

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3603843号
(P3603843)

(45) 発行日 平成16年12月22日(2004.12.22)

(24) 登録日 平成16年10月8日(2004.10.8)

(51) Int. Cl.⁷

F I

B 2 3 K 26/00

B 2 3 K 26/00

P

G O 1 N 21/88

G O 1 N 21/88

Z

請求項の数 22 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2001-381889 (P2001-381889)	(73) 特許権者	000003997
(22) 出願日	平成13年12月14日 (2001.12.14)		日産自動車株式会社
(65) 公開番号	特開2002-321073 (P2002-321073A)		神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地
(43) 公開日	平成14年11月5日 (2002.11.5)	(74) 代理人	100072349
審査請求日	平成15年6月27日 (2003.6.27)		弁理士 八田 幹雄
(31) 優先権主張番号	特願2001-48756 (P2001-48756)	(74) 代理人	100102912
(32) 優先日	平成13年2月23日 (2001.2.23)		弁理士 野上 敦
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100110995
			弁理士 奈良 泰男
		(74) 代理人	100111464
			弁理士 齋藤 悦子
		(74) 代理人	100114649
			弁理士 宇谷 勝幸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザー溶接部の品質モニタリング方法およびその装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

Y A G レーザーからワークの溶接部に向けてレーザー光線を照射する段階と、照射したレーザー光線の当該溶接部からの反射光を検出する段階と、検出された反射光から得られる信号の周波数分布を算出する段階と、算出された周波数分布のうちの特定の周波数帯における信号強度を算出する段階と、算出された信号強度があらかじめ設定されている基準値を超えていれば、ポロシティーの発生が過大であると判断し、基準値を超えていなければポロシティーの発生が正常範囲内であると判断する段階とを含み、前記信号強度を算出するための特定の周波数帯は、前記ワークの板厚、溶接速度、前記ワークにおける溶接部のキーホルの深さHと当該キーホルの幅Dとから算出されるアスペクト比H / Dの内の少なくとも1つの数値に応じて変化させることを特徴とするレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

10

【請求項2】

前記周波数分布を算出する段階は、検出された反射光を電気信号に変換する段階と、変換された電気信号の経時変化に基づいて当該電気信号の周波数分布を算出する段階と、を有することを特徴とする請求項1に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法

【請求項3】

前記信号強度の算出は、信号強度の周波数分布を算出する高速フーリエ変換 (F F T) を用いて、または、前記特定の周波数帯のみの信号を通過させる帯域フィルタを用いて行わ

20

れることを特徴とする請求項1または請求項2に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

【請求項4】

ワークの溶接部に向けてレーザー光線を照射するYAGレーザーと、照射したレーザー光線の当該溶接部からの反射光を検出する反射光検出手段と、検出された反射光を電気信号に変換する電気信号変換手段と、変換された電気信号の経時変化に基づいて当該電気信号の周波数分布を算出する周波数分布算出手段と、算出された周波数分布のうちの特定の周波数帯における信号強度を算出する信号強度算出手段と、算出された信号強度があらかじめ設定されている基準値を超えていれば、ポロシティーの発生が過大であると判断し、基準値を超えていなければポロシティーの発生が正常範囲内であると判断する溶接品質判断手段とを有し、前記信号強度算出手段は、信号強度を算出するための特定の周波数帯を、前記ワークの板厚、溶接速度、前記ワークにおける溶接部のキーホールの深さHと当該キーホールの幅Dとから算出されるアスペクト比H/Dの内の少なくとも1つの数値に応じて変化させることを特徴とするレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

10

【請求項5】

前記反射光検出手段は、前記YAGレーザー光線の反射光のみを検出するために、前記YAGレーザー光線の波長の光だけを透過させる干渉フィルタを有することを特徴とする請求項4に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

20

【請求項6】

前記信号強度算出手段は、信号強度の周波数分布を算出する高速フーリエ変換(FFT)を用いて、または、前記特定の周波数帯のみの信号を通過させる帯域フィルタを用いて、信号強度を算出することを特徴とする請求項4に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

【請求項7】

YAGレーザーからワークの溶接部に向けてレーザー光線を照射する段階と、照射したレーザー光線の当該溶接部からの反射光を検出する段階と、検出された反射光から得られる信号の周波数分布を算出する段階と、算出された周波数分布のうち、アンダーフィルの発生を検出するための第1の周波数帯における信号強度またはポロシティーの発生を検出するための第2の周波数帯における信号強度の内の少なくとも1つの信号強度と、未溶着の発生を検出するための第3の周波数帯における信号強度とを算出する段階と、一方の軸が、前記第1の周波数帯と前記第2の周波数帯の信号強度の大きさを示し、他方の軸が、前記第3の周波数帯の信号強度の大きさを示す、仮想的な2軸座標系に、算出された前記各周波数帯の信号強度を仮想的にプロットする段階と、前記各周波数帯の信号強度が仮想的に前記2軸座標系のどの領域にプロットされるかによって、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着のうち少なくとも1つの溶接不良の発生を判断する段階と、を含むことを特徴とするレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

30

40

【請求項8】

前記周波数分布を算出する段階は、検出された反射光を電気信号に変換する段階と、変換された電気信号の経時変化を記憶する段階と、電気信号の経時変化に基づいて当該電気信号の周波数分布を算出する段階と、を有することを特徴とする請求項7に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

【請求項9】

前記2軸座標系には、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着のいずれかの溶接不良の発生を判断するための、アンダーフィル領域、ポロシティー領域、未溶着領域が規定されて

50

いることを特徴とする請求項 7 または請求項 8 に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

【請求項 10】

前記 2 軸座標系には、さらに、溶接不良が発生していないことを判断するための、良品領域が規定されていることを特徴とする請求項 9 に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

【請求項 11】

前記 2 軸座標系のアンダーフィル領域、ポロシティー領域、未溶着領域、良品領域それぞれの境界には、溶接不良の種類または溶接不良の発生を特定することが困難な混在領域が規定されていることを特徴とする請求項 10 に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

10

【請求項 12】

さらに、

いずれかの周波数帯の信号強度の仮想的なプロットが前記混在領域にされたときには、1 つの溶接個所に対して記憶されている電気信号の経時変化を時系列に複数の領域に分割する段階と、

分割された各領域における電気信号の経時変化に基づいて、前記領域ごとに前記電気信号の周波数分布を算出する段階と、

前記領域ごとに算出された周波数分布のそれぞれに対して、前記第 1 の周波数帯における信号強度または前記第 2 の周波数帯における信号強度の内の少なくとも 1 つの信号強度と

20

、前記第 3 の周波数帯における信号強度とを算出する段階と、

前記 2 軸座標系に、算出された前記各周波数帯の信号強度を、前記領域ごとに仮想的にプロットする段階と、

前記各周波数帯の信号強度が仮想的に前記 2 軸座標系のどの領域にプロットされるかによって、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着のうち少なくとも 1 つの溶接不良の発生を、前記領域ごとに判断する段階と、

前記判断に基づいて、前記溶接個所の品質の良否を総合的に判断する段階と、

を有することを特徴とする請求項 11 に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

【請求項 13】

前記溶接個所の品質の良否を総合的に判断する段階は、

30

溶接不良が発生していると判断された前記領域の数が、前記分割した領域の数に対して一定の割合を超えている場合には、その溶接個所は溶接不良であると判断し、そうでない場合には、その溶接個所は溶接不良ではないと判断することを特徴とする請求項 12 に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

【請求項 14】

前記信号強度を算出するための、前記第 1 から第 3 の各周波数帯は、前記ワークの板厚、溶接速度、前記ワークにおける溶接部のキーホルの深さ H と当該キーホルの幅 D とから算出されるアスペクト比 H/D の内の少なくとも 1 つの数値に応じて変化させることを特徴とする請求項 7、請求項 8、または請求項 12 のいずれかに記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

40

【請求項 15】

ワークの溶接部に向けてレーザー光線を照射する YAG レーザーと、

照射したレーザー光線の当該溶接部からの反射光を検出する反射光検出手段と、

検出された反射光を電気信号に変換する電気信号変換手段と、

変換された電気信号の経時変化を記憶する記憶手段と、

電気信号の経時変化に基づいて当該電気信号の周波数分布を算出する周波数分布算出手段と、

算出された周波数分布のうち、アンダーフィルの発生を検出するための第 1 の周波数帯における信号強度またはポロシティーの発生を検出するための第 2 の周波数帯における信号強度の内の少なくとも 1 つの信号強度と、未溶着の発生を検出するための第 3 の周波数帯

50

における信号強度とを算出する信号強度算出手段と、一方の軸が、前記第1の周波数帯と前記第2の周波数帯の信号強度の大きさを示し、他方の軸が、前記第3の周波数帯の信号強度の大きさを示す、仮想的な2軸座標系に、算出された前記各周波数帯の信号強度を仮想的にプロットし、前記各周波数帯の信号強度が仮想的に前記2軸座標系のどの領域にプロットされるかによって、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着のうち少なくとも1つの溶接不良の発生を判断する溶接品質判断手段とを有することを特徴とするレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

【請求項16】

前記反射光検出手段は、前記YAGレーザー光線の反射光のみを検出するために、前記YAGレーザー光線の波長の光だけを透過させる干渉フィルタを有することを特徴とする請求項15に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

10

【請求項17】

前記2軸座標系には、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着のいずれかの溶接不良の発生を判断するための、アンダーフィル領域、ポロシティー領域、未溶着領域が規定されていることを特徴とする請求項15に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

【請求項18】

前記2軸座標系には、さらに、溶接不良が発生していないことを判断するための、良品領域が規定されていることを特徴とする請求項17に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

【請求項19】

20

前記2軸座標系のアンダーフィル領域、ポロシティー領域、未溶着領域、良品領域それぞれの境界には、溶接不良の種類または溶接不良の発生を特定することが困難な混在領域が規定されていることを特徴とする請求項18に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

【請求項20】

さらに、

いずれかの周波数帯の信号強度の仮想的なプロットが前記混在領域にされたときには、前記記憶手段に記憶されている1つの溶接個所に対する電気信号の経時変化を時系列に複数の領域に分割する分割手段を有し、

前記溶接品質判断手段は、前記領域ごとに溶接不良の発生を判断し、その判断に基づいて、前記溶接個所の品質の良否を総合的に判断することを特徴とする請求項19に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

30

【請求項21】

前記溶接品質判断手段は、

溶接不良が発生していると判断された前記領域の数が、前記分割した領域の数に対して一定の割合を超えている場合には、その溶接個所は溶接不良であると判断し、そうでない場合には、その溶接個所は溶接不良ではないと判断することを特徴とする請求項20に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

【請求項22】

前記信号強度を算出するための、前記第1から第3の各周波数帯は、前記ワークの板厚、溶接速度、前記ワークにおける溶接部のキーホールの深さHと当該キーホールの幅Dとから算出されるアスペクト比H/Dの内の少なくとも1つの数値に応じて変化させることを特徴とする請求項15または請求項20に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、レーザー溶接部の品質モニタリング方法およびその装置に係り、特に、レーザー溶接部のポロシティー、アンダーフィル、未溶着などの溶接状態の発生をモニタリングすることができる、レーザー溶接部の品質モニタリング方法およびその装置に関する。

50

【 0 0 0 2 】

【 従来の技術 】

自動車のボディーに使用されるような、非常に薄い鋼板の溶接は、レーザー溶接によって行われるものもある。レーザー溶接が用いられるのは、レーザー溶接は、スポット溶接と比較すると、鋼板を表裏両面から挟む必要がなく、片面からの溶接が可能であることや、細く複雑な形状の溝であってもその内部を容易に溶接できることなど、多くの利点を備えているからである。しかし、その一方では、鋼板の合わせ精度不良による溶接品質の低下や、溶接部の汚染に起因する突発的な溶接品質の低下を起こしやすいという欠点がある。

【 0 0 0 3 】

したがって、従来、たとえば特開 2 0 0 0 - 2 7 1 7 6 8 号公報に開示されているようなモニタリング方法を用いて、レーザー溶接部の品質の状態をリアルタイムに予測できるようにしている。上記公報に開示されている技術では、検出角度の異なる 2 つのセンサによって、レーザー溶接部のキーホールで発生するプルームからの光と照射した Y A G レーザーの反射光とを検出し、それぞれのセンサで検出された光の強度により溶接条件（出力、焦点位置、ワーク間隙）の変化を検出して、レーザー溶接部の品質の状態をリアルタイムに予測している。

10

【 0 0 0 4 】

【 発明が解決しようとする課題 】

しかしながら、従来の溶接品質のモニタリング方法では、レーザー溶接部に溝ができてしまうという溶接状態（アンダーフィル）、規定の溶接条件から逸脱してしまうという溶接条件不適合の発生は検出できるものの、亜鉛メッキ鋼板などのレーザー溶接時に発生する、溶接部のポロシティー（多孔質化）の発生は検出し難いという問題がある。

20

【 0 0 0 5 】

ポロシティーの発生が検出し難いのは、従来の溶接品質のモニタリング方法が、レーザー光が照射されて溶融している部分（キーホール）から発せられる光に基づいて、溶接品質の状態を判断しているためである。なぜならば、ポロシティーは、キーホール内に亜鉛蒸気が混入することで発生するが、亜鉛蒸気が混入しても、キーホールから発せられる光はほとんど変化しないからである。

【 0 0 0 6 】

また、従来の溶接品質のモニタリング方法では、重ね溶接を行う場合、上下の板間隙間が大きすぎると、上下の板の溶着が不完全な未溶着状態が発生するが、この未溶着状態の発生も検出し難いという問題がある。

30

【 0 0 0 7 】

従来の溶接品質のモニタリング方法でも、ポロシティーおよび未溶着を除くアンダーフィルなどの溶接状態、溶接条件不適合の発生は検出できるが、その検出方法は溶接状態の種類ごとに異なっているため、その検出をするために非常に複雑な計算処理が必要になる。したがって、その計算処理に対する C P U の処理負担が大きくなるという問題もある。

【 0 0 0 8 】

さらに、従来の溶接品質のモニタリング方法では、溶接を行った部分の全体に渡って、ポロシティーおよび未溶着を除くアンダーフィルなどの溶接状態、溶接条件不適合状態が発生した場合には、それらの状態の発生は容易に検出できるが、溶接を行った部分の一部だけにそれらの状態が発生した場合には、それらの状態の発生を容易に検出することができないという問題もある。

40

【 0 0 0 9 】

本発明は、このような従来の問題点に鑑みて成されたものであり、レーザー溶接部のポロシティー、アンダーフィル、未溶着などの溶接状態の発生を C P U の処理負担を大きくせずに確実に検出することができる、また、レーザー溶接部の一部分における、ポロシティー、アンダーフィル、未溶着などの溶接状態の発生も確実に検出することができる、レーザー溶接部の品質モニタリング方法およびその装置の提供を目的とする。

【 0 0 1 0 】

50

【課題を解決するための手段】

上記した課題を解決し、目的を達成するため、請求項1に記載の発明にかかるレーザー溶接部の品質モニタリング方法は、YAGレーザーからワークの溶接部に向けてレーザー光線を照射する段階と、照射したレーザー光線の当該溶接部からの反射光を検出する段階と、検出された反射光から得られる信号の周波数分布を算出する段階と、算出された周波数分布のうち特定の周波数帯における信号強度を算出する段階と、算出された信号強度があらかじめ設定されている基準値を超えていれば、ポロシティーの発生が過大であると判断し、基準値を超えていなければポロシティーの発生が正常範囲内であると判断する段階とを含み、前記信号強度を算出するための特定の周波数帯は、前記ワークの板厚、溶接速度、前記ワークにおける溶接部のキーホールの深さHと当該キーホールの幅Dとから算出されるアスペクト比H/Dの内の少なくとも1つの数値に応じて変化させることを特徴とする。

10

【0011】

この請求項1に記載の発明によれば、ポロシティーの発生の検出に適したYAGレーザー光線の反射光を検出し、その反射光に基づいて生成された信号から、過度のポロシティーの発生を検出に必要な、特定の周波数帯の信号強度だけを抽出しているため、その抽出した信号の信号強度に基づいて、ポロシティーの発生の程度が容易に判断できる。したがって、従来は検出することが困難であった、過度のポロシティーの発生が確実に検出できる。

【0012】

上記した課題を解決し、目的を達成するため、請求項7に記載の発明にかかるレーザー溶接部の品質モニタリング方法は、YAGレーザーからワークの溶接部に向けてレーザー光線を照射する段階と、照射したレーザー光線の当該溶接部からの反射光を検出する段階と、検出された反射光から得られる信号の周波数分布を算出する段階と、算出された周波数分布のうち、アンダーフィルの発生を検出するための第1の周波数帯における信号強度またはポロシティーの発生を検出するための第2の周波数帯における信号強度の内の少なくとも1つの信号強度と、未溶着の発生を検出するための第3の周波数帯における信号強度とを算出する段階と、一方の軸が、前記第1の周波数帯と前記第2の周波数帯の信号強度の大きさを示し、他方の軸が、前記第3の周波数帯の信号強度の大きさを示す、仮想的な2軸座標系に、算出された前記各周波数帯の信号強度を仮想的にプロットする段階と、前記各周波数帯の信号強度が仮想的に前記2軸座標系のどの領域にプロットされるかによって、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着のうち少なくとも1つの溶接不良の発生を判断する段階と、を含むことを特徴とする。

20

30

【0013】

この請求項7に記載の発明によれば、YAGレーザー光線の反射光を検出し、その反射光に基づいて生成された信号から、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着の内の少なくとも1つの溶接状態の発生の検出に適した、第1～第3の周波数帯の信号強度をそれぞれ抽出し、それらの信号強度が2軸座標系のどの領域にプロットされるかによって、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着の溶接状態の発生を判断するので、複数の溶接状態の発生が確実に検出できる。

40

【0014】

【発明の効果】

以上説明したように、請求項1から請求項6に記載の発明によれば、ポロシティーの発生の検出に適したYAGレーザー光線の反射光を検出し、その反射光に基づいて生成された信号から、過度のポロシティーの発生を検出に必要な、特定の周波数帯の信号強度だけを抽出しているため、従来は検出することが困難であった、過度のポロシティーの発生が確実に検出できる。

【0015】

また、信号強度を算出するための特定の周波数帯を、ワークの板厚、溶接速度、前記ワークにおける溶接部のキーホールの深さHと当該キーホールの幅Dとから算出されるアスペ

50

クト比H/Dの内の少なくとも1つの数値に応じて変化させているので、板厚、溶接速度、アスペクト比の相違によるポロシティーの発生検出精度のばらつきが解消できる。

【0016】

また、請求項7から請求項22に記載の発明によれば、YAGレーザー光線の反射光を検出し、その反射光に基づいて生成された信号から、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着の内の少なくとも1つの溶接状態の発生の検出に適した、第1～第3の周波数帯の信号強度をそれぞれ抽出し、それらの信号強度が2軸座標系のどの領域にプロットされるかによって、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着の溶接状態の発生を判断するので、複数の溶接状態の発生が確実に検出できる。また、いずれかの溶接状態が発生していること、または、いずれの溶接状態も発生していないことを、明確に判断できないときには、1つの溶接個所に対して記憶されている電気信号の経時変化を時系列に複数の領域に分割し、その分割した各領域について、溶接個所の品質の状態を再判断するので、いずれかの溶接状態の発生は是非が総合的に判断しやすくなり、さらに高精度にいずれかの溶接状態の発生の判断ができるようになる。

【0017】

【発明の実施の形態】

以下に添付図面を参照して、本発明にかかるレーザー溶接部の品質モニタリング方法およびその装置の好適な実施の形態を、実施の形態1（請求項1～6に対応）と実施の形態2（請求項6から22に対応）に分けて、被溶接部材が亜鉛メッキ鋼板である場合を例にとって詳細に説明する。

（実施の形態1）

図1は、本発明にかかる品質モニタリング装置を備えたYAGレーザー溶接装置の具体的な構成図である。

【0018】

YAGレーザー溶接装置100の上部には、光ファイバーケーブル2が取り付けられ、光ファイバーケーブル2によって、図示されていないYAGレーザー発振器（YAGレーザー）からのレーザー光線がYAGレーザー溶接装置100に導かれる。YAGレーザー溶接装置100の中央部から下部にかけて、導かれたレーザー光線を集光するための集光光学系が配置されている。その集光光学系は、コリメーターレンズ3と集光レンズ4とを有し、導かれたレーザー光線は、コリメーターレンズ3によって平行光線にされた後、集光レンズ4によってワーク（車体パネル）5の表面に集光される。集光された部分（溶接部）は、レーザー光線のエネルギーによって溶融され、ワーク同士が溶接される。

【0019】

また、YAGレーザー溶接装置100の下部側面には、ワーク5の表面から仰角60度（1）の位置に反射光検出手段として機能するセンサ6aと、仰角10度（2）の位置にセンサ6bとが配置されている。センサ6aは、主に溶接部に照射されたのちワーク5に吸収されることなく反射したレーザー光線の反射光を検出するためのセンサである。センサ6bは、溶接に際して溶接部から発生するプラズマ光（可視光）を検出するためのセンサである。両センサ6a、6bによって検出された光（反射光とプラズマ光）に基づいて溶接部の溶接品質がリアルタイムに判断される。本発明のモニタリング方法およびモニタリング装置は、レーザー光線の反射光を用いてポロシティーの発生を検出するので、センサ6aが特に重要なセンサになる。

【0020】

図2は、本発明にかかる品質モニタリング装置を備えたYAGレーザー溶接装置の概念図である。図に示すYAGレーザー溶接装置は、YAGレーザー発振器1を備え、このYAGレーザー発振器1で発生したレーザー光線は光ファイバーケーブル2によって集光光学系に導かれ、コリメーターレンズ3によって平行光とされたのち、集光レンズ4によりワーク5の表面に集光され、その集光されたレーザー光線のパワーによってワーク5を溶接する。

【0021】

10

20

30

40

50

一方、ワーク5の表面からの仰角 θ_1 が 60° となる第1の位置にはセンサ6aが配設され、このセンサ6aによって、溶接部Fに照射されたのちワーク5に吸収されることなく反射したYAGレーザーの反射光がその強度に応じた電気信号に変換される。したがって、センサ6aは、電気信号変換手段として機能する。また、ワーク5の表面からの仰角 θ_2 が 10° となる第2の位置にはセンサ6bが配設され、このセンサ6bによって、溶接に際して溶接部Fで発生するプルーム（高温の金属蒸気）からのプラズマ光（可視光）がその強度に応じた電気信号に変換される。両センサ6a、6bによって変換された電気信号は、増幅器（プリアンプ）、バンドパスフィルター、A/D変換器、パソコンなどから構成される計測装置7に入力される。

【0022】

前記センサ6a、6bは、図3に示すように、2つのフォトダイオード8、9と、ダイクロイックミラー10、および $1064\text{nm} \pm 10\text{nm}$ の波長のみを透過する干渉フィルタ11から構成されている。

【0023】

当該センサ6aおよび6bにおいては、まず、図中の左側から入射した溶接部からの光がダイクロイックミラー10によって波長に応じて選択される。すなわち波長 500nm 以下の可視光はダイクロイックミラー10に反射されてフォトダイオード8に導かれ、プラズマ光として電気信号に変換されて、その強度が検出される。一方、溶接部からの入射光のうちの赤外光は、ダイクロイックミラー10を透過したのち、 $1.06\mu\text{m}$ の波長を有するYAGレーザー光のみが干渉フィルタ11を透過してフォトダイオード9に導かれ、YAG反射光として電気信号に変換され、前記計測装置7にそれぞれ入力される。本発明のモニタリング方法およびモニタリング装置は、レーザー光線の反射光を用いてポロシティーの発生を検出するので、センサ6aに設けられているフォトダイオード9からの電子信号を用いることになる。

【0024】

図4は、図2に示した計測装置7の具体的な構成を示す図である。この計測装置7は、各センサ6a、6bに設けられているフォトダイオード8、9のそれぞれに対して設けられている。したがって、本発明のモニタリング装置には4台の計測装置7が設けられている。各計測装置7の構成は同一である。

【0025】

計測装置7は、フォトダイオード9からの電気信号を一定のレベルまで増幅する増幅器（プリアンプ）7A、増幅器7Aから出力されたアナログの電気信号をデジタルの電気信号に変換するA/D変換器7B、7D、特定の周波数帯域の電気信号のみを通過させるバンドパスフィルター7C、入力された電気信号の周波数分布を算出する周波数分布算出手段としての機能、特定の周波数帯における信号強度を算出する信号強度算出手段としての機能、および、ポロシティーの発生の状況を判断する溶接品質判断手段としての機能を備えたパソコン7E、溶接品質の判断結果を表示するためのディスプレイ7Fから構成される。

【0026】

図5から図7は、溶接品質の検出原理の説明に供する図である。溶接部からの光を分析することによってなぜ溶接品質が検出できるのかを、これらの図に基づいて説明する。図5、図6は、溶接の被対象物である亜鉛めっき鋼板を重ね溶接した場合のポロシティーの発生状況を示している。図5に示すように、YAGレーザー溶接装置100により、亜鉛めっき鋼板の突合せ部20に高パワー密度のYAGレーザー光線が照射されると、照射された部分（溶接部）がレーザー光線のエネルギーを受けて溶融し始め、金属が溶融しているキーホール25が形成される。このとき、鋼板の表面にメッキされている亜鉛メッキ層21は、母材である鋼22の溶融温度では金属蒸気となってしまう、金属蒸気の圧力によってキーホール25内に気泡状のポロシティー（ブローホール）23が発生する。

【0027】

図6に示すように、レーザー光線は、キーホール25の前面の壁26で吸収されている。

10

20

30

40

50

亜鉛メッキ鋼板の重ね溶接では、2枚の鋼板の界面に存在する亜鉛メッキ層21が溶けたときに、亜鉛金属蒸気27がキーホール25内に噴出する。これがポロシティー23になる。YAGレーザー光線による溶接では、レーザー光線の波長が $1.06\mu\text{m}$ 程度と短い
ため、亜鉛金属蒸気27がキーホール25の開口部より噴出したブルーム28に対しては、
レーザー光線はほぼ透明である。したがって、ブルーム28を観察してもポロシティー
23の有無のような高速な現象をつかまえることはできない。

【0028】

ところが、YAGレーザー光線の反射光は、キーホール25前面の壁26の状態によって
変化すると考えられる。亜鉛金属蒸気27の噴出によってキーホール25前面の壁26の
状態が変動すると、レーザー光線の反射光も変動することになる。この現象は、鋼板界面
付近のキーホール25内部で起こるので、観察角度が低い位置にあるセンサ6bではとら
えることができず、観察角度が高い位置にあるセンサ6aによってのみとらえることが
できる。

10

【0029】

したがって、センサ6aを設置する角度は、キーホール25前面の壁26の変動状態が反
射光によってとらえることができる角度の範囲内で設定する必要がある。実際には、溶接
部に照射されるレーザー光線に干渉せずに、キーホール25前面の壁26の変動状態が反
射光によってとらえることができる範囲の、仰角45度から70度の範囲の角度である。
なお、この角度の範囲内でのさらに最適な角度は、板厚、板間の隙間、レーザー光線のパ
ワーや焦点位置などの溶接条件に応じて決まる。本実施の形態では、図1に示したように
仰角60度としている。

20

【0030】

また図7に示すように、亜鉛メッキ鋼板同士が突合せ部20においてきちんと接触してな
く、多少の隙間30が生じてしまっている場合には、キーホール25で溶融した金属がそ
の隙間30に流れ込むために、アンダーフィル31という溶接状態が発生する。このアン
ダーフィル31の発生は、観察角度の低い位置にあるセンサ6bによってもとらえること
ができる。

【0031】

つぎに、本発明にかかるモニタリング装置でポロシティーを検出するための処理を、図8
のフローチャートおよび図9から図12を参照しながら説明する。図9から図12に示さ
れている波形などのデータは、次の溶接条件（基本溶接条件）に基づいて測定された結果
得られたものである。YAGレーザーの出力は加工点で3Kwである。亜鉛メッキ鋼板の
厚みはそれぞれ0.8mmのものを用いた。溶接速度は4.5m/minである。

30

【0032】

図8のフローチャートは、本発明にかかるモニタリング方法の手順を示したものである。
図6に示したように、YAGレーザー光線が亜鉛メッキ鋼板の突合せ部20に照射されると、
照射された部分がレーザー光線のエネルギーを受けて溶融する。溶融した金属は非常
に高温であるから、キーホール25およびブルーム28からは、可視光、赤外光、YAG
レーザー光線の反射光などが放射状に放出される。センサ6aとセンサ6bは、これらの
光を入射し、電気信号に変換する。変換された電気信号は、パソコン7E（図4参照）の
図示しない記憶装置に格納される（S1）。

40

【0033】

図9は、基本溶接条件の下で溶接が行われたときの、YAGレーザー光線の反射光から得
られた電気信号の（フォトダイオード9で変換された）波形図である。この電気信号の波
形図は、サンプリング周波数20KHzで作成されたものである。この波形図において、
縦軸は信号強度を表し、横軸は時間を表している。また、YHは、観察角度が高い位置に
あるセンサ6aによってとらえられた反射光の時間的変動状況を示している。YLは、観
察角度が低い位置にあるセンサ6bによってとらえられた反射光の時間的変動状況を示し
ている。この図では、正常な溶接が行われた「良品」、ポロシティーの発生が過大である
「ポロシティー品」、アンダーフィルが生じた「アンダーフィル品」の波形が示されてい

50

る。アンダーフィル品の場合、良品の場合とは明らかにその波形形状が異なるので、アンダーフィル品であることの判断は容易である。しかし、ポロシティー品の場合には、良品の場合との比較だけでは、波形形状に相違が見られないことから、ポロシティー品であることの判断は困難である。

【 0 0 3 4 】

図 1 0 は、基本溶接条件の下で溶接が行われたときの、キーホール 2 5 およびブルーム 2 8 の可視光から得られた電気信号の（フォトダイオード 8 で変換された）波形図である。この波形図も、サンプリング周波数 2 0 K H z で作成されたものである。この波形図において、縦軸は信号強度を表し、横軸は時間を表している。また、Y H は、観察角度が高い位置にあるセンサ 6 a によってとらえられた可視光の時間的変動状況を示している。Y L は、観察角度が低い位置にあるセンサ 6 b によってとらえられた可視光の時間的変動状況を示している。この図では、正常な溶接が行われた「良品」、ポロシティーの発生が過大である「ポロシティー品」、アンダーフィルが生じた「アンダーフィル品」の波形が示されている。アンダーフィル品の場合、良品の場合とは明らかにその波形が異なるので、アンダーフィル品であることの判断は容易である。しかし、ポロシティー品の場合には、良品の場合との比較だけでは、波形形状に相違が見られないことから、ポロシティー品であることの判断は困難である。

10

【 0 0 3 5 】

このように、各センサ 6 a、6 b によって反射光、可視光それぞれの時間的な強度変化状態を調べただけでは良品とポロシティー品との差別化は困難である。このため、記憶装置に格納した波形のうち、観察角度が高い位置にあるセンサ 6 a によってとらえられた反射光の時間的変動状況を示す Y H のみの波形を取り出して、この波形に F F T（高速フーリエ変換）信号強度演算を施す（S 2）。

20

【 0 0 3 6 】

図 1 1 は、図 9 に示した Y H の波形に F F T 信号強度演算を施し、その結果得られた波形図である。この波形図において、縦軸は相対信号強度を表し、横軸は周波数を表している。相対信号強度とは、それぞれの周波数の信号成分がどの程度含まれているかを示す量であり、この相対信号強度は単位を持たない。この図を見れば明らかのように、F F T 信号強度演算を施すと、良品とポロシティー品との間でも相対信号強度の分布に相違が生じる。つまり、良品は 1 0 0 H z から 5 0 0 H z 付近に相対信号強度のピーク部分が存在しているが、ポロシティー品は 0 H z から 1 0 0 0 H z 付近に相対信号強度のピーク部分が存在している。本発明の品質モニタリング方法では、この違いを次のようにして差別化する。

30

【 0 0 3 7 】

F F T（高速フーリエ変換）信号強度演算を施した結果得られた図 1 1 の波形の内、6 0 5 H z から 6 5 0 H z の間の信号強度の合計値を算出し（S 3）、その合計値が、基準値として設定されている 1 7 0 , 0 0 0 を超えれば（S 4 : Y e s）、ポロシティーの発生が過大であると判断し（S 5）、超えていなければ（S 4 : N o）、ポロシティーの発生は正常範囲内であると判断する（S 6）。なお、フローチャートには示していないが、ポロシティーの発生の判断結果は、ディスプレイ 7 F に表示される。

40

【 0 0 3 8 】

つぎに、F F T（高速フーリエ変換）信号強度演算を施した結果得られた図 1 1 の波形の特徴量から、マハラノビス距離を算出する（S 7）。このマハラノビス距離は、良品の波形の特徴量から得られた正規化された基準空間から、観察されたワークの波形の特徴量（位置）がどの程度離れているのかを距離で表したものである。求められたマハラノビス距離にしたがって、図 1 2 に示すような分布図を作成する。たとえば、図 1 2 に示すように、図 1 1 の波形図から得られた特徴量（位置）を、縦軸が F F T 信号強度、横軸が対数表示されたマハラノビス距離となっているグラフに書き込んでいくと、それぞれのワークの特徴量に応じて分布する。

【 0 0 3 9 】

50

この分布図に基づいて、マハラノビス距離が基準値1000を超えれば(S8:Yes)、アンダーフィルが生じていると判断し(S9)、超えていなければ(S8:No)、アンダーフィルは生じていないと判断する(S10)。

【0040】

以上の実施の形態では、ポロシティーの発生が過大であるか否かを、特定の周波数帯の信号強度の合計値に基づいて判断したが、図12の分布図を見ればわかるように、ポロシティー品は、マハラノビス距離が2以下で、かつ信号強度が170000以上の領域に分布しているので、アンダーフィルの発生を判断する場合と同様に、FFT(高速フーリエ変換)信号強度演算を施した結果得られた図11の波形の特徴量から、マハラノビス距離と特定の周波数帯の信号強度とを算出し、この距離と信号強度とがどの領域に属するかを判断することによっても、ポロシティーの発生が過大であるか否かを判断することができる。

10

【0041】

なお、以上の実施の形態では、板厚が0.8mmで、溶接速度が4.5m/minの溶接条件で溶接を行った場合について述べたが、本発明の品質モニタリング方法および品質モニタリング装置は、他の溶接速度や板厚に対しても適用可能である。溶接速度または板厚が上記の溶接条件とは異なる場合には、ポロシティーの発生を判断するための特定の周波数を変化させる。これは、溶接速度または板厚が変化すると、この変化と共に、ポロシティーの溶接状態の発生を判断するために有効な特定の周波数も変化してしまうからである。ポロシティーが発生したことを判断する精度を維持するためには、溶接速度または板厚によって必ずとポロシティーの発生を判断に最適な周波数が存在する。

20

【0042】

溶接速度または板厚の変化によって、この特定の周波数をどのように変化させれば、ポロシティーの発生を判断が常に正確にできるのかを、次のような実験によって求めた。ワークとして板厚が0.8mm、1.0mm、1.2mmの亜鉛メッキ鋼板を用い、2枚の鋼板を重ね合わせて溶接を行った。溶接速度は、3.0m/min~5.0m/minの間で変化させた。YAGレーザーの出力は加工点で3Kwであり、この出力は固定した。

【0043】

まず、板厚が変化した場合を説明する。実験は、溶接速度を3.5m/minで固定し、2枚の板厚合計を1.6mm~2.4mmの間で変化させた。たとえば、板厚合計が2.4mmの場合、ポロシティーが発生すると、0Hzから500Hzの周波数帯の信号強度が高くなる傾向が見られた。合計板厚を下げていくと、信号強度が高くなる周波数帯が大きくなった。この実験の結果を図13に示す。

30

【0044】

図13に示すように、板厚合計が、1.6mmでは0Hzから1000Hzの周波数帯の信号強度が高くなり、1.8mmでは0Hzから800Hzの周波数帯の信号強度が高くなり、2.0mmでは0Hzから700Hzの周波数帯の信号強度が高くなり、2.4mmでは0Hzから500Hzの周波数帯の信号強度が高くなる。したがって、ポロシティーの発生を判断は、板厚合計が何mmであるかによって、どの周波数帯により行うかを決める。なお、図13に示すような、板厚合計と周波数との関係は、計測装置7の記憶装置に記憶させておく。

40

【0045】

つぎに、溶接速度が変化した場合を説明する。実験は、板厚合計が1.6mmの場合に3.0m/min~5.0m/minの間で、また、板厚合計が2.0mmの場合に3.0m/min~5.0m/minの間で変化させた。どちらの板厚の場合も、溶接速度が速くなるに従い、信号強度が大きくなる周波数帯が小さくなった。この実験の結果を図14に示す。

【0046】

図14に示すように、板厚合計が1.6mmでは、溶接速度が3.5m/minで0Hzから1000Hzの周波数帯の信号強度が高くなり、溶接速度が4.0m/minで0H

50

z から 800 Hz の周波数帯の信号強度が高くなり、溶接速度が 4.5 m/min で 2.0 mm では 0 Hz から 700 Hz の周波数帯の信号強度が高くなり、溶接速度が 5.0 m/min で 0 Hz から 600 Hz の周波数帯の信号強度が高くなる。

【0047】

また、板厚合計が 2.0 mm では、溶接速度が 3.0 m/min で 0 Hz から 800 Hz の周波数帯の信号強度が高くなり、溶接速度が 3.5 m/min で 0 Hz から 700 Hz の周波数帯の信号強度が高くなり、溶接速度が 4.0 m/min で 0 Hz から 600 Hz の周波数帯の信号強度が高くなる。

【0048】

したがって、ポロシティーの発生の判断は、溶接速度が何 m/min であるかによって、
どの周波数帯により行うかを決める。なお、図 13 に示すような板厚合計と周波数との関係、および、図 14 に示すような板厚合計と溶接速度と周波数との関係は、図 15 に示すようなテーブルとして計測装置 7 の記憶装置に記憶させておく。この図では、溶接速度が存在している条件のところには、ポロシティーの発生を判断するために有効な周波数が記憶されていることを示している。たとえば、上板の板厚 t_1 が 1.2 mm で、下板の板厚 t_2 が 0.8 mm で、溶接速度が 3.5 m/min では、図 14 に示したように、合計板厚が 2.0 mm で溶接速度が 3.5 m/min の、0 Hz から 800 Hz の周波数帯が用いられる。また、上板の板厚 t_1 と下板の板厚 t_2 が 0.8 mm で、溶接速度が 5.0 m/min では、図 14 に示したように、合計板厚が 1.6 mm で溶接速度が 5.0 m/min の、0 Hz から 600 Hz の周波数帯が用いられる。

【0049】

以上のように、板厚と溶接速度との変化に基づいて、ポロシティーの発生を判断するために有効な周波数が変化するのは、溶接が行われているときに溶接部に生じる、キーホールの形状の相違に起因すると考えることもできる。

【0050】

図 16 に示すように、YAG レーザー光線が当たると材料が溶融する部分、すなわちキーホールが生じるが、このキーホールの形状は、板厚や溶接速度によって変化する。たとえば、キーホールの形状は、板厚が厚くなると、キーホールの深さ H が大きくなり、細長い形状になる。したがって、キーホールの深さ H と当該キーホールの幅 D とから算出されるアスペクト比 H/D は大きくなる。また、キーホールの形状は、溶接速度が速くなると、
キーホールの幅 D が小さくなり、この場合も細長い形状になる。したがって、キーホールの深さ H と当該キーホールの幅 D とから算出されるアスペクト比 H/D は大きくなる。

【0051】

図 13 および図 14 に示したように、板厚が厚くなったときにも、溶接速度が速くなったときにも、ポロシティーの発生を判断するために有効な周波数が低くなるのは、上記のように、板厚が厚くなったときにも、溶接速度が速くなったときにも、アスペクト比 H/D が大きくなるので、キーホールの形状が細長くなってキーホールの共振周波数が低下し、その結果、信号強度が大きくなる周波数帯が低下するのが原因ではないかと思われる。

【0052】

したがって、CCD カメラを用いてキーホールの形状を認識し、アスペクト比 H/D を求めることによって、ポロシティーの発生を判断するための有効な周波数を求めても良い。
(実施の形態 2)

つぎに、第 2 の実施の形態について説明する。第 1 の実施の形態では、ポロシティーの発生のみを判断を行っていたが、この実施の形態では、さらに、アンダーフィルや未溶着といった溶接状態の発生の判断も正確に行うものである。

【0053】

なお、この実施の形態でも、レーザー溶接部の品質モニタリング装置の構成は、図 1 から図 4 に示したものとまったく同一であるので、それらの構成の説明は省略する。なお、この実施の形態においては、図 4 に示したパソコン 7E が、記憶手段としての機能と、アンダーフィルの発生を検出するための第 1 の周波数帯における信号強度、ポロシティーの発

10

20

30

40

50

生を検出するための第2の周波数帯における信号強度、および、未溶着の発生を検出するための第3の周波数帯における信号強度とを算出する信号強度算出手段としての機能と、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着の溶接状態の発生を判断する溶接品質判断手段としての機能と、記憶されている1つの溶接個所に対する電気信号の経時変化を時系列に複数の領域に分割する分割手段としての機能を有している。

【0054】

本発明にかかるモニタリング装置でアンダーフィル、ポロシティー、未溶着の溶接状態を検出するための処理を、図18のフローチャートおよび図19から図25を参照しながら説明する。図19から図21に示されている波形データは、次の溶接条件（基本溶接条件）に基づいて測定された結果得られたものである。YAGレーザーの出力は加工点で3Kwである。亜鉛メッキ鋼板の厚みはそれぞれ0.8mmのものをを用いた。溶接速度は4.5m/minである。

10

【0055】

本実施の形態では、未溶着の溶接状態も検出できるようにしている。未溶着とは、所望の溶接強度が得られない不完全な溶接のことである。未溶着の溶接状態は、図17に示すように、2枚の鋼板を重ねて溶接するとき、上下の鋼板の突合せ部20においてその板間の隙間40が大き過ぎることが原因で生じる。隙間40が大きすぎると、下側の鋼板まで十分に熱が回らずに、溶接部が十分に溶融されないからである。

【0056】

図18のフローチャートは、本発明にかかるモニタリング方法の手順を示したものである。図6に示したように、YAGレーザー光線が亜鉛メッキ鋼板の突合せ部20に照射されると、照射された部分がレーザー光線のエネルギーを受けて溶融する。溶融した金属は非常に高温であるから、キーホール25およびプルーム28からは、可視光、赤外光、YAGレーザー光線の反射光などが放射状に放出される。センサ6aとセンサ6bは、これらの光を入射し、電気信号に変換する。変換された電気信号は、溶接個所ごとにパソコン7E（図4参照）の図示しない記憶装置に格納される（S21）。

20

【0057】

図19および図20は、基本溶接条件の下で溶接が行われたときの、YAGレーザー光線の反射光から得られた電気信号の（フォトダイオード9で変換された）波形図である。これらの電気信号の波形図は、サンプリング周波数20KHzで作成されたものである。これらの波形図において、縦軸は信号強度（電圧値）を表し、横軸は時間を表している。これらの波形図は、観察角度が高い位置にあるセンサ6aによってとらえられた、ある溶接個所における反射光の時間的変動状況（経時変化）を示している。図19には、正常な溶接が行われた「良品」、および、不完全な溶接になってしまった「未溶着品」の波形が示され、図20には、アンダーフィルが生じた「アンダーフィル品」、および、ポロシティーの発生が過大である「ポロシティー品」の波形が示されている。これらの波形図を対比してみると、アンダーフィル品の波形形状だけが他の波形形状とは明らかに異なるのでアンダーフィル品であることの判断は容易である。しかし、未溶着品およびポロシティー品の波形形状は、良品の波形形状と比較しても明らかな相違が見られない。このため、この波形図からこれらの溶接状態を見極めるのは困難である。

30

40

【0058】

このように、反射光の時間的な強度変化状態を調べただけでは、良品と未溶着品および良品とポロシティー品との差別化は困難である。このため、記憶装置に格納した波形のうち、観察角度が高い位置にあるセンサ6aによってとらえられた1つの溶接個所の反射光の時間的変動状況を示す波形を取り出して、この波形にFFT（高速フーリエ変換）信号強度演算を施す（S22）。

【0059】

図21は、図19および図20に示した波形のそれぞれにFFT信号強度演算を施し、その結果得られた波形図である。この波形図において、縦軸は信号強度を表し、横軸は周波数を表している。信号強度とは、それぞれの周波数の信号成分がどの程度含まれているか

50

を示す量（面積）であり、この信号強度は単位を持たない。

【0060】

この図を見れば明らかなように、FFT信号強度演算を施すと、「良品」、「未溶着品」、「アンダーフィル品」、「ポロシティー品」のそれぞれについて信号強度の分布に相違が生じる。本発明の品質モニタリング方法では、この違いを次のようにして差別化する。

【0061】

FFT（高速フーリエ変換）信号強度演算を施した結果得られた図21の波形の内、0～1000Hzの周波数帯をアンダーフィルの発生を検出するための第1の周波数帯に設定し、また、同様に、0～1000Hzの周波数帯をポロシティーの発生を検出するための第2の周波数帯に設定する。このような周波数帯に設定するのは、実験の結果によれば、この周波数帯でアンダーフィルまたはポロシティーの発生が明確に検出できたからである。ここでは、第1および第2の周波数帯は同一の周波数帯としているが、ポロシティーの発生を検出するために有効な周波数帯は、第1の実施の形態でも述べたように、板厚または溶接速度に応じて変える必要がある。したがって、板厚または溶接速度によっては、ポロシティーの発生を検出するための第2の周波数帯が、たとえば、0～600Hzのように変化する。

10

【0062】

そして、引き続き、3000Hzから6000Hzの周波数帯を未溶着の発生を検出するための第3の周波数帯に設定する。図21を見ればわかるように、未溶着が発生したときには、この周波数帯の信号強度が、アンダーフィルまたはポロシティーが発生したときの信号強度と比較して、高くなる傾向にあるからである。また、この周波数帯を設定したのも、実験の結果によれば、この周波数帯で未溶着の発生が明確に検出できたからである。

20

【0063】

これらの周波数帯の信号強度を求め、図22のような仮想的に設けられる2軸座標系に仮想的にプロットする。この2軸座標系は、横軸が、0Hz～1000Hzの周波数帯（第1の周波数帯と第2の周波数帯）における信号強度を示し、縦軸が、3000Hz～6000Hz（第3の周波数帯）における信号強度の大きさをそれぞれ示す座標系である。

【0064】

たとえば、アンダーフィル品の場合は、図21に示したような波形が得られるが、この波形に対して、0Hz～1000Hzの周波数帯の波形から得られる面積と3000Hz～6000Hzの周波数帯の波形から得られる面積とを求め、それぞれの面積を横軸と縦軸にプロットする。このプロットにより、図22に示すように、アンダーフィル品（印）は、2軸座標系の横軸と縦軸との信号強度が小さい領域で分布する傾向にあることがわかる。同様に、ポロシティー品（印）の場合は、2軸座標系の縦軸の信号強度が小さく横軸の信号強度が大きい領域に分布する傾向にあることが、また、未溶着品（印）の場合は、2軸座標系の縦軸の信号強度が大きく横軸全体の領域に分布する傾向にあることがわかる。さらに、良品（印）の場合は、2軸座標系の縦軸の信号強度が小さく横軸の信号強度が中間程度の領域に分布する傾向にあることがわかる。

30

【0065】

アンダーフィル品、ポロシティー品、未溶着品、良品が、上記の2軸座標系にどのように分布するのかを、多数の溶接品について調査した結果、それぞれの分布領域が図23に示すように分かれることがわかった。また、1つの溶接個所で部分的にアンダーフィル、ポロシティー、未溶着の現象が組み合わされて発生した場合には、それぞれの領域の境界付近に分布することが考えられる。このため、本発明では、図24のように、溶接状態の種類の判別が困難な混在領域を規定した。したがって、仮想的な2軸座標系には、アンダーフィル領域、良品領域、ポロシティー領域、未溶着領域、混在領域が存在する。なお、混在領域をどの程度の幅でとるのは、実験またはこの手法の運用の結果に応じて決める。

40

【0066】

なお、この仮想的な2軸座標系は、図4に示したパソコンFEで作られるが、これらの領域が2次元平面として実際に作られるわけではない。また、上記の各信号強度の演算結果

50

に基づいて、この2軸座標系にその演算結果が仮想的にプロットされるが、そのプロットがその2次元平面上に実際に行われるものではない。パソコン7Eには各領域を形成する信号強度の数値範囲が記憶され、パソコン7Eは、演算結果がどの領域の数値範囲に属するかによって、どの溶接状態が発生したのか、また、良品であるのかを即座に判断できる。

【0067】

図18のフローチャートに戻って、溶接中に得られる、図21に示した波形に対して、0～1000Hzおよび3000Hz～6000Hzの信号強度を算出する(S23)。算出された0～1000Hzの信号強度と3000Hz～6000Hzの信号強度とによって特定される2軸座標系内の座標が、図24に示したどの領域かを判断する(S24)。

10

【0068】

そして、その座標があらかじめ設定した良品領域に属していれば(S24:YES)、その溶接個所の溶接は正常に行われたもの(良品)と判断する(S25)。一方、その座標があらかじめ設定した良品領域に属していなければ(S24:NO)、その座標があらかじめ設定したアンダーフィル領域、ポロシティー領域、未溶着領域のいずれかの領域に属しているか否かを判断する(S26)。

【0069】

その座標がアンダーフィル領域、ポロシティー領域、未溶着領域のいずれかの領域に属していれば(S26:YES)、属している領域の溶接状態が生じており、その溶接個所の溶接の品質には問題があると判断する(S27)。なお、フローチャートには示していないが、良品であったこと、またはいずれかの溶接状態の発生があったことは、ディスプレイ7Fに表示される。以上の処理によって、1つの溶接個所全体に対する判断が終了する。

20

【0070】

一方、その座標がアンダーフィル領域、ポロシティー領域、未溶着領域のいずれかの領域にも属していなければ、すなわち、図24の混在領域に属していれば(S26:NO)、図25に示すように、その溶接個所を複数の領域に分割し、それぞれの領域に対して再度、溶接状態の是非を判断する。

【0071】

再度の溶接状態の是非の判断は、次のような手順で行われる。

30

【0072】

前述のように、1つの溶接個所に対してセンサ6aから出力された電気信号の経時変化は、パソコン7Eの記憶装置に記憶されているが、再度の溶接状態の是非を判断するときには、この記憶されている電気信号の経時変化を時系列に複数の領域に分割する。たとえば、ある溶接個所の溶接長さが図25に示すように30mmであるときには、その溶接個所をたとえば6mmずつ5分割し、それぞれの分割された1つ1つの領域について、どのような溶接状態が発生しているのか、または良品であるのかを、上記の手順とまったく同一の手順で1つずつ判断する。

【0073】

この領域の分割を、記憶されている電気信号について当てはめると、溶接速度が本実施の形態では4.5m/minであるから、30mmの溶接個所を溶接するには、0.4sec要することになる。したがって、記憶装置に記憶されているこの溶接個所の電気信号は、0.4sec分の電気信号である。これを上記のように5分割するには、この電気信号を0.08secずつ時系列に分割する。この分割により、その溶接個所について、0～0.08secの第1時間帯、0.08sec～0.16secの第2時間帯、0.16sec～0.24secの第3時間帯、0.24sec～0.32secの第4時間帯、0.32sec～0.4secの第5時間帯の5つの時間帯の電気信号が得られる。なお、分割は、1mm程度から8mm程度の単位で行うのが望ましいが、溶接個所の形状や望まれる溶接品質の判断精度に応じて臨機応変に変えることも必要である。

40

【0074】

50

これらの時間帯の電気信号を記憶装置から1つずつ取り出して、これら5つの電気信号の波形にFFT（高速フーリエ変換）信号強度演算を施す（S28）。そして、それぞれの波形に対して、0～1000Hzおよび3000Hz～6000Hzの信号強度を算出する（S29）。それぞれ算出された、0～1000Hzの信号強度と3000Hz～6000Hzの信号強度が、図24に示した2軸座標系内のそれぞれのどの領域に存在するかを判断する（S30）。ここまでの処理により、たとえば、図25に示すように、第1時間帯に相当する領域（図25では左端の領域）では未溶着が生じており、第2時間帯に相当する領域（その右隣の領域）でも未溶着が生じており、残りの第3時間帯から第5時間帯（残りの右端までの領域）は良品であると判断される。

【0075】

つぎに、その溶接個所に対する良品割合を算出する（S31）。上記の場合、5分割した領域のうちの2つの領域にいずれかの溶接状態が生じていたのであるから、良品割合は60%となる。

【0076】

良品であると判断された領域の数が、分割した領域の数に対してあらかじめ設定した必要良品割合（たとえば70%）を超えていれば（S32：YES）、その溶接個所は全体としてみれば良品であると判断する（S33）。このような手法を用いるのは、たとえば、ある溶接個所において、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着などの溶接状態の発生を見込んで、その溶接長さを設計上要求される溶接長さよりも長く設定しているときには、算出された良品部分の長さが設計上要求される溶接長さよりも長ければ、その溶接個所は総合的に良品と判断しても、溶接品質上は問題がないからである。

【0077】

一方、良品であると判断された領域の数が、分割した領域の数に対してあらかじめ設定した必要良品割合（たとえば70%）を超えていなければ（S32：NO）、その溶接個所はアンダーフィル、ポロシティー、未溶着などの溶接状態が存在し、その溶接個所は総合的にみて溶接品質に問題があると判断する（S34）。なお、フローチャートには示していないが、総合的にみて良品であったこと、または総合的にみて溶接品質に問題があったことは、ディスプレイ7Fに表示される。

【0078】

このように、ある溶接個所全体に対する判断が溶接品質に問題があるとの判断であったときに、その溶接個所に対する再判断をすると、溶接個所全体のみの評価法に比較して判断精度を向上させることができる。

【0079】

以上の処理は、溶接と同時にリアルタイムで行われる。また、上記の分割判断が行われたとしても、その判断は、次の溶接個所の溶接が行われるまでに終了する。そして、最終的にその溶接個所が溶接品質に問題があると判断されると、その溶接個所にはペイントが吹き付けられる。1つのワークには溶接個所が何十個所も存在する場合があるが、このようにペイントが吹き付けられることによって、後工程での最終検査が容易になる。最終検査では、ペイントを吹き付けられた部分が本当に溶接品質に問題があるか否かがもう一度人間の目で判断される。この最終検査でも溶接品質に問題があると判断されたときには、そのワークがバックアップ工程に搬送されて補修作業が行われる。

【0080】

なお、以上の処理では、板厚または溶接速度が一定の場合について述べた。第1の実施の形態でも述べたように、板厚、溶接速度またはアスペクト比によって自ずとポロシティーの発生の判断に最適な周波数が存在する。したがって、本実施の形態でも、第1の実施の形態の場合と同様に、板厚、溶接速度またはアスペクト比によってその周波数（本実施の形態では、第2の周波数帯）を変化させる。なお、板厚の変化によってどのような周波数にするのか、または溶接速度の変化によってどのような周波数にするのかは、第1の実施の形態で詳細に説明したので、ここでの説明は省略する。

【0081】

10

20

30

40

50

以上のように、本実施の形態によれば、ポロシティー、アンダーフィル、未溶着などの溶接状態の発生を、まったく同一の演算処理によって判断することができるので、従来のように、それぞれの種類の溶接状態の発生を検出するために、それぞれ異なる複雑な演算処理をする必要がなくなる。したがって、その計算処理に対するCPUの処理負担はかなり小さくなる。

【0082】

また、分割判断という手法によって、溶接を行った部分の一部だけに発生しているいずれかの溶接状態も容易に判断することができ、発生している溶接状態の種類の判断精度が格段に向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明にかかる品質モニタリング装置を備えたYAGレーザー溶接装置の具体的な構成図である。

【図2】本発明にかかる品質モニタリング装置を備えたYAGレーザー溶接装置の概念図である。

【図3】センサ内部の具体的な構成を示す図である。

【図4】図2に示した計測装置の具体的な構成を示す図である。

【図5】溶接品質の検出原理の説明に供する図である。

【図6】溶接品質の検出原理の説明に供する図である。

【図7】溶接品質の検出原理の説明に供する図である。

【図8】本発明の第1の実施の形態にかかるモニタリング方法の手順を示すフローチャートである。

【図9】基本溶接条件の下で溶接が行われたときの、YAGレーザー光線の反射光から得られた電気信号の波形図である。

【図10】基本溶接条件の下で溶接が行われたときの、キーホールおよびブルームの可視光から得られた電気信号の波形図である。

【図11】図9に示したYHの波形にFFT信号強度演算を施し、その結果得られた波形図である。

【図12】求められたマハラノビス距離に基づいて描かれた分布図である。

【図13】板厚合計とポロシティーの発生を判断するために有効な周波数との関係を示す図である。

【図14】板厚合計と溶接速度とポロシティーの発生を判断するために有効な周波数との関係を示す図である。

【図15】計測装置の記憶装置に記憶されるテーブルの一例を示す図である。

【図16】溶接部に生じるキーホールのアスペクト比の説明に供する図である。

【図17】未溶着の溶接状態の説明に供する図である。

【図18】本発明の第2の実施の形態にかかるモニタリング方法の手順を示すフローチャートである。

【図19】基本溶接条件の下で溶接が行われたときの、YAGレーザー光線の反射光から得られた電気信号の波形図である。

【図20】基本溶接条件の下で溶接が行われたときの、YAGレーザー光線の反射光から得られた電気信号の波形図である。

【図21】図19と図20に示した電気信号に対してFFT信号強度演算を施し、その結果得られた波形図である。

【図22】アンダーフィル品、ポロシティー品、未溶着品、良品の分布状況の説明に供する図である。

【図23】2軸座標系に規定されている、アンダーフィル領域、ポロシティー領域、未溶着領域、良品領域を示す図である。

【図24】2軸座標系に規定されている、混在領域の説明に供する図である。

【図25】再度の溶接状態の是非を判断する手順の説明に供する図である。

【符号の説明】

10

20

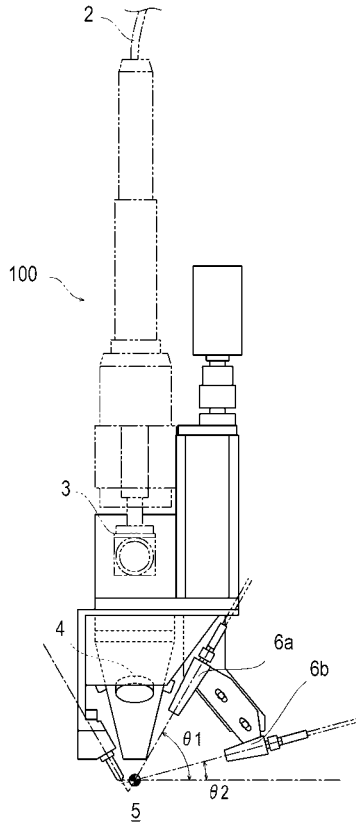
30

40

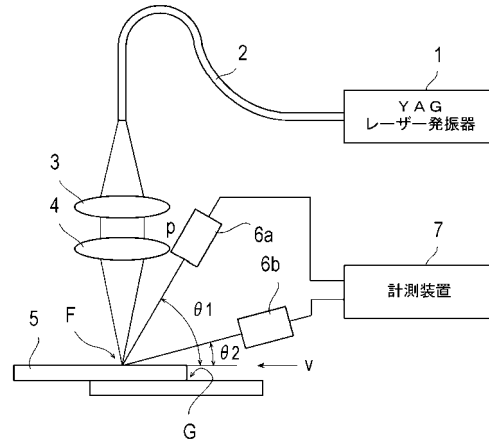
50

1 ... Y A Gレーザー発振器、	
2 ... 光ファイバケーブル、	
3 ... コリメーターレンズ、	
4 ... 集光レンズ、	
5 ... ワーク、	
6 a、6 b ... センサ、	
7 ... 計測装置、	
7 A ... 増幅器、	
7 B、7 D ... A / D変換器、	
7 C ... バンドパスフィルター、	10
7 E ... パソコン、	
7 F ... ディスプレイ、	
8、9 ... フォトダイオード、	
10 ... ダイクロイックミラー、	
11 ... 干渉フィルタ、	
20 ... 突合せ部、	
21 ... 亜鉛メッキ層、	
22 ... 鋼、	
23 ... ポロシティー、	
25 ... キーホール、	20
26 ... 壁、	
27 ... 亜鉛金属蒸気、	
28 ... プルーム、	
30、40 ... 隙間、	
31 ... アンダーフィル、	
100 ... Y A Gレーザー溶接装置。	

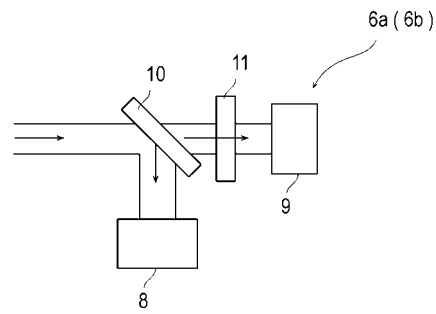
【 図 1 】



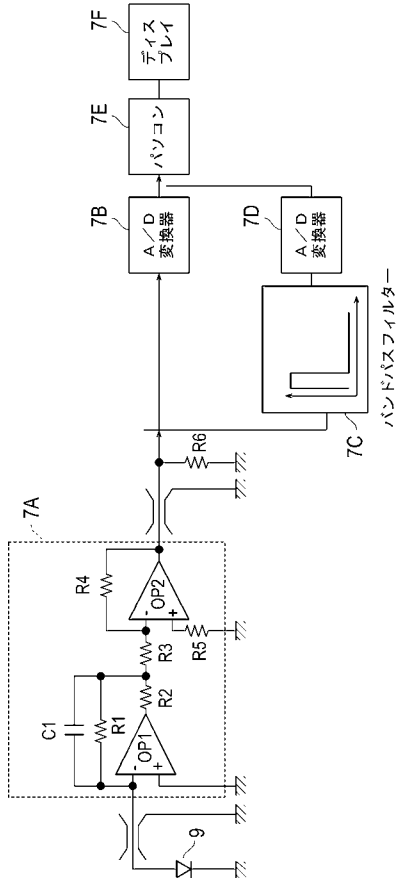
【 図 2 】



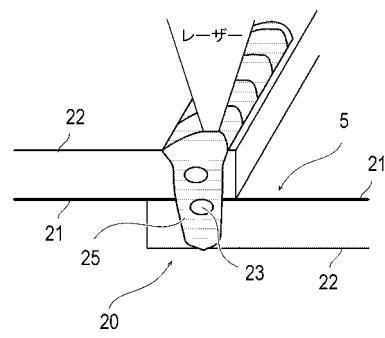
【 図 3 】



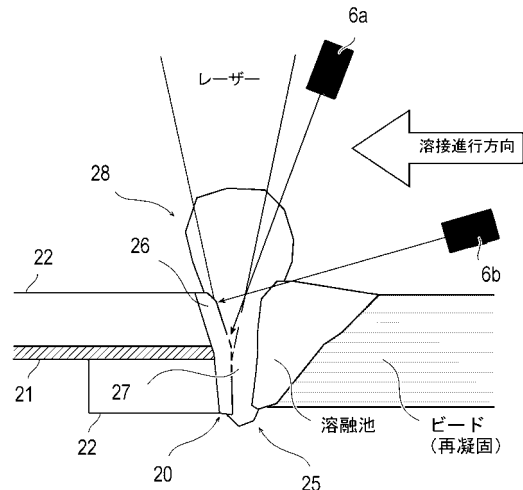
【 図 4 】



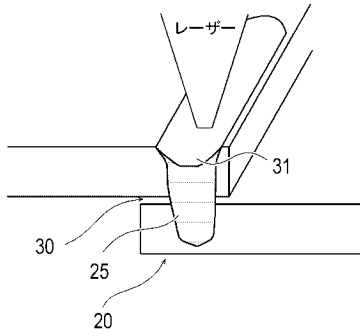
【 図 5 】



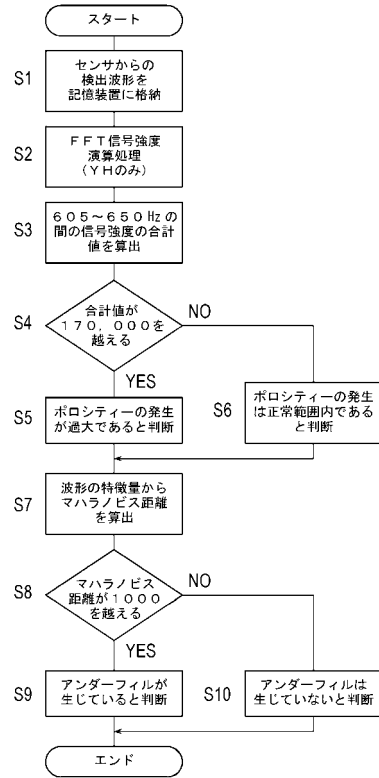
【 図 6 】



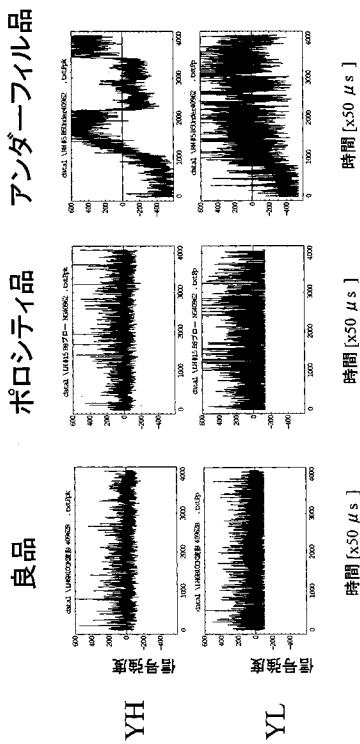
【 図 7 】



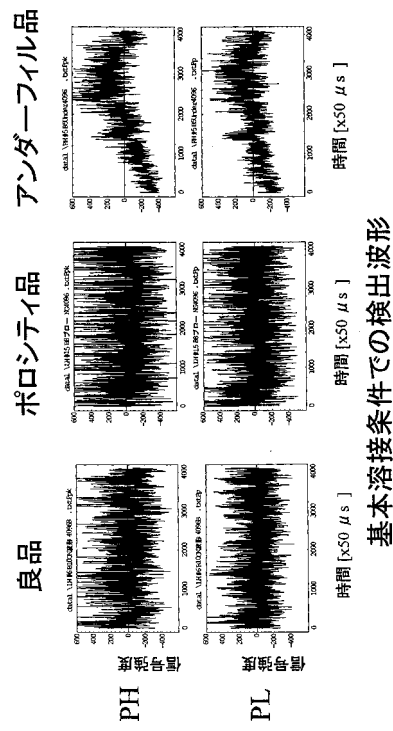
【 図 8 】



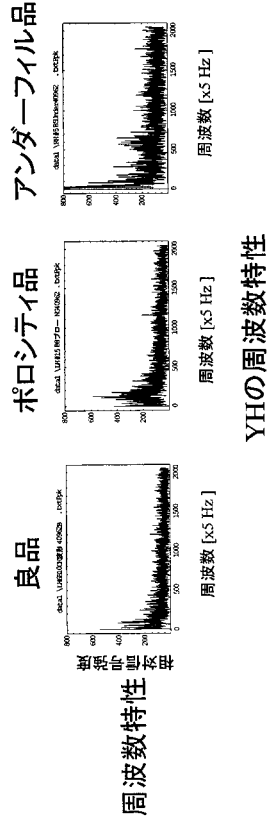
【 図 9 】



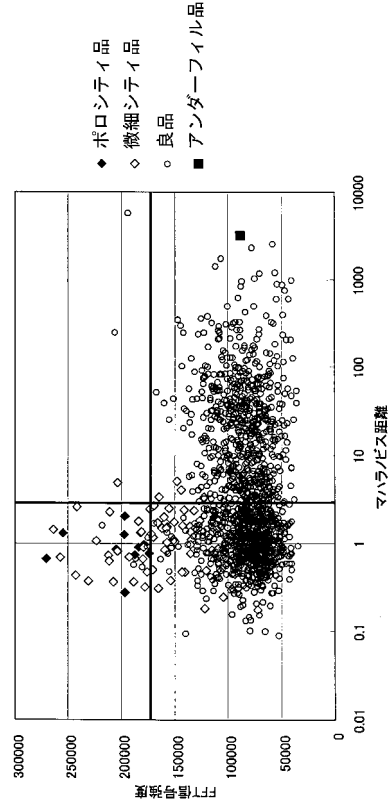
【 図 10 】



【 図 1 1 】

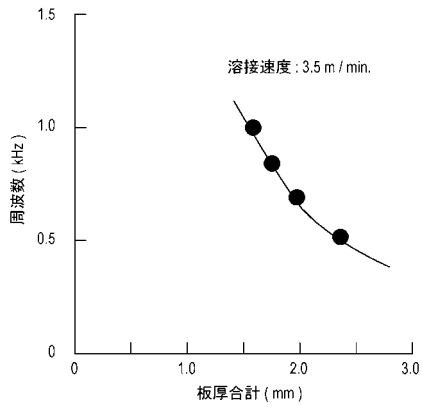


【 図 1 2 】



ポロシティとアンダーファイルの分離結果例

【 図 1 3 】

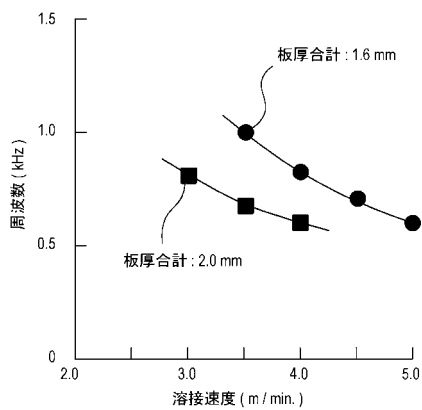


【 図 1 5 】

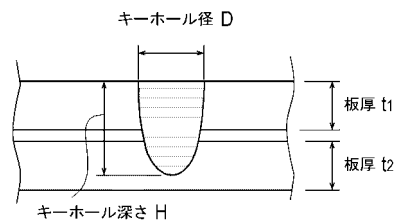
テーブル

下板\上板	0.8 mm	0.8 mm	1.0 mm	1.2 mm
	3.5 m / min.	4.0 m / min.	4.5 m / min.	5.0 m / min.
上板 t ₁	3.5 m / min.	3.5 m / min.	3.5 m / min.	3.5 m / min.
	3.5 m / min.	3.5 m / min.	3.5 m / min.	3.5 m / min.
下板 t ₂	1.0 mm	1.0 mm	1.0 mm	1.0 mm
	3.5 m / min.	3.5 m / min.	3.5 m / min.	3.5 m / min.

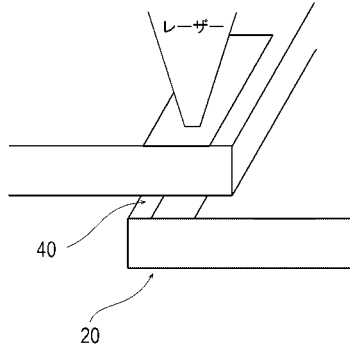
【 図 1 4 】



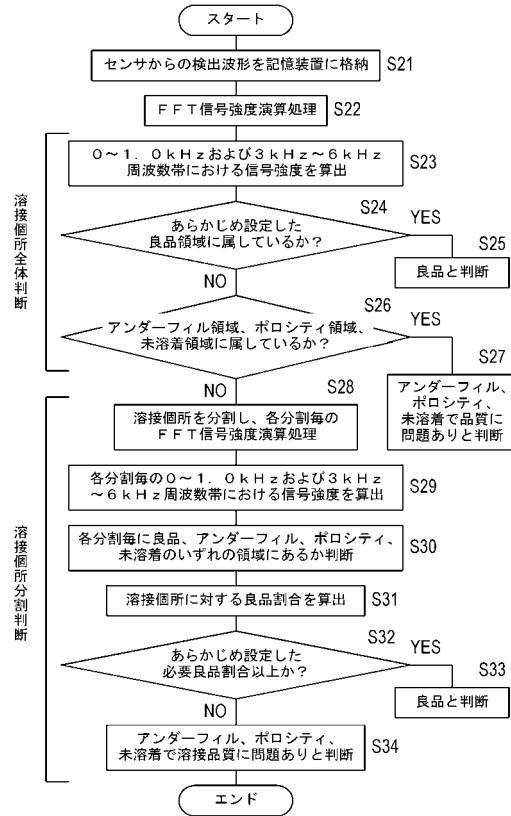
【 図 1 6 】



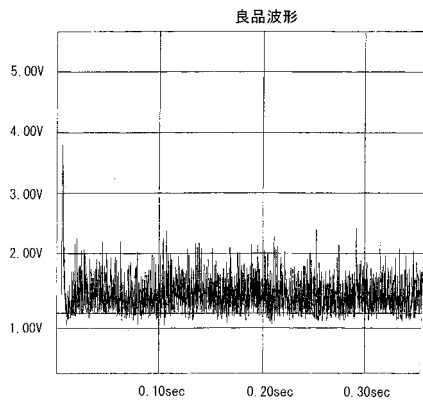
【 図 1 7 】



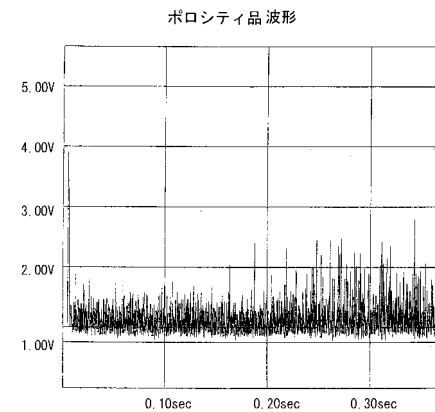
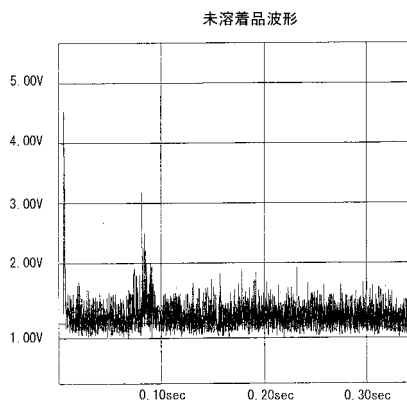
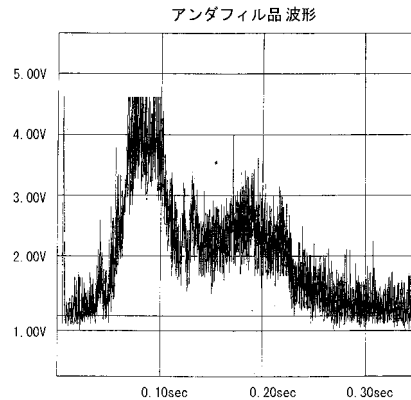
【 図 1 8 】



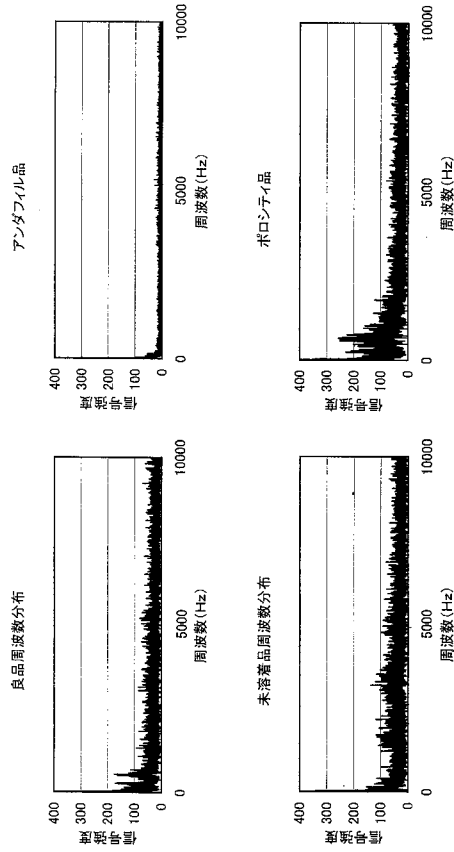
【 図 1 9 】



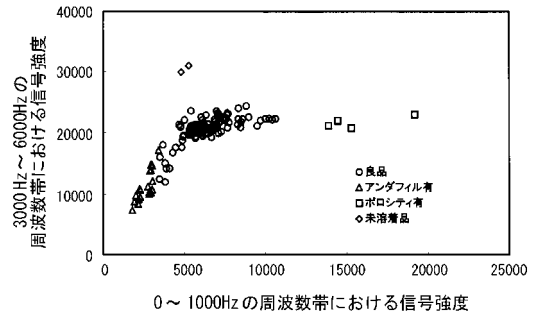
【 図 2 0 】



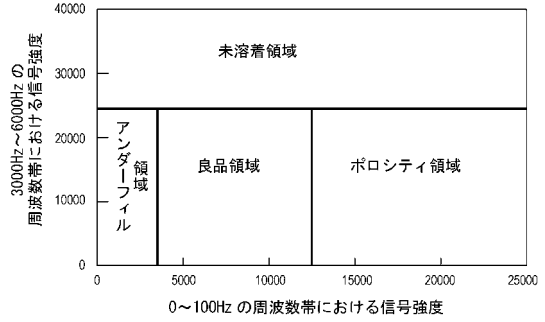
【 図 2 1 】



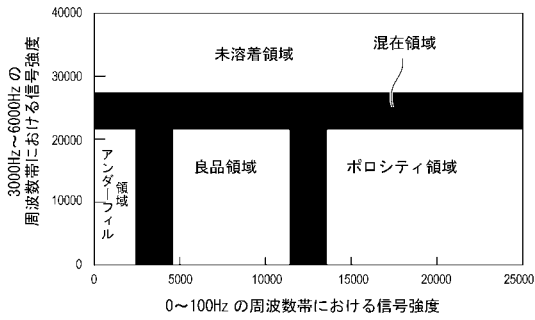
【 図 2 2 】



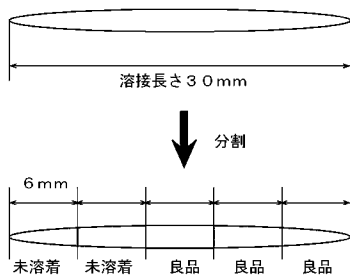
【 図 2 3 】



【 図 2 4 】



【 図 2 5 】



$$\text{良品割合} = \frac{\text{良品長さ} 6\text{mm} \times 3 \text{分割割合}}{\text{全溶接長さ} 30\text{mm}} = 0.6$$

フロントページの続き

- (72)発明者 森 清和
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内
- (72)発明者 武村 伸介
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内
- (72)発明者 樽井 大志
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内

審査官 加藤 昌人

- (56)参考文献 特開2000-271768(JP,A)
特開2002-137073(JP,A)
特開平11-058046(JP,A)
特開2000-146852(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
B23K 26/00-26/42