

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4512737号  
(P4512737)

(45) 発行日 平成22年7月28日(2010.7.28)

(24) 登録日 平成22年5月21日(2010.5.21)

(51) Int.Cl.	F 1
B24B 1/04 (2006.01)	B 24 B 1/04 B
B23B 1/00 (2006.01)	B 23 B 1/00 B
B23B 19/02 (2006.01)	B 23 B 19/02 B
B23Q 1/38 (2006.01)	B 23 Q 1/38 Z
B23Q 1/70 (2006.01)	B 23 Q 1/70

請求項の数 6 (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2005-129743 (P2005-129743)  
 (22) 出願日 平成17年4月27日 (2005.4.27)  
 (65) 公開番号 特開2006-305661 (P2006-305661A)  
 (43) 公開日 平成18年11月9日 (2006.11.9)  
 審査請求日 平成20年4月22日 (2008.4.22)

(73) 特許権者 304021288  
 国立大学法人長岡技術科学大学  
 新潟県長岡市上富岡町 1603-1  
 (74) 代理人 100091373  
 弁理士 吉井 剛  
 (74) 代理人 100097065  
 弁理士 吉井 雅栄  
 (72) 発明者 磯部 浩巳  
 新潟県長岡市上富岡町 1603番地1 国立大学法人長岡技術科学大学内  
 (72) 発明者 吉原 英雄  
 新潟県新潟市万代島5番1号 財団法人にいがた産業創造機構内

審査官 橋本 卓行

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】超音波振動加工装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

スピンドルを回転する回転手段と、このスピンドルを軸方向に超音波振動する振動手段とを設け、前記スピンドルに保持した工具に回転運動と超音波振動とを付与して材料除去加工を行う超音波振動加工装置において、前記スピンドルは、このスピンドルを受ける軸受体内に嵌挿配設し、この軸受体は、前記スピンドルとこの軸受体の内面との間隙部に流体を供給する流体供給手段を備えこの流体の静圧により前記スピンドルを非接触支持するように構成し、この流体を間隙部に充填し前記振動手段によりスピンドルを軸方向に超音波振動させた際、このスピンドルの径方向に撓み振動変位する撓み振動変位面と、これに對向する前記軸受体の内面とが接觸せず、且つ、前記スピンドルの撓み振動変位面と前記軸受体の内面との間に、前記超音波振動に伴う前記スピンドルの前記撓み振動変位面の撓み振動変位を利用して、前記スピンドルをラジアル方向に非接触支持するスクイーズ動圧が発生するように、前記軸受体の内面を前記スピンドルの前記撓み振動変位面となる周面と微小間隙を介した位置に設けたことを特徴とする超音波振動加工装置。

## 【請求項 2】

前記流体供給手段は、前記軸受体の内面に設けられる多孔状の表面部からこの軸受体内に流体を供給可能な静圧パットを有する構成としたことを特徴とする請求項1記載の超音波振動加工装置。

## 【請求項 3】

前記静圧パットは、前記流体の静圧により可及的に多方向から前記スピンドルを非接觸

支持し得るように、前記軸受体の内面にして前記スピンドルと対向する複数箇所に設けたことを特徴とする請求項2記載の超音波振動加工装置。

#### 【請求項4】

前記スピンドルは、軸方向と交差する方向に突出する突出部を有する形状に形成し、この突出部を前記流体の静圧によりラスト方向に非接触支持する形状に前記軸受体の内面を形成したことを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の超音波振動加工装置。

#### 【請求項5】

前記振動手段は、高周波電圧を印加されることにより発振するアクチュエータを有する構成としたことを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の超音波振動加工装置。

#### 【請求項6】

ワークWを保持するワーク保持部を有し、このワーク保持部に保持したワークと前記スピンドルに保持した工具とを相対移動せしめる送り案内手段と、この送り案内手段による送り案内移動を可変制御する制御手段と、前記工具に付与する加工抵抗を測定する測定手段とから成り、この測定手段から前記制御手段に送られる測定結果に基づき前記送り案内手段の送り案内移動速度を可変制御することで前記工具に付与する加工抵抗が所定量となるように調整制御する定圧送り加工機を備えたことを特徴とする請求項1～5のいずれか1項に記載の超音波振動加工装置。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

10

本発明は、スピンドルを回転する回転手段と、このスピンドルを軸方向に超音波振動する振動手段とを設け、前記スピンドルに保持した工具に回転運動と超音波振動とを付与して材料除去加工を行う超音波振動加工装置及び超音波振動加工装置に用いる電着工具の製作方法に関するものである。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

20

近年、産業界の多くの分野で小型化、高機能化が進んでいく中で、部品の精度（表面粗さ、幾何偏差偏差）に対する要求がミクロンの世界からナノの世界へ移行している。

#### 【0003】

ところで、今後成長が期待されている燃料電池、ロボット、マイクロマシン、IT及び半導体産業などで使用される材料は、セラミックス、グラナイト、超硬金属、チタン、マグネシウム、シリコン、ガラス及びこれらのハイブリッド材料を含め多岐に渡るが、これら材料の中には、極端に硬く切削加工若しくは研削加工などの材料除去加工が困難な難削材も多々あり、よって、このような難削材の微細加工技術の開発が望まれる。

#### 【0004】

30

この難削材に微細加工を施す技術として、従来からエッティング処理や放電加工、レーザー加工が発達してきたものの、加工精度および加工速度を追求する方法として機械加工が最適であると考える。これは様々な工作機械メーカー、周辺機器メーカーの技術力が向上し、ナノ加工を実現する精密な機械加工装置が実用段階に入ってきた為である。

#### 【0005】

40

このような精密な機械加工装置のターゲットはIT産業向け小型精密金型、燃料電池のセパレータ、導光管、導波路、マイクロリアクタ及びマイクロマシンの部品等であり、これらの中には、例えば燃料電池など、環境問題が最重要課題である21世紀の生活には欠かせないものも含まれており、その実用価値は非常に高い。

#### 【0006】

しかしながら、この従来の精密な機械加工装置による機械加工は、例えば、セラミック、グラナイト、ガラス及びシリコンのような脆性材料や超硬のような極端に硬い材料などの難削材ではなく、一般的な硬さの材料を加工するのであれば、加工精度面でも満足できるレベルに達しつつあるが、しかし、脆性材料や超硬のような極端に硬い材料（難削材）の加工には不向きで、加工精度面でも満足できるものではない。つまり、切削抵抗に工具

50

が負けて削れないか、また、削れても工具や工作機械のたわみにより、加工精度が落ちるという欠点があるからである。

#### 【0007】

しかし、工作機の剛性向上や工具材質・形状や切削液の改良などを行っても、飛躍的な向上は望めない。即ち、慣用加工のままでは、母性原理に基づく高精度化は期待できない領域に達している。

#### 【0008】

そこで、単に工具を回転させて材料を削る慣用加工ではなく、工具を回転させると共に超音波振動させて加工を行う、所謂、超音波振動加工装置が従来から提案されている。

#### 【0009】

これは、例えば、切削・研削工具を保持し、このスピンドルを回転させると共に超音波振動させることによって前記工具に回転運動と超音波振動とを付与して材料を加工する構成であり、工具の切れ刃を超音波領域（20 kHz以上）で微小振動（振幅数μm以下）させて加工を進展させることにより（1）振動による工具、ワーク（加工材料）及び切り屑間の摩擦低減、（2）振動による加工エリアへの研削液供給作用、（3）プラハ効果によるワークの軟化作用、（4）実切削・研削時間の短縮による熱伝達率の低下、などの作用効果があり、これら（1）～（4）の単独、若しくは相乗効果によって加工を進展でき、例えば、小径加工やホール加工など、原理的に切削速度が不足する加工に適応することで、加工性の向上を図り得、また、高い周波数で切れ刃が振動するので非常に早い加速度が得られ、切れ刃がワークに衝突するような衝撃力による加工が行われ、即ち、微小な粉碎加工を高速で繰り返されるが如く加工が進展する為、上記の難削材も不得意とせず、良好に加工できるものである。

10

20

#### 【0010】

しかし、このような超音波振動加工装置は、工具を保持するスピンドルの超音波振動を妨げないようにこのスピンドルを安定性良く軸支するのが非常に困難である為（例えば、スピンドルの超音波振動による撓み振動の節となる部分をスピンドルを囲繞するハウジング部に固定支持してこのハウジングごとスピンドルを回転させる構成など）、スピンドルを安定性良く支持することができず非常に軸安定性に乏しい構成となってしまい、これが加工精度を損ねる原因となってしまうという欠点を有し、それ故、従来の超音波振動加工装置は、加工が極めて困難な難削材を加工することはできるものの、ナノ加工に要求されるような超高精度な加工を達成し得るものは従来までには開発されていないのが現状である。

30

#### 【0011】

よって、脆性材料や超硬のような極端に硬い材料（難削材）をも良好に材料除去加工（切削加工や研削加工）を行うことができ、且つ、超高精度な加工精度を達成し得る技術が望まれる。

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0012】

本発明は、従来から提案されている機械加工装置について更なる研究開発を進め、難削材をも良好に材料除去加工（切削加工や研削加工）でき、且つ、超高精度な加工を可能とする従来に無い画期的な超音波振動加工装置を提供するものである。

40

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0013】

添付図面を参照して本発明の要旨を説明する。

#### 【0014】

スピンドル1を回転する回転手段2と、このスピンドル1を軸方向に超音波振動する振動手段3とを設け、前記スピンドル1に保持した工具aに回転運動と超音波振動とを付与して材料除去加工を行う超音波振動加工装置において、前記スピンドル1は、このスピンドル1を受ける軸受体4内に嵌挿配設し、この軸受体4は、前記スピンドル1との軸受

50

体4の内面4aとの間隙部sに流体5を供給する流体供給手段6を備えこの流体5の静圧により前記スピンドル1を非接触支持するように構成し、この流体5を間隙部sに充填し前記振動手段3によりスピンドル1を軸方向に超音波振動させた際、このスピンドル1の径方向に撓み振動変位する撓み振動変位面と、これに対向する前記軸受体4の内面4aとが接触せず、且つ、前記スピンドル1の撓み振動変位面と前記軸受体4の内面4aとの間に、前記超音波振動に伴う前記スピンドル1の前記撓み振動変位面の撓み振動変位を利用して、前記スピンドル1をラジアル方向に非接触支持するスクイーズ動圧が発生するよう前に、前記軸受体4の内面4aを前記スピンドル1の前記撓み振動変位面となる周面と微小間隙を介した位置に設けたことを特徴とする超音波振動加工装置に係るものである。

## 【0015】

10

また、前記流体供給手段6は、前記軸受体4の内面4aに設けられる多孔状の表面部7aからこの軸受体4内に流体5を供給可能な静圧パット7を有する構成としたことを特徴とする請求項1記載の超音波振動加工装置に係るものである。

## 【0016】

また、前記静圧パット7は、前記流体5の静圧により可及的に多方向から前記スピンドル1を非接触支持し得るように、前記軸受体4の内面4aにして前記スピンドル1と対向する複数箇所に設けたことを特徴とする請求項2記載の超音波振動加工装置に係るものである。

## 【0017】

20

また、前記スピンドル1は、軸方向と交差する方向に突出する突出部1tを有する形状に形成し、この突出部1tを前記流体5の静圧によりスラスト方向に非接触支持する形状に前記軸受体4の内面4aを形成したことを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の超音波振動加工装置に係るものである。

## 【0018】

また、前記振動手段3は、高周波電圧を印加されることにより発振するアクチュエータ3aを有する構成としたことを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の超音波振動加工装置に係るものである。

## 【0019】

30

また、ワークWを保持するワーク保持部8aを有し、このワーク保持部8aに保持したワークWと前記スピンドル1に保持した工具aとを相対移動せしめる送り案内手段8と、この送り案内手段8による送り案内移動を可変制御する制御手段9と、前記工具aに付与する加工抵抗を測定する測定手段10とから成り、この測定手段10から前記制御手段9に送られる測定結果に基づき前記送り案内手段8の送り案内移動速度を可変制御することで前記工具aに付与する加工抵抗が所定量となるように調整制御する定圧送り加工機Pを備えたことを特徴とする請求項1～5のいずれか1項に記載の超音波振動加工装置に係るものである。

## 【発明の効果】

## 【0020】

40

本発明は、工具を保持しているスピンドルを軸受体内に嵌挿配設すると共に、このスピンドルと、前記軸受体の内面との間隙部に供給した流体の静圧とスクイーズ動圧とにより振動運動を妨げることなく軸支できるように構成したので、前記工具の超音波振動を減衰させることなくこの工具を良好に超音波振動させながら加工を進展させることができ、繰り返し衝撃力による超微細な加工現象により切削力（加工抵抗）を非常に小さくでき、また、発熱、残留応力や加工変質層を減少させ、切削温度低下、加工変質層の最小化、工具長寿命化を図り得、所謂、母性原理に基く加工により極端に硬く加工が困難な難削材なども良好に切削・研削加工できる。

## 【0021】

また、本発明は、この工具を保持しているスピンドルを、前記軸受体内で、流体の静圧とスクイーズ動圧とにより強固に安定性良く軸支できるように構成したから、工具が回転時に軸ブレしたりせず非常に安定して回転することができるが故に加工精度面においても

50

秀れ、よって高精度な加工を実現し得る。

**【0022】**

よって、本発明は、従来においては実現し得なかった、例えば、セラミックを用いた硬質ガラス用金型の加工や機械加工による射出成形用金型の鏡面仕上げ加工、導波路、マイクロリアクタ、射出ノズルなどの加工が困難な硬脆材（難削材）への高精度な加工を達成し得る、極めて画期的で実用性に秀れた超音波振動加工装置となる。

**【0023】**

また、請求項6記載の発明においては、定圧送り加工機を備えることで、加工時に前記工具に付与する加工抵抗が一定となるように送り速度を調整する、所謂、「定圧加工」方式によって加工を進展させることができ、よって、一層加工形状の高精度化を図り得、一層高精度な加工を達成し得る秀れた超音波振動加工装置となる。10

**【発明を実施するための最良の形態】**

**【0024】**

好適と考える本発明の実施形態（発明をどのように実施するか）を、図面に基づいて本発明の作用を示して簡単に説明する。

**【0025】**

スピンドル1を回転する回転手段2と、このスピンドル1を軸方向に超音波振動する振動手段3により、このスピンドル1を回転及び超音波振動させると、このスピンドル1に保持した工具aに回転運動と超音波振動とが付与される。

**【0026】**

ここで、前記スピンドル1は、このスピンドル1を受ける軸受体4内に嵌挿配設されている。また、この軸受体4は、流体供給手段6により前記スピンドル1とこの軸受体4の内面4aとの間隙部sに流体供給手段6により流体5を供給しこの流体5の静圧により前記スピンドル1を非接触支持する。20

**【0027】**

よって、前記スピンドル1は、前記軸受体4に接触することなく、即ち、スピンドル1の超音波振動を妨げられることなく、前記流体5の静圧により前記軸受体4内に非接触状態に軸支されることとなる。

**【0028】**

また、このスピンドル1が超音波振動した際には、このスピンドル1の撓み振動によりこのスピンドル1の周面が径方向に周期的に変位する。30

**【0029】**

この際、スピンドル1の径方向に変位する面（以下、変位面）と、これと対向する前記軸受体4の内面4aとは、対向方向（接離方向）に高い周波数で相対振動しており、且つ、この対向する二面間の距離は非常に近接している（軸受体4の内面4aがスピンドル1の近接位置に設けられている為。）ので、このスピンドル1の変位面と、軸受体4の内面4aとの間隙部sに前記流体5が充填されていた場合には、この対向する二面間に負荷容量が生じ、よって、スクイーズ動圧が前記スピンドル1に作用することとなる。

**【0030】**

即ち、前記スピンドル1は、超音波振動時には、前記静圧によって軸受体4に非接触状態に軸支されるだけでなく、スクイーズ動圧によっても非接触状態に軸支されることとなる。

**【0031】**

よって、前記軸受体4内で超音波振動するスピンドル1は、超音波振動を妨げられることなく、且つ、前記流体5の静圧とスクイーズ動圧との複合により強固に安定性良く軸支されることとなり、スピンドル1の剛性（特に、スクイーズ動圧によるラジアル剛性）と減衰特性向上を図り得、このスピンドル1に保持して回転運動と超音波振動を付与された前記工具aは、軸ブレせず安定した回転運動と、軸方向の良好な超音波振動を行えることとなる。

**【0032】**

50

20

30

40

50

従って、本発明は、工具 a を保持しているスピンドル 1 を軸受体 4 内に嵌挿配設すると共に、このスピンドル 1 と、前記軸受体 4 の内面 4 a との間隙部 s に供給した流体 5 の静圧とスクイーズ動圧とにより振動運動を妨げることなく軸支できるから、前記工具 a の超音波振動を減衰してしまうことなくこの工具 a を良好に超音波振動させながら加工を進展させることができ、繰り返し衝撃力による超微細な加工現象により切削力（加工抵抗）を非常に小さくでき、また、発熱、残留応力や加工変質層を減少させ、切削温度低下、加工変質層の最小化、工具長寿命化を図り得、所謂、母性原理に基く加工により極端に硬く加工が困難な難削材なども良好に切削・研削加工できることとなり、しかも、この工具 a を保持しているスピンドル 1 は、前記軸受体 4 内で、流体 5 の静圧とスクイーズ動圧とにより強固に安定性良く軸支できるから、工具 a が回転時に軸プレしたりせず非常に安定して回転することができるが故に加工精度面においても秀れ、よって、高精度加工を実現し得ることとなり、よって、本発明は、例えば、セラミックを用いた硬質ガラス用金型の加工や機械加工による射出成形用金型の鏡面仕上げ加工、導波路、マイクロリアクタ、射出ノズルなどの加工が困難な硬脆材（難削材）への、高精度な加工を達成し得ることとなる。10

#### 【0033】

また、例えば、前記流体供給手段 6 は、前記軸受体 4 の内面 4 a と面一にして多孔状の表面部 7 a から前記軸受体 4 内に流体 5 を供給する静圧パット 7 を有する構成とした場合には、この静圧パット 7 の表面部 7 a から、前記間隙部 s に直接流体 5 を供給できるから、例えば、素早く確実にこの間隙部 s に流体 5 を供給したり充填したりできる構成とすることができる。20

#### 【0034】

また、例えば、この静圧パット 7 を前記軸受体 4 の内面 4 a にして前記スピンドル 1 と対向する複数箇所に設けるだけで、簡単に、前記流体 5 の静圧により可及的に多方向から前記スピンドル 1 を非接触支持し得る構成とするとができる。

#### 【0035】

また、例えば、ワーク W を保持するワーク保持部 8 a を有し、このワーク保持部 8 a に保持したワーク W と前記スピンドル 1 に保持した工具 a とを相対移動せしめる送り案内手段 8 と、この送り案内手段 8 による送り案内移動を可変制御する制御手段 9 と、前記工具 a に付与する加工抵抗を測定する測定手段 10 とから成り、この測定手段 10 から前記制御手段 9 に送られる測定結果に基づき前記送り案内手段 8 の送り案内移動速度を可変制御することで前記工具 a に付与する加工抵抗が所定量となるように調整制御する定圧送り加工機 P を備えた構成とした場合には、例えば、工具摩擦や目詰まりによる加工抵抗の増大や、金型などの三自由度曲面における切り込み深さの逐次変化による加工抵抗の変化など、材料除去加工時には工具 a に付与する加工抵抗が増減変化することとなるが、この工具 a に付与する加工抵抗を前記測定手段 10 によって測定し、この加工抵抗が大きくなった場合には前記制御手段 9 により前記送り案内手段 8 の送り案内移動速度を下げるなどして、前記工具 a に付与する抵抗が一定となる「定圧加工」方式によって加工を進展させることができ、よって、加工ムラなどが生ずることなく、より加工形状の高精度化が図られ、一層高精度な加工を達成し得ることとなる。30

#### 【実施例】

#### 【0036】

本発明の具体的な実施例について図面に基づいて説明する。

#### 【0037】

本実施例は、スピンドル 1 を回転する回転手段 2 と、このスピンドル 1 を軸方向に超音波振動する振動手段 3 とを設け、前記スピンドル 1 に保持した工具 a に回転運動と超音波振動とを付与して切削加工若しくは研削加工などの材料除去加工を行う超音波振動加工装置である。

#### 【0038】

具体的には、図 1 に図示したように、油静圧・スクイーズ動圧とを複合したハイブリッド軸受（軸受体 4）を備えた切削・研削機 M と、この切削・研削機 M に用いる工具 a を製40

50

作する工具の機上製作システムBと、ワークWを保持し送り案内する定圧送り加工機Pとを統合し、超高精度加工を実現する超音波振動加工装置である。

#### 【0039】

前記切削・研削機Mは、前記スピンドル1を、このスピンドル1を受ける軸受体4内に嵌挿配設し、この軸受体4は、前記スピンドル1とこの軸受体4の内面4aとの間隙部sに流体5を供給する流体供給手段6を備えこの流体5の静圧により前記スピンドル1を非接触支持するように構成し、この流体5を間隙部sに充填し前記振動手段3によりスピンドル1を超音波振動した際には、このスピンドル1の径方向に変位する変位面と、これに對向する軸受体4の内面4aとの間にスクイーズ動圧が発生するように前記軸受体4の内面4aを前記スピンドル1の近接位置に設けて構成したものである。 10

#### 【0040】

具体的には、図2に図示したように、ハウジング状の軸受体4内に、前記スピンドル1の工具ホルダ1aが軸受体4から下方に突出するように嵌挿配設している。

#### 【0041】

このハウジング状の軸受体4の流体供給手段6は、図2に図示したように、前記軸受体4の内面4aと面一にして多孔状の表面部7aから前記軸受体4内に流体5を供給する静圧パット7を有し、この多孔状の表面部7aから染み出すように前記間隙部sに流体5を供給する構成である。また、この静圧パット7は、前記軸受体4の内面4aにして前記スピンドル1と對向する複数箇所に設けている。 20

#### 【0042】

従って、この静圧パット7の表面部7aから、前記間隙部sに流体5を直接、素早く確実に供給したり充填したりでき、また、この複数箇所に設けられた静圧パット7から間隙部sに供給される流体5の静圧により、可及的に多方向から前記スピンドル1を非接触支持できる。更に、この表面部7aは多孔状に形成して前記軸受体4の内面4aとは面一に構成しているから、スクイーズ動圧を発生させる際にこの静圧パット7が妨げとなることが無い。 20

#### 【0043】

また、スピンドル1は、図2に図示したように、下端に前記工具ホルダ1a、上端側に振動手段3を設け、中央の下端寄り位置の一部を径大に形成して軸方向と直交方向に突出する突出部1tを有する形状に形成しており、また、このスピンドル1の形状に応じて前記軸受体4の内面形状4aも一部凹状に形成している。更に、このスピンドル1の突出部1tの上面及び下面と夫々對向する軸受体4の内面4aにも静圧パット7を設けている。 30

#### 【0044】

従って、前記スピンドル1は、この突出部1tの上面及び下面で確実に前記流体5の静圧を受け、この軸受体4によりスラスト方向に非接触支持される。

#### 【0045】

また、このスピンドル1の上端に設けた振動手段3は、図2に図示したように、スピンドル1の上端部に連設され高周波電圧を印加されることにより発振するアクチュエータ3aを有する構成である。 40

#### 【0046】

従って、このアクチュエータ3に超音波電圧を印加することにより、アクチュエータ3が前記スピンドル1の軸方向に発振し、このスピンドル1が振動ホーンとして作用し、このアクチュエータ3の発振が工具ホルダ1aに保持した工具aに付与される。

#### 【0047】

また、図2中、符号2a及び符号2bは、回転手段2の回転モータ2a及びブーリ2bであり、前記回転モータ2aの回転駆動を前記ブーリ2bによりスピンドル1に伝達しこのスピンドル1を回転せしめる。

#### 【0048】

尚、スピンドル1は、前記振動手段3により軸方向に超音波振動すると、図3に図示したように、自身の撓み振動により径方向に振動することとなる。この際、このスピンドル 50

1の撓み振動振幅最大時にこのスピンドル1の変位面が前記軸受体4の内面4aに当接せず、且つ、スピンドル1に近接する位置（前記スピンドル1の変位面と前記軸受体4の内面4aとの間に、前記スピンドル1をラジアル方向に非接触支持するスクイーズ動圧が発生するように、前記軸受体4の内面4aが前記スピンドル1の周面と微小間隙を介した位置）となるように軸受体4の内面4aを設定している。また、前記流体5は、本実施例では油を採用している。

#### 【0049】

従って、前記スピンドル1が超音波振動した際には、このスピンドル1の変位面と、これと対向する前記軸受体4との間に、良好に負荷容量が生じ、スクイーズ動圧による前記スピンドル1のラジアル方向の非接触支持が為される。

10

#### 【0050】

以上のように、研削・切削部Mでは、前記スピンドル1が流体5（油）の静圧とスクイーズ動圧との複合によるハイブリット軸受構造の前記軸受体4により、スラスト方向にもラジアル方向にも良好に軸支され、前記回転手段2の回転駆動を工具aに伝える為の回転子にして前記振動手段3の振動を工具aに伝える振動ホーンであるスピンドル1が、このハイブリット軸受としての軸受体4により秀れた剛性と、秀れた減衰特性を有することとなり、よって、このスピンドル1の工具ホルダ1aに保持した工具aは振れ回りの少ない秀れた回転運動と、軸方向の良好な超音波振動を行うこととなる。

#### 【0051】

よって、超音波振動加工の特性である、加工が困難な難削材に対する良好な切削・研削機能を有していながら、超音波振動加工の欠点である軸ブレを阻止でき高精度な加工が実現される。

20

#### 【0052】

定圧送り加工機Pは、具体的には、図1に図示したように、ワークWを保持するワーク保持部8aを有し、このワーク保持部8aに保持したワークWと前記スピンドル1に保持した工具aとを相対移動せしめる送り案内手段8と、この送り案内手段8による送り案内移動を可変制御する制御手段9と、前記工具aに付与する切削抵抗や研削抵抗などの加工抵抗を測定する測定手段10とから成り、この測定手段10から前記制御手段9に送られる測定結果に基づき前記送り案内手段8の送り案内移動速度を可変制御することで前記工具aに付与する加工抵抗が所定量となるように調整制御する構成である。

30

#### 【0053】

従って、材料除去加工時には、例えば切削力が変化すると、それが即ち、実切削量の変化となり、その結果加工精度が低下してしまうが、この点、本実施例においては、この定圧送り加工機Pにより、測定手段10により逐次測定する切削力が大きくなった場合には前記制御手段9により前記送り案内手段8の送り案内移動速度を下げることで（力のフィードバックループにより）、前記工具aに付与する切削力が常に一定となるように調整制御して加工を進展する「定圧加工」方式が可能となる。

#### 【0054】

よって、この定圧送り加工機Pを、上述の切削・研削機Mに組み合わることによって、更に加工精度が向上され、一層の高精度加工を実現する秀れた超音波振動加工装置となる。

40

#### 【0055】

また、この切削・研削機Mに用いる工具aを製作する工具の機上製作システムBは、具体的には、先ず、図4(a)に図示したように、前記スピンドル1に工具母材11を保持し、この保持状態の工具母材11を母材加工手段T(研削機、切削機など)により所定の工具形状に加工形成する。

#### 【0056】

次いで、図4(b)に図示したように、この所定形状に加工形成された工具母材11を、前記スピンドル1に保持した状態のまま、電着はがれを防ぐためにメッキ処理時に下地処理に用いられる一般的なクロム酸、塩酸などの下地処理液13に浸漬して下地処理を行う。

50

**【 0 0 5 7 】**

次いで、図4(c)に図示したように、電着手段Dにより、下地処理された工具母材11を硫酸ニッケルメッキ液にて電着を行ってダイヤモンド砥粒12を工具母材11に固定して電着工具aを完成するものである。尚、電着手段Dの電着手順は本実施例に限られるものではなく、本実施例と同様に、砥粒12を良好に電着し得る手順であれば良い。また、砥粒12は、ダイヤモンド砥粒12に限らず、例えば、立方晶窒化ホウ素砥粒(CBN砥粒)など、用途に応じて適宜選択すれば良い。

**【 0 0 5 8 】**

また、具体的には、電着手段Dは、前記母材加工手段Tにより所定の工具形状に加工形成した前記工具母材11に前記振動手段3により超音波振動を付与して振動形態を実測し、この実測結果に基づいて、前記砥粒12を電着する位置を決定する。10

**【 0 0 5 9 】**

尚、上記振動形態の実測結果とは、例えば、この工具母材11の各部位の軸方向振幅及び径方向振幅の実測結果などであり、これらの実測結果を基に、使用用途に応じて、所望の位置に前記砥粒12(ダイヤモンド砥粒12)の電着位置を決定することで、最適な電着工具aを簡単に得ることが可能となる。

**【 0 0 6 0 】**

また、このダイヤモンド砥粒12を電着した電着工具aを前記スピンドル1に保持し超音波振動加工装置に用いる工具aとして採用することで、従来では困難とされていた、ダイヤモンド工具による鉄鋼材料の切削加工(材料除去加工)なども可能となり、この点においても非常に実用性に秀れる。20

**【 0 0 6 1 】**

以上から、従来においては、スピンドル1に工具aを保持して超音波振動を付与した際の工具aの振動形態は非常に複雑でありこれに適した工具aを既存の工具aの中から選択使用することは難しかったものの、この本実施例の工具の機上作成システムBによれば、スピンドル1に工具母材11を保持し、振動形態を実測した後、この実測結果に基き決定した所望の位置に砥粒12(ダイヤモンド砥粒12)を電着することで最適な電着工具aを簡単に製作することができ、従って、真に超音波振動加工装置に適した電着工具aを簡単に得られることとなる。

**【 0 0 6 2 】**

即ち、スピンドル1を回転する回転手段2と、このスピンドル1を軸方向に超音波振動する振動手段3とを設け、前記スピンドル1に保持した工具aに回転運動と超音波振動とを付与して材料除去加工を行う超音波振動加工装置に用いる電着工具aの製作方法において、前記スピンドル1に工具母材11を保持し、この保持状態の工具母材11を母材加工手段Tにより所定の工具形状に加工形成するので、更に、この工具母材11をスピンドル1に保持した状態のまま電着手段Dにより砥粒12を電着して工具a(電着工具a)を製作することで、この電着工具aを前記スピンドル1に保持して回転させた際に、この電着工具aが周期的に軸ブレしながら回転する、所謂、振れ回りが非常に少ない電着工具aを簡単に製作することができる。

**【 0 0 6 3 】**

また、この電着工具aは、電着手段Dにより所定の位置に砥粒12を電着することによって製作するので、この砥粒12の電着位置は前記電着工具aの使用用途に応じて適宜決定することができ、所望の加工性能を有する電着工具aを簡単に選択製作することができるなど、実用性に秀れることとなる。40

**【 0 0 6 4 】**

また、このように、スピンドル1に工具母材11を保持したままの状態で上記の通り電着工具aを製作する為、例えば、前記母材加工手段Tにより所定の工具形状に加工形成した前記工具母材11に前記振動手段3により超音波振動を付与して振動形態を実測し、この実測結果(例えば、工具母材11の各部位の軸方向振幅や径方向振幅など)に基づいて、前記砥粒12を電着する位置を任意に決定することも可能である。つまり、スピンドル1に工具

aを保持して超音波振動を付与した際の工具aの振動形態は非常に複雑でありこれに適した工具aを既存の工具aの中から選択使用することは難しいものの、本実施例においては、スピンドル1に工具母材11を保持し、振動形態を実測した後、この実測結果に基き決定した所望の位置に砥粒12を電着することで最適な電着工具aを簡単に製作することができ、従って、真に超音波振動加工装置に適した電着工具aを簡単に得られることとなる。

#### 【0065】

本実施例は、この工具の機上作成システムBにより製作した電着工具aを上記の切削・研削部Mのスピンドル1に保持する工具aとして採用し、更に、加工時に「定圧加工」方式を行う定圧送り加工機Pを備えた構成とすることで、従来においては実現し得なかった、例えば、セラミックを用いた硬質ガラス用金型の加工や機械加工による射出成形用金型の鏡面仕上げ加工、光導波路、マイクロリアクタ、射出ノズルなどの加工が困難な硬脆材(難削材)への高精度な加工を達成し得る、極めて画期的で実用性に秀れた超音波振動加工装置が実現することとなる。 10

#### 【0066】

尚、本発明は、本実施例に限られるものではなく、各構成要件の具体的構成は適宜設計し得るものである。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0067】

【図1】本実施例に係る超音波振動加工装置の概略説明図である。

【図2】本実施例に係るスピンドル1及び軸受体4の説明断面図である。 20

【図3】本実施例に係るスピンドル1の超音波振動時を示す図である。

【図4】本実施例に係る超音波振動加工装置に用いる電着工具aの製作方法を示す概略説明図である。

#### 【符号の説明】

#### 【0068】

1 スピンドル

1 t 突出部

2 回転手段

3 振動手段

3 a アクチュエータ

4 軸受体

4 a 軸受体の内面

5 流体

6 流体供給手段

7 静圧パット

7 a 表面部

8 送り案内手段

8 a ワーク保持部

9 制御手段

10 測定手段

P 定圧送り加工機

W ワーク

a 工具、電着工具

s 間隙部

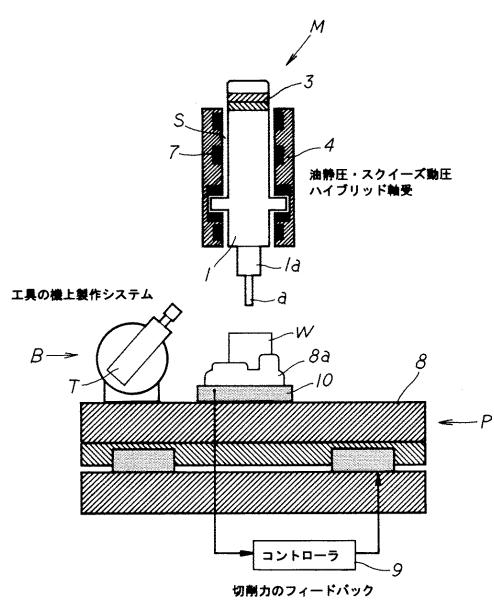
10

20

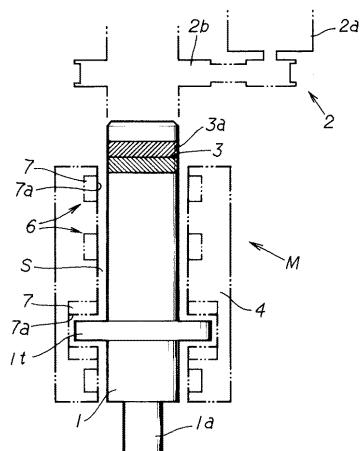
30

40

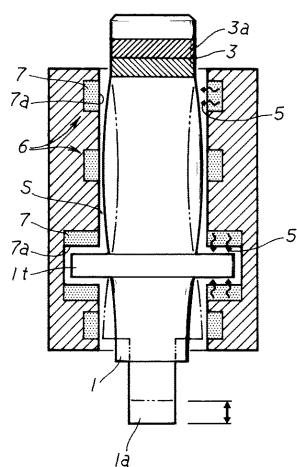
【図1】



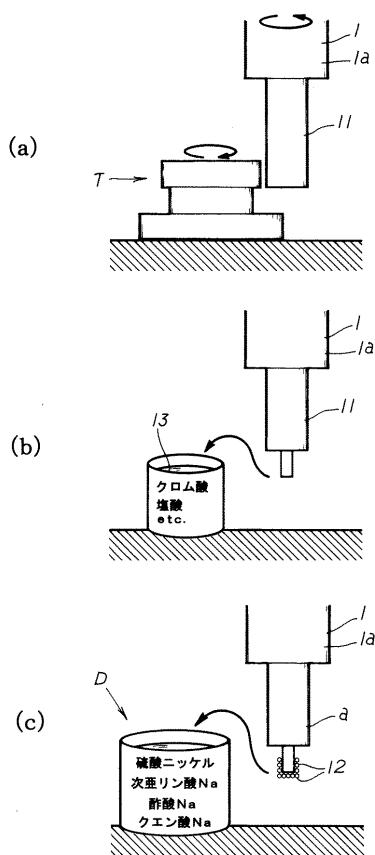
【図2】



【図3】



【図4】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I
B 2 4 D 3/00 (2006.01)	B 2 4 D 3/00 3 2 0 B
B 2 4 D 3/06 (2006.01)	B 2 4 D 3/00 3 4 0
	B 2 4 D 3/06 B

(56)参考文献 特開2002-036106 (JP, A)  
特開平10-249684 (JP, A)  
特開2003-214428 (JP, A)  
特開2003-263856 (JP, A)  
特開平10-043987 (JP, A)  
特開平11-138395 (JP, A)  
特開2004-106125 (JP, A)  
特開平04-122607 (JP, A)  
特開平05-057606 (JP, A)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 2 4 B	1 / 0 4
B 2 3 B	1 / 0 0
B 2 3 B	1 9 / 0 2
B 2 3 Q	1 / 3 8
B 2 3 Q	1 / 7 0
B 2 4 D	3 / 0 0
B 2 4 D	3 / 0 6