査軌跡 C 5 1、C 5 2 に沿って照射することによって、図 7 で振幅ピークが検出された周波数から溶接部の溶接状態が正常である場合の戻り光 L 2 の強度変化の固有周波数を特定し、たとえば溶接部の溶接状態の不良に起因する周波数のみを抽出することができるため、溶融池 Y 1 の外縁の内側に溶接不良部 X 1 が存在するか否か、すなわちワーク W 1、W 2 に形成される溶接部に溶接不良が発生するか否かをより一層精緻に検査することができる。

【 0 0 4 0 】

また、本実施の形態 1 によれば、溶接用レーザ光 L 1 の照射によって形成される溶融池 Y 1 に設定された走査軌跡 C 5 1、C 5 2 に沿って検査用レーザ光 L 5 を照射し、検査用レーザ光 L 5 を走査軌跡 C 5 1、C 5 2 に沿って照射した際に受光部 2 によって受光される戻り光 L 2 の強度変化に基づいて溶接部の溶接状態を検査することにより、たとえば溶接用レーザ光 L 1 の照射条件が変化した場合や溶接用レーザ光の焦点位置と溶接不良部 X 1 の発生位置が離間する場合であっても、検査用レーザ光 L 5 の走査条件（走査軌跡や走査速度など）を適宜調整することができるため、ワークに形成される溶接部の溶接状態を精緻に検査することができる。

【 0 0 4 1 】

10

[溶接部の検査装置の実施の形態 2]

次に、図 8 を参照して、本発明の溶接部の検査装置の実施の形態 2 を説明する。

【 0 0 4 2 】

図 8 は、本発明の溶接部の検査装置の実施の形態 2 の全体構成を模式的に示した全体構成図である。図 8 で示す実施の形態 2 の検査装置 1 0 0 A は、図 1 で示す実施の形態 1 の検査装置 1 0 0 に対して、溶接用照射部から照射される溶接用レーザ光による反射光を用いて溶接部の溶接状態を検査する点が相違しており、その他の構成は実施の形態 1 の検査装置 1 0 0 とほぼ同様である。したがって、実施の形態 1 と同様の構成については、同様の符号を付してその詳細な説明は省略する。

【 0 0 4 3 】

20

図示する検査装置 1 0 0 A は、主に、溶接用照射部 1 A、受光部 2 A、変換部 3 A、アンプ 4 A、検査部 6 A、および C R T 7 A から構成されている。

【 0 0 4 4 】

溶接用照射部 1 A は、重ね合わされた若しくは僅かに離間して配置された二枚のワーク W 1、W 2 同士を溶接するために、光学系 8 A と受光部 2 A を介して二枚のワーク W 1、W 2 に対して溶接用レーザ光 L 1 A を照射する。溶接用照射部 1 A による溶接用レーザ光 L 1 A の照射によって、溶接用レーザ光 L 1 A の進行方向に対して当該溶接用レーザ光 L 1 A の左右や後方には、ワーク W 1、W 2 が溶融された溶融池 Y 1 が形成される。

【 0 0 4 5 】

受光部 2 A は、溶接用照射部 1 A から照射される溶接用レーザ光 L 1 A によるワーク W 1、W 2 の溶融池 Y 1 からの反射光やワーク W 1、W 2 の溶融蒸発によって生じる蒸気発光（プラズマ光）、ワーク W 1、W 2 の溶融池 Y 1 から放射される熱放射光（赤外光）などを含む戻り光 L 2 A を受光する。

30

【 0 0 4 6 】

変換部 3 A は、受光部 2 A で受光され、光学系 8 A と集光レンズ 9 A を介して集光された戻り光 L 2 A を電気信号へ変換し、その電気信号をアンプ 4 A へ出力する。アンプ 4 A は、変換部 3 A から出力された電気信号の信号強度を増幅して検査部 6 A へ送信する。

【 0 0 4 7 】

検査部 6 A は、アンプ 4 A から送信された電気信号を信号処理してワーク W 1、W 2 に形成される溶接部の溶接状態を検査する。具体的には、検査部 6 A は、溶接用照射部 1 A から溶接用レーザ光 L 1 A を溶接軌跡に沿って照射する際に受光部 2 A によって受光される戻り光 L 2 A の強度変化を検出し、その強度変化の周期性に基づいてワーク W 1、W 2 に形成される溶接部の溶接状態を検査する。また、検査部 6 A は、アンプ 4 A から送信された電気信号の信号処理結果を C R T 7 A へ送信し、C R T 7 A は検査部 6 A から送信されたその信号処理結果を表示する。

40

【 0 0 4 8 】

溶接用レーザ光 L 1 A を溶接軌跡に沿って照射する際に受光部 2 A によって受光される戻り光 L 2 A の強度変化は、上記する実施の形態 1 と同様、溶接部の溶接状態が正常である場合には相対的に小さく、溶接部の溶接状態が不良である場合には相対的に大きくなる。そのため、本実施の形態 2 によれば、このような戻り光 L 2 A の強度変化の周期性を検

50

査部 6 A で検出することによって、たとえば戻り光 L 2 A から得られる電気信号が微弱となる場合や戻り光 L 2 A の強度がワーク温度の変化に応じて変化する場合であっても、溶融池 Y 1 の外縁の内側に溶接不良部 X 1 が形成されるか否か、すなわちワーク W 1、W 2 に形成される溶接部に溶接不良が発生するか否かを検査することができる。

【 0 0 4 9 】

また、上記する実施の形態 1 と同様、ワーク W 1、W 2 の溶接部の溶接状態が正常である場合の戻り光 L 2 A の強度変化の固有周期で、溶接用レーザ光 L 1 A を溶接軌跡に沿って照射することによって、戻り光 L 2 A の強度をフーリエ変換することによって振幅ピークが検出される特定の周波数から溶接部の溶接状態が正常である場合の戻り光 L 2 A の強度変化の固有周波数を特定し、たとえば溶接部の溶接状態の不良に起因する周波数のみを抽出することができるため、溶融池 Y 1 の外縁の内側に溶接不良部 X 1 が存在するか否か、すなわちワーク W 1、W 2 に形成される溶接部に溶接不良が発生するか否かをより一層精緻に検査することができる。

10

【 0 0 5 0 】

なお、上記する実施の形態 1 では、検査用レーザ光の走査軌跡の中心が溶接用レーザ光の溶接軌跡の中心に設定される形態について説明したが、検査用レーザ光の走査軌跡の中心は溶接用レーザ光の照射によって形成される溶融池内の適宜の位置に設定することができる。

【 0 0 5 1 】

また、上記する実施の形態では、溶接用レーザ光の溶接軌跡や検査用レーザ光の走査軌跡が略円形状である形態について説明したが、溶接用レーザ光の溶接軌跡や検査用レーザ光の走査軌跡は、たとえば楕円形状や多角形状の閉ループ形状、所定の長さの曲線状や直線状などであってもよい。また、溶接部の溶接不良が発生し易い箇所を予測し得る場合には、溶接用レーザ光の溶接軌跡や検査用レーザ光の走査軌跡は、その箇所を通過するように設定することが好ましい。

20

【 0 0 5 2 】

また、上記する実施の形態では、所定位置に固定したワークに溶接用レーザ光や検査用レーザ光を照射する形態について説明したが、たとえば溶接用レーザ光や検査用レーザ光の焦点位置を固定してワークを適宜移動させながらワーク同士をレーザ溶接してもよいし、ワークと溶接用レーザ光や検査用レーザ光の焦点位置との双方を相対的に移動させながらワーク同士をレーザ溶接してもよい。

30

【 0 0 5 3 】

[検査用試料による戻り光の強度変化と溶接部の溶接状態の関係を評価した実験とその結果]

本発明者等は、溶接状態が異なる 3 種類の検査用試料（実施例 1 ～ 3）を作製し、それぞれの検査用試料からの戻り光の強度測定を実施し、戻り光の強度変化と溶接部の溶接状態の関係を評価した。

【 0 0 5 4 】

< 検査用試料の作製方法と検査用試料による戻り光の強度の測定方法 >

まず、検査用試料の作製方法と検査用試料による戻り光の強度の測定方法を概説すると、厚さが 0.7mm の SCGA440 からなる二枚のワークを重ね合わせ、半径が約 2.2mm の略円形状の溶接部が形成されるように、ワークに対して溶接用レーザ光（出力が 1000W で走査速度が 80m/min）を略円形状の溶接軌跡に沿って複数回照射した。次いで、溶接用レーザ光の照射によりワークに形成された溶融池を通過するように、検査用レーザ光（出力が 1000W で走査速度が 80m/min）を半径が約 1.5mm の略円形状の走査軌跡に沿って 6 周回照射した。次に、その検査用レーザ光の焦点を約 0.5mm だけ移動させ、その検査用レーザ光を半径が約 1.0mm の略円形状の走査軌跡に沿って 10 周回照射した。そして、溶接用レーザ光によるワークの溶融池からの反射光やワークの溶融蒸発によって生じる蒸気発光、ワークの溶融池から放射される熱放射光などを含む戻り光を受光するとともに、検査用レーザ光によるワークの溶融池からの反射光や蒸気発光、熱放射光などを含む戻り光を受光し、受光され

40

50

た戻り光を電気信号へ変換してその信号強度を測定した。なお、本実験では、戻り光のうち特にワークの溶融蒸発によって生じる蒸気発光（プラズマ光）の信号強度を測定した。

【 0 0 5 5 】

< 検査用試料による戻り光の強度変化と溶接部の溶接状態の関係を評価した結果 >

図 9 A は、検査用試料による実施例 1 の溶接部を拡大して示した上面図であり、図 9 B は、図 9 A の A 9 - A 9 矢視図であり、図 9 C は、検査用試料による実施例 1 の戻り光の強度を時系列で示した図である。また、図 1 0 A は、検査用試料による実施例 2 の溶接部を拡大して示した上面図であり、図 1 0 B は、図 1 0 A の A 1 0 - A 1 0 矢視図であり、図 1 0 C は、検査用試料による実施例 2 の戻り光の強度を時系列で示した図である。また、図 1 1 A は、検査用試料による実施例 3 の溶接部を拡大して示した上面図であり、図 1 1 B は、図 1 1 A の A 1 1 - A 1 1 矢視図であり、図 1 1 C は、検査用試料による実施例 3 の戻り光の強度を時系列で示した図である。

10

【 0 0 5 6 】

図 9 A ~ 図 9 C で示すように、実施例 1（溶接状態が正常）の検査用試料では、溶接用レーザ光を照射した区間（0.35 ~ 約0.41sec）R 1 や半径が約1.5mmの走査軌跡に沿って検査用レーザ光を照射した区間（約0.41 ~ 約0.46sec）R 2、半径が約1.0mmの走査軌跡に沿って検査用レーザ光を照射した区間（約0.46 ~ 約0.51sec）R 3 のいずれにおいても、測定された戻り光の強度変化に周期性が確認されなかった。

【 0 0 5 7 】

一方、図 1 0 A ~ 図 1 0 C で示すように、実施例 2（二枚のワークの双方が溶け落ちた穴あき溶接）の検査用試料では、溶接用レーザ光を照射した区間 R 1 や検査用レーザ光を照射した区間 R 2、R 3 のいずれにおいても、測定された戻り光の強度変化に周期性が確認された。

20

【 0 0 5 8 】

また、図 1 1 A ~ 図 1 1 C で示すように、実施例 3（二枚のワークの一方が溶け落ちた片落ち溶接）の検査用試料では、溶接用レーザ光を照射した区間 R 1 で測定された戻り光の強度変化に周期性が確認されなかったものの、検査用レーザ光を照射した区間 R 2、R 3 で測定された戻り光の強度変化には周期性が確認された。

【 0 0 5 9 】

また、図 1 2 は、検査用試料による実施例 1 ~ 3 の検査用レーザ光を照射した区間（約 0.41 ~ 約0.46sec）R 2 で測定された戻り光の強度を高速フーリエ変換した際の周波数と振幅の関係を示した図である。

30

【 0 0 6 0 】

図 1 2 で示すように、実施例 1（溶接状態が正常）の検査用試料では、大きな振幅ピークが確認されなかったものの、実施例 2（穴あき溶接）の検査用試料では、約141Hzの整数倍の周波数で大きな振幅ピークが確認され、実施例 3（片落ち溶接）の検査用試料では、約141Hzの周波数で大きな振幅ピークが確認された。なお、実施例 2、3 の検査用試料で振幅ピークが確認された周波数（約141Hz）は、走査速度が80m/minの検査用レーザ光を半径が約1.5mmの走査軌跡に沿って照射した際の当該検査用レーザ光の走査周波数（ $1/(1.5\text{mm} \times 2 \times 3.14 / (80000\text{mm}/60\text{sec}))\text{Hz}$ ）にほぼ対応している。

40

【 0 0 6 1 】

この実験結果より、溶接用レーザ光を溶接軌跡に沿って照射した際もしくは検査用レーザ光を走査軌跡に沿って照射した際に受光される戻り光の強度変化の周期性を検出するという簡便な方法によって、たとえばワーク間の隙間を埋めるために溶接ビードが窪んでしまう引け溶接、ワーク同士が接合しない未接合溶接、ビードが陥没する落ち溶接、熱バランスの変動などに起因して突発的にビードが無くなる溶断溶接、穴あき溶接などの溶接不良を含む溶接部の溶接状態を精緻に検査できることが実証された。

【 0 0 6 2 】

また、溶接用レーザの照射によってワークに形成される溶融池の液面は周期的に振動し、溶接部の溶接状態が正常である場合であっても、溶接用レーザ光を照射した区間 R 1 や

50

検査用レーザ光を照射した区間 R 2、R 3 で測定される戻り光の強度は周期的に変化することが本発明者等によって確認された。

【 0 0 6 3 】

そこで、本発明者等は、熔融状態のワークの表面張力や密度、ワークに形成さる熔融池の大きさや厚さなどに基づいて熔融池の固有周波数を算出し、その熔融池の固有周波数から算出される戻り光の強度変化の固有周期と検査用レーザ光の走査周期とが一致するように当該検査用レーザ光の走査速度を調整して、ワークに対して検査用レーザ光を照射した。

【 0 0 6 4 】

図 1 3 は、実施例 1（溶接状態が正常）の熔融池に対して戻り光の強度変化の固有周期で検査用レーザ光を照射したときに、区間 R 2 で測定された戻り光（特にワークの熔融池から放射される熱放射光）の強度を高速フーリエ変換した際の周波数と振幅の関係を示した図である。

10

【 0 0 6 5 】

図 1 3 で示すように、溶接部の溶接状態が正常である場合であっても、区間 R 2 で測定された戻り光の強度を高速フーリエ変換すると、特定の周波数（約 195Hz）で大きな振幅ピークが確認された。

【 0 0 6 6 】

この実験結果より、溶接部の溶接状態が正常である場合の戻り光の強度変化の固有周期で溶接用レーザ光や検査用レーザ光を照射し、測定された戻り光の強度を高速フーリエ変換することによって、溶接部の溶接状態が正常である場合の戻り光の強度変化の固有周波数（たとえば約 195Hz）を特定することができ、溶接部の溶接状態の不良に起因する周波数のみを検出することができ、溶接部の溶接状態をより精緻に検査できることが実証された。

20

【 0 0 6 7 】

以上、本発明の実施の形態を図面を用いて詳述してきたが、具体的な構成はこの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ける設計変更等があっても、それらは本発明に含まれるものである。

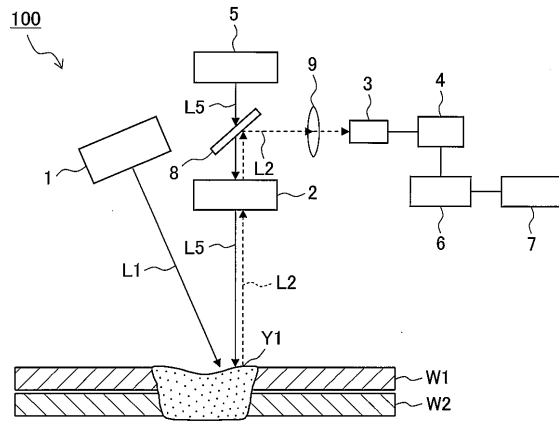
【 符号の説明 】

【 0 0 6 8 】

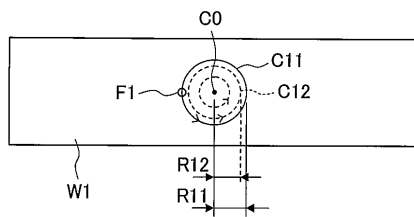
30

1 ... 溶接用照射部、2 ... 受光部、3 ... 変換部、4 ... アンプ、5 ... 検査用照射部、6 ... 検査部、7 ... C R T、8 ... 光学系、9 ... 集光レンズ、1 0 0 ... 溶接部の検査装置、C 0 ... 溶接中心、C 1 1、C 1 2 ... 溶接軌跡、C 5 1、C 5 2 ... 走査軌跡、F 1 ... 溶接用レーザ光の焦点、F 5 ... 検査用レーザ光の焦点、L 1 ... 溶接用レーザ光、L 2 ... 戻り光、L 5 ... 検査用レーザ光、W 1、W 2 ... ワーク、Y 1 ... 熔融池

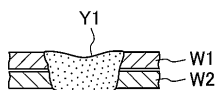
【図 1】



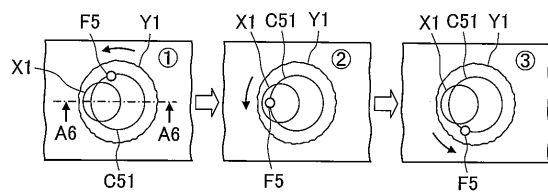
【図 2】



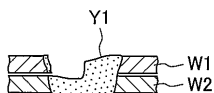
【図 5 B】



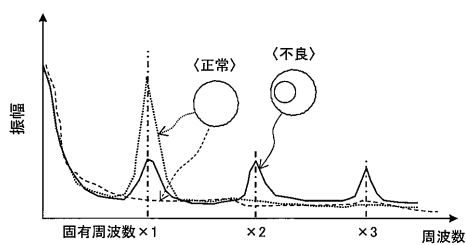
【図 6 A】



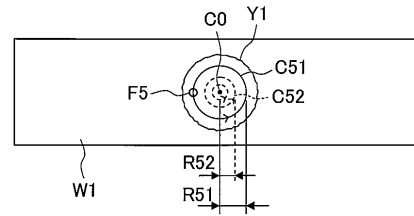
【図 6 B】



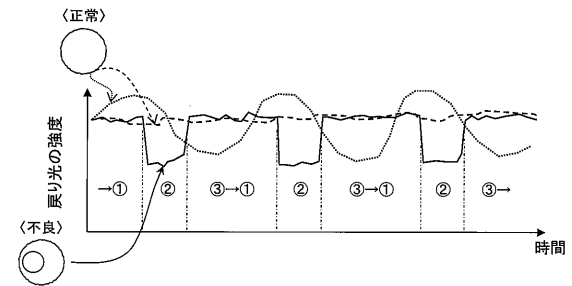
【図 7】



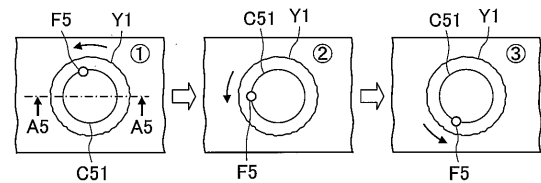
【図 3】



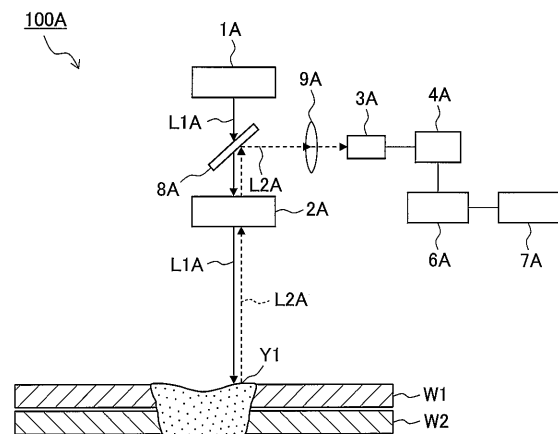
【図 4】



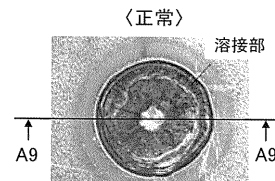
【図 5 A】



【図 8】



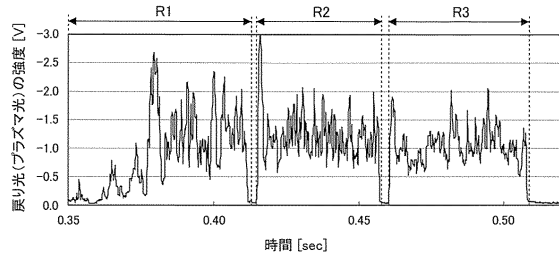
【図 9 A】



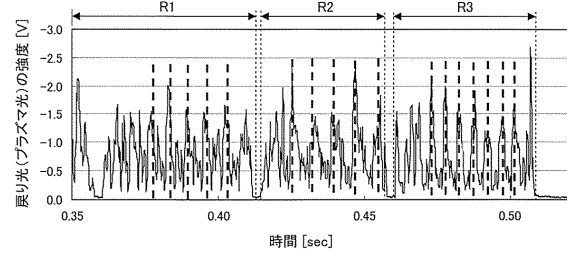
【図 9 B】



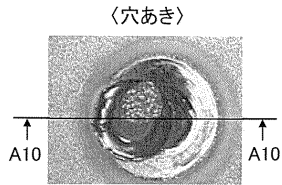
【図 9 C】



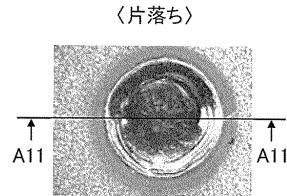
【図 10 C】



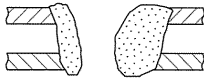
【図 10 A】



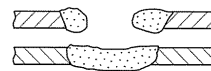
【図 11 A】



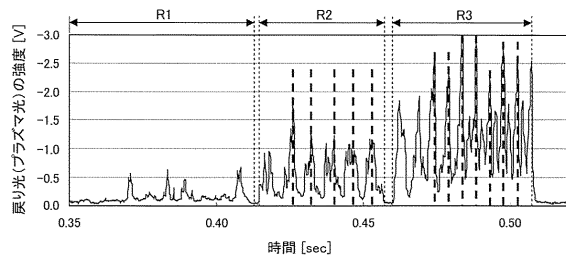
【図 10 B】



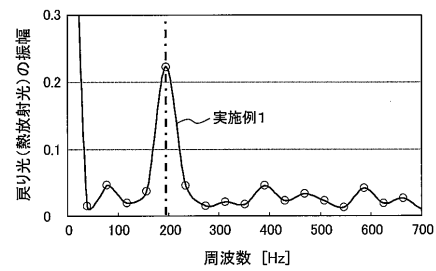
【図 11 B】



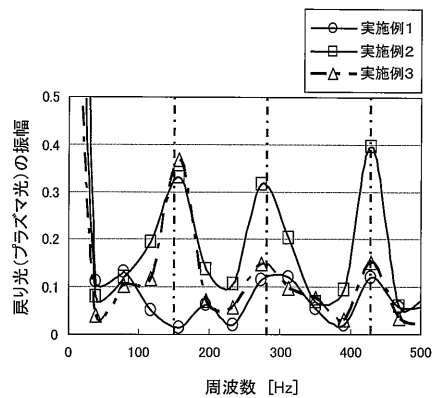
【図 11 C】



【図 13】



【図 12】



フロントページの続き

- (72)発明者 小林 裕臣
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
- (72)発明者 古川 雅志
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
- (72)発明者 内田 圭亮
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
- (72)発明者 柴田 義範
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
- (72)発明者 川喜田 篤史
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
- (72)発明者 岸 弘朗
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
- (72)発明者 赤松 英治
福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内
- (72)発明者 岩本 雄太
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

審査官 奥隅 隆

- (56)参考文献 特開2003-320467(JP, A)
特開2012-115876(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23K 26/00 - 26/70
G01N 19/04
G01N 21/88