

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-119345
(P2017-119345A)

(43) 公開日 平成29年7月6日(2017.7.6)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 3 P 23/04 (2006.01)	B 2 3 P 23/04	4 E 1 6 8
B 2 3 K 26/38 (2014.01)	B 2 3 K 26/38	Z
B 2 3 K 26/382 (2014.01)	B 2 3 K 26/382	N
B 2 3 K 26/00 (2014.01)	B 2 3 K 26/00	

審査請求 有 請求項の数 2 O L (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2017-73921 (P2017-73921)
 (22) 出願日 平成29年4月3日 (2017.4.3)
 (62) 分割の表示 特願2012-273902 (P2012-273902) の分割
 原出願日 平成24年12月14日 (2012.12.14)

(71) 出願人 000006208
 三菱重工業株式会社
 東京都港区港南二丁目16番5号
 (74) 代理人 110002147
 特許業務法人酒井国際特許事務所
 (72) 発明者 呉屋 真之
 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
 (72) 発明者 鶴我 薫典
 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
 (72) 発明者 渡辺 俊哉
 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

最終頁に続く

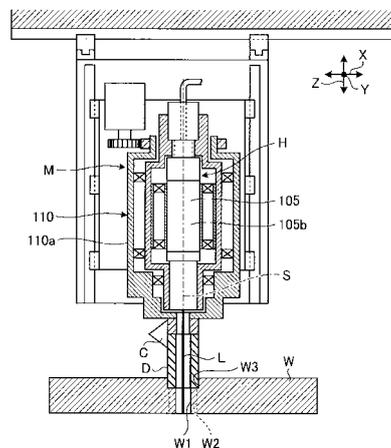
(54) 【発明の名称】 複合加工方法

(57) 【要約】

【課題】レーザ加工と機械加工とを連続または並行して加工の高速化を図ること。

【解決手段】少なくともCFRP、GFRPまたはGMTを含む被加工物を加工するレーザの照射位置と、前記被加工物を加工する工具の加工位置とを所定の移動基準に合わせて移動させ、前記レーザにより前記被加工物を加工するレーザ加工工程と、前記レーザ加工工程に続けて前記レーザにより加工した前記被加工物の位置を前記工具により加工する機械加工工程と、を含み、前記レーザ加工工程は、前記レーザにより前記被加工物の切断または穴の貫設を粗加工し、前記機械加工工程は、前記レーザにより加工した前記被加工物の前記切断の面部または前記穴の開口縁を前記工具により仕上げ加工する。

【選択図】 図9



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくともCFRP、GFRPまたはGMTを含む被加工物を加工するレーザーの照射位置と、前記被加工物を加工する工具の加工位置とを所定の移動基準に合わせて移動させ、前記レーザーにより前記被加工物を加工するレーザー加工工程と、

前記レーザー加工工程に続けて前記レーザーにより加工した前記被加工物の位置を前記工具により加工する機械加工工程と、

を含み、

前記レーザー加工工程は、前記レーザーにより前記被加工物の切断または穴の貫設を粗加工し、前記機械加工工程は、前記レーザーにより加工した前記被加工物の前記切断の面部または前記穴の開口縁を前記工具により仕上げ加工することを特徴とする複合加工方法。

10

【請求項 2】

少なくともCFRP、GFRPまたはGMTを含む被加工物を加工するレーザーの照射位置と、前記被加工物を加工する工具の加工位置とを所定の移動基準に合わせて移動させ、

前記レーザーにより前記被加工物を加工するレーザー加工工程と、

前記レーザー加工工程に続けて前記レーザーにより加工した前記被加工物の位置を前記工具により加工する機械加工工程と、

を含み、

前記レーザー加工工程は、ピークパワーが1kW～30kW、パルス幅が10マイクロ秒～100ミリ秒のパルス発振モードの前記レーザーにより前記被加工物を熱変質させた熱変質層を形成し、前記機械加工工程は、前記レーザーにより熱変質された前記被加工物の位置を前記工具により加工することを特徴とする複合加工方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザー加工ヘッドおよび機械加工ヘッドにより双方のヘッドを用いた複合加工を行う複合加工方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、例えば、特許文献1に記載の複合加工装置（複合加工機）は、ワークに対してレーザー加工または機械加工を選択的に施すものである。具体的に、この複合加工装置は、光ファイバの側面からレーザーを入射してレーザーを励起するサイドポンプ方式のファイバレーザーを用いてワークを加工するレーザービームを照射するレーザー加工ヘッドと、ワークを切削または研削するための工具を装着する主軸を有した機械加工ヘッドと、レーザー加工ヘッドのレーザービームの光軸と機械加工ヘッドの主軸とが平行になるように、かつ両ヘッド間で相対移動できないように両ヘッドを固定する主軸台と、ワークを取付け、主軸台との間で相対移動するように設けられたテーブルと、レーザー加工ヘッドのレーザービームの焦点位置合せおよびワークの形状寸法の計測を行う計測手段であって、主軸台とテーブルとのX、Y、Z軸の相対移動の現在位置を検出する現在位置検出装置、およびレーザー加工ヘッドのレーザービームと同じ集光レンズを通るように投光された計測用光線のワーク表面からの反射光をとらえるCCDカメラを有する計測手段と、を具備し、機械加工ヘッドの主軸に工具を取り付け、レーザー加工ヘッドのレーザービームの出力をOFFとするか、または主軸から工具を取外し、レーザービームの出力をONとするかによってレーザー加工と機械加工とを切り換え可能にする。

30

40

【0003】

この特許文献1に記載の複合加工装置は、以下の効果を図る。レーザー加工と機械加工との切り換えを、機械加工ヘッドの主軸への工具の着脱またはレーザー加工ヘッドのレーザービームの出力のON、OFFにより迅速に行える。また、その切り換え時にレーザービームの光軸中心出しを行わなくても光軸振れはないので、すぐにレーザー加工を開始でき、機械の稼働率が上がる。しかも光軸振れがないことは高精度な加工が行えることであり、特に微細

50

加工に適す。また、レーザ加工ヘッドと機械加工ヘッドのZ軸方向の位置関係、およびXY平面内における位置関係を適切に設定することにより、レーザ加工または機械加工中にワークとレーザ加工ヘッドまたは機械加工ヘッドとがぶつかることはない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特許第4721844号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上述した特許文献1に記載の複合加工装置は、レーザ加工と機械加工とを切り換えることを前提とし、この切り換えを迅速に行うことで加工の高速化を図っている。しかし、近年では、さらなる加工の高速化が求められ、レーザ加工と機械加工とを切り換えることなく、レーザ加工と機械加工とを連続または並行して行うことが切望されている。

【0006】

本発明は上述した課題を解決するものであり、レーザ加工と機械加工とを連続または並行して加工の高速化を図ることのできる複合加工方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上述の目的を達成するために、第1の発明の複合加工方法は、少なくともCFRP、GFRPまたはGMTを含む被加工物を加工するレーザの照射位置と、前記被加工物を加工する工具の加工位置とを所定の移動基準に合わせて移動させ、前記レーザにより前記被加工物を加工するレーザ加工工程と、前記レーザ加工工程に続けて前記レーザにより加工した前記被加工物の位置を前記工具により加工する機械加工工程と、を含み、前記レーザ加工工程は、前記レーザにより前記被加工物の切断または穴の貫設を粗加工し、前記機械加工工程は、前記レーザにより加工した前記被加工物の前記切断の面部または前記穴の開口縁を前記工具により仕上げ加工することを特徴とする。

【0008】

この複合加工方法によれば、レーザの照射位置と工具の加工位置とが所定の移動基準に基づき移動しつつ、レーザ加工工程に続けて機械加工工程を行うことで、機械加工では加工時間のかかる加工をレーザ加工で行い、その仕上げとして機械加工を行う各工程を、所定の移動基準で続けて行う。このため、加工の高速化を図ることができる。特に、複合材の加工においては、機械加工では工具の消耗が激しくランニングコストが嵩むが、レーザ加工を先に行い、その仕上げとして機械加工を行うことから、工具の長寿命化を図り、ランニングコストを低減することができる。しかも、複合材の加工においては、レーザ加工だけでは加工面が粗くなるが、レーザにより粗加工を先に行い、その仕上げとして機械加工を行うことから、高品質の加工を高速で行うことができる。

【0009】

上述の目的を達成するために、第2の発明の複合加工方法は、少なくともCFRP、GFRPまたはGMTを含む被加工物を加工するレーザの照射位置と、前記被加工物を加工する工具の加工位置とを所定の移動基準に合わせて移動させ、前記レーザにより前記被加工物を加工するレーザ加工工程と、前記レーザ加工工程に続けて前記レーザにより加工した前記被加工物の位置を前記工具により加工する機械加工工程と、を含み、前記レーザ加工工程は、ピークパワーが1kW~30kW、パルス幅が10マイクロ秒~100ミリのパルス発振モードの前記レーザにより前記被加工物を熱変質させた熱変質層を形成し、前記機械加工工程は、前記レーザにより熱変質された前記被加工物の位置を前記工具により加工することを特徴とする。

【0010】

この複合加工方法によれば、レーザの照射位置と工具の加工位置とが所定の移動基準に基づき移動しつつ、レーザ加工工程に続けて機械加工工程を行うことで、機械加工では加

10

20

30

40

50

工時間のかかる加工をレーザ加工で行い、その仕上げとして機械加工を行う各工程を、所定の移動基準で続けて行う。このため、加工の高速化を図ることができる。特に、複合材の加工においては、機械加工では工具の消耗が激しくランニングコストが嵩むが、レーザ加工を先に行い、その仕上げとして機械加工を行うことから、工具の長寿命化を図り、ランニングコストを低減することができる。しかも、レーザの加熱により被加工物を熱変質させた後、機械加工を行うことで、機械加工の加工抵抗を下げることができ、機械加工の工具寿命を延ばすことができ、工具のコスト低減および工具交換に係わる時間を低減することができる。ランニングコストの低減、単位時間当たりの処理能力の向上に寄与することができる。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、レーザ加工と機械加工とを連続または並行して加工の高速化を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】図1は、本発明の実施形態1に係る複合加工装置の構成図である。

【図2】図2は、本発明の実施形態1に係る複合加工方法の処理手順を示すフローチャートである。

【図3】図3は、本発明の実施形態2に係る複合加工装置の構成図である。

【図4】図4は、本発明の実施形態2に係る複合加工装置のレーザ加工ヘッドの構成図である。

【図5】図5は、本発明の実施形態2に係る複合加工装置のレーザ加工ヘッドの動作を説明するための説明図である。

【図6】図6は、本発明の実施形態2に係る複合加工装置のレーザ加工ヘッドの動作を説明するための説明図である。

【図7】図7は、本発明の実施形態2に係る複合加工方法の処理手順を示す工程図である。

【図8】図8は、本発明の実施形態2に係る複合加工方法の処理手順を示す工程図である。

【図9】図9は、本発明の実施形態2に係る複合加工方法の処理手順を示す工程図である。

【図10】図10は、本発明の実施形態2に係る複合加工方法の処理手順を示す工程図である。

【図11】図11は、本発明の実施形態2に係る複合加工方法の処理手順を示す工程図である。

【図12】図12は、本発明の実施形態2に係る複合加工方法の処理手順を示す工程図である。

【図13】図13は、本発明の実施形態2に係る複合加工方法の処理手順を示す工程図である。

【図14】図14は、本発明の実施形態2に係る複合加工方法の処理手順を示す工程図である。

【図15】図15は、本発明の実施形態3に係る複合加工装置の構成図である。

【図16】図16は、本発明の実施形態3に係る複合加工方法の処理手順を示す工程図である。

【図17】図17は、本発明の実施形態3に係る複合加工方法の処理手順を示す工程図である。

【図18】図18は、本発明の実施形態3に係る複合加工方法の処理手順を示す工程図である。

【図19】図19は、本発明の実施形態3に係る複合加工方法の処理手順を示す工程図である。

10

20

30

40

50

【図 20】図 20 は、本発明の実施形態 4 に係る複合加工方法の処理手順を示す工程図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

本発明を実施するための形態（実施形態）につき、図面を参照しつつ詳細に説明する。以下の実施形態に記載した内容により本発明が限定されるものではない。また、以下に記載した構成要素には、当業者が容易に想定できるもの、実質的に同一のものが含まれる。さらに、以下に記載した構成要素は適宜組み合わせることが可能である。

【0014】

[実施形態 1]

図 1 は、本実施形態に係る複合加工装置の構成図であり、図 2 は、本実施形態に係る複合加工方法の処理手順を示すフローチャートである。

【0015】

図 1 に示すように、複合加工装置 1 は、被加工物支持機構 2 と、ヘッド支持機構 3 とを含む。

【0016】

被加工物支持機構 2 は、複合加工装置 1 の固定フレーム 1 a に対して被加工物 W を支持するものである。被加工物支持機構 2 は、本実施形態では、例えば、固定フレーム 1 a である載置台の上に載置された被加工物 W の周囲を締め付けて固定するチャック部 2 a を有する。

【0017】

ここで、本実施形態の被加工物 W としては、CFRP（炭素繊維強化プラスチック、Carbon Fiber Reinforced Plastics）、GFRP（ガラス繊維強化プラスチック）、GMT（ガラス長繊維強化プラスチック）などの繊維強化プラスチック、鋼板以外の鉄合金、アルミ合金などの各種金属を用いることができ、特に、CFRP を含む複合材や GFRP が適用される。また、被加工物 W は、インコネル、ハステロイ、ステンレス、セラミック、鋼、炭素鋼、セラミックス、シリコン、チタン、タングステン、樹脂、プラスチック、ガラスなどで作成された部材を用いることもできる。

【0018】

ヘッド支持機構 3 は、複合加工装置 1 の固定フレーム 1 a に対してレーザ加工ヘッド H および機械加工ヘッド M を支持するものである。ヘッド支持機構 3 は、本実施形態では、例えば、固定フレーム 1 a である水平梁に対してレーザ加工ヘッド H および機械加工ヘッド M を移動可能に支持するもので、水平梁に移動機構 3 1 を介してレーザ加工ヘッド H や機械加工ヘッド M を支持する。

【0019】

移動機構 3 1 は、例えば、X 軸移動機構、Y 軸移動機構、および Z 軸移動機構を含む。移動機構 3 1 の X 軸移動機構は、X 軸方向（図 1 における左右方向）に延在する X 軸レール 3 1 a が、固定フレーム 1 a である水平梁の下部に対して平行に 1 対固定されている。そして、X 軸移動機構は、1 対の X 軸レール 3 1 a に対して直交する Y 軸方向（図 1 における奥行き方向）に延在する Y 軸レール 3 1 b が、1 対の X 軸レール 3 1 a の延在方向に沿って X 軸方向に移動可能に設けられている。

【0020】

移動機構 3 1 の Y 軸移動機構は、Y 軸移動部材 3 1 c が、1 対の Y 軸レール 3 1 b の延在方向に沿って Y 軸方向に移動可能に設けられている。

【0021】

移動機構 3 1 の Z 軸移動機構は、Y 軸移動部材 3 1 c に Z 軸支持部材 3 1 d が設けられ、この Z 軸支持部材 3 1 d に対して Z 軸方向（図 1 における上下方向）に延在する Z 軸レール 3 1 e が、平行に 1 対固定されている。そして、Z 軸移動機構は、Z 軸移動部材 3 1 f が、1 対の Z 軸レール 3 1 e の延在方向に沿って Z 軸方向に移動可能に設けられている。そして、この Z 軸移動部材 3 1 f に対してレーザ加工ヘッド H および機械加工ヘッド M

10

20

30

40

50

が設置されている。

【 0 0 2 2 】

すなわち、移動機構 3 1 は、X 軸移動機構によりレーザ加工ヘッド H および機械加工ヘッド M を X 軸方向に移動させ、Y 軸移動機構によりレーザ加工ヘッド H および機械加工ヘッド M を Y 軸方向に移動させ、Z 軸移動機構によりレーザ加工ヘッド H および機械加工ヘッド M を Z 軸方向に移動させる。

【 0 0 2 3 】

レーザ加工ヘッド H は、レーザ加工ヘッド駆動部（レーザ出力装置）により出力されたレーザ L を照射するものである。このレーザ加工ヘッド H は、機械加工ヘッド M とともに Z 軸移動部材 3 1 f に対して設置されていることから、機械加工ヘッド M からの伝熱（例えば、約 5 0 [] ）を抑制するため、冷却手段 4 を有する。冷却手段 4 は、本実施形態では、図 1 に示すように、レーザ加工ヘッド H の内部に冷却水を供給する冷却水管を配置した水冷式として構成されている。また、レーザ加工ヘッド H は、被加工物 W として複合材を用いる場合、複合材の燃焼を抑制するため、アシストガス供給手段 5 を有する。アシストガス供給手段 5 は、例えば、図 1 に示すように、レーザ加工ヘッド H の側部に配置したガス供給管からアシストガス（例えば、窒素やアルゴン）をレーザ L と同軸に供給するものや、図には明示しないが、被加工物 W のレーザ L が照射される部分にアシストガスを噴射するものがある。

10

【 0 0 2 4 】

機械加工ヘッド M は、本実施形態では、レーザ加工を行った後に、レーザ加工部分を切削により仕上げ加工を行うもので、切削工具としてのエンドミル E が適用される。そして、機械加工ヘッド M は、このエンドミル E を回転させるモータなどの駆動源を備える。また、機械加工ヘッド M は、被加工物 W が複合材である場合、その主軸や摺動面の油が工具（エンドミル E ）に伝わって被加工物 W に付着することで複合材が変質する事態を防ぐために、適宜シール構造を備える。

20

【 0 0 2 5 】

本実施形態の複合加工装置 1 は、Z 軸移動部材 3 1 f に対して設置されるレーザ加工ヘッド H および機械加工ヘッド M について、被加工物 W を加工するレーザ L の照射位置と、被加工物 W を加工する工具（エンドミル E ）の加工位置とが所定の移動基準に合わせて配置されている。具体的に、本実施形態では、被加工物 W を加工するレーザ L の照射位置と、被加工物 W を加工する工具の加工位置とが、直線の移動基準である X 軸方向に合うように、レーザ加工ヘッド H および機械加工ヘッド M が Z 軸移動部材 3 1 f に対して設置されている。このため、レーザ加工ヘッド H および機械加工ヘッド M は、移動機構 3 1 の X 軸移動機構により、例えば、図 1 の矢印 A 方向への移動において、レーザ加工ヘッド H が X 軸方向に先行して移動し、続けて機械加工ヘッド M が X 軸方向に移動する。

30

【 0 0 2 6 】

また、本実施形態の複合加工装置 1 は、レーザ加工ヘッド H を X 軸方向に移動させることで、板状の被加工物 W は切断加工される。この場合、その後に機械加工ヘッド M の工具が切断された被加工物 W の切断片に接触して機械加工の妨げになるおそれがある。そこで、本実施形態の複合加工装置 1 では、Z 軸移動部材 3 1 f に対し、レーザ加工ヘッド H と機械加工ヘッド M との間に、レーザ加工ヘッド H におけるレーザ L で切断された被加工物 W の切断片に押圧接触し得る接触部 6 を有している。接触部 6 は、ローラとして構成され、Z 軸方向（図 1 における下側）に切断片を押圧するように、レーザ加工ヘッド H のレーザ L の加工位置よりも下側に押圧力を付与された形態で Z 軸移動部材 3 1 f に取り付けられている。

40

【 0 0 2 7 】

また、本実施形態の複合加工装置 1 は、機械加工ヘッド M が、回転駆動や、被加工物 W の加工時に振動を伴うことから、この振動のレーザ加工ヘッド H への伝達を抑えるため、レーザ加工ヘッド H と機械加工ヘッド M との間にゴム材などからなる防振部材 7 が配置されている。図 1 では、レーザ加工ヘッド H および機械加工ヘッド M が配置される Z 軸移動

50

部材 3 1 f とレーザ加工ヘッド H との間に防振部材 7 が配置された形態を示している。その他、Z 軸移動部材 3 1 f と機械加工ヘッド M との間に防振部材 7 が配置されていてもよい。また、Z 軸移動部材 3 1 f に配置された機械加工ヘッド M にレーザ加工ヘッド H が取り付けられる場合、機械加工ヘッド M とレーザ加工ヘッド H との取り付け部分に防振部材 7 が介在される。

【 0 0 2 8 】

また、本実施形態の複合加工装置 1 は、機械加工ヘッド M による加工において加工屑が生じ、この加工屑が機械加工ヘッド M の工具に付着した場合は工具を傷つけて工具の耐久性が低下するおそれがあり、加工屑がレーザ加工ヘッド H のレンズに付着した場合は、レーザ L の光学系を傷つけて光学系の耐久性が低下するおそれがある。このため、本実施形態の複合加工装置 1 では、機械加工ヘッド M における工具の加工位置に向けて送風する送風部（例えば、エアまたはガスを噴射するノズルおよび図示しないエア供給源）8 a と、機械加工ヘッド M における工具の加工位置に向けて吸引する吸引部（例えば、吸引ファン）8 b とを有する。このため、機械加工ヘッド M による加工において生じる加工屑は、送風部 8 a により飛ばされて機械加工ヘッド M の工具やレーザ加工ヘッド H のレンズに付着する事がなくなる。また、機械加工ヘッド M による加工において生じる加工屑、または送風部 8 a により飛ばされる加工屑は、吸引部 8 b により吸引されて機械加工ヘッド M の工具やレーザ加工ヘッド H のレンズに付着する事がなくなる。なお、図には明示しないが、吸引部 8 b は、その吸引の下流側にダクトを介してフィルタに接続され、加工屑を回収するように構成されていることが好ましい。また、送風部 8 a と吸引部 8 b とは何れか一方のみ設けられていてもよい。

10

20

【 0 0 2 9 】

また、複合加工装置 1 は、制御装置 9 を有する。制御装置 9 は、上述したレーザ加工ヘッド H の駆動や、機械加工ヘッド M の駆動や、移動機構 3 1 による移動を制御するもので、制御部 9 1、記憶部 9 2、入力部 9 3、表示部 9 4、レーザ加工ヘッド駆動部（レーザ出力装置）9 5、機械加工ヘッド駆動部 9 6、およびヘッド移動部 9 7 を含む。

【 0 0 3 0 】

制御部 9 1 は、例えば、CPU（Central Processing Unit：中央演算装置）であり、入力部 9 3 からの入力や記憶部 9 2 からデータの受け付け、当該入力に応じてレーザ加工ヘッド駆動部 9 5、機械加工ヘッド駆動部 9 6、およびヘッド移動部 9 7 に指令を出力する。記憶部 9 2 は、一例として、ハードディスク装置または半導体記憶デバイスである。記憶部 9 2 は、被加工物データベース 9 2 a を有する。被加工物データベース 9 2 a は、被加工物 W の加工に基づく設計情報（例えば、被加工物 W の形状や材質など）が格納される。この記憶部 9 2 は、制御部 9 1 と通信回線を通じて接続されるもの（例えば、データサーバー）であってもよい。入力部 9 3 は、キーボードやマウスなどからなる。表示部 9 4 は、画面を有し、当該画面に入力部 9 3 で入力された内容や、記憶部 9 2 から入力された内容や、レーザ加工ヘッド駆動部 9 5 によるレーザ加工ヘッド H の駆動状況や、機械加工ヘッド駆動部 9 6 による機械加工ヘッド M の駆動状況や、ヘッド移動部 9 7 によるレーザ加工ヘッド H および機械加工ヘッド M の移動状況などが表示される。

30

40

【 0 0 3 1 】

レーザ加工ヘッド駆動部 9 5 は、レーザ L を出力する装置である。レーザ加工ヘッド駆動部 9 5 は、光ファイバを媒質に用いてレーザ L を出力するファイバレーザ出力装置や、短パルスのレーザ L を出力する短パルスレーザ出力装置を用いることができる。ファイバレーザ出力装置としては、ファブリペロー型ファイバレーザ出力装置やリング型ファイバレーザ出力装置が励磁される。また、ファイバレーザ出力装置は、連続波発振（Continuous Wave Operation）とパルス発振（Plused Operation）のいずれの方式を用いるものでもよい。ファイバレーザ出力装置のファイバは、例えば、希土類元素（Er、Nd、Yb）を添加したシリカガラスを使用することができる。また、短パルスとは、パルス幅が 100 ピコ秒以下のパルスである。短パルスレーザ出力装置のレーザ L の発生源としては、例えば、チタンサファイアレーザを用いることができる。このレーザ加工ヘッド駆動部

50

95は、制御部91からの指令に基づいてレーザLの出力を制御する。本実施形態では、板状の複合材である被加工物Wの板厚を1[in]以下(好ましくは1/2[in]以下)とし、レーザLの波長を1.0[μm]~1.1[μm]の赤外光(可視光や紫外光でもよい)を適用し、レーザLの出力を100[W]~50[kW]とする。この場合、アシストガス圧は、0.1[MPa]~1.0[MPa]が好ましい。

【0032】

機械加工ヘッド駆動部96は、制御部91からの指令に基づいて工具の回転速度を制御する。

【0033】

ヘッド移動部97は、制御部91からの指令に基づいてレーザ加工ヘッドHの上記移動を制御する。本実施形態では、板状の複合材である被加工物Wの板厚を1[in]以下(好ましくは1/2[in]以下)とし、機械加工ヘッドMの主軸テーパ(工具を取り付ける取付具(アーク)のサイズ)を40番以上とし、主軸出力を15[kW]以上とする。

10

【0034】

以下、図2を参照して本実施形態に係る複合加工方法の処理手順を説明する。図2に示すように、制御部91は、入力部93からの入力にしたがって加工すべき被加工物Wの設計情報を記憶部92の被加工物データベース92aから取得する(ステップS1)。次に、制御部91は、被加工物Wの設計情報から、加工する被加工物Wの位置や、レーザ加工ヘッドHによるレーザLの出力や、機械加工ヘッドMによる工具の回転速度や、レーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMの移動速度(加工時間)などの加工条件を決定する(ステップS2)。次に、制御部91は、決定した加工条件に基づきレーザ加工ヘッド駆動部95、機械加工ヘッド駆動部96およびヘッド移動部97に指令を出力し加工を実施する(ステップS3)。

20

【0035】

ステップS2において、制御部91は、図1に示すようにレーザ加工ヘッドHを移動方向の前側とし、直線の移動基準であるX軸方向(図1中矢印A方向)にレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMを移動させるように加工条件を決定する。このため、ステップS3において、被加工物Wを加工するレーザLの照射位置と、被加工物Wを加工する工具の加工位置とを直線の移動基準に合わせてスライド移動させ、レーザ加工に続けてレーザLにより加工した被加工物Wの位置を工具により加工する。これにより、被加工物Wが、レーザLにより切断されつつ続けて切断部分が工具により仕上げ加工される。

30

【0036】

このように、本実施形態の複合加工方法は、被加工物Wを加工するレーザLの照射位置と、被加工物Wを加工する工具の加工位置とを所定の移動基準に合わせて移動させ、レーザLにより被加工物Wを加工するレーザ加工工程と、レーザ加工工程に続けてレーザLにより加工した被加工物Wの位置を工具により加工する機械加工工程と、を含む。

【0037】

この複合加工方法によれば、レーザLの照射位置と工具の加工位置とが所定の移動基準に基づき移動しつつ、レーザ加工工程に続けて機械加工工程を行うことで、機械加工では加工時間のかかる加工をレーザ加工で行い、その仕上げとして機械加工を行う各工程を、所定の移動基準で続けて行う。このため、加工の高速化を図ることが可能になる。特に、複合材の加工においては、機械加工では工具の消耗が激しくランニングコストが嵩むが、レーザ加工を先に行い、その仕上げとして機械加工を行うことから、工具の長寿命化を図り、ランニングコストを低減することが可能になる。

40

【0038】

また、本実施形態の複合加工方法は、被加工物Wを加工するレーザLの照射位置と、被加工物Wを加工する工具の加工位置とを直線の移動基準に合わせてスライド移動させる。

【0039】

この複合加工方法によれば、レーザ加工工程を行いながら、機械加工工程を行って被加工物Wを切断する。このため、被加工物Wの切断加工を高速で行うことが可能になる。

50

【 0 0 4 0 】

また、本実施形態の複合加工方法では、レーザ加工工程は、レーザLにより被加工物Wを粗加工し、機械加工工程は、レーザLにより加工した被加工物Wの位置を工具により仕上げ加工する。

【 0 0 4 1 】

この複合加工方法によれば、複合材の加工においては、レーザ加工だけでは加工面が粗くなるが、レーザLにより粗加工を先に行い、その仕上げとして機械加工を行うことから、高品質の加工を高速で行うことが可能になる。

【 0 0 4 2 】

また、本実施形態の複合加工装置1は、被加工物Wを加工するレーザLを照射するレーザ加工ヘッドHと、被加工物Wを加工する工具を有する機械加工ヘッドMと、レーザ加工ヘッドHにおけるレーザLの照射位置および機械加工ヘッドMにおける工具の加工位置を所定の移動基準に合わせてレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMを一体に支持し、かつ前記移動基準に基づいてレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMを移動させる移動機構31と、を含む。

10

【 0 0 4 3 】

この複合加工装置1によれば、被加工物Wを加工するレーザLの照射位置と、被加工物Wを加工する工具の加工位置とを所定の移動基準に合わせて移動させ、レーザLにより被加工物Wを加工するレーザ加工工程と、レーザ加工工程に続けてレーザLにより加工した被加工物Wの位置を工具により加工する機械加工工程とを行う本実施形態の複合加工方法を実施することが可能になる。すなわち、レーザ加工工程に続けて機械加工工程を行うことで、機械加工では加工時間のかかる加工をレーザ加工で行い、その仕上げとして機械加工を行う各工程を、所定の移動基準で続けて連続して行う。このため、加工の高速化を図ることが可能になる。特に、複合材の加工においては、機械加工では工具の消耗が激しくランニングコストが嵩むが、レーザ加工を先に行い、その仕上げとして機械加工を行うことから、工具の長寿命化を図り、ランニングコストを低減することが可能になる。

20

【 0 0 4 4 】

また、本実施形態の複合加工装置1では、移動機構31は、レーザ加工ヘッドHにおけるレーザLの照射位置および機械加工ヘッドMにおける工具の加工位置を直線の移動基準に合わせてレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMを一体に支持し、かつ前記直線の移動基準に沿ってレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMをスライド移動させる。

30

【 0 0 4 5 】

この複合加工装置1によれば、レーザ加工を行いながら、機械加工を行って被加工物Wを切断する。このため、被加工物Wの切断加工を高速で行うことが可能になる。

【 0 0 4 6 】

また、本実施形態の複合加工装置1は、加工時の移動方向の前側にレーザ加工ヘッドHを配置し、かつレーザ加工ヘッドHと機械加工ヘッドMとの間にレーザ加工ヘッドHにおけるレーザLで切断された被加工物Wの切断片に対して押圧接触し得る接触部6を有する。

40

【 0 0 4 7 】

この複合加工装置1によれば、接触部6によりレーザLで切断された切断片を押圧することで、レーザLで切断加工された後に機械加工ヘッドMの工具が切断された被加工物Wの切断片に接触して機械加工の妨げになる事態を防ぐことが可能になる。

【 0 0 4 8 】

また、本実施形態の複合加工装置1は、レーザ加工ヘッドHと機械加工ヘッドMとの間に防振部材7を配置する。

【 0 0 4 9 】

この複合加工装置1によれば、機械加工ヘッドMの振動をレーザ加工ヘッドHに伝達する事態を抑えるため、当該振動によるレーザ加工の影響（例えば、レーザLの照射位置の精度低下など）を抑制することが可能になる。

50

【 0 0 5 0 】

また、本実施形態の複合加工装置 1 は、機械加工ヘッド M における工具の加工位置に向けて送風する送風部 8 a を含む。

【 0 0 5 1 】

この複合加工装置 1 によれば、機械加工ヘッド M による加工において生じる加工屑が、送風部 8 a により飛ばされることで、機械加工ヘッド M の工具やレーザ加工ヘッド H のレンズに付着する事態を防ぐ。このため、加工屑が機械加工ヘッド M の工具に付着し工具を傷つけて工具の耐久性が低下したり、加工屑がレーザ加工ヘッド H のレンズに付着しレーザ L の光学系を傷つけて光学系の耐久性が低下したりする事態を防ぐことが可能になる。

【 0 0 5 2 】

また、本実施形態の複合加工装置 1 は、機械加工ヘッド M における工具の加工位置に向けて吸引する吸引部 8 b を含む。

【 0 0 5 3 】

この複合加工装置 1 によれば、機械加工ヘッド M による加工において生じる加工屑が、吸引部 8 b により吸引されることで、機械加工ヘッド M の工具やレーザ加工ヘッド H のレンズに付着する事態を防ぐ。このため、加工屑が機械加工ヘッド M の工具に付着し工具を傷つけて工具の耐久性が低下したり、加工屑がレーザ加工ヘッド H のレンズに付着しレーザ L の光学系を傷つけて光学系の耐久性が低下したりする事態を防ぐことが可能になる。

【 0 0 5 4 】

[実施形態 2]

図 3 は、本実施形態に係る複合加工装置の構成図であり、図 4 は、本実施形態に係る複合加工装置のレーザ加工ヘッドの構成図であり、図 5 および図 6 は、本実施形態に係る複合加工装置のレーザ加工ヘッドの動作を説明するための説明図であり、図 7 ~ 図 1 4 は、本実施形態に係る複合加工方法の処理手順を示す工程図である。

【 0 0 5 5 】

図 3 に示すように、複合加工装置 1 は、被加工物支持機構 2 (図 7 参照) と、ヘッド支持機構 3 とを含む。

【 0 0 5 6 】

被加工物支持機構 2 は、複合加工装置 1 の固定フレーム 1 a に対して被加工物 W を支持するものである。被加工物支持機構 2 は、本実施形態では、例えば、図 7 に示すように、固定フレーム 1 a である載置台の上に載置された被加工物 W の周囲を締め付けて固定するチャック部 2 a を有する。

【 0 0 5 7 】

ここで、本実施形態の被加工物 W としては、CFRP (炭素繊維強化プラスチック、Carbon Fiber Reinforced Plastics)、GFRP (ガラス繊維強化プラスチック)、GMT (ガラス長繊維強化プラスチック) などの繊維強化プラスチック、鋼板以外の鉄合金、アルミ合金などの各種金属を用いることができ、特に、CFRP を含む複合材や GFRP が適用される。また、被加工物 W は、インコネル、ハステロイ、ステンレス、セラミック、鋼、炭素鋼、セラミックス、シリコン、チタン、タングステン、樹脂、プラスチック、ガラスなどで作成された部材を用いることもできる。

【 0 0 5 8 】

ヘッド支持機構 3 は、複合加工装置 1 の固定フレーム 1 a に対してレーザ加工ヘッド H および機械加工ヘッド M を支持するものである。ヘッド支持機構 3 は、本実施形態では、例えば、固定フレーム 1 a である水平梁に対してレーザ加工ヘッド H および機械加工ヘッド M を移動可能に支持するもので、水平梁に移動機構 3 1 を介してレーザ加工ヘッド H や機械加工ヘッド M を支持する。

【 0 0 5 9 】

移動機構 3 1 は、例えば、X 軸移動機構、Y 軸移動機構、および Z 軸移動機構を含む。移動機構 3 1 の X 軸移動機構は、X 軸方向 (図 3 における左右方向) に延在する X 軸レール 3 1 a が、固定フレーム 1 a である水平梁の下部に対して平行に 1 対固定されている。

10

20

30

40

50

そして、X軸移動機構は、1対のX軸レール31aに対して直交するY軸方向（図3における奥行き方向）に延在するY軸レール31bが、1対のX軸レール31aの延在方向に沿ってX軸方向に移動可能に設けられている。

【0060】

移動機構31のY軸移動機構は、Y軸移動部材31cが、1対のY軸レール31bの延在方向に沿ってY軸方向に移動可能に設けられている。

【0061】

移動機構31のZ軸移動機構は、Y軸移動部材31cにZ軸支持部材31dが設けられ、このZ軸支持部材31dに対してZ軸方向（図3における上下方向であって後述する軸心Sの延在方向）に延在するZ軸レール31eが、平行に1対固定されている。そして、Z軸移動機構は、Z軸移動部材31fが、1対のZ軸レール31eの延在方向に沿ってZ軸方向に移動可能に設けられている。そして、このZ軸移動部材31fに対してレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMが設置されている。

10

【0062】

すなわち、移動機構31は、X軸移動機構によりレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMをX軸方向に移動させ、Y軸移動機構によりレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMをY軸方向に移動させ、Z軸移動機構によりレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMをZ軸方向に移動させる。

【0063】

レーザ加工ヘッドHは、レーザ加工ヘッド駆動部（レーザ出力装置）により出力されたレーザLを照射するものである。ここで、本実施形態のレーザ加工ヘッドHの構成について図3～図6を参照して説明する。

20

【0064】

レーザ加工ヘッドHは、後述のレーザ加工ヘッド駆動部95から光ファイバFを介して出力されるレーザLを被加工物Wに照射する。このレーザ加工ヘッドHは、レーザLの光路の光軸を軸心Sとして回転させることで、被加工物W上の照射位置を回転させる。すなわち、レーザ加工ヘッドHは、図5に示すように、円を描くようにレーザLの照射位置を移動させる。

【0065】

具体的に、レーザ加工ヘッドHは、全体として円柱状に形成され、図3および図4に示すように、光ファイバFから出力されるレーザLを案内する光学系ユニットをなす。光学系ユニットは、レーザLの光路上に光ファイバF側から順にコリメート光学系101と、偏光光学系102と、集光光学系103とが、配置されている。つまり光ファイバFから出力されたレーザLは、コリメート光学系101を通過した後、偏光光学系102を通過し、集光光学系103を通過して、被加工物Wに照射される。

30

【0066】

コリメート光学系101は、コリメータレンズなどを備えており、光ファイバFから出力されたレーザLを平行光とする。偏光光学系102は、レーザLの光路を中心から一定距離ずらす（偏光する）光学ユニットであり、第一プリズム102aと、第二プリズム102bとを有する。第一プリズム102aは、レーザLを屈折させて、光軸（軸心S）に対して傾ける。第二プリズム102bは、第一プリズム102aで屈折されたレーザLを再度屈折させて、集光する位置を制御する。これにより、図5に示すように偏光光学系102を通過したレーザLは、通過前のレーザLの光路に対してずれた光路で出力される。集光光学系103は、偏光光学系102で光軸（軸心S）からずれたレーザLを集光するレンズを有する。

40

【0067】

コリメート光学系101および集光光学系103のレンズは、光学系ユニットの固定のレンズであり、光学系支持部104に支持されている。この光学系支持部104は、後述する回転機構105の固定部105aも支持する。

【0068】

50

回転機構 105 は、本実施形態の移動機構 31 に含まれるもので、偏光光学系 102 の通過前のレーザー L の光路を回転中心として、偏光光学系 102 を回転させる機構である。回転機構 105 は、固定部 105 a と、回転部 105 b と、軸受 105 c と、を有する。固定部 105 a は、コリメート光学系 101 および集光光学系 103 に固定されている。回転部 105 b は、固定部 105 a に対して軸受 105 c を介して光軸（軸心 S）周りに回転可能に支持されている。回転部 105 b は、レーザー L の光路に対応する部分が空間となっている空中の筒状部材である。回転部 105 b は、偏光光学系 102 の第一プリズム 102 a および第二プリズム 102 b を支持している。

【0069】

回転機構 105 は、上記構成により固定部 105 a と回転部 105 b とが光軸（軸心 S）周りに相対的に回転可能に設けられている。そして、回転部 105 b を図 4 中の矢印 B の方向に回転させることで、偏光光学系 102 を回転させることができる。回転機構 105 は、その回転中心が、偏光される前のレーザー L の光路の光軸（軸心 S）と重なる。

10

【0070】

回転機構 105 は、偏光される前のレーザー L の光路の光軸（軸心 S）を中心として偏光光学系 102 を回転させることで、図 5 に示すように、被加工物 W 上のレーザー L の照射位置を偏光される前のレーザー L の光路の光軸（軸心 S）を中心とし、当該中心から偏光光学系 102 で偏光した距離を半径とする円状で照射位置を移動させることができる。つまり、回転機構 105 は、回転部 105 b を図 4 中の矢印 B の方向に回転させ偏光光学系 102 を回転させることで、図 5 および図 6 に示すように、光軸（軸心 S）を中心とした仮想円 V 上で照射位置 i を矢印 B の方向に回転移動させることができる。

20

【0071】

また、レーザー加工ヘッド H は、エンコーダ 106 を有する。エンコーダ 106 は、回転機構 105 の回転部 105 b の回転を検出する回転センサである。エンコーダ 106 は、検出部 106 a と移動部 106 b とを有する。検出部 106 a は、回転機構 105 の固定部 105 a に固定されている。移動部 106 b は回転機構 105 の回転部 105 b に固定され、この回転部 105 b とともに回転移動する。移動部 106 b は、回転方向の位置に目印となる識別子が設けられている。検出部 106 a は、移動部 106 b の識別子を検出することで、移動部 106 b の回転を検出することができ、これにより、回転機構 105 において固定部 105 a に対する回転部 105 b の回転を検出することができる。

30

【0072】

このようなレーザー加工ヘッド H は、図 3 に示すように、フレーム 100 に支持されている。フレーム 100 は、円柱状のレーザー加工ヘッド H を収容するように円筒状に形成されている。そして、フレーム 100 は、移動機構 31 の Z 軸移動部材 31 f に固定されている。このフレーム 100 に対し、レーザー加工ヘッド H は、コリメート光学系 101 および集光光学系 103 が固定され、これらコリメート光学系 101 および集光光学系 103 に伴い回転機構 105 の固定部 105 a もフレーム 100 に固定されている。また、回転機構 105 の回転部 105 b は、フレーム 100 との間に軸受 100 a を介して光軸（軸心 S）を中心として回転可能に支持されている。すなわち、レーザー加工ヘッド H は、回転機構 105 の回転部 105 b がフレーム 100 に対して回転可能に支持され、それ以外の部分がフレーム 100 に対して固定されている。

40

【0073】

また、レーザー加工ヘッド H は、移動機構 31 である回転機構 105 における回転部 105 b を回転させるモータ 107 を有する。モータ 107 は、図 3 に示すように、レーザー加工ヘッド H のコリメート光学系 101 側に設けられ、フレーム 100 に固定されている。このモータ 107 は、その出力軸がレーザー L の光路の光軸（軸心 S）を中心として円筒状に形成され、コリメート光学系 101 を内部に配置しつつ回転機構 105 の回転部 105 b に接続されている。このため、モータ 107 の出力軸の回転が、コリメート光学系 101 を除外して回転機構 105 の回転部 105 b に伝達される。なお、回転機構 105 の回転部 105 b を回転させる駆動源は、モータ 107 に限らず、例えば、図には明示しない

50

が、軸受105cを静圧軸受（流体軸受）とし、ポンプにより固定部105aと回転部105bとの間の閉じられた空間に空気を供給することで回転部105bを回転させる構成であってもよい。その他、例えば、図には明示しないが、回転部105bをロータとし、その周囲にフレーム100に固定のステータを配置し、ロータまたはステータを永久磁石とする一方、ステータまたはロータにコイルを巻き付けて磁化することで、回転部105bを回転させるように構成してもよい。

【0074】

また、レーザ加工ヘッドHは、機械加工ヘッドMとともにZ軸移動部材31fに対して設置されていることから、機械加工ヘッドMからの伝熱（例えば、約50[]）を抑制するため、冷却手段108を有する。冷却手段108は、ポンプ108aと連結管108bとを有する。ポンプ108aは、連結管108bの流入部に空気を供給する。連結管108bは、光学系ユニットにおける光学部材と光学部材との間の閉じられた空間と閉じられた空間とを繋げる配管である。連結管108bは、当該空間との繋がっている開口が光学部材の近傍に配置されている。また、連結管108bは、同じ空間からそれぞれ他の空間に繋がる場合、同じ空間の離れた位置（例えば、光軸を挟んだ反対側）に各開口が形成されている。冷却手段108は、ポンプ108aで連結管108bに空気を供給することで、光学部材と光学部材との間の閉じられた空間に空気を流すことができ、光学部材を冷却することができる。なお、連結管108bは、光学系ユニット全体で閉じられた空間を介して1つの流路となるように繋がっており、ポンプ108aにより1箇所から空気を供給することで、光学系ユニット全体に空気を流すことができる。

10

20

【0075】

また、レーザ加工ヘッドHは、被加工物Wとして複合材を用いる場合、複合材の燃焼を抑制するため、アシストガス供給手段109を有する。アシストガス供給手段109は、例えば、図4に示すように、レーザ加工ヘッドHの集光光学系103の側部に配置したガス供給管からアシストガス（例えば、窒素やアルゴン）をレーザLと同軸に供給するものや、図には明示しないが、被加工物WのレーザLが照射される部分にアシストガスを噴射するものがある。

【0076】

機械加工ヘッドMは、本実施形態では、レーザ加工を行いつつ、レーザ加工部分を切削により仕上げ加工を行うもので、切削工具としてのドリルDおよび面取カッタCが適用される。そして、機械加工ヘッドMは、図3に示すように、ドリルDおよび面取カッタCを回転させる回転機構110を有する。回転機構110は、本実施形態の移動機構31に含まれるもので、回転部110aを有する。回転部110aは、フレーム100の外側を覆うように筒状に形成され、フレーム100との間に軸受100bを介して光軸（軸心S）を中心として回転可能に支持されている。この回転部110aに対し、光軸（軸心S）の延在方向に沿ってドリルDが固定されている。ドリルDは、その内部をレーザ加工ヘッドHのレーザLが通過するように円筒状に形成されている。また、ドリルDの付け根部分に、面取カッタCが固定されている。また、回転機構110は、回転部110aを回転させるモータ110bを有する。モータ110bは、フレーム100とともに移動機構31のZ軸移動部材31fに固定されている。そして、モータ110bは、その出力軸に設けられた歯車110cが、回転部110aに設けられた歯車110dに噛合する。このため、モータ110bの出力軸の回転が、回転部110aに伝達される。

30

40

【0077】

また、機械加工ヘッドMは、被加工物Wが複合材である場合、回転機構110の回転部110aの軸受100bや摺動面の油が工具に伝わって被加工物Wに付着することで複合材が変質する事態を防ぐために、適宜シール構造を備える。

【0078】

本実施形態の複合加工装置1は、フレーム100を介してZ軸移動部材31fに対して設置されるレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMについて、被加工物Wを加工するレーザLの照射位置と、被加工物Wを加工する工具（ドリルDおよび面取カッタC）の加

50

工位置とが所定の移動基準に合わせて配置されている。具体的に、本実施形態では、被加工物Wを加工するレーザLの照射位置と、被加工物Wを加工する工具の加工位置とが、同一軸心Sの移動基準に合うように、レーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMがフレーム100に対して設置されている。このため、レーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMは、移動機構31である回転機構105, 110により、それぞれ軸心Sを中心に回転移動する。

【0079】

また、本実施形態の複合加工装置1は、機械加工ヘッドMが、回転駆動や、被加工物Wの加工時に振動を伴うことから、この振動のレーザ加工ヘッドHへの伝達を抑えるため、レーザ加工ヘッドHと機械加工ヘッドMとの間にゴム材などからなる防振部材111が配置されている。図3では、レーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMを支持するフレーム100と軸受100aとの間および軸受100aとレーザ加工ヘッドHとの間に防振部材111が配置された形態を示している。その他、フレーム100と軸受100bとの間および軸受100bと機械加工ヘッドMとの間に防振部材111が配置されていてもよい。

10

【0080】

また、本実施形態の複合加工装置1は、機械加工ヘッドMによる加工において加工屑が生じ、この加工屑が機械加工ヘッドMの工具に付着した場合は工具を傷つけて工具の耐久性が低下するおそれがあり、加工屑がレーザ加工ヘッドHのレンズに付着した場合は、レーザLの光学系を傷つけて光学系の耐久性が低下するおそれがある。このため、本実施形態の複合加工装置1では、機械加工ヘッドMにおける工具の加工位置に向けて送風する送風部(例えば、エアまたはガスを噴射するノズルおよび図示しないエア供給源)8aと、機械加工ヘッドMにおける工具の加工位置に向けて吸引する吸引部(例えば、吸引ファン)8bとを有する。このため、機械加工ヘッドMによる加工において生じる加工屑は、送風部8aにより飛ばされて機械加工ヘッドMの工具やレーザ加工ヘッドHのレンズに付着する事がなくなる。また、機械加工ヘッドMによる加工において生じる加工屑、または送風部8aにより飛ばされる加工屑は、吸引部8bにより吸引されて機械加工ヘッドMの工具やレーザ加工ヘッドHのレンズに付着する事がなくなる。なお、図には明示しないが、吸引部8bは、その吸引の下流側にダクトを介してフィルタに接続され、加工屑を回収するように構成されていることが好ましい。また、送風部8aと吸引部8bとは何れか一方のみ設けられていてもよい。

20

30

【0081】

また、複合加工装置1は、制御装置9を有する。制御装置9は、上述したレーザ加工ヘッドHの駆動や、機械加工ヘッドMの駆動や、移動機構31による移動を制御するもので、制御部91、記憶部92、入力部93、表示部94、レーザ加工ヘッド駆動部(レーザ出力装置)95、機械加工ヘッド駆動部96、およびヘッド移動部97を含む。

【0082】

制御部91は、例えば、CPU(Central Processing Unit:中央演算装置)であり、入力部93からの入力や記憶部92からデータの入力を受け付け、当該入力に応じてレーザ加工ヘッド駆動部95、機械加工ヘッド駆動部96、およびヘッド移動部97に指令を出力する。記憶部92は、一例として、ハードディスク装置または半導体記憶デバイスである。記憶部92は、被加工物データベース92aを有する。被加工物データベース92aは、被加工物Wの加工に基づく設計情報(例えば、被加工物Wの形状や材質など)が格納される。この記憶部92は、制御部91と通信回線を通じて接続されるもの(例えば、データサーバー)であってもよい。入力部93は、キーボードやマウスなどからなる。表示部94は、画面を有し、当該画面に入力部93で入力された内容や、記憶部92から入力された内容や、レーザ加工ヘッド駆動部95によるレーザ加工ヘッドHの駆動状況や、機械加工ヘッド駆動部96による機械加工ヘッドMの駆動状況や、ヘッド移動部97によるレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMの移動状況などが表示される。

40

【0083】

50

レーザ加工ヘッド駆動部 95 は、レーザ L を出力する装置である。レーザ加工ヘッド駆動部 95 は、光ファイバを媒質に用いてレーザ L を出力するファイバレーザ出力装置や、短パルスのレーザ L を出力する短パルスレーザ出力装置を用いることができる。ファイバレーザ出力装置としては、ファブリペロー型ファイバレーザ出力装置やリング型ファイバレーザ出力装置が励磁される。また、ファイバレーザ出力装置は、連続波発振 (Continuous Wave Operation) とパルス発振 (Plused Operation) のいずれの方式を用いるものでもよい。ファイバレーザ出力装置のファイバは、例えば、希土類元素 (Er、Nd、Yb) を添加したシリカガラスを使用することができる。また、短パルスとは、パルス幅が 100 ピコ秒以下のパルスである。短パルスレーザ出力装置のレーザ L の発生源としては、例えば、チタンサファイアレーザを用いることができる。このレーザ加工ヘッド駆動部 95 は、制御部 91 からの指令に基づいてレーザ L の出力を制御する。本実施形態では、複合材である被加工物 W の厚さを $1/4$ [in] ~ 1 [in] とし、レーザ L の波長を 1.0 [μm] ~ 1.1 [μm] の赤外光 (可視光や紫外光でもよい) を適用し、レーザ L の出力を 100 [W] ~ 50 [kW] とする。この場合、アシストガス圧は、 0.1 [MPa] ~ 1.0 [MPa] が好ましい。また、レーザ加工ヘッド駆動部 95 は、制御部 91 からの指令に基づいて、レーザ加工ヘッド H における回転機構 105 の回転部 105b を回転させるモータ 107 の回転速度 (レーザ L の回転速度) を制御する。

10

【0084】

機械加工ヘッド駆動部 96 は、制御部 91 からの指令に基づいて、機械加工ヘッド M における回転機構 110 のモータ 110b の回転速度 (工具の回転速度) を制御する。

20

【0085】

ヘッド移動部 97 は、制御部 91 からの指令に基づいてレーザ加工ヘッド H の上記移動を制御する。本実施形態では、複合材である被加工物 W の厚さを $1/4$ [in] ~ 1 [in] とし、主軸出力を 15 [kW] 以上とする。

【0086】

以下、図 2、図 7 ~ 図 14 を参照して本実施形態に係る複合加工方法の処理手順を説明する。ここで、図 7、図 9、図 11、図 13 は、複合加工装置 1 の動作を示し、図 8 は図 7 での、図 10 は図 9 での、図 12 は図 11 での、図 14 は図 13 での被加工物 W の加工状態を示す。

【0087】

図 2 に示すように、制御部 91 は、入力部 93 からの入力にしたがって加工すべき被加工物 W の設計情報を記憶部 92 の被加工物データベース 92a から取得する (ステップ S1)。次に、制御部 91 は、被加工物 W の設計情報から、加工する被加工物 W の位置や、レーザ加工ヘッド H によるレーザ L の出力や、機械加工ヘッド M による工具の回転速度や、レーザ加工ヘッド H および機械加工ヘッド M の移動速度 (加工時間) などの加工条件を決定する (ステップ S2)。次に、制御部 91 は、決定した加工条件に基づきレーザ加工ヘッド駆動部 95、機械加工ヘッド駆動部 96 およびヘッド移動部 97 に指令を出力し加工を実施する (ステップ S3)。

30

【0088】

ステップ S2 において、制御部 91 は、図 7 に示すようにレーザ加工ヘッド H からレーザ L を照射し、回転機構 105 の回転部 105b を軸心 S の基準位置に合わせて回転移動させるとともに、被加工物 W に近づくようにレーザ加工ヘッド H を軸心 S に沿って Z 軸方向に直線移動 (下降) させる。これにより、被加工物 W に対してレーザ L の照射位置が軸心 S を中心に円状に移動し、図 8 に示すように、被加工物 W に穴 W1 が形成される。この際、穴 W1 の内壁面 (加工面) は、所定範囲 W2 においてレーザ L の入熱により粗密な状態になる。

40

【0089】

ステップ S2 において、制御部 91 は、次に、図 9 に示すようにレーザ加工ヘッド H からレーザ L を照射し、回転機構 105 の回転部 105b を軸心 S の基準位置に合わせて回転移動させ、かつ機械加工ヘッド M の回転機構 110 の回転部 110a を軸心 S の基準位

50

置に合わせて回転移動させるとともに、被加工物Wに近づくようにレーザ加工ヘッドHを軸心Sに沿ってZ軸方向に直線移動（下降）させる。これにより、被加工物Wに対してレーザLの照射位置が軸心Sを中心に円状に移動し、図10に示すように、被加工物Wのさらに下側に向けて穴W1が貫通形成される。この際、さらに下側の穴W1の内壁面（加工面）は、所定範囲W2においてレーザLの入熱により粗密な状態になる。また、被加工物Wに対して機械加工ヘッドMのドリルDが軸心Sを中心に回転し、図10に示すように、先に穴W1の内壁面が入熱された部分がドリルDにより切削されて穴W3が形成される。また、制御部91は、被加工物Wに穴W1が貫通形成された場合、レーザLの照射を止める。

【0090】

ステップS2において、制御部91は、次に、図11に示すように、機械加工ヘッドMの回転機構110の回転部110aを軸心Sの基準位置に合わせて回転移動させるとともに、被加工物Wに近づくようにレーザ加工ヘッドHを軸心Sに沿ってZ軸方向に直線移動（下降）させる。これにより、被加工物Wに対して機械加工ヘッドMのドリルDが軸心Sを中心に回転し、図12に示すように、先に貫通した穴W1（図10参照）の内壁面が入熱された部分がドリルDにより切削されて穴W3が貫通形成される。

【0091】

ステップS2において、制御部91は、次に、図13に示すように、機械加工ヘッドMの回転機構110の回転部110aを軸心Sの基準位置に合わせて回転移動させるとともに、被加工物Wに近づくようにレーザ加工ヘッドHを軸心Sに沿ってZ軸方向に直線移動（下降）させる。これにより、被加工物Wに対して機械加工ヘッドMの面取カッタCが軸心Sを中心に回転し、図14に示すように、先に貫通した穴W3の上側の開口縁が面取カッタCにより切削されて面取部W4が形成される。

【0092】

このように、本実施形態の複合加工方法は、被加工物Wを加工するレーザLの照射位置と、被加工物Wを加工する工具の加工位置とを所定の移動基準に合わせて移動させ、レーザLにより被加工物Wを加工するレーザ加工工程と、レーザ加工工程に続けてレーザLにより加工した被加工物Wの位置を工具により加工する機械加工工程と、を含む。

【0093】

この複合加工方法によれば、レーザLの照射位置と工具の加工位置とが所定の移動基準に基づき移動しつつ、レーザ加工工程に続けて機械加工工程を行うことで、機械加工では加工時間のかかる加工をレーザ加工で行い、その仕上げとして機械加工を行う各工程を、所定の移動基準で続けて行う。このため、加工の高速化を図ることが可能になる。特に、複合材の加工においては、機械加工では工具の消耗が激しくランニングコストが嵩むが、レーザ加工を先に行い、その仕上げとして機械加工を行うことから、工具の長寿命化を図り、ランニングコストを低減することが可能になる。

【0094】

また、本実施形態の複合加工方法は、被加工物Wを加工するレーザLの照射位置と、被加工物Wを加工する工具の加工位置とを同一軸心Sの移動基準に合わせて回転移動させるとともに、軸心Sに沿って直線移動させる。

【0095】

この複合加工方法によれば、レーザ加工工程を行いながら、機械加工工程を行って被加工物Wに穴W3を貫設する。このため、被加工物Wへの穴W3の貫設加工を高速で行うことが可能になる。

【0096】

また、本実施形態の複合加工方法では、レーザ加工工程は、レーザLにより被加工物Wを粗加工し、機械加工工程は、レーザLにより加工した被加工物Wの位置を工具により仕上げ加工する。

【0097】

この複合加工方法によれば、複合材の加工においては、レーザ加工だけでは加工面が粗

10

20

30

40

50

くなるが、レーザLにより粗加工を先に行い、その仕上げとして機械加工を行うことから、高品質の加工を高速で行うことが可能になる。

【0098】

また、本実施形態の複合加工装置1は、被加工物Wを加工するレーザLを照射するレーザ加工ヘッドHと、被加工物Wを加工する工具を有する機械加工ヘッドMと、レーザ加工ヘッドHにおけるレーザLの照射位置、および機械加工ヘッドMにおける工具の加工位置が所定の移動基準に合う態様でレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMを一体に支持し、前記移動基準に基づいてレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMを移動させる移動機構31と、を含む。

【0099】

この複合加工装置1によれば、被加工物Wを加工するレーザLの照射位置と、被加工物Wを加工する工具の加工位置とを所定の移動基準に合わせて移動させ、レーザLにより被加工物Wを加工するレーザ加工工程と、レーザ加工工程に続けてレーザLにより加工した被加工物Wの位置を工具により加工する機械加工工程とを行う本実施形態の複合加工方法を実施することが可能になる。すなわち、レーザ加工工程に続けて機械加工工程を行うことで、機械加工では加工時間のかかる加工をレーザ加工で行い、その仕上げとして機械加工を行う各工程を、所定の移動基準で続けて連続して行う。このため、加工の高速化を図ることが可能になる。特に、複合材の加工においては、機械加工では工具の消耗が激しくランニングコストが高むが、レーザ加工を先に行い、その仕上げとして機械加工を行うことから、工具の長寿命化を図り、ランニングコストを低減することが可能になる。

【0100】

また、本実施形態の複合加工装置1では、移動機構31は、レーザ加工ヘッドHにおけるレーザLの照射位置および機械加工ヘッドMにおける工具の加工位置が同一軸心Sの移動基準に合わせてレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMを一体に支持し、さらに、レーザLの照射位置および工具の加工位置をそれぞれ軸心Sの周りに回転移動させ、かつ軸心Sに沿ってレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMを直線移動させる。

【0101】

この複合加工装置1によれば、レーザ加工を行いながら、機械加工を行って被加工物Wに穴W3を貫設する。このため、被加工物Wへの穴W3の貫設加工を高速で行うことが可能になる。

【0102】

また、本実施形態の複合加工装置1は、レーザ加工ヘッドHと機械加工ヘッドMとの間に防振部材111を配置する。

【0103】

この複合加工装置1によれば、機械加工ヘッドMの振動をレーザ加工ヘッドHに伝達する事態を抑えるため、当該振動によるレーザ加工の影響（例えば、レーザLの照射位置の精度低下など）を抑制することが可能になる。

【0104】

また、本実施形態の複合加工装置1は、機械加工ヘッドMにおける工具の加工位置に向けて送風する送風部8aを含む。

【0105】

この複合加工装置1によれば、機械加工ヘッドMによる加工において生じる加工屑が、送風部8aにより飛ばされることで、機械加工ヘッドMの工具やレーザ加工ヘッドHのレンズに付着する事態を防ぐ。このため、加工屑が機械加工ヘッドMの工具に付着し工具を傷つけて工具の耐久性が低下したり、加工屑がレーザ加工ヘッドHのレンズに付着しレーザLの光学系を傷つけて光学系の耐久性が低下したりする事態を防ぐことが可能になる。

【0106】

また、本実施形態の複合加工装置1は、機械加工ヘッドMにおける工具の加工位置に向けて吸引する吸引部8bを含む。

【0107】

10

20

30

40

50

この複合加工装置 1 によれば、機械加工ヘッド M による加工において生じる加工屑が、吸引部 8 b により吸引されることで、機械加工ヘッド M の工具やレーザ加工ヘッド H のレンズに付着する事態を防ぐ。このため、加工屑が機械加工ヘッド M の工具に付着し工具を傷つけて工具の耐久性が低下したり、加工屑がレーザ加工ヘッド H のレンズに付着しレーザ L の光学系を傷つけて光学系の耐久性が低下したりする事態を防ぐことが可能になる。

【 0 1 0 8 】

[実施形態 3]

図 1 5 は、本実施形態に係る複合加工装置の構成図であり、図 1 6 ~ 図 1 9 は、本実施形態に係る複合加工方法の処理手順を示す工程図である。

【 0 1 0 9 】

図 1 5 に示すように、複合加工装置 1 は、被加工物支持機構 2 (図 1 6 参照) と、ヘッド支持機構 3 とを含む。

【 0 1 1 0 】

被加工物支持機構 2 は、複合加工装置 1 の固定フレーム 1 a に対して被加工物 W を支持するものである。被加工物支持機構 2 は、本実施形態では、例えば、図 1 6 に示すように、固定フレーム 1 a である載置台の上に載置された被加工物 W の周囲を締め付けて固定するチャック部 2 a を有する。

【 0 1 1 1 】

ここで、本実施形態の被加工物 W としては、CFRP (炭素繊維強化プラスチック、Carbon Fiber Reinforced Plastics)、GFRP (ガラス繊維強化プラスチック)、GMT (ガラス長繊維強化プラスチック) などの繊維強化プラスチック、鋼板以外の鉄合金、アルミ合金などの各種金属を用いることができ、特に、CFRP を含む複合材や GFRP が適用される。また、被加工物 W は、インコネル、ハステロイ、ステンレス、セラミック、鋼、炭素鋼、セラミックス、シリコン、チタン、タングステン、樹脂、プラスチック、ガラスなどで作成された部材を用いることもできる。

【 0 1 1 2 】

ヘッド支持機構 3 は、複合加工装置 1 の固定フレーム 1 a に対してレーザ加工ヘッド H および機械加工ヘッド M を支持するものである。ヘッド支持機構 3 は、本実施形態では、例えば、固定フレーム 1 a である水平梁に対してレーザ加工ヘッド H および機械加工ヘッド M を移動可能に支持するもので、水平梁に移動機構 3 1 を介してレーザ加工ヘッド H や機械加工ヘッド M を支持する。

【 0 1 1 3 】

移動機構 3 1 は、例えば、X 軸移動機構、Y 軸移動機構、および Z 軸移動機構を含む。移動機構 3 1 の X 軸移動機構は、X 軸方向 (図 1 5 における左右方向) に延在する X 軸レール 3 1 a が、固定フレーム 1 a である水平梁の下部に対して平行に 1 対固定されている。そして、X 軸移動機構は、1 対の X 軸レール 3 1 a に対して直交する Y 軸方向 (図 1 5 における奥行き方向) に延在する Y 軸レール 3 1 b が、1 対の X 軸レール 3 1 a の延在方向に沿って X 軸方向に移動可能に設けられている。

【 0 1 1 4 】

移動機構 3 1 の Y 軸移動機構は、Y 軸移動部材 3 1 c が、1 対の Y 軸レール 3 1 b の延在方向に沿って Y 軸方向に移動可能に設けられている。

【 0 1 1 5 】

移動機構 3 1 の Z 軸移動機構は、Y 軸移動部材 3 1 c に Z 軸支持部材 3 1 d が設けられ、この Z 軸支持部材 3 1 d に対して Z 軸方向 (図 1 5 における上下方向であって後述する軸心 S の延在方向) に延在する Z 軸レール 3 1 e が、平行に 1 対固定されている。そして、Z 軸移動機構は、Z 軸移動部材 3 1 f が、1 対の Z 軸レール 3 1 e の延在方向に沿って Z 軸方向に移動可能に設けられている。そして、この Z 軸移動部材 3 1 f に対してレーザ加工ヘッド H および機械加工ヘッド M が設置されている。

【 0 1 1 6 】

すなわち、移動機構 3 1 は、X 軸移動機構によりレーザ加工ヘッド H および機械加工ヘ

10

20

30

40

50

ヘッドMをX軸方向に移動させ、Y軸移動機構によりレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMをY軸方向に移動させ、Z軸移動機構によりレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMをZ軸方向に移動させる。

【0117】

レーザ加工ヘッドHは、レーザ加工ヘッド駆動部(レーザ出力装置)により出力されたレーザLを照射するものである。ここで、本実施形態のレーザ加工ヘッドHの構成について図15、図4～図6を参照して説明する。

【0118】

レーザ加工ヘッドHは、後述のレーザ加工ヘッド駆動部95から光ファイバFを介して出力されるレーザLを被加工物Wに照射する。このレーザ加工ヘッドHは、レーザLの光路の光軸を軸心Sとして回転させることで、被加工物W上の照射位置を回転させる。すなわち、レーザ加工ヘッドHは、図5に示すように、円を描くようにレーザLの照射位置を移動させる。

10

【0119】

具体的に、レーザ加工ヘッドHは、全体として円柱状に形成され、図15および図4に示すように、光ファイバFから出力されるレーザLを案内する光学系ユニットをなす。光学系ユニットは、レーザLの光路上に光ファイバF側から順にコリメート光学系101と、偏光光学系102と、集光光学系103とが、配置されている。つまり光ファイバFから出力されたレーザLは、コリメート光学系101を通過した後、偏光光学系102を通過し、集光光学系103を通過して、被加工物Wに照射される。

20

【0120】

コリメート光学系101は、コリメータレンズなどを備えており、光ファイバFから出力されたレーザLを平行光とする。偏光光学系102は、レーザLの光路を中心から一定距離ずらす(偏光する)光学ユニットであり、第一プリズム102aと、第二プリズム102bとを有する。第一プリズム102aは、レーザLを屈折させて、光軸(軸心S)に対して傾ける。第二プリズム102bは、第一プリズム102aで屈折されたレーザLを再度屈折させて、集光する位置を制御する。これにより、図5に示すように偏光光学系102を通過したレーザLは、通過前のレーザLの光路に対してずれた光路で出力される。集光光学系103は、偏光光学系102で光軸(軸心S)からずれたレーザLを集光するレンズを有する。

30

【0121】

コリメート光学系101および集光光学系103のレンズは、光学系ユニットの固定のレンズであり、光学系支持部104に支持されている。この光学系支持部104は、後述する回転機構105の固定部105aも支持する。

【0122】

回転機構105は、本実施形態の移動機構31に含まれるもので、偏光光学系102の通過前のレーザLの光路を回転中心として、偏光光学系102を回転させる機構である。回転機構105は、固定部105aと、回転部105bと、軸受105cと、を有する。固定部105aは、コリメート光学系101および集光光学系103に固定されている。回転部105bは、固定部105aに対して軸受105cを介して光軸(軸心S)周りに回転可能に支持されている。回転部105bは、レーザLの光路に対応する部分が空間となっている空中の筒状部材である。回転部105bは、偏光光学系102の第一プリズム102aおよび第二プリズム102bを支持している。

40

【0123】

回転機構105は、上記構成により固定部105aと回転部105bとが光軸(軸心S)周りに相対的に回転可能に設けられている。そして、回転部105bを図4中の矢印Bの方向に回転させることで、偏光光学系102を回転させることができる。回転機構105は、その回転中心が、偏光される前のレーザLの光路の光軸(軸心S)と重なる。

【0124】

回転機構105は、偏光される前のレーザLの光路の光軸(軸心S)を中心として偏光

50

光学系 102 を回転させることで、図 5 に示すように、被加工物 W 上のレーザ L の照射位置を偏光される前のレーザ L の光路の光軸（軸心 S）を中心とし、当該中心から偏光光学系 102 で偏光した距離を半径とする円状で照射位置を移動させることができる。つまり、回転機構 105 は、回転部 105 b を図 4 中の矢印 B の方向に回転させ偏光光学系 102 を回転させることで、図 5 および図 6 に示すように、光軸（軸心 S）を中心とした仮想円 V 上で照射位置 i を矢印 B の方向に回転移動させることができる。

【0125】

また、レーザ加工ヘッド H は、エンコーダ 106 を有する。エンコーダ 106 は、回転機構 105 の回転部 105 b の回転を検出する回転センサである。エンコーダ 106 は、検出部 106 a と移動部 106 b とを有する。検出部 106 a は、回転機構 105 の固定部 105 a に固定されている。移動部 106 b は回転機構 105 の回転部 105 b に固定され、この回転部 105 b とともに回転移動する。移動部 106 b は、回転方向の位置に目印となる識別子が設けられている。検出部 106 a は、移動部 106 b の識別子を検出することで、移動部 106 b の回転を検出することができ、これにより、回転機構 105 において固定部 105 a に対する回転部 105 b の回転を検出することができる。

10

【0126】

このようなレーザ加工ヘッド H は、図 15 に示すように、フレーム 100 に支持されている。フレーム 100 は、円柱状のレーザ加工ヘッド H を収容するように円筒状に形成されている。そして、フレーム 100 は、移動機構 31 の Z 軸移動部材 31 f に固定されている。このフレーム 100 に対し、レーザ加工ヘッド H は、コリメート光学系 101 および集光光学系 103 が固定され、これらコリメート光学系 101 および集光光学系 103 に伴い回転機構 105 の固定部 105 a もフレーム 100 に固定されている。また、回転機構 105 の回転部 105 b は、フレーム 100 との間に軸受 100 a を介して光軸（軸心 S）を中心として回転可能に支持されている。すなわち、レーザ加工ヘッド H は、回転機構 105 の回転部 105 b がフレーム 100 に対して回転可能に支持され、それ以外の部分がフレーム 100 に対して固定されている。

20

【0127】

また、レーザ加工ヘッド H は、移動機構 31 である回転機構 105 における回転部 105 b を回転させるモータ 107 を有する。モータ 107 は、図 15 に示すように、レーザ加工ヘッド H のコリメート光学系 101 側に設けられ、フレーム 100 に固定されている。このモータ 107 は、その出力軸がレーザ L の光路の光軸（軸心 S）を中心として円筒状に形成され、コリメート光学系 101 を内部に配置しつつ回転機構 105 の回転部 105 b に接続されている。このため、モータ 107 の出力軸の回転が、コリメート光学系 101 を除外して回転機構 105 の回転部 105 b に伝達される。なお、回転機構 105 の回転部 105 b を回転させる駆動源は、モータ 107 に限らず、例えば、図には明示しないが、軸受 105 c を静圧軸受（流体軸受）とし、ポンプにより固定部 105 a と回転部 105 b との間の閉じられた空間に空気を供給することで回転部 105 b を回転させる構成であってもよい。その他、例えば、図には明示しないが、回転部 105 b をロータとし、その周囲にフレーム 100 に固定のステータを配置し、ロータまたはステータを永久磁石とする一方、ステータまたはロータにコイルを巻き付けて磁化することで、回転部 105 b を回転させるように構成してもよい。

30

40

【0128】

また、レーザ加工ヘッド H は、機械加工ヘッド M とともに Z 軸移動部材 31 f に対して設置されていることから、機械加工ヘッド M からの伝熱（例えば、約 50 []）を抑制するため、冷却手段 108 を有する。冷却手段 108 は、ポンプ 108 a と連結管 108 b とを有する。ポンプ 108 a は、連結管 108 b の流入部に空気を供給する。連結管 108 b は、光学系ユニットにおける光学部材と光学部材との間の閉じられた空間と閉じられた空間とを繋げる配管である。連結管 108 b は、当該空間との繋がっている開口が光学部材の近傍に配置されている。また、連結管 108 b は、同じ空間からそれぞれ他の空間に繋がる場合、同じ空間の離れた位置（例えば、光軸を挟んだ反対側）に各開口が形成

50

されている。冷却手段108は、ポンプ108aで連結管108bに空気を供給することで、光学部材と光学部材との間の閉じられた空間に空気を流すことができ、光学部材を冷却することができる。なお、連結管108bは、光学系ユニット全体で閉じられた空間を介して1つの流路となるように繋がっており、ポンプ108aにより1箇所から空気を供給することで、光学系ユニット全体に空気を流すことができる。

【0129】

また、レーザ加工ヘッドHは、被加工物Wとして複合材を用いる場合、複合材の燃焼を抑制するため、アシストガス供給手段109を有する。アシストガス供給手段109は、例えば、図4に示すように、レーザ加工ヘッドHの集光光学系103の側部に配置したガス供給管からアシストガス（例えば、窒素やアルゴン）をレーザLと同軸に供給するものや、図には明示しないが、被加工物WのレーザLが照射される部分にアシストガスを噴射するものがある。

10

【0130】

機械加工ヘッドMは、本実施形態では、レーザ加工を行いつつ、レーザ加工部分を切削により仕上げ加工を行うもので、切削工具としての面取カッタCが適用される。そして、機械加工ヘッドMは、図15に示すように、面取カッタCを回転させる回転機構110を有する。回転機構110は、本実施形態の移動機構31に含まれるもので、回転部110aを有する。回転部110aは、フレーム100の外側を覆うように筒状に形成され、フレーム100との間に軸受100bを介して光軸（軸心S）を中心として回転可能に支持されている。この回転部110aに対し、カッタ取付部を介して面取カッタCが固定されている。カッタ取付部は、その内部をレーザ加工ヘッドHのレーザLが通過するように円筒状に形成されている。また、回転機構110は、回転部110aを回転させるモータ110bを有する。モータ110bは、フレーム100とともに移動機構31のZ軸移動部材31fに固定されている。そして、モータ110bは、その出力軸に設けられた歯車110cが、回転部110aに設けられた歯車110dに噛合する。このため、モータ110bの出力軸の回転が、回転部110aに伝達される。

20

【0131】

また、機械加工ヘッドMは、被加工物Wが複合材である場合、回転機構110の回転部110aの軸受100bや摺動面の油が工具に伝わって被加工物Wに付着することで複合材が変質する事態を防ぐために、適宜シール構造を備える。

30

【0132】

本実施形態の複合加工装置1は、フレーム100を介してZ軸移動部材31fに対して設置されるレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMについて、被加工物Wを加工するレーザLの照射位置と、被加工物Wを加工する工具（面取カッタC）の加工位置とが所定の移動基準に合わせて配置されている。具体的に、本実施形態では、被加工物Wを加工するレーザLの照射位置と、被加工物Wを加工する工具の加工位置とが、同一軸心Sの移動基準に合うように、レーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMがフレーム100に対して設置されている。このため、レーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMは、移動機構31である回転機構105, 110により、それぞれ軸心Sを中心に回転移動する。

40

【0133】

また、本実施形態の複合加工装置1は、機械加工ヘッドMが、回転駆動や、被加工物Wの加工時に振動を伴うことから、この振動のレーザ加工ヘッドHへの伝達を抑えるため、レーザ加工ヘッドHと機械加工ヘッドMとの間にゴム材などからなる防振部材111が配置されている。図15では、レーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMを支持するフレーム100と軸受100aとの間および軸受100aとレーザ加工ヘッドHとの間に防振部材111が配置された形態を示している。その他、フレーム100と軸受100bとの間および軸受100bと機械加工ヘッドMとの間に防振部材111が配置されていてもよい。

【0134】

また、本実施形態の複合加工装置1は、機械加工ヘッドMによる加工において加工屑が

50

生じ、この加工屑が機械加工ヘッドMの工具に付着した場合は工具を傷つけて工具の耐久性が低下するおそれがあり、加工屑がレーザ加工ヘッドHのレンズに付着した場合は、レーザLの光学系を傷つけて光学系の耐久性が低下するおそれがある。このため、本実施形態の複合加工装置1では、機械加工ヘッドMにおける工具の加工位置に向けて送風する送風部（例えば、エアまたはガスを噴射するノズルおよび図示しないエア供給源）8aと、機械加工ヘッドMにおける工具の加工位置に向けて吸引する吸引部（例えば、吸引ファン）8bとを有する。このため、機械加工ヘッドMによる加工において生じる加工屑は、送風部8aにより飛ばされて機械加工ヘッドMの工具やレーザ加工ヘッドHのレンズに付着する事がなくなる。また、機械加工ヘッドMによる加工において生じる加工屑、または送風部8aにより飛ばされる加工屑は、吸引部8bにより吸引されて機械加工ヘッドMの工具やレーザ加工ヘッドHのレンズに付着する事がなくなる。なお、図には明示しないが、吸引部8bは、その吸引の下流側にダクトを介してフィルタに接続され、加工屑を回収するように構成されていることが好ましい。また、送風部8aと吸引部8bとは何れか一方のみ設けられていてもよい。

10

【0135】

また、複合加工装置1は、制御装置9を有する。制御装置9は、上述したレーザ加工ヘッドHの駆動や、機械加工ヘッドMの駆動や、移動機構31による移動を制御するもので、制御部91、記憶部92、入力部93、表示部94、レーザ加工ヘッド駆動部（レーザ出力装置）95、機械加工ヘッド駆動部96、およびヘッド移動部97を含む。

20

【0136】

制御部91は、例えば、CPU（Central Processing Unit：中央演算装置）であり、入力部93からの入力や記憶部92からデータの入力を受け付け、当該入力に応じてレーザ加工ヘッド駆動部95、機械加工ヘッド駆動部96、およびヘッド移動部97に指令を出力する。記憶部92は、一例として、ハードディスク装置または半導体記憶デバイスである。記憶部92は、被加工物データベース92aを有する。被加工物データベース92aは、被加工物Wの加工に基づく設計情報（例えば、被加工物Wの形状や材質など）が格納される。この記憶部92は、制御部91と通信回線を通じて接続されるもの（例えば、データサーバー）であってもよい。入力部93は、キーボードやマウスなどからなる。表示部94は、画面を有し、当該画面に入力部93で入力された内容や、記憶部92から入力された内容や、レーザ加工ヘッド駆動部95によるレーザ加工ヘッドHの駆動状況や、機械加工ヘッド駆動部96による機械加工ヘッドMの駆動状況や、ヘッド移動部97によるレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMの移動状況などが表示される。

30

【0137】

レーザ加工ヘッド駆動部95は、レーザLを出力する装置である。レーザ加工ヘッド駆動部95は、光ファイバを媒質に用いてレーザLを出力するファイバレーザ出力装置や、短パルスのレーザLを出力する短パルスレーザ出力装置を用いることができる。ファイバレーザ出力装置としては、ファブリペロー型ファイバレーザ出力装置やリング型ファイバレーザ出力装置が励磁される。また、ファイバレーザ出力装置は、連続波発振（Continuous Wave Operation）とパルス発振（Plused Operation）のいずれの方式を用いるものでもよい。ファイバレーザ出力装置のファイバは、例えば、希土類元素（Er、Nd、Yb）を添加したシリカガラスを使用することができる。また、短パルスとは、パルス幅が100ピコ秒以下のパルスである。短パルスレーザ出力装置のレーザLの発生源としては、例えば、チタンサファイアレーザを用いることができる。このレーザ加工ヘッド駆動部95は、制御部91からの指令に基づいてレーザLの出力を制御する。本実施形態では、板状の複合材である被加工物Wの板厚を $1/2$ [in]以下とし、レーザLの波長を 1.0 [μm] ~ 1.1 [μm]の赤外光（可視光や紫外光でもよい）を適用し、レーザLの出力を 100 [W] ~ 50 [kW]とする。この場合、アシストガス圧は、 0.1 [MPa] ~ 1.0 [MPa]が好ましい。また、レーザ加工ヘッド駆動部95は、制御部91からの指令に基づいて、レーザ加工ヘッドHにおける回転機構105の回転部105bを回転させるモータ107の回転速度（レーザLの回転速度）を制御する。

40

50

【 0 1 3 8 】

機械加工ヘッド駆動部 9 6 は、制御部 9 1 からの指令に基づいて、機械加工ヘッド M における回転機構 1 1 0 のモータ 1 1 0 b の回転速度（工具の回転速度）を制御する。

【 0 1 3 9 】

ヘッド移動部 9 7 は、制御部 9 1 からの指令に基づいてレーザ加工ヘッド H の上記移動を制御する。本実施形態では、板状の複合材である被加工物 W の板厚を $1 / 2 [i n]$ 以下とし、主軸出力を $1 5 [k W]$ 以上とする。

【 0 1 4 0 】

以下、図 2、図 1 6 ~ 図 1 9 を参照して本実施形態に係る複合加工方法の処理手順を説明する。ここで、図 1 6、図 1 8 は、複合加工装置 1 の動作を示し、図 1 7 は図 1 6 での、図 1 9 は図 1 8 での被加工物 W の加工状態を示す。

10

【 0 1 4 1 】

図 2 に示すように、制御部 9 1 は、入力部 9 3 からの入力にしたがって加工すべき被加工物 W の設計情報を記憶部 9 2 の被加工物データベース 9 2 a から取得する（ステップ S 1）。次に、制御部 9 1 は、被加工物 W の設計情報から、加工する被加工物 W の位置や、レーザ加工ヘッド H によるレーザ L の出力や、機械加工ヘッド M による工具の回転速度や、レーザ加工ヘッド H および機械加工ヘッド M の移動速度（加工時間）などの加工条件を決定する（ステップ S 2）。次に、制御部 9 1 は、決定した加工条件に基づきレーザ加工ヘッド駆動部 9 5、機械加工ヘッド駆動部 9 6 およびヘッド移動部 9 7 に指令を出力し加工を実施する（ステップ S 3）。

20

【 0 1 4 2 】

ステップ S 2 において、制御部 9 1 は、図 1 6 に示すようにレーザ加工ヘッド H からレーザ L を照射し、回転機構 1 0 5 の回転部 1 0 5 b を軸心 S の基準位置に合わせて回転移動させるとともに、被加工物 W に近づくようにレーザ加工ヘッド H を軸心 S に沿って Z 軸方向に直線移動（下降）させる。これにより、被加工物 W に対してレーザ L の照射位置が軸心 S を中心に円状に移動し、図 1 7 に示すように、被加工物 W に穴 W 5 が貫通形成される。また、制御部 9 1 は、被加工物 W に穴 W 5 が貫通形成された場合、レーザ L の照射を止める。

【 0 1 4 3 】

ステップ S 2 において、制御部 9 1 は、続いて、図 1 8 に示すように、機械加工ヘッド M の回転機構 1 1 0 の回転部 1 1 0 a を軸心 S の基準位置に合わせて回転移動させるとともに、被加工物 W に近づくようにレーザ加工ヘッド H を軸心 S に沿って Z 軸方向に直線移動（下降）させる。これにより、被加工物 W に対して機械加工ヘッド M の面取カッタ C が軸心 S を中心に回転し、図 1 9 に示すように、先に貫通した穴 W 5 の上側の開口縁が面取カッタ C により切削されて面取部 W 6 が形成される。

30

【 0 1 4 4 】

このように、本実施形態の複合加工方法は、被加工物 W を加工するレーザ L の照射位置と、被加工物 W を加工する工具の加工位置とを所定の移動基準に合わせて移動させ、レーザ L により被加工物 W を加工するレーザ加工工程と、レーザ加工工程に続けてレーザ L により加工した被加工物 W の位置を工具により加工する機械加工工程と、を含む。

40

【 0 1 4 5 】

この複合加工方法によれば、レーザ L の照射位置と工具の加工位置とが所定の移動基準に基づき移動しつつ、レーザ加工工程に続けて機械加工工程を行うことで、機械加工では加工時間のかかる加工をレーザ加工で行い、その仕上げとして機械加工を行う各工程を、所定の移動基準で続けて行う。このため、加工の高速化を図ることが可能になる。特に、複合材の加工においては、機械加工では工具の消耗が激しくランニングコストが嵩むが、レーザ加工を先に行い、その仕上げとして機械加工を行うことから、工具の長寿命化を図り、ランニングコストを低減することが可能になる。

【 0 1 4 6 】

また、本実施形態の複合加工方法は、被加工物 W を加工するレーザ L の照射位置と、被

50

加工物Wを加工する工具の加工位置とを同一軸心Sの移動基準に合わせて回転移動させるとともに、軸心Sに沿って直線移動させる。

【0147】

この複合加工方法によれば、レーザ加工工程を行いながら、機械加工工程を行って被加工物Wに穴W5を貫設するとともに面取部W6を形成する。このため、被加工物Wへの穴W5の貫設加工および面取部W6の面取加工を高速で行うことが可能になる。

【0148】

また、本実施形態の複合加工方法では、レーザ加工工程は、レーザLにより被加工物Wを粗加工し、機械加工工程は、レーザLにより加工した被加工物Wの位置を工具により仕上げ加工する。

10

【0149】

この複合加工方法によれば、複合材の加工においては、レーザ加工だけでは加工面が粗くなるが、レーザLにより粗加工を先に行い、その仕上げとして機械加工を行うことから、高品質の加工を高速で行うことが可能になる。

【0150】

また、本実施形態の複合加工装置1は、被加工物Wを加工するレーザLを照射するレーザ加工ヘッドHと、被加工物Wを加工する工具を有する機械加工ヘッドMと、レーザ加工ヘッドHにおけるレーザLの照射位置、および機械加工ヘッドMにおける工具の加工位置が所定の移動基準に合う態様でレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMを一体に支持し、前記移動基準に基づいてレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMを移動させる移動機構31と、を含む。

20

【0151】

この複合加工装置1によれば、被加工物Wを加工するレーザLの照射位置と、被加工物Wを加工する工具の加工位置とを所定の移動基準に合わせて移動させ、レーザLにより被加工物Wを加工するレーザ加工工程と、レーザ加工工程に続けてレーザLにより加工した被加工物Wの位置を工具により加工する機械加工工程とを行う本実施形態の複合加工方法を実施することが可能になる。すなわち、レーザ加工工程に続けて機械加工工程を行うことで、機械加工では加工時間のかかる加工をレーザ加工で行い、その仕上げとして機械加工を行う各工程を、所定の移動基準で続けて連続して行う。このため、加工の高速化を図ることが可能になる。特に、複合材の加工においては、機械加工では工具の消耗が激しくランニングコストが高むが、レーザ加工を先に行い、その仕上げとして機械加工を行うことから、工具の長寿命化を図り、ランニングコストを低減することが可能になる。

30

【0152】

また、本実施形態の複合加工装置1では、移動機構31は、レーザ加工ヘッドHにおけるレーザLの照射位置および機械加工ヘッドMにおける工具の加工位置が同一軸心Sの移動基準に合わせてレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMを一体に支持し、さらに、レーザLの照射位置および工具の加工位置をそれぞれ軸心Sの周りに回転移動させ、かつ軸心Sに沿ってレーザ加工ヘッドHおよび機械加工ヘッドMを直線移動させる。

【0153】

この複合加工装置1によれば、レーザ加工を行いながら、機械加工を行って被加工物Wに穴W5を貫設するとともに面取部W6を形成する。このため、被加工物Wへの穴W5の貫設加工および面取部W6の面取加工を高速で行うことが可能になる。

40

【0154】

また、本実施形態の複合加工装置1は、レーザ加工ヘッドHと機械加工ヘッドMとの間に防振部材111を配置する。

【0155】

この複合加工装置1によれば、機械加工ヘッドMの振動をレーザ加工ヘッドHに伝達する事態を抑えるため、当該振動によるレーザ加工の影響（例えば、レーザLの照射位置の精度低下など）を抑制することが可能になる。

【0156】

50

また、本実施形態の複合加工装置 1 は、機械加工ヘッド M における工具の加工位置に向けて送風する送風部 8 a を含む。

【 0 1 5 7 】

この複合加工装置 1 によれば、機械加工ヘッド M による加工において生じる加工屑が、送風部 8 a により飛ばされることで、機械加工ヘッド M の工具やレーザ加工ヘッド H のレンズに付着する事態を防ぐ。このため、加工屑が機械加工ヘッド M の工具に付着し工具を傷つけて工具の耐久性が低下したり、加工屑がレーザ加工ヘッド H のレンズに付着しレーザ L の光学系を傷つけて光学系の耐久性が低下したりする事態を防ぐことが可能になる。

【 0 1 5 8 】

また、本実施形態の複合加工装置 1 は、機械加工ヘッド M における工具の加工位置に向けて吸引する吸引部 8 b を含む。

10

【 0 1 5 9 】

この複合加工装置 1 によれば、機械加工ヘッド M による加工において生じる加工屑が、吸引部 8 b により吸引されることで、機械加工ヘッド M の工具やレーザ加工ヘッド H のレンズに付着する事態を防ぐ。このため、加工屑が機械加工ヘッド M の工具に付着し工具を傷つけて工具の耐久性が低下したり、加工屑がレーザ加工ヘッド H のレンズに付着しレーザ L の光学系を傷つけて光学系の耐久性が低下したりする事態を防ぐことが可能になる。

【 0 1 6 0 】

[実施形態 4]

図 20 は、本実施形態に係る複合加工方法の処理手順を示す工程図である。本実施形態の複合加工方法は、上述した実施形態 2 に対応するものである。この複合加工方法は、図 20 (a) に示すように、はじめにレーザ加工ヘッドにより被加工物 W にレーザ L を照射し機械加工する位置を熱変質させる。この場合、加工穴を貫通させてもよく、また貫通させなくても被加工物 W の機械加工する位置を熱変質させればよい。その後、図 20 (b) に示すように、機械加工ヘッドにより被加工物 W を工具で機械加工する。

20

【 0 1 6 1 】

レーザ L の出力は、100 [W] ~ 50 [kW] が好ましく、より好ましくは 1 [kW] ~ 30 [kW] である。レーザ加熱による熱変質層を加工エリア外に必要以上に広げない用途には、パルス発振モードが望ましい。高いピークパワーと狭いパルス幅が好適であり、ピークパワーが 1 [kW] ~ 30 [kW]、パルス幅が 10 マイクロ秒 ~ 100 ミリ秒が望ましい。

30

【 0 1 6 2 】

上記条件でレーザ加工穴を開ける、または熱変質させることにより、その後に機械加工ヘッドにより機械加工を行なう際のスラスト力を低下することができる。これは、機械加工の切削速度を向上させることができること、または工具寿命を延ばすことができることを意味する。さらに、スラスト力を低下させることは、被加工物 W の穴あけにおいて被加工物 W の欠けなどを抑制することができ、加工後の品質も向上させることができる。

【 符号の説明 】

【 0 1 6 3 】

- 1 複合加工装置
- 1 a 固定フレーム
- 2 被加工物支持機構
- 2 a チャック部
- 3 ヘッド支持機構
- 3 1 移動機構
- 3 1 a X 軸レール
- 3 1 b Y 軸レール
- 3 1 c Y 軸移動部材
- 3 1 d Z 軸支持部材
- 3 1 e Z 軸レール

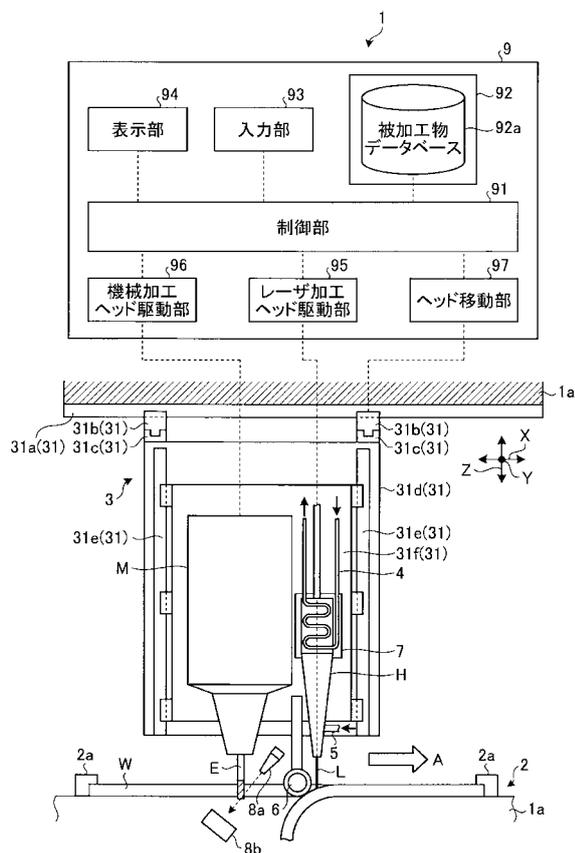
40

50

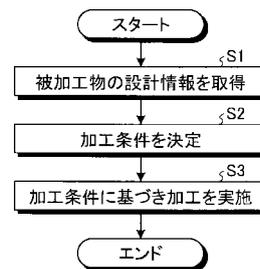
3 1 f	Z 軸移動部材	
4	冷却手段	
5	アシストガス供給手段	
6	接触部	
7	防振部材	
8 a	送風部	
8 b	吸引部	
9	制御装置	
9 1	制御部	
9 2	記憶部	10
9 2 a	被加工物データベース	
9 3	入力部	
9 4	表示部	
9 5	レーザ加工ヘッド駆動部	
9 6	機械加工ヘッド駆動部	
9 7	ヘッド移動部	
1 0 0	フレーム	
1 0 0 a , 1 0 0 b	軸受	
1 0 1	コリメート光学系	
1 0 2	偏光光学系	20
1 0 2 a	第一プリズム	
1 0 2 b	第二プリズム	
1 0 3	集光光学系	
1 0 4	光学系支持部	
1 0 5	回転機構 (移動機構)	
1 0 5 a	固定部	
1 0 5 b	回転部	
1 0 5 c	軸受	
1 0 6	エンコーダ	
1 0 6 a	検出部	30
1 0 6 b	移動部	
1 0 7	モータ	
1 0 8	冷却手段	
1 0 8 a	ポンプ	
1 0 8 b	連結管	
1 0 9	アシストガス供給手段	
1 1 0	回転機構 (移動機構)	
1 1 0 a	回転部	
1 1 0 b	モータ	
1 1 0 c , 1 1 0 d	歯車	40
1 1 1	防振部材	
C	面取カッタ (工具)	
D	ドリル (工具)	
E	エンドミル (工具)	
F	光ファイバ	
H	レーザ加工ヘッド	
i	照射位置	
L	レーザ	
M	機械加工ヘッド	
S	軸心	50

- V 仮想円
- W 被加工物
- W 1 穴
- W 2 所定範囲
- W 3 穴
- W 4 面取部
- W 5 穴
- W 6 面取部

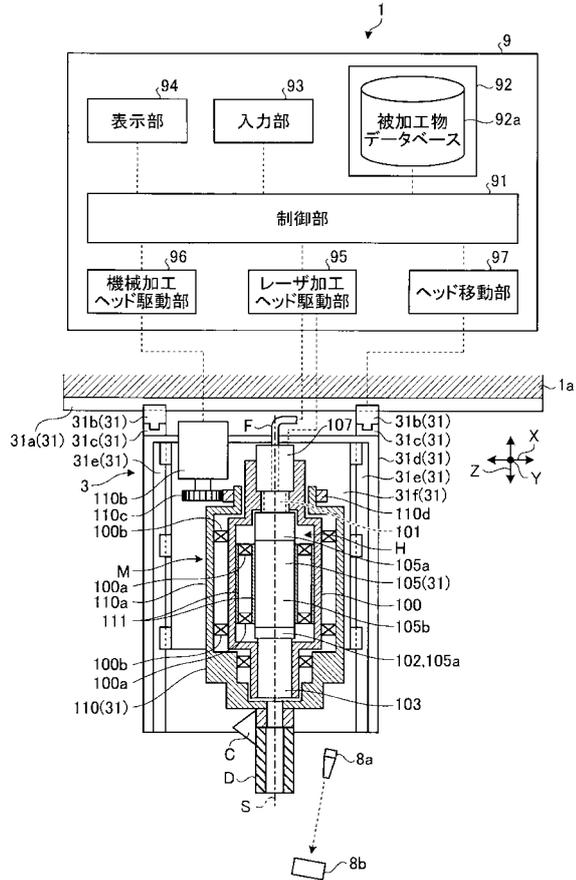
【 図 1 】



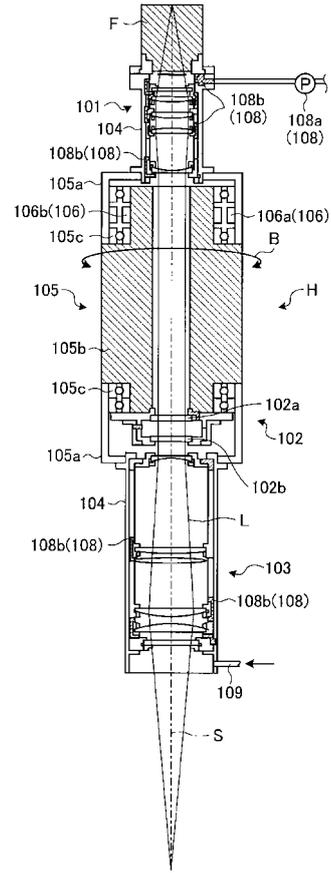
【 図 2 】



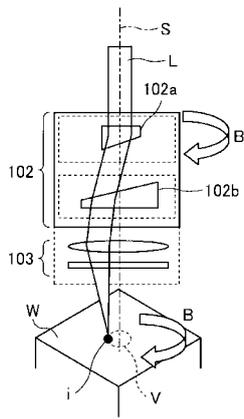
【 図 3 】



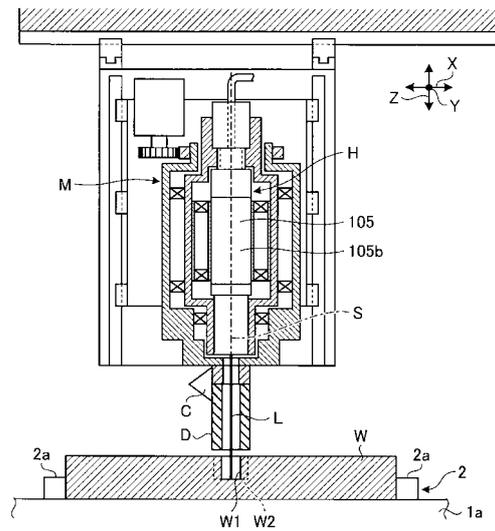
【 図 4 】



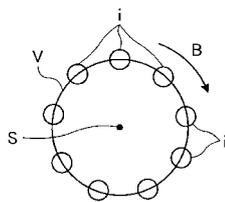
【 図 5 】



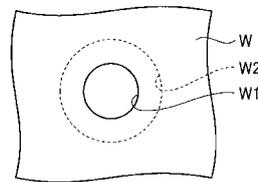
【 図 7 】



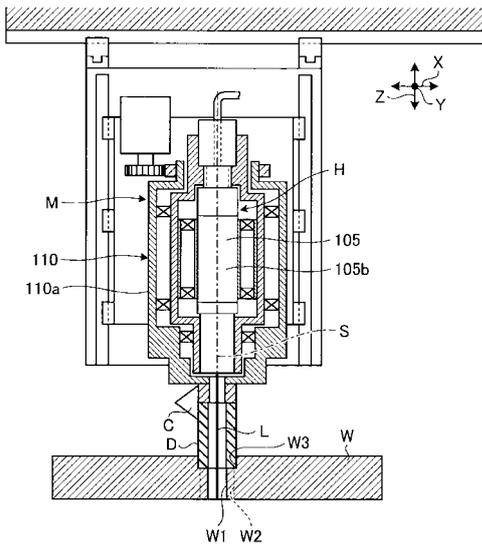
【 図 6 】



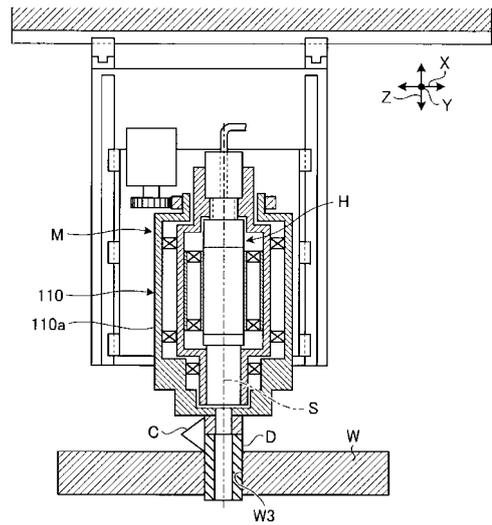
【 図 8 】



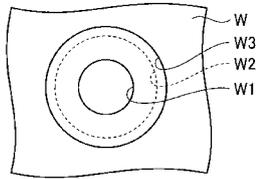
【 図 9 】



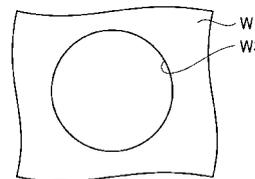
【 図 1 1 】



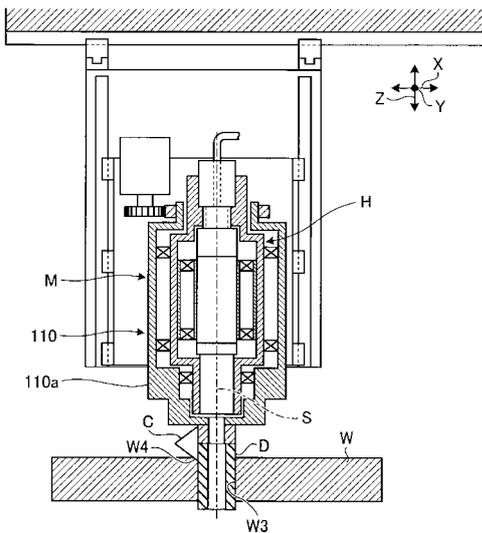
【 図 1 0 】



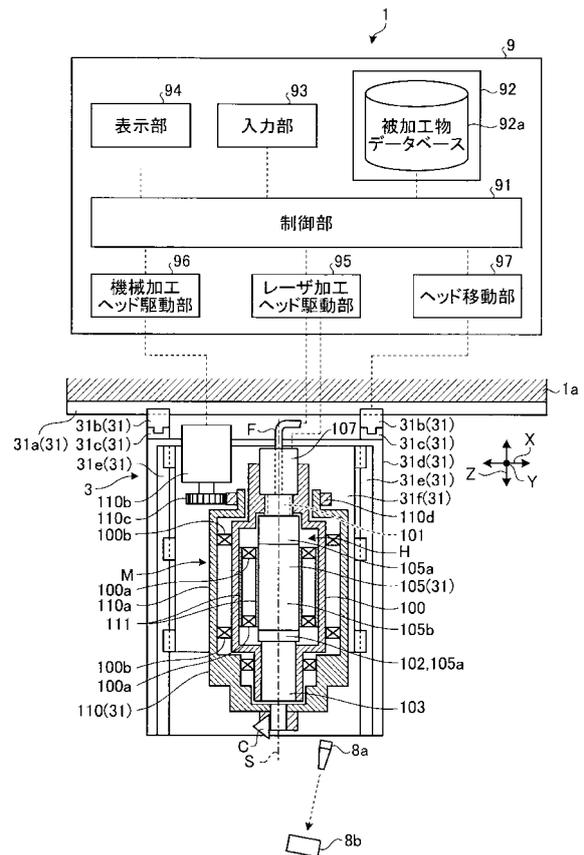
【 図 1 2 】



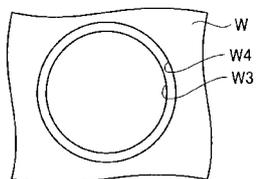
【 図 1 3 】



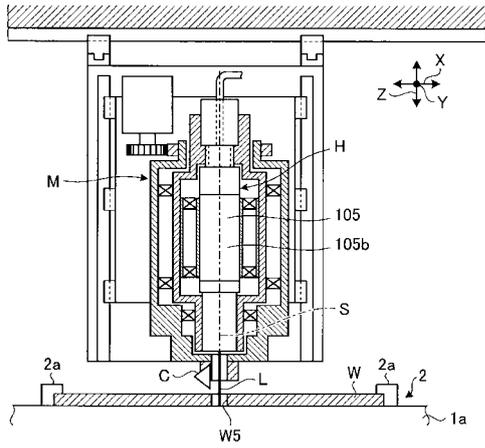
【 図 1 5 】



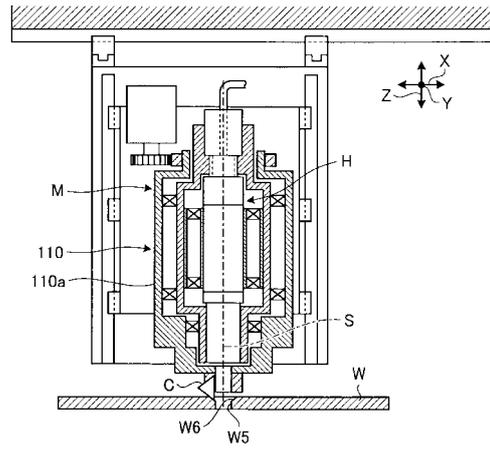
【 図 1 4 】



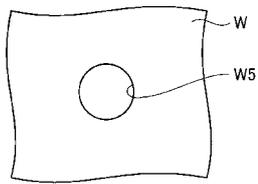
【図 16】



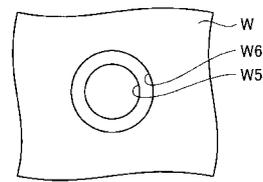
【図 18】



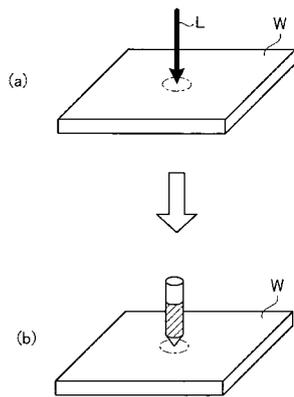
【図 17】



【図 19】



【図 20】



フロントページの続き

(72)発明者 二井谷 春彦
東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内

(72)発明者 山下 貢丸
東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内

(72)発明者 堀江 丞
東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内

(72)発明者 石出 孝
東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内

Fターム(参考) 4E168 AD07 AD11 CA00 CB03 DA02 DA03 DA04 DA27 DA28 DA44
EA14 EA24 EA25 FB03 FC01 FC04 JA02 JA05 JA12 JA14
JA15 JA17 JA25