

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B1)

(11) 特許番号

特許第6758552号
(P6758552)

(45) 発行日 令和2年9月23日 (2020.9.23)

(24) 登録日 令和2年9月3日 (2020.9.3)

(51) Int. Cl.		F I	
B 2 3 K	26/00	(2014.01)	B 2 3 K 26/00 P
B 2 3 K	26/03	(2006.01)	B 2 3 K 26/03
B 2 3 H	1/00	(2006.01)	B 2 3 H 1/00 B

請求項の数 14 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2020-533171 (P2020-533171)	(73) 特許権者	000006013
(86) (22) 出願日	令和2年2月25日 (2020.2.25)		三菱電機株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2020/007482		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
審査請求日	令和2年6月16日 (2020.6.16)	(74) 代理人	100118762
(31) 優先権主張番号	PCT/JP2019/023488		弁理士 高村 順
(32) 優先日	令和1年6月13日 (2019.6.13)	(72) 発明者	瀬口 正記
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三
			菱電機株式会社内
早期審査対象出願		(72) 発明者	石川 恭平
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三
			菱電機株式会社内
		(72) 発明者	福岡 輝章
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三
			菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 加工不具合検出装置、レーザ切断加工装置および放電加工装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

加工時に加工点で発生する加工光を計測する加工光計測部と、
 前記加工点で発生する加工音を計測する加工音計測部と、
 前記加工で加工不具合が発生したかどうかを判定する演算部と、
 を備え、
 前記演算部は、
 前記加工光計測部で計測された加工光信号から加工光特徴量を抽出し、前記加工音計測部で計測された加工音信号から加工音特徴量を抽出する特徴量抽出部と、
 前記加工光特徴量と前記加工音特徴量とに基づいて合成不具合判定値を算出する判定値算出部と、
 前記合成不具合判定値を判定基準値と比較して前記加工不具合が発生したかどうかを判定する判定部と、
 を有し、
 前記判定値算出部は、前記加工光特徴量および前記加工音特徴量に、加工条件に応じて定められた重み付けを行って合成することにより前記合成不具合判定値を算出することを特徴とする加工不具合検出装置。

【請求項 2】

加工時に加工点で発生する加工光を計測する加工光計測部と、
 前記加工点で発生する加工音を計測する加工音計測部と、

10

20

前記加工で加工不具合が発生したかどうかを判定する演算部と、
を備え、
前記演算部は、
前記加工光計測部で計測された加工光信号から加工光特徴量を抽出し、前記加工音計測部で計測された加工音信号から加工音特徴量を抽出する特徴量抽出部と、
前記加工光特徴量と前記加工音特徴量とに基づいて合成不具合判定値を算出する判定値算出部と、
前記合成不具合判定値を判定基準値と比較して前記加工不具合が発生したかどうかを判定する判定部と、
を有し、
前記判定値算出部は、前記加工光特徴量および前記加工音特徴量を用いて算出した加工光不具合判定値および加工音不具合判定値に加工条件に応じて定められた重み付けを行って前記合成不具合判定値を算出することを特徴とする加工不具合検出装置。

10

【請求項 3】

前記判定値算出部は、前記加工条件および前記加工不具合の種類の組み合わせと重み付け量とを対応させた重み付け情報を参照して、前記加工における加工条件データと検出したい前記加工不具合の種類を示す加工不具合データとの組み合わせについて定められた前記重み付け量を用いて前記合成不具合判定値を算出することを特徴とする請求項 2 に記載の加工不具合検出装置。

【請求項 4】

前記判定値算出部は、検出したい前記加工不具合の種類に応じて、前記加工光計測部からの前記加工光信号と前記加工音計測部からの前記加工音信号と、を使い分けて前記合成不具合判定値を算出することを特徴とする請求項 3 に記載の加工不具合検出装置。

20

【請求項 5】

前記加工光不具合判定値および前記加工音不具合判定値は、前記加工光特徴量および前記加工音特徴量と、前記加工光特徴量および前記加工音特徴量が加工不具合であると判定される不具合判定基準値と、の間の一致度であり、

前記判定値算出部は、前記加工光不具合判定値および前記加工音不具合判定値を、すべての種類の加工不具合に対して算出し、最も一致度の高い前記加工光不具合判定値および前記加工音不具合判定値が予め設定された閾値未満である場合に、前記加工不具合は発生していないと判定することを特徴とする請求項 2 に記載の加工不具合検出装置。

30

【請求項 6】

前記判定値算出部は、前記加工光特徴量および前記加工音特徴量を加工条件または加工条件に加えて加工不具合の種類に応じて定められた演算処理を行った合成特徴量を用いて前記合成不具合判定値を算出することを特徴とする請求項 1 に記載の加工不具合検出装置。

【請求項 7】

前記特徴量抽出部は、 m (m は自然数) 種類の前記加工光特徴量および n (n は自然数) 種類の前記加工音特徴量を抽出し、

前記判定値算出部は、 m 種類の前記加工光特徴量および n 種類の前記加工音特徴量を用いて前記加工条件または前記加工条件に加えて前記加工不具合の種類に応じて定められた前記演算処理を行って前記合成特徴量を算出し、

40

m および n のうち少なくとも一方は 2 以上の自然数であることを特徴とする請求項 6 に記載の加工不具合検出装置。

【請求項 8】

前記演算部は、前記加工光特徴量、前記加工音特徴量および前記加工条件を学習する機械学習部をさらに備えることを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の加工不具合検出装置。

【請求項 9】

前記機械学習部は、前記重み付け量をさらに学習することを特徴とする請求項 8 に記載

50

の加工不具合検出装置。

【請求項 1 0】

前記重み付け情報は、前記加工で優先する優先内容と、前記加工条件と、前記加工不具合の種類と、の組み合わせごとに、前記重み付け量を有することを特徴とする請求項 3 に記載の加工不具合検出装置。

【請求項 1 1】

前記加工がレーザ切断加工であることを特徴とする請求項 1 から 1 0 のいずれか 1 つに記載の加工不具合検出装置。

【請求項 1 2】

請求項 1 1 に記載の加工不具合検出装置と、
前記レーザ切断加工の対象となる被加工物を載置するステージと、
レーザ発振器と、
前記レーザ発振器からのレーザ光を前記加工点に照射する加工ヘッドと、
を備えることを特徴とするレーザ切断加工装置。

10

【請求項 1 3】

前記加工が放電加工であることを特徴とする請求項 1 から 1 0 のいずれか 1 つに記載の加工不具合検出装置。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載の加工不具合検出装置と、
前記放電加工の対象となる被加工物を載置するステージと、
前記被加工物において加工したい位置に予め定められた距離を置いて配置される電極と、
放電パルス電圧を前記ステージと前記電極との間に印加する電源と、
を備えることを特徴とする放電加工装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、レーザ切断加工および放電加工などの加工の不具合を検出する加工不具合検出装置、レーザ切断加工装置および放電加工装置に関する。

【背景技術】

30

【0 0 0 2】

レーザ溶接加工では、溶接加工の良不良の判断は、溶接物の外観の観察からでは困難であり、溶接断面を調べることによって行われる。しかし、溶接加工後に溶接断面を調べるのは現実的ではない。そこで、特許文献 1 には、レーザ溶接時に発生する加工光および加工音の少なくとも一方についてセンサで計測を行い、計測された加工光および加工音の少なくとも一方の強度または振幅を含む特徴量を、レーザ溶接が正常に行われた場合の適正値と比較して加工不具合の検出を行うレーザ溶接方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 3】

40

【特許文献 1】特開 2 0 0 7 - 2 5 3 1 9 7 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 4】

しかしながら、特許文献 1 は、レーザ溶接加工に関する技術であり、レーザ切断加工に関する技術ではない。レーザ切断加工では、切断物の良不良の判断は、切断物の外観の観察によって行われる。しかし、切断途中に軽微な加工不良が発生した場合には、レーザ切断加工中には切断物の良不良の判断を行うことができず、レーザ切断加工の完了後に判断しなければならない。そのため、レーザ切断加工の途中でも切断物の良不良の判断を行うことができる技術が求められていた。また、被加工物の材質または板厚を含む加工条件が

50

変更されると、センサで取得される特徴量にばらつきが生じることがある。特許文献 1 に記載の技術では、適正値はレーザ溶接が正常に行われた場合のセンサの計測値に基づいて算出されるが、適正値の算出の際にこのような特徴量のばらつきが考慮されていない。そのため、特徴量のばらつきが生じると妥当な適正値を設定できず、加工不具合の検出精度を高めることができないという問題があった。また、レーザ切断加工だけではなく、放電加工などの他の加工においても、加工条件が変更された場合の加工不具合の検出を従来に比して高めることができる技術が望まれていた。

【 0 0 0 5 】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、加工条件が変更された場合でも加工不具合の検出を従来に比して高めることができる加工不具合検出装置を得ることを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明の加工不具合検出装置は、加工時に加工点で発生する加工光を計測する加工光計測部と、加工点で発生する加工音を計測する加工音計測部と、加工で加工不具合が発生したかどうかを判定する演算部と、を備える。演算部は、特徴量抽出部と、判定値算出部と、判定部と、を有する。特徴量抽出部は、加工光計測部で計測された加工光信号から加工光特徴量を抽出し、加工音計測部で計測された加工音信号から加工音特徴量を抽出する。判定値算出部は、加工光特徴量と加工音特徴量とに基づいて合成不具合判定値を算出する。判定部は、合成不具合判定値を判定基準値と比較して加工不具合が発生したかどうかを判定する。判定値算出部は、加工光特徴量および加工音特徴量に、加工条件に応じて定められた重み付けを行って合成することにより合成不具合判定値を算出する。

20

【発明の効果】

【 0 0 0 7 】

本発明にかかる加工不具合検出装置は、加工条件が変更された場合でも加工不具合の検出を従来に比して高めることができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【図 1】実施の形態 1 にかかるレーザ切断加工装置の構成の一例を模式的に示す図

30

【図 2】実施の形態 1 のレーザ切断加工時の加工点周辺の様子を模式的に示す図

【図 3】実施の形態 1 の切断スリットと加工光計測部との間の配置の一例を示す図

【図 4】加工光計測部を通り、切断スリットの延在方向に垂直な面 P で図 3 に示した被加工物と加工光計測部とを切断した面で、切断スリットが一定の幅を有する場合の一例を示す図

【図 5】加工光計測部を通り、切断スリットの延在方向に垂直な面 P で図 3 に示した被加工物と加工光計測部とを切断した面で、切断スリットが一定の幅を有する場合の一例を示す図

【図 6】実施の形態 1 によるレーザ切断加工の不具合の種類による加工光および加工音での相対的な検知精度の一例を示す図

40

【図 7】実施の形態 1 による重み付け情報の一例を示す図

【図 8】実施の形態 1 による演算部のハードウェア構成の一例を示す図

【図 9】実施の形態 2 にかかるレーザ切断加工装置の構成の一例を模式的に示す図

【図 10】実施の形態 2 による重み付け情報の一例を示す図

【図 11】実施の形態 3 にかかるレーザ切断加工装置の構成の一例を模式的に示す図

【図 12】実施の形態 4 にかかるレーザ切断加工装置の構成の一例を模式的に示す図

【図 13】実施の形態 5 による重み付け情報の一例を示す図

【図 14】実施の形態 6 にかかるワイヤ放電加工装置の構成の一例を模式的に示す図

【図 15】被加工物の厚さが厚い場合の放電加工時の加工開始時の状況の一例を模式的に示す図

50

【図１６】被加工物の厚さが厚い場合の放電加工時の図１５よりも加工が進んだ状況の一例を模式的に示す図

【図１７】被加工物の厚さが薄い場合の放電加工時の加工が進んだ状況の一例を模式的に示す図

【発明を実施するための形態】

【０００９】

以下に、本発明の実施の形態にかかる加工不具合検出装置、レーザ切断加工装置および放電加工装置を図面に基づいて詳細に説明する。なお、これらの実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

【００１０】

10

実施の形態１．

図１は、実施の形態１にかかるレーザ切断加工装置の構成の一例を模式的に示す図である。レーザ切断加工装置１は、被加工物１００にレーザ光Ｌを照射して加工を行うレーザ切断加工部１０と、レーザ切断加工部１０でのレーザ切断加工の不具合を検出する加工不具合検出装置である加工不具合検出部３０と、を備える。

【００１１】

レーザ切断加工部１０は、被加工物１００を載置するステージ１１と、レーザ光Ｌを出力するレーザ発振器１２と、レーザ発振器１２からのレーザ光Ｌを被加工物１００に集光させる加工ヘッド１３と、レーザ発振器１２から加工ヘッド１３へとレーザ光Ｌを伝播させる光ファイバ１４と、を有する。

20

【００１２】

レーザ発振器１２の種類は限定されない。レーザ発振器１２の一例は、炭酸ガスレーザ等の気体レーザ、ファイバレーザ発振器またはＹＡＧ（Yttrium Aluminum Garnet）結晶を励起媒体とするＹＡＧレーザ等の固体レーザである。また、レーザ発振器１２は、レーザダイオードの光をそのまま利用するダイレクトダイオードレーザであってもよい。

【００１３】

加工ヘッド１３は、レーザ光Ｌを被加工物１００へ集光する光学系１３１と、レーザ切断加工時に被加工物１００にレーザ光Ｌが照射される加工点に加工ガスを供給する加工ノズル１３２と、を有する。加工ノズル１３２から加工ガスを供給することで、レーザ光Ｌにより溶融した金属ドロスが吹き飛ばされる。加工ガスの一例は、酸素または窒素である。酸素ガスを加工ガスとして供給することで、酸化反応による加工が促進される。窒素ガスを加工ガスとして供給することで、加工面の酸化防止によって、加工面の品質の向上を図ることができる。なお、加工ノズル１３２には、加工ガスが供給される図示しない加工ガス供給部が接続されている。また、レーザ切断加工部１０で形状加工を実施する場合には、加工ヘッド１３とステージ１１との間の相対的位置関係を変更する少なくとも１つ以上の図示しない駆動装置が設けられる。

30

【００１４】

加工不具合検出部３０は、レーザ切断加工部１０が被加工物１００をレーザ切断加工中であるときに発生する光および音を計測し、この計測結果に基づいてレーザ切断加工に不具合が発生していないかを判定する。加工不具合検出部３０は、加工光計測部３１と、加工音計測部３２と、演算部４０と、を備える。

40

【００１５】

加工光計測部３１は、レーザ切断加工中に高温となった被加工物１００の表面または被加工物１００の表面周辺に発生するプラズマからの加工光を計測し、計測した加工光を時系列に並べた加工光信号を演算部４０に出力する。加工光計測部３１は、光センサまたは分光器を搭載する。光センサの一例は、フォトダイオード、光電子管、ＣＣＤ（Charge-Coupled Device）センサ、ＣＭＯＳ（Complementary Metal-Oxide-Semiconductor）センサである。分光器の一例は、スペクトル分光器である。

【００１６】

図２は、実施の形態１のレーザ切断加工時の加工点周辺の様子を模式的に示す図である

50

。加工光計測部 3 1 は、加工点で発生する加工光を計測することができるように配置されていけばよい。加工光計測部 3 1 は、図 1 に示されるように、加工ノズル 1 3 2 の外部に設けられてもよいし、図 2 に示されるように、加工ノズル 1 3 2 の内部に設けられてもよい。これらの場合において、加工光計測部 3 1 は、被加工物 1 0 0 に対してレーザ光 L が照射される側に設置される。また、これらの場合において、ハーフミラーを含む光学系を用いて、加工点からの加工光が加工光計測部 3 1 に導かれるようにしてもよい。切断スリット 1 0 1 で発生する加工不具合またはレーザ光 L が照射されている斜めの面である切断フロント 1 0 2 の情報が加工光の信号光強度の変化として計測される。

【 0 0 1 7 】

図 1 に戻り、加工音計測部 3 2 は、レーザ切断加工中に加工点周辺で発生する加工音を計測し、計測した加工音を時系列に並べた加工音信号を演算部 4 0 に出力する。加工音計測部 3 2 は、加工音検出センサを搭載する。加工音検出センサの一例は、マイクである。加工音計測部 3 2 は、加工ヘッド 1 3 の外部で加工点の周辺に設置される。

【 0 0 1 8 】

加工点周辺で発生する加工音は、主に、ノズル通過音、ガス散逸音、あるいは切断部通過音である。ノズル通過音は、加工ガスの流れが加工ノズル 1 3 2 を通過する際に発生する音である。ガス散逸音は、加工ガスの流れが加工ノズル 1 3 2 の先端と被加工物 1 0 0 との隙間を通過して周囲に散逸する際に発生する音である。切断部通過音は、図 2 に示されるように、レーザ切断中に被加工物 1 0 0 に形成される切断スリット 1 0 1 と呼ばれる細い隙間を加工ガスの流れが通過する際に発生する音である。切断スリット 1 0 1 は加工状況によって、幅または加工点でのテーパ形状が変化するため、加工ガスが流れる流路形状が変化し、この変化が、加工音、特に切断部通過音の変化として計測される。

【 0 0 1 9 】

図 1 に戻り、演算部 4 0 は、加工光計測部 3 1 からの加工光信号および加工音計測部 3 2 からの加工音信号を用いて、レーザ切断加工での加工不具合の発生の検出を判定する。

【 0 0 2 0 】

演算部 4 0 は、特徴量抽出部 4 1 と、不具合判定情報記憶部 4 2 と、判定値算出部 4 3 と、重み付け情報記憶部 4 6 と、判定基準値記憶部 4 7 と、判定部 4 8 と、を備える。

【 0 0 2 1 】

特徴量抽出部 4 1 は、加工光特徴量抽出部 4 1 1 と、加工音特徴量抽出部 4 1 2 と、を有する。加工光特徴量抽出部 4 1 1 は、加工光計測部 3 1 から得られる時系列の加工光信号を解析し、加工の特性を示す加工光特徴量を抽出する。加工光特徴量の一例は、時系列の加工光信号の強度を平均化した平均加工光信号強度、平均加工光信号強度で規格化された加工光信号の分散である加工光の変動係数である。

【 0 0 2 2 】

加工音特徴量抽出部 4 1 2 は、加工音計測部 3 2 から得られる時系列の加工音信号を解析し、加工の特性を示す加工音特徴量を抽出する。加工音特徴量の一例は、時系列の加工音信号の強度を平均化した平均加工音信号強度、平均加工音信号強度で規格化された加工音信号の分散である加工音の変動係数である。

【 0 0 2 3 】

不具合判定情報記憶部 4 2 は、加工不具合が発生したときの特徴量を示す不具合判定情報を記憶する。レーザ切断加工で検出することが望まれる加工不具合の一例は、切断部閉塞による加工不具合および切断面内の加工不具合である。切断部閉塞による加工不具合には、レーザ光 L で加熱された被加工物 1 0 0 が溶融した金属ドロスが切断スリット 1 0 1 を塞ぐことによって発生するバーニングまたはガウジングがある。また、切断面内の加工不具合には、切断面内の被加工物 1 0 0 中の不純物またはレーザ光 L の強度不足、強度過多もしくは不安定性、あるいは溶融金属表面の溶融不安定性によるドロス排出が不連続となって生じるキズまたは荒れがある。

【 0 0 2 4 】

不具合判定情報では、これらの切断部閉塞による加工不具合および切断面内の加工不具

10

20

30

40

50

合を検出するために、加工不具合の種類と不具合判定基準値とが対応付けられている。不具合判定基準値は、抽出した特徴量が加工不具合と判定される基準である。切断部閉塞による不具合のときに抽出される加工光の変動係数および加工音の変動係数を切断部閉塞の不具合に対応付けたものは、不具合判定情報の一例である。また、切断面の不具合のときに観測される加工光の変動係数および加工音の変動係数を切断面の不具合に対応付けたものは、不具合判定情報の一例である。なお、ここでは、不具合の種類として、切断部閉塞による不具合と、切断面内の不具合と、を例示したが、加工光および加工音によって検出することができるものであれば、このほかの不具合が含まれてもよい。この他の不具合として、金属ドロスが切断スリット下端で固化したドロス付着が挙げられる。

【0025】

10

判定値算出部43は、加工光特徴量および加工音特徴量に、加工条件に応じて定められた重み付けを行って合成することにより合成不具合判定値を算出する。実施の形態1では、判定値算出部43は、加工光特徴量および加工音特徴量を用いて算出された加工光不具合判定値および加工音不具合判定値に、加工条件による重み付けを行うことによって合成不具合判定値を算出する。判定値算出部43は、加工光特徴量および加工音特徴量のそれぞれについて不具合判定値を算出する不具合判定値算出部44と、加工光の不具合判定値と加工音の不具合判定値とを重み付けして合成不具合判定値を算出する合成不具合判定値算出部45と、を有する。

【0026】

不具合判定値算出部44は、加工光不具合判定値算出部441と、加工音不具合判定値算出部442と、を有する。加工光不具合判定値算出部441は、加工光特徴量抽出部411で抽出された加工光特徴量と、不具合判定情報中の不具合判定基準値と、を比較し、加工不具合の発生の可能性の度合いを示す加工光不具合判定値を算出する。加工光不具合判定値の一例は、加工光特徴量と、不具合判定情報中の加工光の不具合判定基準値と、の間の一致度である。

20

【0027】

加工音不具合判定値算出部442は、加工音特徴量抽出部412で抽出された加工音特徴量と、不具合判定情報中の不具合判定基準値と、を比較し、不具合の発生の度合いを示す加工音不具合判定値を算出する。加工音不具合判定値の一例は、加工音特徴量と、不具合判定情報中の加工音の不具合判定基準値と、の間の一致度である。

30

【0028】

なお、不具合判定情報に複数種類の加工不具合がある場合には、加工光不具合判定値算出部441および加工音不具合判定値算出部442は、すべての種類の加工不具合に対して加工光および加工音の不具合判定値を算出し、最も一致度の高いものを選択する。また、最も一致度の高い不具合判定値が閾値未満である場合には、加工光不具合判定値算出部441および加工音不具合判定値算出部442は、不具合が発生していないと判定してもよい。つまり、一致度がある閾値未満の場合には不具合が発生していないものとし、このような場合には、後述する合成不具合判定値算出部45での合成不具合判定値の算出を行わないようにすることができる。

【0029】

40

以下に、レーザ切断加工中における加工光を用いた加工不具合の判定の容易さについて説明する。上記したように、加工光計測部31は、加工ヘッド13の内側または加工ヘッド13の外側周辺の、被加工物100に対してレーザ光Lが照射される側に配置されている。

【0030】

切断部閉塞による加工不具合であるバーニングまたはガウジングの際には、加工中に発生する金属ドロスは、良好切断時のように図2の切断スリット101が形成された被加工物100の下方には排出されずに、被加工物100の表面の加工点周辺に留まったままとなる。そのため、加工点周辺に留まった金属ドロスはレーザ光Lの照射を受けることになるので、被加工物100の表面の加工点周辺の溶融金属は非常に高温となり、強い加工光

50

が発生する。つまり、加工光計測部 3 1 では容易に加工光を計測することができ、加工光特徴量抽出部 4 1 1 では加工光の高い光信号光強度を得ることができる。その結果、加工光不具合判定値算出部 4 4 1 では、加工光を用いた金属ドロスによる加工不具合の判定を容易に行うことが可能である。

【 0 0 3 1 】

一方、切断面内の加工不具合であるキズまたは荒れに対しては、板厚または加工不具合が発生する部位によって、判定容易度が異なる。図 2 で、加工ノズル 1 3 2 の加工ノズル出口 1 3 2 a から、レーザ光 L と加工ガスとが被加工物 1 0 0 の加工点に供給される。レーザ光 L により溶融した溶融金属は自重、表面張力または加工ガスによって下方に流れていく。図 2 の例では、被加工物 1 0 0 に対して、加工ヘッド 1 3 を相対的に左方向に移動させることで、被加工物 1 0 0 の表面上のエッジで挟まれる切断スリット 1 0 1 が形成される。以上のようにして、切断加工が行われる。

【 0 0 3 2 】

この切断スリット 1 0 1 中で、レーザ光 L が照射されている斜めの面が切断フロント 1 0 2 である。切断加工中には、切断フロント 1 0 2 の表面には溶融金属が存在している。溶融金属の温度が低い場合には粘性が高く、表面張力が大きくなるため、この粘性および表面張力に打ち勝つ溶融金属の自重が大きくなるまで、図 2 の下方には排出されない。溶融が進行し溶融金属の体積が大きくなり自重が大きくなると、溶融金属の自重は粘性および表面張力に打ち勝ち、図 2 の下方に排出される。この場合、一度に排出される体積が大きくなるために、切断フロント 1 0 2 の表面の面粗さが大きくなり、キズまたは荒れなどが発生しやすくなる。これに対して、溶融金属の温度が高い場合には、溶融金属の粘性が低くなるため、この粘性および表面張力に打ち勝つための溶融金属の自重あるいは体積はより小さくても、図 2 の下方に排出される。この場合、一度に排出される体積が小さくなるために、切断フロント 1 0 2 の表面の面粗さは小さくなり、キズまたは荒れなどは発生し難くなる。つまり、一度に排出される溶融金属の体積が小さい程、切断面の面粗さは小さくなり、切断面の面粗さ、キズまたは荒れは、切断フロント 1 0 2 の温度に依存する。なお、この場合の溶融金属の温度の高低および体積の大小は、レーザ切断加工の対象となる被加工物 1 0 0 の材質と、使用される加工ガスと、に依存するものである。特に、溶融金属の温度の高低および体積の大小は、溶融金属の材質の温度に対する粘性と、溶融金属の密度に依存する。

【 0 0 3 3 】

また、切断フロント 1 0 2 は、溶融金属の組成、酸化状態もしくは温度分布で決まる粘性分布、厚さ分布または密度分布により決定される固有振動数で振動するので、加工状態に応じて切断フロント 1 0 2 上の溶融金属の表面形状が変化する。レーザ光 L が照射されている切断フロント 1 0 2 は高温であるために、対応する放射分布を持ち切断フロント 1 0 2 の振動に合わせて、加工光も照射方向を変化させる。さらに、切断フロント 1 0 2 から放出される溶融金属またはプラズマもまた高温であるために、切断スリット 1 0 1 内あるいは被加工物 1 0 0 の加工点の周辺の上方に加工光を発生させる。

【 0 0 3 4 】

このような加工点周辺で発生する加工光は、切断フロント 1 0 2 の情報を多く持っており、この加工光を計測することで加工状況を推測できる。図 2 で示したような切断スリット幅に対して被加工物 1 0 0 の厚さが薄い場合には、加工光計測部 3 1 中のセンサから、切断フロント 1 0 2 が観察可能である。そのため、加工光によって切断スリット 1 0 1 内に発生するキズまたは荒れを高精度に判定することができる。

【 0 0 3 5 】

これに対して、被加工物 1 0 0 に形成された切断スリット 1 0 1 の幅に対して、被加工物 1 0 0 の厚さが厚い場合について説明する。図 3 は、実施の形態 1 の切断スリットと加工光計測部との間の配置の一例を示す図である。図 3 に示されるように、加工光計測部 3 1 は、加工点が観察される位置に配置される。なお、ここで被加工物 1 0 0 の厚さに対して厚い場合とする際の厚さは、被加工物 1 0 0 の種類または加工条件に依存するものであ

10

20

30

40

50

る。一例では、被加工物 100 の厚さが薄い場合を 9 mm 以下であるとし、厚い場合を 19 mm 以上であるとし、中間的な厚さを有する場合を 9 mm よりも大きく 19 mm よりも小さいものとすることができる。あるいは、一例として、切断スリット幅を W とし、被加工物 100 の厚さを T とし、切断スリット幅に対する被加工物 100 の厚さの比率を T/W とした場合には、被加工物 100 の厚さが薄い場合を T/W が 1.5 以下であるとし、厚い場合を T/W が 2.0 以上であるとし、中間的な厚さを有する場合を T/W が 1.5 よりも大きく 2.0 よりも小さいものとすることができる。

【0036】

図 4 は、加工光計測部を通り、切断スリットの延在方向に垂直な面 P で図 3 に示した被加工物と加工光計測部とを切断した面で、切断スリットが一定の幅を有する場合の一例を示す図である。切断スリット 101 の幅に対して被加工物 100 の厚さが厚い場合には、切断スリット 101 の下部で発生する加工光は、図 4 に示されるように、加工光計測部 31 に到達するまでに厚くて狭い切断スリット 101 を通過する必要があるため、加工光計測部 31 に到達可能な立体角は小さくなる。つまり、加工光計測部 31 で計測できる加工光の強度は小さくなり、検出精度は低くなってしまふ。

10

【0037】

図 5 は、加工光計測部を通り、切断スリットの延在方向に垂直な面 P で図 3 に示した被加工物と加工光計測部とを切断した面で、切断スリットが一定の幅を有する場合の一例を示す図である。図 5 に示されるような、被加工物 100 の厚さ方向の中間部にくびれ状の形状を持つ切断スリット 101 の場合には、切断スリット 101 の中間部よりも下方で発生する加工光は、加工光計測部 31 に直線的に到達することはできない。そのため、くびれ状の形状よりも下の位置で発生した加工不具合を加工光によって検出することはより困難となる。

20

【0038】

したがって、切断スリット 101 内の加工不具合によって発生する加工光を加工光計測部 31 で計測する場合には、切断スリット 101 の上部の加工不具合によって発生する加工光の方が下部の加工不具合部によって発生する加工光よりも計測は容易である。これに応じて、切断スリット 101 の上部で発生するキズまたは荒れの検知精度と比較して、下部に発生するキズまたは荒れの検知精度は相対的に低くなる。ただし、切断スリット 101 の下部であっても、隙間を塞ぐほど大きなキズまたは荒れの場合には、この部位からの加工光は検出可能であり、検知精度は高くなる。

30

【0039】

つぎに、レーザ切断加工中における加工音を用いた加工不具合の判定の容易さについて説明する。前述のように、ノズル通過音、ガス散逸音、または切断部通過音に着目し、加工状況によって切断スリット 101 の幅または形状が変化することで加工ガスが流れる流路形状が変化し、これが加工音の変化として加工音計測部 32 で計測される。

【0040】

切断部閉塞による加工不具合であるバーニングまたはガウジングの際には、切断スリット 101 が熔融金属で塞がれるために、切断スリット 101 に加工ガスが全く流れなくなる。つまり、バーニングまたはガウジングの発生後には、切断部通過音が観測されなくなる。このように、バーニングまたはガウジングの発生前後での加工音の変化は著しく、加工音による加工不具合の判定は容易である。

40

【0041】

また、切断面内の加工不具合であるキズまたは荒れに対しては、板厚または加工不具合が発生する部位によって、判定容易度が異なる。図 3 のように切断スリット幅に対して被加工物 100 の厚さが厚い場合には、加工ガスとレーザ切断加工によって生じた加工面との間の相互作用する距離が長くなり、加工音信号が強くなる。そのため、切断スリット 101 の下部でのキズまたは荒れの加工不具合が発生した場合に、切断スリット 101 内全体の加工ガスの流れ状況が変化する。その結果、加工音の大きな変化として、切断面に発生する加工不具合を計測することが可能である。

50

【 0 0 4 2 】

逆に、図 2 のように切断スリット 1 0 1 幅に対して被加工物 1 0 0 の厚さが薄い場合には、加工ガスと加工面との間の相互作用する距離が短い。そのため、加工音信号変化は弱く、切断面に発生する加工不具合の検知精度は相対的に低くなる。

【 0 0 4 3 】

図 6 は、実施の形態 1 によるレーザ切断加工の不具合の種類による加工光および加工音での相対的な検知精度の一例を示す図である。この図は、上記した内容をまとめたものである。切断部閉塞による加工不具合の場合には、加工光および加工音ともに高精度で不具合を検知することができる。切断面内の加工不具合の場合には、切断スリット幅に対して被加工物 1 0 0 の厚さが厚い場合には、加工光では加工不具合を検知する精度は低くなるが、加工音では、高精度で不具合を検知することができる。ただし、切断スリット 1 0 1 の上部からの加工光を用いる場合には、高精度で不具合を検知することができ、下部からの加工光を用いる場合には、不具合の検知精度は低下する。また、切断スリット幅に対して被加工物 1 0 0 の厚さが薄い場合には、加工光では高精度で不具合検知することができるが、加工音では不具合を検知する精度は低くなる。

10

【 0 0 4 4 】

図 1 に戻り、合成不具合判定値算出部 4 5 は、加工光不具合判定値、加工音不具合判定値、および重み付け量を用いて、合成不具合判定値を算出する。このとき、合成不具合判定値算出部 4 5 は、加工条件データ 7 1 に対する重み付け量を、重み付け情報記憶部 4 6 の重み付け情報から取得する。重み付け情報については、後述する。合成不具合判定値は、加工光不具合判定値および加工音不具合判定値にそれぞれ重み付け量を乗算して、足し合わせたものである。

20

【 0 0 4 5 】

重み付け情報記憶部 4 6 は、被加工物 1 0 0 をレーザ切断加工する場合の加工条件に対して、加工光不具合判定値および加工音不具合判定値の重み付け量を定めた重み付け情報を記憶する。図 7 は、実施の形態 1 による重み付け情報の一例を示す図である。この例では、加工条件として、被加工物 1 0 0 の板厚が例示されている。板厚は、絶対的な厚さでもよいし、切断スリット幅に対する被加工物 1 0 0 の板厚の比である相対的な厚さでもよい。そして、それぞれの板厚の範囲に対して、加工光不具合判定値および加工音不具合判定値の重み付け量が定められている。

30

【 0 0 4 6 】

上記したように、加工光計測による加工不具合判定、または加工音計測による加工不具合判定では、被加工物 1 0 0 の厚さ等の加工条件、あるいは加工不具合の発生状況によって検知精度が高くなったり、低くなったりする。したがって、加工光による検知精度と加工音による検知精度はそれぞれ一定では無く、加工条件によって異なることになる。そのため、場合によっては、加工光計測だけによる加工不具合判定、あるいは加工音計測だけによる加工不具合判定では十分な精度を確保できないことになる。

【 0 0 4 7 】

また、図 6 で示したように、切断面内の加工不具合を検出する場合で、切断スリット 1 0 1 の幅に対して被加工物 1 0 0 の厚さが厚い場合には、加工光計測による検知精度が低くなることに反し、加工音計測による検知精度は高くなる。逆に、切断スリット 1 0 1 の幅に対して被加工物 1 0 0 の厚さが薄い場合には、加工光計測による検知精度が高くなることに反し、加工音計測による検知精度が低くなるという、正反対の挙動を示す。

40

【 0 0 4 8 】

そこで、本実施の形態では、被加工物 1 0 0 の板厚が薄い場合、図 7 の例では、板厚が $\times \times [cm]$ 未満の場合には、加工音不具合判定値算出部 4 4 2 の判定では、加工不具合の検知精度を高くできないので、この加工音不具合判定値に対して重み付けを小さくするとともに、加工光不具合判定値に対する重み付けを大きくとるようにしている。その結果、加工不具合の発生について検知精度の高い結果が得られる。

【 0 0 4 9 】

50

また、被加工物 100 の板厚が厚い場合、図 7 の例では、板厚が $x \times [cm]$ 以上の場合には、切断スリット 101 の上部の加工不具合の発生箇所では、加工光不具合判定値によって高精度に加工不具合を判定することができるが、切断スリット 101 の下部の加工不具合の発生箇所では、加工光不具合判定値による検知精度は低くなる。一方、加工音不具合判定結果を用いる場合には、加工不具合の発生箇所に関わらず、精度よく不具合の発生の判定を行うことができる。そこで、このような場合には、加工光不具合判定値に対する重み付けを小さくするとともに、加工音不具合判定値に対する重み付けを大きくしている。その結果、加工不具合の発生について検知精度の高い結果が得られる。このように、実施の形態 1 では、加工光不具合判定値を用いた加工不具合の発生の可能性についての検知精度と、加工音不具合判定値を用いた加工不具合の発生の可能性についての検知精度と、の間の相対的な検知精度の高低に応じた重み付け量が加工条件ごとに予め決定される。

10

【0050】

なお、このような重み付けとしても、加工光計測および加工音計測による検知精度がともに高い切断部閉塞による加工不具合を高精度に検知することができる。つまり、このような重み付けでも、切断部閉塞による加工不具合の検知精度が落ちることはない。その結果、切断面内の加工不具合での検知精度の高低について定められた重み付け量が、加工条件全体のものに適用されている。

【0051】

また、図 7 の例では、加工条件が被加工物 100 の板厚であり、板厚によって加工光不具合判定値および加工音不具合判定値が変わる場合を示した。この他にも、被加工物 100 の材質、表面状態、レーザ光 L の出力、加工ガス圧、送り速度によっても、加工光不具合判定値および加工音不具合判定値の検知精度が変わることもある。

20

【0052】

一例として、加工光不具合判定結果は、加工ガス圧の変化に対して検知精度が大きく変わらず検知精度が高いが、加工ガス圧が高い場合の加工音不具合判定結果は、低い場合に比して検知精度が低くなることもある。また、一例として、加工音不具合判定結果は、送り速度の変化に対して検知精度が大きく変わらず検知精度が高いが、送り速度が大きい場合の加工光不具合判定結果は、小さい場合に比して検知精度が高くなることもある。そのため、被加工物 100 の材質、板厚、表面状態、レーザ光 L の出力、加工ガス圧、送り速度を組み合わせた加工条件に対して、加工不具合ごとに重み付け量を定めてもよい。加工条件としては、その他にレーザ光 L の集光径、被加工物 100 の表面に対する集光点の位置、加工ノズル 132 の形状、加工ノズル 132 と被加工物 100 との間の距離なども考慮して、加工不具合ごとに重み付け量を定めてもよい。

30

【0053】

図 1 に戻り、判定基準値記憶部 47 は、レーザ切断加工で不具合が発生しているか否かを合成不具合判定値によって判定するための判定基準値を記憶する。この例では、判定基準値は、レーザ切断加工で不具合が発生していることを示す合成不具合判定値の範囲を示すものとする。判定基準値は、実験によって取得した良好なレーザ切断加工時の合成不具合判定値および加工不具合が発生しているレーザ切断加工時の合成不具合判定値を用いて決定される。

40

【0054】

判定部 48 は、合成不具合判定値を判定基準値と比較し、レーザ切断加工時に加工不具合が発生しているか否かを判定する。すなわち、判定部 48 は、不具合が発生していることを示す判定基準値の範囲内に合成不具合判定値がある場合には、不具合が発生していると判定し、判定基準値の範囲外に合成不具合判定値がある場合には、不具合が発生していないと判定する。そして、判定部 48 は、判定結果 81 を出力する。一例として、判定部 48 は、レーザ切断加工部 10 を制御する制御部に出力する。不具合が発生しているという判定を受けた場合には、レーザ切断加工部 10 の制御部は、レーザ切断加工を一時停止する。

【0055】

50

以上のように加工条件によって、加工光不具合判定値および加工音不具合判定値に対する重み付けを変更することで、判定部 48 は、安定して加工不具合を高精度に検出することができる。

【0056】

ここで、演算部 40 のハードウェア構成について説明する。図 8 は、実施の形態 1 による演算部のハードウェア構成の一例を示す図である。演算部 40 は、入出力インタフェース 401 と、メモリ 402 と、CPU (Central Processing Unit) 403 と、を備える。

【0057】

入出力インタフェース 401 は、加工光計測部 31 および加工音計測部 32 からの信号の入力を受け付けたり、判定部 48 によってレーザ切断加工で加工不具合が発生していると判定された場合に、レーザ切断加工部 10 に出力したりする。

【0058】

メモリ 402 は、ソフトウェア、ファームウェア、またはソフトウェアとファームウェアとの組み合わせをプログラムとして格納する。メモリ 402 は、レーザ切断加工中に不具合が生じているかを判定するプログラムを含む。また、メモリ 402 は、加工光計測部 31 および加工音計測部 32 での計測結果である信号を記憶する。さらに、メモリ 402 は、加工条件データと、不具合判定情報と、重み付け情報と、判定基準値と、を記憶する。メモリ 402 は、不揮発性もしくは揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク、光ディスク、または光磁気ディスクによって構成される。不揮発性または揮発性の半導体メモリとしては、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリ、EPROM (Erasable Programmable ROM)、またはEEPROM (登録商標) (Electrically EPROM) が用いられる。メモリ 402 によって不具合判定情報記憶部 42、重み付け情報記憶部 46 および判定基準値記憶部 47 の機能が実現される。

【0059】

CPU 403 は、メモリ 402 に記憶された計測結果、加工条件データ、不具合判定情報、重み付け情報および判定基準値を用いて、メモリ 402 に格納されたプログラムを実行して、レーザ切断加工部 10 で実行中のレーザ切断加工の加工不具合の判定を行う。CPU 403 によって、特徴量抽出部 41、判定値算出部 43 および判定部 48 の機能が実現される。

【0060】

つぎに、このような構成の加工不具合検出部 30 を備えるレーザ切断加工装置 1 での動作について、図 1 を参照しながら説明する。レーザ切断加工部 10 は、予め設定された加工条件にしたがって被加工物 100 に対してレーザ切断加工を行う。レーザ切断加工の最中には、加工光計測部 31 によって加工点で発生する加工光が計測され、加工音計測部 32 によって加工点で発生する加工音が計測される。レーザ切断加工部 10 の加工条件は、加工条件データ 71 として、加工不具合検出部 30 に入力される。

【0061】

加工光計測部 31 での計測結果である加工光信号は加工光特徴量抽出部 411 へと渡され、加工光特徴量抽出部 411 は、加工光信号から特徴量を抽出する。加工光不具合判定値算出部 441 は、抽出された特徴量と、不具合判定情報記憶部 42 中の不具合判定情報と、を用いて加工光不具合判定値を算出する。加工光不具合判定値算出部 441 は、加工光不具合判定値を合成不具合判定値算出部 45 に出力する。

【0062】

加工音計測部 32 での計測結果である加工音信号は加工音特徴量抽出部 412 へと渡され、加工音特徴量抽出部 412 は、加工音信号から特徴量を抽出する。加工音不具合判定値算出部 442 は、抽出された特徴量と、不具合判定情報記憶部 42 中の不具合判定情報と、を用いて加工音不具合判定値を算出する。加工音不具合判定値算出部 442 は、加工音不具合判定値を合成不具合判定値算出部 45 に出力する。

【0063】

合成不具合判定値算出部 45 は、加工条件データ 71 に対応する重み付け量を重み付け情報記憶部 46 から取得する。そして、合成不具合判定値算出部 45 は、加工光不具合判定値と加工音不具合判定値とにそれぞれ重み付け係数を掛けた後、足し合わせた合成不具合判定値を算出し、判定部 48 に出力する。

【0064】

その後、判定部 48 は、合成不具合判定値が判定基準値記憶部 47 の加工不具合が発生していることを示す判定基準値の範囲に存在するか否かを判定し、判定結果 81 を出力する。合成不具合判定値が判定基準値の範囲に存在する場合には、判定部 48 は、レーザ切断加工時に加工不具合が発生していると判定する。また、合成不具合判定値が判定基準値の範囲に存在しない場合には、判定部 48 は、レーザ切断加工時に不具合が発生していないと判定する。

10

【0065】

なお、上記した説明では、加工条件として、被加工物 100 の厚さが薄い場合と厚い場合とで重み付け量を変える場合を示したが、被加工物 100 の厚さに応じて、重み付け量を変えるとともに、加工光計測部 31 および加工音計測部 32 を使い分けてもよい。すなわち、中間的な厚さについては、加工光計測部 31 および加工音計測部 32 での計測結果から得られる各加工不具合判定値に対して重み付けを用いて合成不具合判定値が算出されるが、厚板については、加工音計測部 32 での計測結果から得られる加工音不具合判定値のみが用いられ、薄板については、加工光計測部 31 での計測結果から得られる加工光不具合判定値のみが用いられるといった加工不具合判定が行われてもよい。これは加工条件としての板厚に応じて、加工音による加工音不具合判定値と加工光による加工光不具合判定値とを足し合わせる際の重み付け量を 1 または 0 と極端に設定した場合に相当する。中間的な厚さ以外の厚さである場合には、判定処理で使用されるのは、加工光計測部 31 および加工音計測部 32 のいずれかの信号のみでよいので、加工不具合判定を行う計算処理が軽くなり、より短時間で判定を行うことができる。

20

【0066】

実施の形態 1 では、加工光の特徴量から算出した加工光不具合判定結果と、加工音の特徴量から算出した加工音不具合判定結果と、のそれぞれに加工条件に応じて定められた重み付けを行って足し合わせた合成判定値を算出する。そして、加工不具合が発生していることを示す判定基準値の範囲内に合成判定値がある場合に、レーザ切断加工に加工不具合が発生していると判定した。これによって、被加工物 100 の材質、厚さ、表面状態、レーザ出力、送り速度等の加工条件に応じて、検知精度が高くなるセンサによる判定結果の重み付け量が高められ、検知精度が低くなるセンサによる判定結果の重み付けが低められる。その結果、レーザ切断加工の不具合に対する検知精度を高めることができる。つまり、加工条件に応じてレーザ切断加工の加工特性を示す特徴量の適正值が変動するような場合でも、加工不具合の検出を行うことができるという効果を有する。

30

【0067】

実施の形態 2 .

実施の形態 1 では、加工光の特徴量から算出した加工光不具合判定結果と、加工音の特徴量から算出した加工音不具合判定結果と、のそれぞれに加工条件に応じて定められた重み付けを行って足し合わせた合成判定値を算出した。実施の形態 2 では、加工条件と加工不具合の種類に応じて重み付けを行う場合について説明する。

40

【0068】

図 9 は、実施の形態 2 にかかるレーザ切断加工装置の構成の一例を模式的に示す図である。実施の形態 2 では、合成不具合判定値算出部 45 に、加工条件データ 71 に加えて加工不具合の種類を示す加工不具合データ 72 が入力される。

【0069】

重み付け情報記憶部 46 は、加工条件および加工不具合の種類の組み合わせに対して重み付け量を設定した重み付け情報を記憶する。図 10 は、実施の形態 2 による重み付け情報の一例を示す図である。重み付け情報では、加工条件および加工不具合の種類の組み合

50

わせに対して、重み付け量が設定されている。この例では、加工条件として、被加工物 100 の板厚が用いられている。また、加工不具合の種類は、加工不具合の種類を大きく分類した第 1 分類と、第 1 分類の中でさらに細かく分類した第 2 分類と、を含む。第 1 分類は、切断部閉塞による加工不具合と、切断面内の加工不具合と、を含む。また、図 6 で示したように、切断面内の加工不具合で板厚が厚い場合の加工光による検知精度は、加工不具合の発生場所によって、異なる。そこで、図 10 の例では、加工条件の板厚が $x \times [cm]$ よりも大きい場合の切断面内の加工不具合の場合には、第 2 分類で上部および下部に分類して、細かく重み付け量が設定されるようにしている。

【0070】

板厚 $> x \times [cm]$ の場合または板厚 $< x \times [cm]$ の場合で、切断部閉塞による加工不具合の場合には、上記したように加工光および加工音ともに高精度で加工不具合を検出することができるので、重み付けが同等となっている。

10

【0071】

板厚 $< x \times [cm]$ の場合で切断面内の加工不具合の場合には、上記したように加工音による加工不具合の検知精度は、加工光による加工不具合の検知精度に比して相対的に低くなるので、加工光の方が重み付け量を大きくしている。

【0072】

板厚 $> x \times [cm]$ の場合かつ切断面内の加工不具合の場合で、切断スリット 101 の上部におけるキズまたは荒れについては、加工光不具合判定値算出部 441 および加工音不具合判定値算出部 442 で検出可能であるため、重み付けが同等とされる。

20

【0073】

これに対し、板厚 $> x \times [cm]$ の場合かつ切断面内の加工不具合の場合で、切断スリット 101 の下部におけるキズまたは荒れについては、加工光不具合判定値算出部 441 では検出精度が低いので重み付けが小さくされ、加工音不具合判定値算出部 442 では検出精度が高いので重み付けが大きくされることで、合成不具合判定値による検知精度を高めることができる。

【0074】

ただし、切断面上の小さい傷の検出では、切断フロント形状の変化が軽微となり加工音では切断スリット内の流路断面積の傷発生による断面積変化が小さいために加工音としての変化は小さく検出精度が低くなることに對し、加工光では瞬間的に切断フロントが加工光計測部 31 の方に向かうために高い検知精度で検出可能である。

30

【0075】

図 9 に戻り、合成不具合判定値算出部 45 は、合成不具合判定値を算出するとき、加工条件データ 71 および加工不具合データ 72 の組み合わせに対応する重み付け量を、重み付け情報から取得する。そして、合成不具合判定値算出部 45 は、加工光不具合判定値、加工音不具合判定値、および重み付け量を用いて、合成不具合判定値を算出する。

【0076】

なお、その他の構成は、実施の形態 1 と同一であるので、その説明を省略する。また、演算部 40 の処理も、実施の形態 1 で説明したものと同様であるので、その説明を省略する。

40

【0077】

実施の形態 2 では、加工条件および加工不具合の組み合わせに応じて、加工光不具合判定値および加工音不具合判定値に対する重み付け量を設定した。そして、合成不具合判定値算出部 45 は、それぞれの加工不具合に応じて合成不具合判定値を出力する。これによって、加工不具合の状況をより詳細に判定することができるので、より高精度な加工条件の調整ができるようになるという効果を有する。

【0078】

また、検出すべき加工不具合に応じて、計測する時系列信号の状況が変化する。そのため、検出したい加工不具合に応じて、時系列信号の特徴量の重み付けまたは不具合判定値の重み付けを変更することで、対応する加工不具合ごとに検知精度を高めることが可能と

50

なる。

【0079】

実施の形態3.

実施の形態1, 2では、時系列の加工光信号から特徴量を抽出することで、この特徴量から加工光不具合判定値を算出し、同様に時系列の加工音信号から特徴量を抽出することで、この特徴量から加工音不具合判定値を算出し、この2つの不具合判定値に対して、加工条件またはこれに加えて加工不具合の種類に応じて重み付けを行った合成不具合判定値を算出していた。実施の形態3では、加工光信号から抽出した加工光特徴量と、加工音信号から抽出した加工音特徴量と、から加工条件またはこれに加えて加工不具合の種類について定められた合成特徴量を抽出し、この合成特徴量を用いて合成不具合判定値を算出する場合を説明する。

10

【0080】

図11は、実施の形態3にかかるレーザ切断加工装置の構成の一例を模式的に示す図である。実施の形態3では、判定値算出部43aの構成が、実施の形態1, 2とは異なる。判定値算出部43aは、合成特徴量抽出部49と、合成不具合判定値算出部45と、を有する。

【0081】

合成特徴量抽出部49は、加工光特徴量抽出部411により抽出された加工光特徴量および加工音特徴量抽出部412により抽出された加工音特徴量に対して、加工条件データ71またはこれに加えて加工不具合データ72について定められた演算処理を行って合成特徴量を抽出する。演算処理として、加工光特徴量および加工音特徴量の重み付けされた和、積または比などを例示することができる。また、合成特徴量の一例は、加工光の変動係数と加工音の変動係数との2変数の関数である。関数としては、実施の形態1, 2で説明したように、加工条件またはこれに加えて加工不具合の種類に応じて重み付けを加味した2変数の和、または最大値を選択するものであってもよい。このような合成特徴量の変動から切断フロント102の振動状況等を高精度に評価することができるので、加工不具合判定についても高精度に判定可能となる。また、上記した例では、加工光特徴量と加工音特徴量とを組合せた合成特徴量を示したが、実施の形態がこれに限定されるものではない。合成特徴量は、異なる加工光特徴量を組み合わせたものであってもよいし、異なる加工音特徴量を組み合わせたものであってもよい。この場合には、加工光特徴量抽出部411は、 m (m は自然数) 種類の加工光特徴量を抽出し、加工音特徴量抽出部412は、 n (n は自然数) 種類の加工音特徴量を抽出する。ただし、 m および n の少なくとも一方は2以上の自然数とする。そして、合成特徴量抽出部49は、 m 種類の加工光特徴量および n 種類の加工音特徴量を用いて加工条件データ71またはこれに加えて加工不具合データ72について定められ得た演算処理を行うことによって、合成特徴量を求める。なお、合成特徴量抽出部49は、重み付け情報記憶部46の重み付け情報を参照することができる。

20

30

【0082】

不具合判定情報記憶部42で記憶される不具合判定情報は、加工不具合が発生する合成特徴量の範囲を示すものであり、加工条件および加工不具合の種類の組み合わせに対して、不具合判定基準値となる合成特徴量が定められている。

40

【0083】

合成不具合判定値算出部45は、合成特徴量を用いて合成加工不具合判定を行う。具体的には、合成特徴量と、不具合判定情報記憶部42中の加工条件データ71と加工不具合データ72との組み合わせに対応する不具合判断基準値と、を比較し、不具合の発生度合いを示す合成不具合判定値を算出する。

【0084】

なお、その他の構成は、実施の形態1と同一であるので、その説明を省略する。また、演算部40での処理も、実施の形態1で説明したものと同様であるので、その説明を省略する。

50

【0085】

実施の形態3では、加工光特徴量および加工音特徴量の両方を考慮した合成特徴量を算出し、合成特徴量を用いてレーザ切断加工の加工不具合を判定した。これによって、加工光計測部31および加工音計測部32からの特徴量を考慮した、実施の形態1, 2の場合に比してより特徴量空間の自由度をより高めることができる。つまり、より加工不具合判定に適合する特徴量の選定の自由度を高めることができる。その結果、レーザ切断加工の加工不具合の検知精度をより高めることができる。

【0086】

実施の形態4.

実施の形態1から実施の形態3では、各特徴量から算出した不具合判定値あるいは各特徴量を、加工条件または検出したい加工不具合の種類に対して予め設定した重み付け量を用いて、合成不具合判定値を算出していた。ところが、レーザ切断加工装置を使用する各ユーザによって、あるいは被加工物をレーザ切断加工によって切断した部材の適用用途によって、許容可能な加工不具合レベルは異なる。そのため、予め設定した重み付けによる加工不具合判定結果では厳しすぎて、この加工不具合判定結果に基づいて加工条件を調整すると、ユーザが望む加工速度を設定することができないことがある。反対に、予め設定した重み付けによる加工不具合判定結果は緩すぎて、特定のユーザにとっては満足できる切断面品質に到達できない可能性がある。つまり、ユーザごとまたは加工用途ごとに、加工不具合の閾値が異なる。そこで、実施の形態4では、ユーザごとまたは加工用途ごとに加工不具合の閾値、すなわち重み付け量を変えることができるレーザ切断加工装置について説明する。

【0087】

図12は、実施の形態4にかかるレーザ切断加工装置の構成の一例を模式的に示す図である。実施の形態4では、判定値算出部43bの構成が、実施の形態1, 2とは異なる。判定値算出部43bは、機械学習部50をさらに有する。

【0088】

機械学習部50は、学習部51と、データ取得部52と、を備える。学習部51は、機械学習により、入力と結果のデータの組を学習する。学習部51の機械学習のアルゴリズムとしてはどのようなものを用いてもよいが、例えば、教師あり学習のアルゴリズムを用いることができる。データ取得部52は、学習部51における入力として、加工光不具合判定値算出部441からの加工光不具合判定値と、加工音不具合判定値算出部442からの加工音不具合判定値と、加工条件データ71と、加工不具合状態値73と、を学習部51へ入力する。加工不具合状態値73は、ユーザによるレーザ切断加工の加工結果を判断した評価値である。

【0089】

学習部51は、上記した入力を教師データとして与えることで重み付け量を学習する。これによって、ユーザが所望する加工不具合判定結果へとより一致させる重み付け量が求められる。このようにして求められた重み付け量は、重み付け情報記憶部46に記憶される。

【0090】

教師データの与え方としては、予め必要な数の加工光および加工音の時系列データと、被加工物100の切断面品質状況と、を準備しておき、ユーザが所望する加工不具合の閾値を選ぶことで、教師データとしてもよい。あるいは、ユーザが実際に加工を行いながら、各加工結果に切断面品質に対する加工不具合状態値73のユーザ評価を与えることで学習させてもよい。

【0091】

なお、その他の構成は、実施の形態1, 2と同一であるので、その説明を省略する。また、演算部40での加工不具合の発生の有無の判定処理も、実施の形態1で説明したものと同様であるので、その説明を省略する。

【0092】

実施の形態 4 では、機械学習部 50 で、加工光不具合判定値と、加工音不具合判定値と、加工条件データ 71 と、加工不具合状態値 73 と、を用いて、重み付け量を学習させた。これによって、ユーザごとまたは加工用途ごとに、加工不具合の閾値を選択することができるという効果を有する。

【0093】

実施の形態 5 .

実施の形態 4 では、ユーザごとまたは加工用途ごとに、加工不具合の閾値を選択できるようにしたが、実施の形態 5 では、レーザ切断加工において、優先する項目のそれぞれについて、加工条件と加工不具合の種類の組み合わせごとに、重み付け量を準備しておく場合を説明する。

10

【0094】

実施の形態 5 にかかるレーザ切断加工装置 1 の構成は、実施の形態 1 から実施の形態 4 に示したものとすることができる。ただし、重み付け情報記憶部 46 に記憶される重み付け情報は、優先する内容について、加工条件またはこれに加えて加工不具合の種類ごとに重み付け量が定められたものとなる。

【0095】

図 13 は、実施の形態 5 による重み付け情報の一例を示す図である。図 13 では、図 10 の内容に優先内容という項目が追加されている。優先内容は、レーザ切断加工において相対する選択肢を示すものである。相対する選択肢の一例は、速度優先であるか、加工品質優先であるか、である。図 13 に示されるように、優先内容と加工条件と加工不具合の種類の組み合わせごとに、重み付け量が設定される。このようにしておくことで、ユーザは加工する際に、各自の所望する優先度に従って加工不具合検出を行うことができるようになる。一例として、加工条件と加工不具合の種類が決まっている場合に、速度を優先したいときには、重み付け情報の中から、対応する重み付け量が加工不具合検出部 30 に設定される。

20

【0096】

図 13 では、速度優先と加工品質優先の 2 択の例を示したが、2 つの項目間に中間レベルを設けることで、加工用途に従って選択できるようにしてもよい。これによって、加工用途に従って変わる許容加工品質レベルを満たしながら、より最速な切断加工を簡単に選択できるようになる。また、選択肢としては、上記した 2 項目以外に加工安定性優先等を加えた 3 項目としてもよいし、更に他の項目を増やしてもよい。

30

【0097】

実施の形態 5 では、重み付け情報記憶部 46 には、優先内容、加工条件および加工不具合の種類の組み合わせごとに、重み付け量を設定した重み付け情報が記憶される。そして、ユーザが優先したい内容と、加工条件および加工不具合の種類の組み合わせと、について定められた重み付け量によって加工不具合の判定を行うようにした。これによって、ユーザによって、あるいは加工の目的について定められた加工不具合の判定を行うことができるという効果を有する。

【0098】

実施の形態 6 .

40

実施の形態 1 から 5 までは加工装置としてレーザ切断加工装置に関する形態を示した。実施の形態 6 では、加工装置としてワイヤ放電加工装置に加工不具合検出装置を適用した形態について示す。

【0099】

図 14 は、実施の形態 6 にかかるワイヤ放電加工装置の構成の一例を模式的に示す図である。なお、実施の形態 1 と同一の構成要素には、同一の符号を付して、その説明を省略する。ワイヤ放電加工装置 200 は、加工液中で被加工物 100 に近接したワイヤ 202 からの放電パルスにより加工を行う放電加工部 201 と、放電加工部 201 での放電加工の不具合を検出する加工不具合検出装置である加工不具合検出部 230 と、を備える。

【0100】

50

放電加工部 201 は、被加工物 100 を載置するステージ 11 と、放電パルス被加工物 100 に印加する電極であるワイヤ 202 と、電源 205 と、ワイヤ 202 が繰り出されるワイヤボビン 206 と、ワイヤ 202 に接触する一対の給電子 203 と、ワイヤ 202 を支持する一対のダイス 204 と、を有する。ワイヤ 202 は、被加工物 100 において加工したい位置に予め定められた距離を置いて配置される。電源 205 は、給電子 203 とステージ 11 とに接続され、給電子 203 すなわちワイヤ 202 と被加工物 100 との間にパルス電圧を印加する。パルス電圧は、ワイヤ 202 と被加工物 100 との間で放電を生じさせる放電パルス電圧である。放電加工部 201 は、ワイヤボビン 206 から繰り出されたワイヤ 202 を被加工物 100 へ向けて走行させる送給ローラ 207 と、ワイヤ 202 を回収する回収ローラ 209 と、被加工物 100 を通過したワイヤ 202 を回収ローラ 209 へ向けて走行させる下部ローラ 208 と、を有する。また放電加工部 201 で形状加工を実施する場合には、ワイヤ 202 と被加工物 100 との間の相対的位置関係を変更する少なくとも 1 つ以上の図示しない駆動装置が設けられる。

10

【0101】

加工不具合検出部 230 は、実施の形態 1 から 5 と同様に、放電加工部 201 が被加工物 100 を放電加工中に発生する光および音を計測し、この計測結果に基づいて放電加工に不具合が発生していないかを判定する。加工不具合検出部 230 は、実施の形態 1 から 5 と同様に、加工光計測部 231 と、加工音計測部 232 と、演算部 40 と、を備える。

【0102】

加工光計測部 231 は、放電加工時に、被加工物 100 とワイヤ 202 との間に印加された放電電圧によって発生する放電パルスにより発せられる加工光を計測し、計測した加工光を時系列に並べた加工光信号を演算部 40 に出力する。加工光計測部 231 は、実施の形態 1 から 5 の加工光計測部 31 と同様であり、光センサまたは分光器を搭載する。

20

【0103】

加工音計測部 232 は、放電加工時に加工点周辺で発生する加工音を計測し、計測した加工音を時系列に並べた加工音信号を演算部 40 に出力する。ここで、加工音の緒言について説明を加える。ワイヤ 202 から被加工物 100 へ放電パルス電流が流れる際に、電流が被加工物 100 を加工する際の音が加工音として計測される。あるいは、このとき、放電発生点付近の加工液は数千度の高温となることから、急速に気化爆発して気泡が生成される。これに伴い付近の加工液は急激な圧力変化を受けることになり、これが超音波の衝撃波として伝搬し、加工音として計測される。

30

【0104】

ここで、ワイヤ 202 から被加工物 100 へ印加する放電パルス電流が大きいと、放電により被加工物 100 から除去される金属の量も多くなるため、加工速度は速くなるが、表面粗さは大きくなる。また、放電タイミングは、ワイヤ 202 と被加工物 100 との距離により自発的に決定されるため、放電反力を受けて振動するワイヤ 202 の状況により異なるとともに、ワイヤ 202 が被加工物 100 に近づいた際の放電は強くなり、遠い場合の放電は弱くなる。したがって、加工光および加工音は、放電エネルギー、放電タイミング、放電持続時間および放電波形に依存した時系列データとなる。

【0105】

40

実施の形態 1 から 5 のレーザ加工装置の場合と同様に、演算部 40 において、加工音特徴量および加工光特徴量が抽出されたのち、それぞれ、あるいはこれらを組み合わせた特徴量に対して加工不具合が判定される。放電加工装置の場合には、演算部 40 は、各放電パルス印加時に、計測される加工光および加工音の時系列データに対して、強度、強度ばらつき、周波数、タイミングばらつき等の特徴量を抽出して、分析する。その結果、放電集中による火花放電を検知し、ワイヤ断線、被加工面でのキズ発生、あるいは面粗さ劣化等を判定することができる。なお、図 14 では、演算部 40 は、実施の形態 1 に示した演算部 40 と同一の構成を有する場合を示した。しかし、演算部 40 は、実施の形態 1 から 5 のいずれかの構成を有するものであればよい。

【0106】

50

実施の形態 1 から 5 のレーザ加工装置の場合と同様に、被加工物 100 の厚さおよび形状、並びに発生する不具合に応じて、加工音または加工光による良否判定の容易度が異なる。

【0107】

まず、放電加工中における加工光の計測について説明を行う。図 15 は、被加工物の厚さが厚い場合の放電加工時の加工開始時の状況の一例を模式的に示す図である。図 16 は、被加工物の厚さが厚い場合の放電加工時の図 15 よりも加工が進んだ状況の一例を模式的に示す図である。通常のワイヤ放電加工装置 200 の切断溝幅は、ワイヤ 202 の直径に被加工物 100 とワイヤ 202 とのギャップの 2 倍を足したものの相当になる。ワイヤ 202 は、通常 0.02 mm 以上 0.3 mm 以下の直径を有するものが使用されるために、切断溝幅は広くても約 0.5 mm 程度となる。このため、図 15 に示されるように、切断した長さである切り込み量が短い場合には、被加工物 100 の厚さが厚い場合であっても切り込みの開口部から加工光を計測することが容易である。しかし、図 16 に示されるように加工が進行して切り込み量が長い場合には、スリット幅が狭いために徐々に開口部から加工光を計測することが困難となっていく。特に、被加工物 100 の厚さ方向における中心部から下方の位置で発生した放電による加工光を計測することは難しくなる。

10

【0108】

図 17 は、被加工物の厚さが薄い場合の放電加工時の加工が進んだ状況の一例を模式的に示す図である。図 17 は、図 16 と同様の状況であるが、被加工物 100 の厚さが図 16 の場合に比して薄い場合を示している。図 17 に示されるように、被加工物 100 の厚さが薄い場合には、切り込み量が長い場合であっても加工光を計測することは容易であり、加工不具合の発生の判定を行うことが可能である。以上の説明において、被加工物 100 の厚さの厚い、薄いは、一例では、実施の形態 1 で説明した内容を準用することができる。

20

【0109】

つぎに、放電加工中における加工音の計測について説明を行う。加工音についてはマイク等で空气中を伝搬する音を検出するほか、被加工物 100 の内部を伝搬する音波を被加工物 100 の表面に設置したセンサを用いて計測することができる。また、複数のセンサを使用すると音波を検知した時間差によって放電が発生した位置を特定することができる。したがって、加工音計測では被加工物 100 の厚さ、放電が発生した位置に関わらず、計測することが可能である。ただし、加工音計測では、加工光計測と比較して計測できる周波数が低いため、放電波形に対応する高分解能な波形解析は困難である。そのため、例えば 1 マイクロ秒以下の短パルスの放電の解析に対しては加工音計測に比して加工光計測の方が有利となる。

30

【0110】

なお、実施の形態 6 におけるワイヤ放電加工装置 200 における加工不具合の発生の判定は、実施の形態 1 から 5 で示したものと同様であるので、説明を省略する。

【0111】

また、実施の形態 6 においては、ワイヤ放電加工装置 200 の例について説明したが、電極としてワイヤ 202 の代わりに金型を用いる型彫放電加工装置に対して加工不具合検出装置を適用すれば、同様に電流集中による電極の劣化または加工面粗さの劣化等の検知が容易となる。以上のように、ワイヤ放電加工装置 200 および型彫放電加工装置を含む放電加工装置について、実施の形態 1 から 5 の加工不具合検出装置を適用することができる。

40

【0112】

以上の実施の形態に示した構成は、本発明の内容の一例を示すものであり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略、変更することも可能である。

【符号の説明】

【0113】

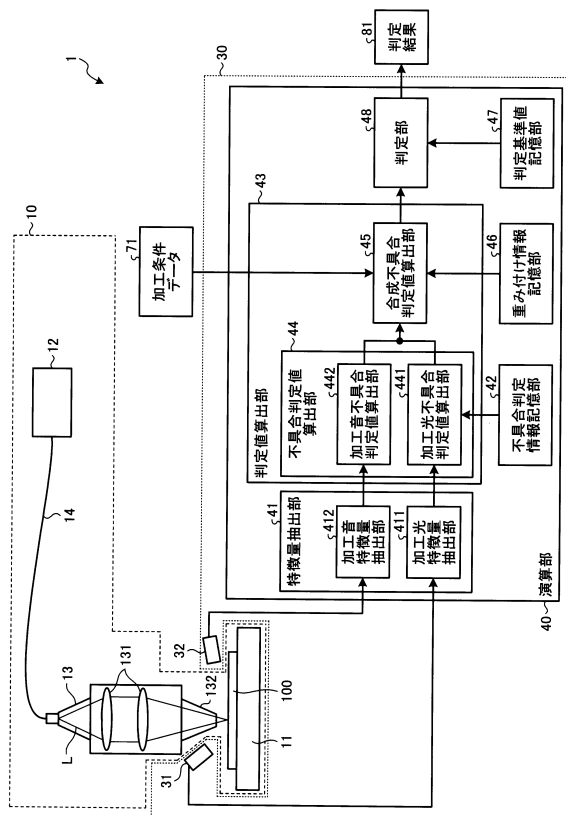
50

1 レーザ切断加工装置、10 レーザ切断加工部、11 ステージ、12 レーザ発振器、13 加工ヘッド、14 光ファイバ、30、230 加工不具合検出部、31、231 加工光計測部、32、232 加工音計測部、40 演算部、41 特徴量抽出部、42 不具合判定情報記憶部、43、43a、43b 判定値算出部、44 不具合判定値算出部、45 合成不具合判定値算出部、46 重み付け情報記憶部、47 判定基準値記憶部、48 判定部、49 合成特徴量抽出部、50 機械学習部、51 学習部、52 データ取得部、71 加工条件データ、72 加工不具合データ、73 加工不具合状態値、81 判定結果、100 被加工物、131 光学系、132 加工ノズル、200 ワイヤ放電加工装置、201 放電加工部、202 ワイヤ、203 給電子、204 ダイス、205 電源、206 ワイヤボビン、207 送給ローラ、208 下部ローラ、209 回収ローラ、411 加工光特徴量抽出部、412 加工音特徴量抽出部、441 加工光不具合判定値算出部、442 加工音不具合判定値算出部。

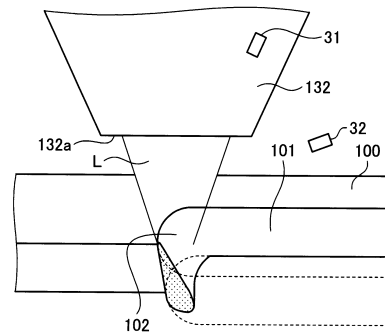
【要約】

加工不具合検出装置(30)は、加工時に加工点で発生する加工光を計測する加工光計測部(31)と、加工点で発生する加工音を計測する加工音計測部(32)と、加工で加工不具合が発生したかどうかを判定する演算部(40)と、を備える。演算部(40)は、特徴量抽出部(41)と、判定値算出部(43)と、判定部(48)と、を有する。特徴量抽出部(41)は、加工光計測部(31)で計測された加工光信号から加工光特徴量を抽出し、加工音計測部(32)で計測された加工音信号から加工音特徴量を抽出する。判定値算出部(43)は、加工光特徴量と加工音特徴量とに基づいて合成不具合判定値を算出する。判定部(48)は、合成不具合判定値を判定基準値と比較して加工不具合が発生したかどうかを判定する。

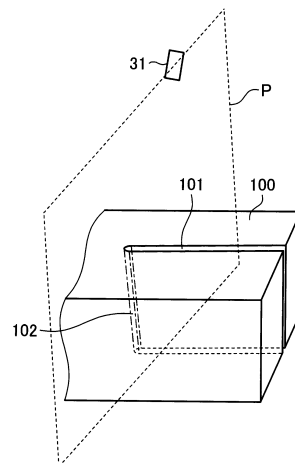
【図1】



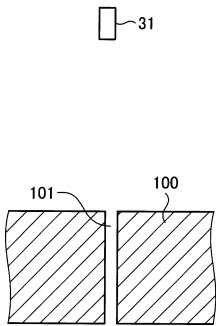
【図2】



【図3】



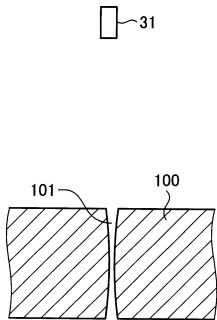
【図 4】



【図 6】

		切断部閉塞による 加工不具合	切断面内の加工不具合	
			厚い	薄い
相対的な 検知精度	加工光	高	低(上部:高、下部:低)	高
	加工音	高	高	低

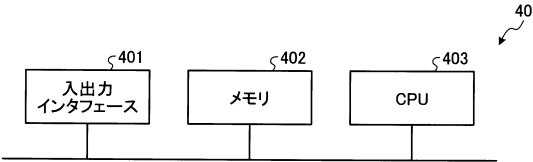
【図 5】



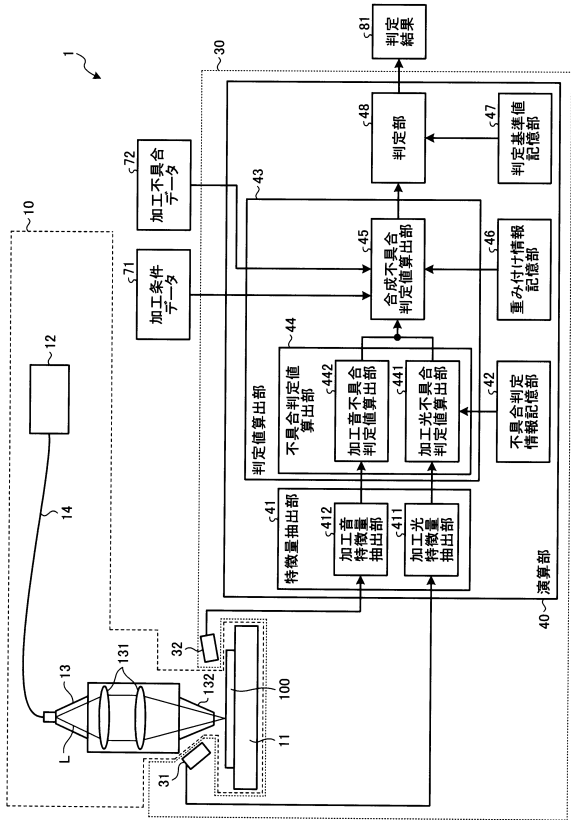
【図 7】

加工条件	重み付け量	
	加工光	加工音
板厚 $\geq$ xx[cm]	0.2	0.8
板厚 $<$ xx[cm]	0.8	0.2

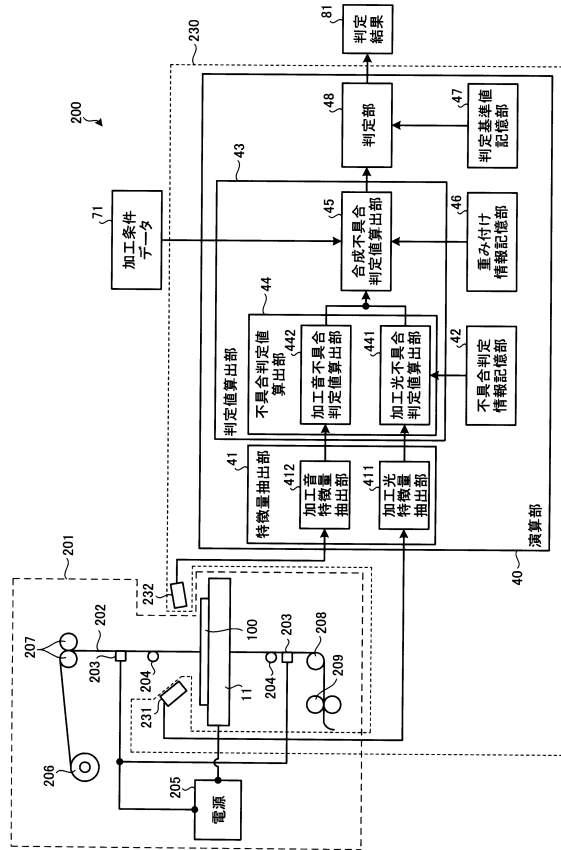
【図 8】



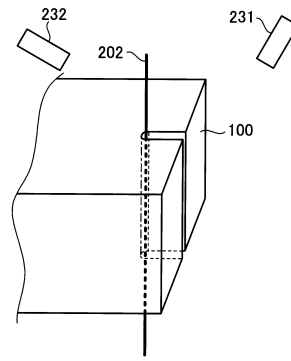
【図 9】



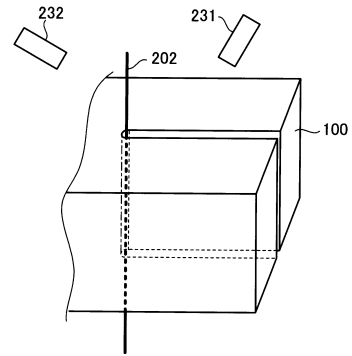
【 図 1 4 】



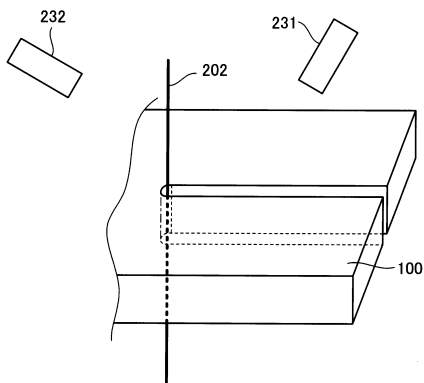
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



フロントページの続き

審査官 柏原 郁昭

(56)参考文献 特開 2 0 1 7 - 0 0 6 9 5 5 (J P , A)
特開平 0 6 - 2 4 6 4 6 7 (J P , A)
特開平 0 5 - 0 7 7 0 7 3 (J P , A)
特開 2 0 1 1 - 2 0 6 8 0 6 (J P , A)
特開平 0 4 - 0 7 5 8 2 2 (J P , A)
特開 2 0 1 8 - 1 4 0 4 3 2 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
B 2 3 K 2 6 / 0 0
B 2 3 H 1 / 0 0
B 2 3 K 2 6 / 0 3