

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 5 部門第 1 区分

【発行日】平成24年4月5日 (2012.4.5)

【公開番号】特開2010-174876(P2010-174876A)

【公開日】平成22年8月12日 (2010.8.12)

【年通号数】公開・登録公報2010-032

【出願番号】特願2009-39974(P2009-39974)

【国際特許分類】

F 0 2 C 7/00 (2006.01)

F 0 1 D 25/00 (2006.01)

B 2 3 P 15/02 (2006.01)

B 2 4 B 19/14 (2006.01)

【F I】

F 0 2 C 7/00 D

F 0 1 D 25/00 X

B 2 3 P 15/02

B 2 4 B 19/14

【手続補正書】

【提出日】平成24年1月24日 (2012.1.24)

【手続補正 2】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

タービンブレードの中央に位置する羽根部を把持する羽根把持工程と、上記タービンブレードの露出したルート部とシュラウド部とを同時又は前後して加工する両端加工工程と、上記タービンブレードを羽根把持具から外して加工済みのルート部及びシュラウド部を把持する両端把持工程と、上記タービンブレードの中央に位置する羽根部を変質温度以下で加工する羽根加工工程と、からなるタービンブレードの加工方法において、上記ルート部とシュラウド部とを加工する両端加工工程及び羽根部を加工する羽根加工工程は、同時多軸制御のもとに加工し、
上記羽根部を加工する羽根加工工程は、同時多軸制御のもとにエンドミル・バフ・研磨からなり、手仕上げの動きをモーションキャプチャーティーチングにより自動加工すること
を特徴とするタービンブレードの加工方法。

【請求項 2】

タービンブレードの中央に位置する羽根部を把持する羽根把持具と、上記羽根把持具に把持されてルート部とシュラウド部とを同時又は前後して加工する両端加工部と、上記タービンブレードのルート部及びシュラウド部を把持する両端把持具と、上記タービンブレードの中央に位置する羽根部を変質温度以下で加工する羽根加工部と、を具備したタービンブレードの加工装置において、
上記両端加工部は、同時多軸制御のもとにエンドミル及び研削加工する主軸ヘッドと、タービンブレード材の加工温度を検出する温度検出部とその温度制御部とを備え、
上記主軸ヘッドは、手仕上げの動きをモーションキャプチャーティーチングにより自動加工制御するモーションキャプチャー制御部を備え、

上記羽根加工部は、同時多軸制御のもとにエンドミル・バフ・研磨からなる主軸ヘッドと、タービンブレード材の加工温度を検出する温度検出部とその運転制御部とを備えたも

のであることを特徴とするタービンブレードの加工装置。

【請求項 3】

上記羽根把持具は、筒体内に挿入した羽根部を位置決めピンと氷結又は石膏はパラフィン等の凝固材で固着させたものであることを特徴とする請求項 2 記載のタービンブレードの加工装置。

【請求項 4】

上記羽根把持具は、筒体内に挿入した羽根部を鋼球・砂・ビーズ等の球状材で加圧固持させたものであることを特徴とする請求項 2 記載のタービンブレードの加工装置。

【請求項 5】

上記両端把持具は、筒体内に挿入したルート部及びシュラウド部に各々嵌り合う凹部を設けた一对の蝶番状型枠で固着させ、上記蝶番状型枠にタービンブレードの羽根部を刃物からの押し付け力を受ける反刃物側に受具を設けたものであることを特徴とする請求項 2 記載のタービンブレードの加工装置。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】タービンブレードの加工方法とそのタービンブレードの加工装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、航空機のジェットエンジンや発電機用のタービンに使用されるタービンブレードやターボチャージャーのブレードの加工方法とそのタービンブレードの加工装置に係わり、特に、タービンブレード材の各部位に焼け変質等を起こすことなく高精度に加工するタービンブレードの加工方法と完全自動加工を達成させた新規なタービンブレードの加工装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、例えば、航空機による国際的な物流増大に対応する事と、対地球環境向上を図るための低燃費性の要求が高まり、航空機のジェットエンジンの軽量化や燃費改善が図れるタービンブレードの性能向上が大きな課題になっている。上記タービンブレードの形状は、ルート部（根部）とブレード部（中間羽根部）とシュラウド部（外套部）とからなる。特に、中間羽根部が 3 次元形状で、しかも薄肉化が図られている上に、タービンブレードが大型化されている。従って、上記 3 次元曲面を有するタービンブレード材において、高精度に加工する加工方法を完全自動加工により達成させる新加工技術とその加工装置が必須となっている。

【0003】

上記タービンブレードの加工方法や加工装置には、4 軸、5 軸の加工機による加工方法が一般的である。上記タービンブレードの多軸加工機、ワークの加工方法においては、ワークとなるタービンブレードの加工精度は、加工ツールとワーク台にクランプされるワークとの相対位置関係の精度に支配される。このために、加工ツールを保持するチャックやワーク台の他、加工機全体を高剛性化して高精度加工に対応している。しかし、上記加工機では、工具が共振してびびり振動を生じることがあり、ワーク表面の加工精度に悪影響を与えるから、これを防ぐ対策として、加工中の工具及び加工機の振動を測定し、びびり振動が起きている時は運転条件を変更させるものがある。

【0004】

上記運転条件を変更させる具体的な手段の一つは、複数の作動軸を有する多軸加工機であって、加工すべきワークを保持するワーク保持部と、前記ワーク保持部に保持された前記ワークを加工するための加工ツールを保持する加工ツール保持部と、前記ワーク保持部

で保持した前記ワークに生じたびびり振動を検出する振動検出部と、前記振動検出部でびびり振動が検出されたときに、前記加工ツール保持部で保持した前記加工ツールによる前記ワークに対する加工条件を変更するコントローラと、を備えたものである（例えば、特許文献 1 参照。）。

【 0 0 0 5 】

また、上記タービンブレード材は、特に中間羽根部が薄肉化しているために、この中間羽根部を高精度にクランプする治具が要求される。従来のクランプ治具には、下記のものが知られている。

1、基準ピンとネジ止め式は、図 2 4 (a) ~ (d) に見るように、(1)、ブレード部を 3 点のピンで受ける (a)。 (2)、長さ方向 P 1 を 1 点のピンで受ける (b)。 (3)、長さ方向 P 2 を 1 点のピンで受ける (c)。 (4)、6 点の基準が出た状態で任意箇所をネジ止めして拘束固定する。拘束力が弱い。

2、鑄込法は、図 2 4 (a) (b) に見るように、(1)、上記基準ピンとネジ止め式により 6 点支持し、ルート部とシュラウド部で基準を出す。 (2)、ブレード部を枠に固定し、低溶融金属（鉛錫の合金）で鑄込んで拘束固定する図 2 5 (a) ~ (c)。この鑄込法のメリットは、タービンブレード材の両端を加工するに際して三次元曲面の薄肉の羽根部に歪み・撓みを生じることなく高精度に拘束固定できる。

3、専用の固定装置の一例には、固定装置と共に使用され、精度の高い形状の部品を形成するための中間物体（タービンブレード材）であって、該中間物体は、先端部と、この先端部から離間された根本領域と、第 1 の面と、を有しさらに、前記第 1 の面内に配設された前記先端部の第 1 のロケータと、前記根本領域から長手方向に延びた長手方向延長領域と、前記中間物体の前記長手方向延長領域に形成された第 2 のロケータと、を有し、前記第 2 のロケータは、前記第 1 の面内に配設されていて、前記中間物体が前記固定装置へと挿入されると、この中間物体を前記高精度形状部品へと機械加工できるように、前記中間物体が前記固定装置の前記各ロケータによってクランプされるものである（例えば、特許文献 2 参照。）。

【 0 0 0 6 】

更に、タービンブレード材は、特に中間羽根部が薄肉化しているために、この中間羽根部を加工すると、タービンブレードの両端部を外側（外側に配置した機械側）に保持して加工すると中間羽根部が刃物に押されて逃げて振動を発生させるから、刃物寿命が短く、ブレードの面粗度が悪く、加工寸法が揃わない。そこで、中間羽根部の逃げ対策としてタービンブレードの両端部を外側へ引っ張り、中間羽根部の逃げ量を縮小化させている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 7 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 5 - 7 4 5 6 8 号公報

【 特許文献 2 】 特開平 1 1 - 8 2 9 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 8 】

上記タービンブレードの多軸加工機、ワークの加工方法は、特に、中間羽根部の加工時におけるびびり振動を回避し、高精度でしかも効率の良い加工を行うことが可能となるメリットがある。しかし、上記タービンブレードのワーク保持部の構成が不明解である。即ち、撓み易い羽根部を保持する保持手段の構成が説明されていないし、ルート部（根部）とシュラウド部（外套部）の保持手段もその詳細が説明されていないから、びびり振動を回避する重要な要素となるワーク保持部の問題が解決されていない。

【 0 0 0 9 】

また、従来のクランプ治具における基準ピンとネジ止め式は、ブレードワークの拘束力が弱く、びびり振動を回避することが出来ない。そして、鑄込法は、ブレードワークの拘束力が強く、びびり振動を回避することができる。しかし、鉛は人体に有害であり、鑄込

から外したタービンブレード材を酸洗いする必要がある。更に、専用の固定装置では、多数のピンで羽根部を押し圧して位置決め支持するものであり、且つ、三次元曲面形状の羽根表面の形状精度や機械的強度も弱く歪み易いから、一つ一つのブレード部品において、寸法精度が異なるために部品交換毎に、一つ一つの手作業による再調節作業を要するから、ブレード固定に多くの手間と時間を要し、固定制度にもバラツキが見られ高い加工精度や能率の良い加工が出来ないという問題点が残存している。

【 0 0 1 0 】

上記の他、タービンブレードの加工時における最大の問題点は、加工点での加工熱による焼け現象である。タービンブレード材は、加工点の加工熱が 6 3 0 付近を超えると急速に変質する性質をもっているが、上記各公知技術では、加工点の加工発熱の検出や制御手段が開示されていないし、その焼け現象を防止する課題や対策も全く開示されていない。特に、航空機用のジェットエンジンに使用されるタービンブレードにおいて、加工熱による材料の変質は信頼性を損ねる大きな問題点であり、早急に解決された加工方法とこれによるタービンブレードが求められている。

【 0 0 1 1 】

本発明は、上記タービンブレードを加工する従来の加工方法や加工装置、ワーク保持装置の治具等における各種問題点に鑑みてなされたものである。その目的は、タービンブレード材の各部位に焼け変質等を起こすことなくタービンブレードの各部位（ルート部・シュラウド部・特に中間羽根部）を高精度に加工する加工方法の確立と、完全自動加工を達成させる新規な加工装置を提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 2 】

上記目的を達成するべく本発明の請求項 1 によるタービンブレードの加工方法は、タービンブレードの中央に位置する羽根部を把持する羽根把持工程と、上記タービンブレードの露出したルート部とシュラウド部とを同時又は前後して加工する両端加工工程と、上記タービンブレードを羽根把持具から外して加工済みのルート部及びシュラウド部を把持する両端把持工程と、上記タービンブレードの中央に位置する羽根部を変質温度以下で加工する羽根加工工程と、からなるタービンブレードの加工方法において、上記ルート部とシュラウド部とを加工する両端加工工程及び羽根部を加工する羽根加工工程は、同時多軸制御のもとに加工し、上記羽根部を加工する羽根加工工程は、同時多軸制御のもとにエンドミル・パフ・研磨からなり、手仕上げの動きをモーションキャプチャーティーチングにより自動加工することを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

また、本発明の請求項 2 によるタービンブレードの加工装置は、タービンブレードの中央に位置する羽根部を把持する羽根把持具と、上記羽根把持具に把持されてルート部とシュラウド部とを同時又は前後して加工する両端加工部と、上記タービンブレードのルート部及びシュラウド部を把持する両端把持具と、上記タービンブレードの中央に位置する羽根部を変質温度以下で加工する羽根加工部と、を具備したタービンブレードの加工装置において、上記両端加工部は、同時多軸制御のもとにエンドミル及び研削加工する主軸ヘッドと、タービンブレード材の加工温度を検出する温度検出部とその温度制御部とを備え、上記主軸ヘッドは、手仕上げの動きをモーションキャプチャーティーチングにより自動加工制御するモーションキャプチャー制御部を備え、上記羽根加工部は、同時多軸制御のもとにエンドミル・パフ・研磨からなる主軸ヘッドと、タービンブレード材の加工温度を検出する温度検出部とその運転制御部とを備えたものであることを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

また、本発明の請求項 3 によるタービンブレードの加工装置は、請求項 2 記載のタービンブレードの加工装置において、上記羽根把持具は、筒体内に挿入した羽根部を位置決めピンと氷結又は石膏はパラフィン等の凝固材で固着させたものであることを特徴とする。

【 0 0 1 5 】

また、本発明の請求項 4 によるタービンブレードの加工装置は、請求項 2 記載のタービ

ンブレードの加工装置において、上記羽根把持具は、筒体内に挿入した羽根部を鋼球・砂・ビーズ等の球状材で加圧固持させたものであることを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

また、本発明の請求項 5 によるタービンブレードの加工装置は、請求項 2 記載のタービンブレードの加工装置において、上記両端把持具は、筒体内に挿入したルート部及びシュラウド部に各々嵌り合う凹部を設けた一対の蝶番状型枠で固着させ、上記蝶番状型枠にタービンブレードの羽根部を刃物からの押し付け力を受ける反刃物側に受具を設けたものであることを特徴とする。

【 発 明 の 効 果 】

【 0 0 1 7 】

本発明のタービンブレードの加工方法によると、タービンブレードのルート部やシュラウド部の他、特に、上記羽根部の加工は、同時多軸制御のもとにエンドミル・バフ・研磨により、荒加工・中仕上げ・精密仕上げが材質変化を起こす約 630 の変質温度以下で連続して加工され焼け現象が完全に防止できる。その上、加工が効率的に実施できる。更に、上記羽根部の加工は、同時多軸制御のもとにエンドミル・バフ・研磨の各加工が、手仕上げの動きをモーションキャプチャーティーチングによるフィードバックで材質変化を起こすことなく連続して品質の良い自動加工できる。

【 0 0 1 8 】

また、本発明のタービンブレードの加工装置によると、タービンブレードのルート部やシュラウド部の他、特に、上記羽根部の加工は、両端把持具により、同時多軸制御のもとにエンドミル・バフ・研磨により、荒加工・中仕上げ・精密仕上げが材質変化を起こす約 630 の変質温度以下で連続して加工され焼け現象を完全に防止させた加工を実施させることができる。その上、加工を効率的に実施できる。更に、上記羽根部の加工は、同時多軸制御のもとにエンドミル・バフ・研磨の各加工が、手仕上げの動きをモーションキャプチャーティーチングによるフィードバックで材質変化を起こすことなく連続して品質の良い自動加工を実施させることができる。

【 0 0 1 9 】

また、本発明のタービンブレードの加工装置によると、タービンブレードのルート部やシュラウド部の他、特に、羽根部は、位置決めピンと氷結又は石膏又はパラフィン等の固化材で確実に固着できる。また、ルート部及びシュラウド部の把持に対しては、筒体内に挿入したルート部及びシュラウド部に各々嵌り合う凹部を設けた一対の蝶番状型枠で固着させ、上記蝶番状型枠にブレードの羽根部を刃物からの押し付け力を受ける反刃物側に受具を設けたものであるから、肉薄で歪み易い羽根部を撓ませることなく、面粗度を悪くすることなく、加工寸法の揃った精密加工ができる。更に、筒体内に挿入した羽根部は、鋼球・砂等の球状材で加圧させることで確実に固持できる。そして、筒体内に挿入した被把持材として砂材を充填するとともに、水等の液体を注入して強固に凝固できる。しかも、何れの加工装置も、被把持材を筒体内から外す操作が簡潔・迅速にできる。

【 図 面 の 簡 単 な 説 明 】

【 0 0 2 0 】

【 図 1 】 本発明の実施の形態を示し、タービンブレードの加工方法手順を示すブロック線図である。

【 図 2 】 本発明の実施の形態を示し、羽根部の加工工程を示すブロック線図である。

【 図 3 】 本発明の実施の形態を示し、タービンブレードの両端部を連続加工する作業手順図である。

【 図 4 】 本発明の実施の形態を示し、タービンブレードの両端部を持ち替えする作業手順図である。

【 図 5 】 本発明の実施の形態を示し、タービンブレードの両端部を連続加工する作業手順図である。

【 図 6 】 本発明の実施の形態を示し、タービンブレードの両端部を連続加工する作業手順図である。

【図 7】 本発明の実施の形態を示し、タービンブレードの羽根部を加工する多軸制御工作機械の正面図である。

【図 8】 本発明の実施の形態を示し、両端加工部を加工する多軸制御工作機械の正面図である。

【図 9】 本発明の実施の形態を示し、研磨機によるモーションキャプチャーティーチングの正面図である。

【図 10】 本発明の実施の形態を示し、羽根部を連続加工する作業手順図である。

【図 11】 本発明の実施の形態を示し、タービンブレードを固定する羽根把持具の縦断面図である。

【図 12】 本発明の実施の形態を示し、タービンブレードを固定する羽根把持具の横断面図である。

【図 13】 本発明の実施の形態を示し、タービンブレードを固定する羽根把持具の縦断面図である。

【図 14】 本発明の実施の形態を示し、タービンブレードを固定する羽根把持具の横断面図である。

【図 15】 本発明の実施の形態を示し、液体の氷結工程図である。

【図 16】 本発明の実施の形態を示し、冷凍ユニットの正面図である。

【図 17】 本発明の実施の形態を示し、蠟顆粒・硬化性樹脂顆粒の凝固工程図である。

【図 18】 本発明の実施の形態を示し、加温ユニットの正面図である。

【図 19】 本発明の実施の形態を示し、タービンブレードを固定する両端把持具の片側の正面図である。

【図 20】 本発明の実施の形態を示し、タービンブレードを固定する羽根把持具の縦断面図である。

【図 21】 本発明の実施の形態を示し、タービンブレードを固定する羽根把持具の縦断面図である。

【図 22】 本発明の実施の形態を示し、タービンブレードを固定する羽根把持具の縦断面図である。

【図 23】 本発明の実施の形態を示し、タービンブレードを固定する羽根把持具の縦断面図である。

【図 24】 従来のクランプ法を示し、基準ピンとネジ止め式の工程図である。

【図 25】 従来のクランプ法を示し、鋳込法の工程図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、図 1 乃至図 23 を参照して本発明の各実施の形態を順次に説明する。

【実施例】

【0022】

本発明の第 1 の実施の形態となるタービンブレードの加工方法は、下記の主たる構成要件からなる。まず、図 1 に示すように、タービンブレード 1 の加工方法 (1) は、ルート部 1 B とシュラウド部 1 C と羽根部 1 A とからなるタービンブレード (以下ブレードとも言う) 1 において、タービンブレード 1 の中央に位置する羽根部 1 A を羽根把持具 10 で把持する羽根把持工程 (A) と、続く露出したルート部 1 B とシュラウド部 1 C とを同時又は前後して荒加工・中仕上げ・精密仕上げ加工する両端加工工程 (B) と、上記タービンブレード 1 を羽根把持具から外して加工済みのルート部 1 B 及びシュラウド部 1 C を両端把持具 30, 40 で把持する両端把持工程 (C) と、上記タービンブレード 1 の中央に位置する羽根部 1 A を変質温度以下で加工する羽根加工工程 (D) とからなる。上記両端加工工程 (B) は、図 3 のシュラウド加工工程 (B1) と、図 5 のルート加工工程 (B2) とからなる。これらの加工工程は、同時多軸制御された加工ヘッド KH1 によりエンドミル EM・砥石研磨 TK の順に、荒加工・中仕上げ・精密仕上げが材質変化を起こす約 630 の変質温度以下で連続して加工され焼け現象が防止される。上記の同時多軸制御とは、2 軸から 6 軸までの任意な軸数を意味し、任意な軸数制御が適用される。

【 0 0 2 3 】

上記両端加工工程（B）は、例えば、図3～図6に示すシュラウド加工工程（B1）とルート加工工程（B2）との連続加工手順（俗名：ピラニア加工手順）により行われる。

ST E 1：図3のシュラウド加工において、タービンブレード1の中央に位置する羽根部1Aを羽根把持具10で把持した多数のタービンブレード1が待機ワークとしてプールされており、その一つが押し出されて第1主軸S1の旋回チャックC1に把持される。このタービンブレード1のシュラウド部1Cが例えば同時多軸制御された加工ヘッドKH1によりエンドミルEM・砥石研磨TKの順に、荒加工・中仕上げ・精密仕上げが材質変化を起こす約630 の変質温度以下で連続して加工され焼け現象が防止される。加工後は、加工ヘッドKH1が退却した後に、移動式第2主軸S2の旋回チャックC2がタービンブレード1のシュラウド部1C側に接近する。

ST E 2：図4の自動持ち替えにおいて、移動式第2主軸S2の旋回チャックC2がブレード1のシュラウド部1C側に接近し、羽根把持具10のシュラウド部1C側を把持するとともに、ルート部1Bを把持する第1主軸S1の旋回チャックC1が開放されて自動持ち替えする。

ST E 3：図5のルート加工において、このタービンブレード1のルート部1Bが同時多軸制御された加工ヘッドKH1によりエンドミルEM・砥石研磨TKの順に、荒加工・中仕上げ・精密仕上げが材質変化を起こす約630 の変質温度以下で連続して加工され焼け現象が防止される。加工後は移動式第2主軸S2の旋回チャックC2がシュラウド部1Cを開放するとともに、ブレード1が外部へ排出される。

ST E 4：図6の自動押し出しにより待機ワークの加工において、第1主軸S1の旋回チャックC1の外側にプールされていたその一つが押し出されて第1主軸S1の旋回チャックC1に把持される。このタービンブレード1のシュラウド部1Cが同時多軸制御された加工ヘッドKH1によりエンドミルEM・砥石研磨TKの順に、荒加工・中仕上げ・精密仕上げが材質変化を起こす約630 の変質温度以下で連続して加工され焼け現象が防止される。以下、同様にして、新たに把持したタービンブレード1の両端部（ルート部1B及びシュラウド部1C）が順次に自動加工される。

【 0 0 2 4 】

上記羽根加工工程（D）は、図2と図7に示すように、同時多軸制御された加工ヘッドKH2によりエンドミルEM・パフBF・研磨BKの順に、荒加工・中仕上げ・精密仕上げが材質変化を起こす約630 の変質温度以下で連続して加工され焼け現象が防止される。更に、図9に示すように、羽根部1Aの加工は、同時多軸制御のもとにエンドミルEM・パフBF・研磨BKの各加工が、熟練工の手仕上げの動きをモーションキャプチャティーチングにより記憶させ、一層忠実なフィードバック運転で材質変化を起こす約630 の変質温度以下において、連続して熟練工の技を織り込んだ自動加工が行われる。上記研磨BKは、ベルト研磨や既存の各種研磨方法が採用される。

【 0 0 2 5 】

続いて、上記第1の実施の形態となるタービンブレードの加工方法を実現させるタービンブレードの加工装置M0の構成を説明する。その基本構成となる第1実施例は、図3に示すように、第1主軸S1のチャック（旋回チャック）C1と第2主軸S2のチャック（旋回チャック）C2間で羽根把持具10を把持し直し、交互にルート部1Bとシュラウド部1Cとを同時多軸制御する加工ヘッドKH1を備えた多軸制御工作機械に基づくタービンブレードの加工装置M0としている。

【 0 0 2 6 】

更に、上記タービンブレードの加工装置M0の構成は、図8に見るように、タービンブレード1の中央に位置する羽根部1Aを把持する羽根把持具10と、この羽根把持具10に把持されて露出したルート部1Bとシュラウド部1Cとを前後して同時多軸制御された加工ヘッドKH2において、中央に配置した中央旋回チャックSC0との多軸制御によりエンドミルEM・砥石研磨TK2の順に、荒加工・中仕上げ・精密仕上げ加工する両端加工部20を備えた多軸制御工作機械M0としても良い。また、ルート部1B及びシュラウド部1Cの加工は、図9に示すように、羽根部1Aの加工は、同時多軸制御のもとにエンドミルEM・パフBF・研磨BKの各加工が、熟練工の手仕上げの動きをモーションキャプチャティーチングにより記憶させ、一層忠実なフィードバック運転で材質変化を起こす約630 の変質温度以下において、連続して熟練工の技を織り込んだ自動加工が行われる。

ド部 1 C を加工する両端加工部 2 0 は、CNC 制御装置 3 0 0 の同時多軸制御のもとにエンドミル・砥石研磨する機能と、タービンブレード材 1 の加工温度をサーモグラフィで温度検出する温度検出部 6 0 とその温度制御部 7 0 とを備えている。

【 0 0 2 7 】

また、図 7 に見るように、上記タービンブレード 1 のルート部 1 B 及びシュラウド部 1 C を把持する両端把持具 3 0 , 4 0 と、上記両端把持具 3 0 , 4 0 を旋回チャック C 1 と旋回チャック C 2 とで同時把持させ、この状態で上記タービンブレードの中央に位置する羽根部 1 A を同時多軸制御された加工ヘッド K H 2 によりエンドミル E M ・パフ B F ・ベルト研磨 B K の各加工を変質温度以下で加工する羽根加工部 5 0 を装備したタービンブレードの加工装置 M 0 を構成する多軸制御工作機械 1 0 0 が使用される。上記羽根加工部 5 0 の加工ヘッド K H 2 は、タービンブレード 1 の中央に位置する羽根部 1 A を変質温度以下で加工すべく、タービンブレード材 1 の加工温度をサーモグラフィで温度検出する温度検出部 6 0 とその温度制御部 7 0 とを備えている。更に、上記羽根加工部 5 0 は、CNC 制御装置 3 0 0 の同時多軸制御の機能を持つ各他軸制御の加工ヘッド K H 2 である。

【 0 0 2 8 】

更に、上記多軸制御の加工ヘッド K H 1 , K H 2 は、手仕上げの動きは、熟練工による繊細なワークさばきを、カメラ C M により読み取り、この情報がモーションキャプチャー制御部 3 3 0 によりモーションキャプチャーティーチングされる。このモーションキャプチャーティーチングのプレイバック運転により熟練工の技で多軸制御の加工ヘッド K H 2 他の制御軸をコントロールすることで、全自動加工される。尚、上記モーションキャプチャーティーチングは、図 8 に示すように、多軸制御工作機械 M 0 の上で実施される他、図 9 に示す多軸制御工作機械 1 0 0 のように、研磨機 K M O のパフ B F 等で熟練工 M が行う手作業をカメラ C M により読み取り、この情報をモーションキャプチャー制御部 3 3 0 でモーションキャプチャーティーチングの運転データに処理される。この運転データを多軸制御工作機械 1 0 0 の CNC 制御装置 3 0 0 に入力してプレイバック運転を行っても良い。

【 0 0 2 9 】

上記羽根加工部 5 0 において、両端把持具 3 0 , 4 0 によるルート部 1 B 及びシュラウド部 1 C の把持作用と羽根部 1 A を加工する加工手順を説明する。即ち、図 1 0 に示すように、プレ止め機能を備えた両端把持具 3 0 , 4 0 により超大型タービンブレード 1 ' を加工する両端把持具 3 0 , 4 0 の取付方法を説明する。先ず、「材料」は、全長 1 8 8 0 mm を使用する。次に、「ピラニア治具」となる両端把持具 3 0 , 4 0 は、ルート部 1 B 及びシュラウド部 1 C に各々嵌り合う凹部 O 1 , O 2 を各筒体 3 0 a , 3 0 b , 4 0 a , 4 0 b に設け継手 J で開閉可能に繋いだ一対の蝶番状型枠の両端把持具 3 0 , 4 0 である。そして、「取付」は、上記両端把持具 3 0 , 4 0 の各筒体 3 0 a , 3 0 b , 4 0 a , 4 0 b をルート部 1 B 及びシュラウド部 1 C に包囲してボルト固着される。「加工」は、多軸制御の加工ヘッド K H 2 でエンドミル・パフ・研磨される。この加工時に、タービンブレードの羽根部 1 A がカッター（エンドミル）E M に押され下に逃げるのを下から支えるべく、次の受け構造を両端把持具 3 0 , 4 0 に設けている。その「受け」は、蝶番状型枠の両端把持具 3 0 , 4 0 の筒体 3 0 a , 4 0 b にタービンブレードの羽根部 1 A を刃物からの押し付け力を受ける反刃物側に受具 3 3 , 4 3 を設け、上側の受具 3 3 を加工に邪魔しない方向へ跳ねのけ、下側の受具 4 3 を羽根部 1 A の下側面に押し当てて刃物からの押し付け力を受け、加工精度を高めた羽根部 1 A の加工が可能としている。

【 0 0 3 0 】

以下、本発明の実施の形態となるタービンブレードの加工装置 M 0 , 2 0 0 において、各実施形態の詳細構成を説明する。先ず、図 1 1 と図 1 2 に示すように、タービンブレード 1 の中央に位置する羽根部 1 A を把持する羽根把持具 1 0 の第 1 実施例は、タービンブレード 1 の羽根部 1 A を包囲して把持すべく、筒体 1 1 の外周壁 1 1 A にはタービンブレード 1 の羽根部 1 A に突き当たる位置決めピン P 1 , P 2 , . . . が筒内に突出している。これで筒体内に挿入されたタービンブレード 1 の羽根部 1 A を位置決めピン P 1 , P 2

、・・・で仮止めし、筒体の下側となる片側開口を閉塞した状態で固定した後、この筒体 11 の内部空間に液体（水・水道水・純水）W1 を充填し、これを凝固材として氷結させる凝固部（凝固システム）400 を外部に配置している。また、上記液体（水・水道水・純水）W1 に替えて、石膏やパラフィン等の蠟顆粒・硬化性樹脂顆粒 W2 を充填して溶解液体 W0 とし、これを凝固材として固着させる凝固部（凝固システム）500 を外部に配置している。上記凝固部（凝固システム）400 は図 16 に示し、上記凝固部（凝固システム）500 は図 18 に示す。

【0031】

また、羽根把持具 10 の別の第 2 実施例は、図 13 と図 14 に示すように、タービンブレード 1 の中央に位置する羽根部 1A を把持する羽根把持具 10 は、タービンブレード 1 の羽根部 1A を包囲して把持すべく、軸心方向 O に二つ割りの筒体 11（筒片 11A、副筒片 11B）と、この筒体 11（筒片 11A、副筒片 11B）の左右筒端には、各々突縁 a、a' と凹縁 b、b' とを設けタービンブレード 1 の羽根部 1A の両端における凹凸の外周面形状に合わせられ、筒部の軸心方向に対して直交方向 X に羽根部 1A の両端外周面の凹凸を受け止める。また、上記筒片 11A、副筒片 11B の外壁には筒内空間に突出させた複数本の位置決めピン P1、P2、・・・が固着されており、上記筒片 11A、副筒片 11B を接合ボルト V1、V2・・・で結合することで、羽根部 1A の凸面と凹面とを当接支持する。通常は、この状態でブレード 1 の羽根部 1A が羽根把持具 10 により把持された形態となり、ルート部 1B とシュラウド部 1C とを前後して同時多軸制御された加工ヘッド KH1 により加工される。この実施例では、ブレード 1 の羽根部を位置決めピン P1、P2、・・・で固定した後、この筒体 11 の内部空間に液体（水・水道水・純水）W1、又は、石膏やパラフィン等の蠟顆粒・硬化性樹脂顆粒 W2 を充填して溶解液体 W0 とし、これを凝固材として固着させる凝固部（凝固システム）400 を外部に配置している。上記凝固部（凝固システム）400 は、液体（水・水道水・純水）W1 を低温で凍結させる冷凍ユニット 110 を主要構成とするものと、図 18 に示すように、石膏やパラフィン等の蠟顆粒・硬化性樹脂顆粒 W2 を加温ユニット 120 で溶融する凝固部（凝固システム）500 とからなる。

【0032】

上記冷凍ユニット 110 とこれによる液体（水）の充填・凝固工程は、図 15 と図 16 に示す。先ず、冷凍ユニット 110 は、冷凍機 A と冷凍容器 B と冷凍温度制御部 C と冷凍エレメント D とからなり、この冷凍容器 B 内に入れられた羽根把持具 10 内の水 W1 を凝固させる機能を持っている。上記冷凍ユニット 110 による液体（水）の充填・凝固工程と加工工程を説明する。先ず、タービンブレード取付工程（1）にて、羽根把持具 10 における二つ割り筒体 11 でタービンブレード 1 の中央に位置する羽根部 1A を把持する。続いて、充填工程（2）で筒体 11 内に液体（水）W1 を注入する。上記羽根把持具 10 を冷凍ユニット 110 内に入れて液体（水）W1 の凝固（氷結）工程（3）を行う。氷結した羽根把持具 10 を冷凍ユニット 110 から取り出し、マシニングセンタ及び研削盤を兼用した CNC 制御装置により運転され、エンドミル・研磨する機能を持つ多軸制御工作機械 MO の加工ヘッド KH1 により、ルート部 1B とシュラウド部 1C とを前後して便ブレード両端部の加工工程（4）が行われる。最後に、羽根把持具 10 を多軸制御工作機械 MO の治具 G からのタービンブレードの取り外し工程（5）により、取り外し、氷結を自然界解凍させるか、強制加熱して急速に解凍して加工を終了させる。

【0033】

上記羽根把持具 10 の凝固部（凝固システム）400 において、タービンブレード 1 の羽根部 1A を石膏やパラフィン等の蠟顆粒・硬化性樹脂顆粒 W2 を加温ユニット 120 による溶融する凝固部（凝固システム）500 は、図 18 に説明する。蠟顆粒・硬化性樹脂顆粒・蠟・パラフィンを加温して溶融させ、常温に降温させて凝固させる加温ユニット 120 は、加熱機 E と加熱容器 F と加熱温度制御部 G と加熱エレメント H とからなり、この加熱容器 F 内に入れられた羽根把持具 10 内の蠟・パラフィンを溶解させる機能を持っている。蠟・パラフィンを溶解させられた羽根把持具 10 は、大気中に放置することで、温

度が低下して凝固体とする凝固部（凝固システム）500とからなる。

【0034】

上記加温ユニット120による蠟顆粒・硬化性樹脂顆粒・蠟・パラフィンの充填・凝固工程と加工工程を図17で説明する。先ず、タービンブレード取付工程（1）にて、羽根把持具10における二つ割り筒体11でタービンブレード1の中央に位置する羽根部1Aを把持する。続いて、蠟顆粒・硬化性樹脂顆粒の充填工程（2'）で筒体11内に素材を注入する。上記羽根把持具10を加温ユニット120内に入れて溶解させる溶融工程（3'）を行う。溶融した羽根把持具10を加温ユニット120から取り出し、液体の凝固工程（4'）を行い、羽根把持具10に羽根部1Aを強固に固定する。上記羽根把持具10をマシニングセンタ及び研削盤を兼用した治具に取り付けCNC制御装置により運転され、エンドミル・研磨する機能を持つ多軸制御工作機械MOの加工ヘッドKH1により、ルート部1Bとシュラウド部1Cとを前後してタービンブレード両端部の加工工程（5'）が行われる。加工後は、多軸制御工作機械MOの治具から羽根把持具10を取り外し、再溶融工程（6'）により溶解する。最後に、羽根把持具10を分解してタービンブレードの取り外し工程（7'）加工を終了させる。

【0035】

本発明のタービンブレードの加工装置M0, 200における第3の実施例は、上記両端把持具30, 40において、先ず、上記図10に示すように、プレ止め機能を排除した両端把持具30, 40を図19(a)(b)に示す。両端把持具30は、継手Jで繋がれた二つ割りの筒体30a, 30b内にルート部1Bの表側と裏側の凸形状に係合する凹部O1と凹部O2が形成されており、この空間の凹部O1と凹部O2にルート部1Bの表側と裏側とを嵌め合いボルトV1で型枠として固着されている。また、両端把持具40も同様に、図10に示すように、継手Jで繋がれた二つ割りの筒体40a, 40b内にシュラウド部1Cの表側と裏側の凸形状に係合する凹部O1と凹部O2が形成されており、この空間の凹部O1と凹部O2にシュラウド部1Cの表側と裏側とを嵌め合いボルトV2で型枠として固着される。

【0036】

上記両端把持具30, 40により、タービンブレードのルート部1Bとシュラウド部1Cとを包囲して把持するタービンブレードの加工装置200を構成している。これにより、両端把持具30, 40は、図7に示すように、CNC制御装置300の同時多軸制御のもと加工ヘッドKH2と左右に配置した旋回チャックSC1, SC2により両持ちに把持され、旋回チャックSC1, SC2の旋回制御と、同時多軸制御された加工ヘッドKH2とにより、三次元形状の羽根部1AがエンドミルEM・パフBF・ベルト研磨BKを交換して加工される。更に、上記加工ヘッドKH2は、タービンブレード1の中央に位置する羽根部1Aを変質温度以下で加工すべく、タービンブレード材1の加工温度をサーモグラフィで温度検出する温度検出部60とその温度制御部70とを備えている。

【0037】

更に、本発明のタービンブレードの加工装置M0, 200における第4の実施例は、図20～図22に示すように、上記羽根把持具10や両端把持具30, 40において、筒体13内に挿入し複数本の位置決めピンP1, P2, ...で固持された羽根部1Aの空間に鋼球・砂・ビーズ（大・中・小・軟・硬の混合物）等の球状材W4を充填させ、この球状材W4に油圧手段OP等で外圧を加圧させることで起きる球状材W4間の引き締め作用により、各球状材W4間が強く結合し合い自由に移動できなくなり加圧固持させられるものである。勿論、図21に示すように、筒体13内に挿入する複数本の位置決めピンP1, P2, ...を省略し、空間に鋼球・砂・ビーズ（大・中・小・軟・硬の混合物）等の球状材W4のみを充填させ、この球状材W4に油圧手段OP等で外圧を加圧させることで起きる球状材W4間の引き締め作用による実施でも良い。

【0038】

更に、本発明のタービンブレードの加工装置M0, 200における第5の実施例は、図23に示すように、上記羽根把持具10や両端把持具30, 40において、位置決めピン

を省略し、筒体 13' 内の空間に被把持材として砂材（大・中・小・球・角片の混合物）W5を充填するとともに、水道水等の液体W1を配管Pから筒体内に注入することで、各砂材W5間が強く結合し合い自由に移動できなくなり強固に凝固させる実施でも良い。

【0039】

本発明のタービンブレードの加工装置M0, 200は、上記のように各種の実施例からなり、何れの加工装置M0, 200を使用することも可能である。タービンブレードの形状や大きさ等に応じた加工装置M0, 200の最良の組み合わせにより、高精度加工と加工効率が高められる。

【0040】

本発明の実施形態となるタービンブレードの加工方法によれば、下記の効果が奏せられる。特に、タービンブレードのルート部やシュラウド部の他、特に、上記羽根部の加工は、同時五軸制御のもとにエンドミル・パフ・研磨により、荒加工・中仕上げ・精密仕上げが材質変化を起こす約630℃の変質温度以下で連続して加工され焼け現象が完全に防止できる。その上、加工が効率的に実施できる。更に、上記羽根部の加工は、同時五軸制御のもとにエンドミル・パフ・研磨の各加工が、手仕上げの動きをモーションキャプチャーティーチングによるフィードバックで材質変化を起こすことなく連続して品質の良い自動加工できる。

【0041】

また、実施形態となるタービンブレードの加工装置によれば、下記の効果が奏せられる。特に、タービンブレードのルート部やシュラウド部の他、特に、上記羽根部の加工は、同時多軸制御のもとにエンドミル・パフ・研磨により、荒加工・中仕上げ・精密仕上げが材質変化を起こす約630℃の変質温度以下で連続して加工され焼け現象を完全に防止させた加工を実施させることができる。その上、加工を効率的に実施できる。更に、上記羽根部の加工は、同時多軸制御のもとにエンドミル・パフ・研磨の各加工が、手仕上げの動きをモーションキャプチャーティーチングによるフィードバックで材質変化を起こすことなく連続して品質の良い自動加工を実施させることができる。

【0042】

更に、タービンブレードの加工装置によれば、下記の効果が奏せられる。加工済みのルート部及びシュラウド部に対しては、嵌り合う凹状の型枠で確実に固着できる。また、タービンブレードの羽根部は、位置決めピンと氷結又は石膏又はパラフィン等の固化材で確実に固着できる。そして、筒体内に挿入した羽根部とルート部又はシュラウド部とは、鋼球・砂等の球状材で加圧させることで確実に固持できる。更には、筒体内に挿入した被把持材として砂材を充填するとともに、水等の液体を注入して強固に凝固できる。しかも、何れの加工装置も、被把持材を筒体内から外す操作が簡潔・迅速にできる。

【0043】

尚、本発明のタービンブレードの加工方法及び加工装置M0, 200は、上記各実施の形態における構成に限定されず、その発明の要旨内での設計変更が自由にできる。例えば、タービンブレードの加工方法における各加工工程とか把持工程の変更、タービンブレードの加工装置における把持具や加工ヘッドの制御軸数や加工ヘッドの方式の変更、その他の装置における若干の変更、把持具における各方式の使用部材や被把持材・球状材・砂材等の変更も自由にできる。この変更によっても上記タービンブレードの加工方法及び加工装置と同様な作用が得られる。その他の詳細構成の設計変更も可能である。

【産業上の利用可能性】

【0044】

本発明は、その対象物を航空機のジェットエンジンや発電機用のタービンに使用されるタービンブレードやターボチャージャーのブレード等の実施例で説明したものであるが、様々な製品装置のブレードとしての適用が可能である。

【符号の説明】

【0045】

1 タービンブレード

1 A 羽根部
 1 B ルート部
 1 C シュラウド部
 1 0 羽根把持具
 1 1 筒体
 1 1 A 筒片
 1 1 B 副筒片
 1 3 , 1 3 ' 筒体
 2 0 両端加工部
 3 0 , 4 0 両端把持具
 3 0 a , 3 0 b 筒体
 4 0 a , 4 0 b 筒体
 5 0 羽根加工部
 6 0 温度検出部
 7 0 温度制御部
 (1) タービンプレード取付工程
 (2) 充填工程
 (3) 液体の凝固 (氷結) 工程
 (4) 加工工程
 (5) タービンプレードの取り外し工程
 (2 ') 蠟顆粒・硬化性樹脂顆粒の充填工程
 (3 ') 溶融工程
 (4 ') 液体の凝固工程
 (5 ') タービンプレード両端部の加工工程
 (6 ') 再溶融工程
 (7 ') タービンプレードの取り外し工程
 (A) 羽根把持工程
 (B) 両端加工工程
 (B 1) シュラウド加工工程
 (B 2) ルート加工工程
 (C) 両端把持工程
 (D) 羽根加工工程
A 冷凍機
B 冷凍容器
 B F パフ
 B K ベルト研磨
C 冷凍温度制御部
 C 1 , C 2 旋回チャック
 C M カメラ
 E M エンドミル
 E 加熱機
 F 加熱容器
 G 加熱温度制御部
 H 加熱エレメント
 J 継手
 K H 1 加工ヘッド
 K H 2 加工ヘッド
 K M O 研磨機
 M 熟練工
 M O タービンプレードの加工装置

O 1 凹部
 O 2 凹部
 O P 油圧手段
 P 配管
 P 1 , P 2 位置決めピン
 S C O 中央旋回チャック
 T K 砥石研磨
 V 1 , V 2 ボルト
 W 1 液体 (水・水道水・純水)
 W 2 石膏やパラフィン等の蠟顆粒・硬化性樹脂顆粒
 W 4 球状材
 W 5 砂材 (大・中・小・球・角片の混合物)
 W O 熔融液体
 1 0 0 多軸制御工作機械
 1 1 0 冷凍ユニット
 1 2 0 加温ユニット
 2 0 0 タービンブレードの加工装置
 3 0 0 C N C 制御装置
 3 3 0 モーションキャプチャー制御部
 4 0 0 凝固部 (凝固システム)
 5 0 0 凝固部 (凝固システム)

【手続補正 4】

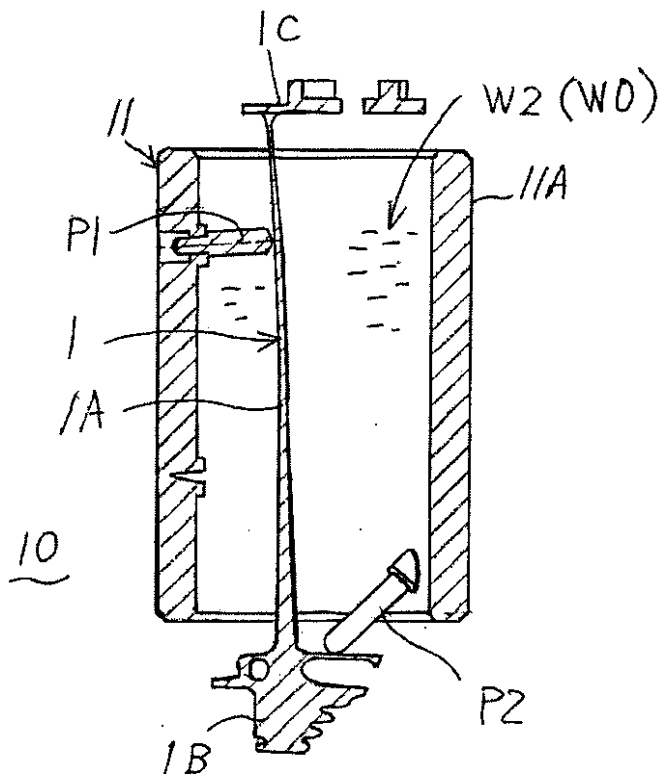
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図 1 1

【補正方法】変更

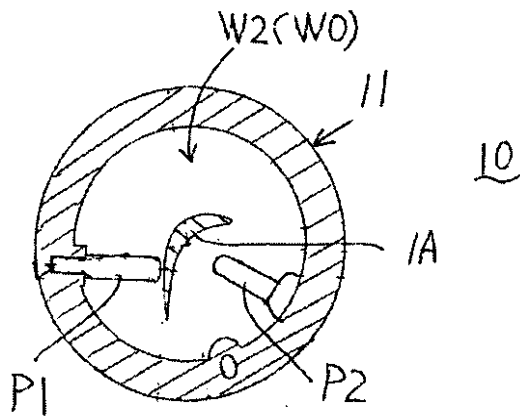
【補正の内容】

【図 1 1】

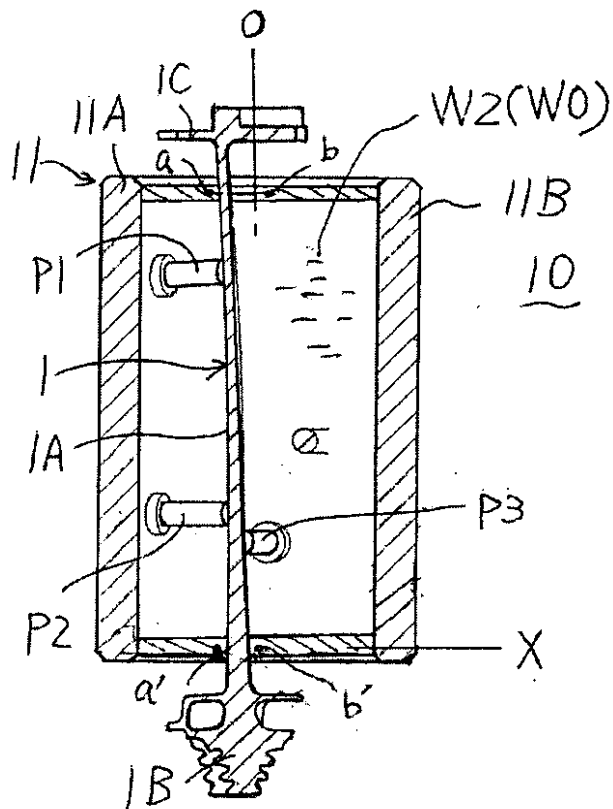


【手続補正 5】

【補正対象書類名】図面
 【補正対象項目名】図 1 2
 【補正方法】変更
 【補正の内容】
 【図 1 2】



【手続補正 6】
 【補正対象書類名】図面
 【補正対象項目名】図 1 3
 【補正方法】変更
 【補正の内容】
 【図 1 3】

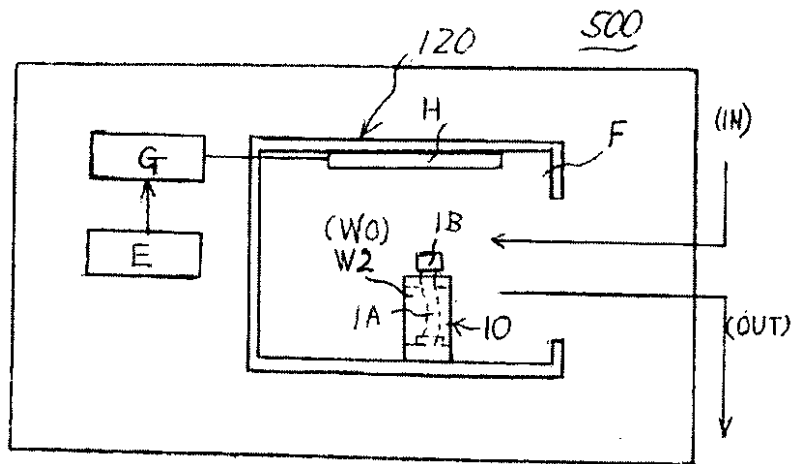


【手続補正 7】
 【補正対象書類名】図面
 【補正対象項目名】図 1 8

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図 1 8】



【手続補正 8】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図 2 2

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図 2 2】

