

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2007-525333

(P2007-525333A)

(43) 公表日 平成19年9月6日(2007.9.6)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)  
**B 2 3 B 19/02 (2006.01)** B 2 3 B 19/02 B 3 C 0 4 5

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2007-501026 (P2007-501026)	(71) 出願人	599058372 フェデラルーモーグル コーポレイション アメリカ合衆国, ミシガン 48034, サウスフィールド, ノースウエスタン ハ イウェイ 26555
(86) (22) 出願日	平成17年2月25日 (2005.2.25)	(74) 代理人	100064746 弁理士 深見 久郎
(85) 翻訳文提出日	平成18年10月17日 (2006.10.17)	(74) 代理人	100085132 弁理士 森田 俊雄
(86) 国際出願番号	PCT/US2005/006193	(74) 代理人	100083703 弁理士 仲村 義平
(87) 国際公開番号	W02005/082067	(74) 代理人	100096781 弁理士 堀井 豊
(87) 国際公開日	平成17年9月9日 (2005.9.9)	(74) 代理人	100098316 弁理士 野田 久登
(31) 優先権主張番号	60/547,891		
(32) 優先日	平成16年2月26日 (2004.2.26)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	11/065,618		
(32) 優先日	平成17年2月24日 (2005.2.24)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 不規則な表面を成形するための磁気浮上型高速スピンドル

## (57) 【要約】

加工物(24)内またはピン状の非円形の表面内にある非円形の孔(22)を形成するために、磁気浮上型の高速スピンドルアセンブリ(20)が設けられる。非円形の孔(22)は、寸法的に変動する軸方向の軌道によって、高速かつ高精度で形成され得る。第1の磁気軸受クラスタ(58)および第2の磁気軸受クラスタ(60)の間にある回転式スピンドル(26)を支持し、これらの軸受クラスタ(58、60)を別々に制御して、成形工具(32)を所定の楕円形の軌道(B)にあるスピンドル(26)の端部に移動させることによって、このことは達成される。複数の入力および複数の出力を制御するストラテジーはX軸およびY軸におけるスピンドル(26)の運動を制御するのに使用される。磁気軸受クラスタ(58、60)のこの複数の入力および複数の出力を制御しても、成形工具(32)の切れ刃(34)および楕円形の軌道(B)の間の傾斜角は直角のままであり、高速で作動する間に成形精度およびスピンドル(26)の安定性をさらに改良する。

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

寸法的に変動する軸方向の軌道のある非円形の孔を加工物に形成するための磁気浮上式の高速度スピンドルアセンブリであって、前記アセンブリは、

長手方向に延びる軸心を画定し、かつその成形端部で固定される成形工具を有するスピンドルと、

前記軸心を中心として磁気浮上式に回転するために、前記成形工具に近接して前記スピンドルを支持する第 1 の磁気軸受クラスタと、

前記軸心を中心として磁気浮上式に回転するために、前記第 1 の磁気軸受クラスタから間隔を置いて配置され、前記成形工具から離れた位置で前記スピンドルを支持する第 2 の磁気軸受クラスタと、

前記第 1 の磁気軸受クラスタおよび前記第 2 の磁気軸受クラスタを別々に制御して、前記スピンドルが磁気浮上式に回転する間に前記軸心の半径方向位置を調整し、このことにより、所定の非円形の軌道における前記成形端部で前記軸心を移動させるラジアル軸受制御装置と、

加工物に対して前記軸心に沿って前記成形工具を動かしつつ、同時に前記軌道の形状を変え、それによって、連続的に軸方向に変動する軌道を持つ非円形の孔を、加工物に高速かつ高精度で形成することが可能となる軸方向の動作制御装置と、

を備える、アセンブリ。

## 【請求項 2】

前記第 1 の磁気軸受クラスタは、前記軸心を中心として共通面において概して円弧状に等しい間隔に配置される少なくとも 3 つの磁石固定子を含む、請求項 1 に記載のアセンブリ。

## 【請求項 3】

前記第 1 の磁気軸受クラスタの前記少なくとも 3 つの磁石固定子に近接して、前記軸心を中心として共通面において概して円弧状に等しい間隔に配置される少なくとも 3 つの第 1 の位置検出器をさらに含む、請求項 2 に記載のアセンブリ。

## 【請求項 4】

前記第 2 の磁気軸受クラスタは、前記軸心を中心として共通面において概して円弧状に等しい間隔に配置される少なくとも 3 つの磁石固定子を含む、請求項 3 に記載のアセンブリ。

## 【請求項 5】

前記第 2 の磁気軸受クラスタの前記少なくとも 3 つの磁石固定子に近接して、前記軸心を中心として共通面において概して円弧状に等しい間隔に配置される少なくとも 3 つの第 2 の位置検出器をさらに含む、請求項 4 に記載のアセンブリ。

## 【請求項 6】

前記第 1 の磁気軸受クラスタは、1 対の対向する X 座標磁石固定子および 1 対の対向する Y 座標磁石固定子を含み、前記 X 座標磁石固定子は、前記 Y 座標磁石固定子の間にかつ概して共面に間隔を置いて配置される、請求項 1 に記載のアセンブリ。

## 【請求項 7】

前記ラジアル軸受制御装置は、前記第 1 の磁気軸受クラスタの前記 1 対の対向する X 座標磁石固定子に近接する 1 対の対向する X 座標位置検出器と、前記第 1 の磁気軸受クラスタの前記 1 対の対向する Y 座標磁石固定子に近接する 1 対の対向する Y 座標位置検出器とを含む、請求項 6 に記載のアセンブリ。

## 【請求項 8】

前記第 1 の磁気軸受クラスタは、対応する前記 X 座標磁石固定子および前記 Y 座標磁石固定子の間に形成される前記共通面内にある前記スピンドルの第 1 の領域に配置される第 1 の回転子を含む、請求項 7 に記載のアセンブリ。

## 【請求項 9】

前記第 2 の磁気軸受クラスタは、1 対の対向する X 座標磁石固定子および 1 対の対向す

10

20

30

40

50

る Y 座標磁石固定子を含み、前記 X 座標磁石固定子は、前記対向する Y 座標磁石固定子の間に間隔を置いて配置されかつ概して共面である、請求項 8 に記載のアセンブリ。

【請求項 10】

前記ラジアル軸受制御装置は、前記第 2 の磁気軸受クラスタの前記 1 対の対向する X 座標磁石固定子に近接する 1 対の対向する X 座標位置検出器と、前記第 2 の磁気軸受クラスタの前記 1 対の対向する Y 座標磁石固定子に近接する 1 対の対向する Y 座標位置検出器とを含む、請求項 9 に記載のアセンブリ。

【請求項 11】

前記第 2 の磁気軸受クラスタは、対応する前記 X 座標磁石固定子および前記 Y 座標磁石固定子の間に形成される前記共通面内にある前記スピンドルの第 2 の領域に配置される第 2 の回転子を含む、請求項 10 に記載のアセンブリ。

10

【請求項 12】

前記ラジアル軸受制御装置は、前記第 1 の軸受クラスタの各前記 1 対の X 座標磁石への電流の供給を非線形に等しく比例するように変動させるための、可変の電流発生装置を含む、請求項 9 に記載のアセンブリ。

【請求項 13】

前記軸方向の動作制御装置は加工物保持器を含む、請求項 1 に記載のアセンブリ。

【請求項 14】

前記軸心を中心として前記成形工具の角位置を決定するための回転位置検出器をさらに含む、請求項 1 に記載のアセンブリ。

20

【請求項 15】

前記成形工具が軸心を中心として 1 回転し終わると同時に、成形端部が軌道の周囲を 1 周し終わる、請求項 14 に記載のアセンブリ。

【請求項 16】

前記成形工具は、前記軸心を中心として概して円弧状に等しく配置される複数の点状の切れ刃で終端する、請求項 1 に記載のアセンブリ。

【請求項 17】

前記成形工具は 1 つの点状の切れ刃で終端する、請求項 1 に記載のアセンブリ。

【請求項 18】

前記切れ刃および前記軌道間の連続した傾斜角を保つための切れ刃制御装置であって、前記傾斜角は、前記軸心から前記切れ刃まで延びる半径、および、前記軌道に沿った任意の点に対する接線の間角度によって定められる最適な切削角を備える切れ刃制御装置をさらに含む、請求項 17 に記載のアセンブリ。

30

【請求項 19】

前記傾斜角は実質的に直角である、請求項 18 に記載のアセンブリ。

【請求項 20】

前記軌道は不規則な形状である、請求項 18 に記載のアセンブリ。

【請求項 21】

ハウジングをさらに含む、請求項 1 に記載のアセンブリ。

【請求項 22】

前記ハウジングに対する前記スピンドルの軸方向の動き制限するために、前記スピンドルに関連付けられる磁気スラスト軸受をさらに含む、請求項 21 に記載のアセンブリ。

40

【請求項 23】

前記軸心を中心として強制的に前記スピンドルを回転させるために、前記ハウジング内に配置される駆動モータをさらに含む、請求項 21 に記載のアセンブリ。

【請求項 24】

前記ハウジングは少なくとも 2 つの補助軸受を含む、請求項 21 に記載のアセンブリ。

【請求項 25】

加工物に非円形の表面を形成するための磁気浮上式の高速スピンドルアセンブリであって、前記アセンブリは、

50

- 後端部および成形端部の間を軸心に沿って延びる細長いスピンドルと、  
前記成形端部に近接する前記スピンドルから半径方向に外側に延び、点状の切れ刃で終端する成形工具と、  
前記軸心を中心として磁気浮上式に回転するために、前記成形端部に近接する前記スピンドルを支持する第1の磁気軸受クラスタと、  
前記軸心を中心として磁気浮上式に回転するために、前記第1の磁気軸受クラスタから間隔を置いて配置され、前記成形端部から離れた位置で前記スピンドルを支持する第2の磁気軸受クラスタと、  
前記第1の磁気軸受クラスタおよび前記第2の磁気軸受クラスタを別々に制御して、前記スピンドルが磁気浮上式に回転する間に前記軸心の半径方向位置を調整し、所定の非円形の軌道で前記成形端部を移動させ、そのため、前記切れ刃は加工物に、対応する非円形の孔を形成することとなるラジアル軸受制御装置と、  
前記切れ刃および前記軌道間の連続した傾斜角を保つための切れ刃制御装置であって、前記傾斜角は、前記軸心から前記切れ刃まで延びる半径、および、前記軌道に沿った任意の点に対する接線の間角度によって定められる最適な切削角を備え、それによって、非円形の孔が改良された精度によって成形可能となり、前記アセンブリが高速の回転速度かつより高いスピンドル安定性で作動可能となる切れ刃制御装置と、  
を備える、アセンブリ。
- 【請求項26】  
前記傾斜角は実質的に直角である、請求項25に記載のアセンブリ。
- 【請求項27】  
前記軌道は不規則な形状である、請求項25に記載のアセンブリ。
- 【請求項28】  
前記第1の磁気軸受クラスタは、前記軸心を中心として共通面において概して円弧状に等しい間隔に配置される少なくとも3つの磁石固定子を含む、請求項25に記載のアセンブリ。
- 【請求項29】  
前記第1の磁気軸受クラスタの前記少なくとも3つの磁石固定子に近接して、前記軸心を中心として共通面において概して円弧状に等しい間隔に配置される少なくとも3つの第1の位置検出器をさらに含む、請求項28に記載のアセンブリ。
- 【請求項30】  
前記第2の磁気軸受クラスタは、前記軸心を中心として共通面において概して円弧状に等しい間隔に配置される少なくとも3つの磁石固定子を含む、請求項29に記載のアセンブリ。
- 【請求項31】  
前記第2の磁気軸受クラスタの前記少なくとも3つの磁石固定子に近接して、前記軸心を中心として共通面において概して円弧状に等しい間隔に配置される少なくとも3つの第2の位置検出器をさらに含む、請求項30に記載のアセンブリ。
- 【請求項32】  
前記第1の磁気軸受クラスタは、1対の対向するX座標磁石固定子および1対の対向するY座標磁石固定子を含み、前記X座標磁石固定子は、前記Y座標磁石固定子の間に間隔を置いて配置されかつ概して共面である、請求項25に記載のアセンブリ。
- 【請求項33】  
前記ラジアル軸受制御装置は、前記第1の磁気軸受クラスタの前記1対の対向するX座標磁石固定子に近接する1対の対向するX座標位置検出器と、前記第1の磁気軸受クラスタの前記1対の対向するY座標磁石固定子に近接する1対の対向するY座標位置検出器とを含む、請求項32に記載のアセンブリ。
- 【請求項34】  
前記第1の磁気軸受クラスタは、対応する前記X座標磁石固定子および前記Y座標磁石固定子の間に形成される前記共通面内にある前記スピンドルの第1の領域に配置される第

10

20

30

40

50

1 の回転子を含む、請求項 3 3 に記載のアセンブリ。

【請求項 3 5】

前記第 2 の磁気軸受クラスタは、1 対の対向する X 座標磁石固定子および 1 対の対向する Y 座標磁石固定子を含み、前記 X 座標磁石固定子は、前記対向する Y 座標磁石固定子の間にかつ概して共面に間隔を置いて配置される、請求項 3 4 に記載のアセンブリ。

【請求項 3 6】

前記ラジアル軸受制御装置は、前記第 2 の磁気軸受クラスタの前記 1 対の対向する X 座標磁石固定子に近接する 1 対の対向する X 座標位置検出器と、前記第 2 の磁気軸受クラスタの前記 1 対の対向する Y 座標磁石固定子に近接する 1 対の対向する Y 座標位置検出器とを含む、請求項 3 5 に記載のアセンブリ。

10

【請求項 3 7】

前記第 2 の磁気軸受クラスタは、対応する前記 X 座標磁石固定子および前記 Y 座標磁石固定子の間に形成される前記共通面内にある前記スピンドルの第 2 の領域に配置される第 2 の回転子を含む、請求項 3 6 に記載のアセンブリ。

【請求項 3 8】

前記ラジアル軸受制御装置は、前記第 1 の軸受クラスタの各前記 1 対の X 座標磁石への電流の供給を非線形に等しく比例するように変動させるための、可変の電流発生装置を含む、請求項 3 5 に記載のアセンブリ。

【請求項 3 9】

前記軸心を中心として前記成形工具の角位置を決定するための、回転位置検出器をさらに含む、請求項 2 5 に記載のアセンブリ。

20

【請求項 4 0】

前記成形工具が軸心を中心として 1 回転し終わると同時に、成形端部が軌道の周囲を 1 周し終わる、請求項 3 9 に記載のアセンブリ。

【請求項 4 1】

加工物に対して前記軸心に沿って前記成形工具を動かしつつ、同時に前記軌道の形状を変え、それによって、連続的に軸方向に変動する軌道を持つ非円形の孔を、加工物に高速かつ高精度で形成することが可能となる軸方向の動作制御装置をさらに含む、請求項 2 5 に記載のアセンブリ。

【請求項 4 2】

前記軸方向の動作制御装置は加工物保持器を含む、請求項 4 1 に記載のアセンブリ。

30

【請求項 4 3】

ハウジングをさらに含む、請求項 2 5 に記載のアセンブリ。

【請求項 4 4】

前記ハウジングに対する前記スピンドルの軸方向の動き制限するために、前記スピンドルに関連付けられる磁気スラスト軸受をさらに含む、請求項 4 3 に記載のアセンブリ。

【請求項 4 5】

前記軸心を中心として強制的に前記スピンドルを回転させるために、前記ハウジング内に配置される駆動モータをさらに含む、請求項 4 3 に記載のアセンブリ。

【請求項 4 6】

前記ハウジングは、少なくとも 2 つの補助軸受を含む請求項 4 3 に記載のアセンブリ。

40

【請求項 4 7】

寸法的に変動する軸方向の軌道を有する不規則な孔を加工物に形成するための高速スピンドルアセンブリを磁氣的に浮上させるための方法であって、前記方法は、

軸心を有するスピンドルの一端に半径方向に延びる成形工具を固定するステップと、

軸心を中心として回転するために成形工具に近接するスピンドルの第 1 の領域の周りに磁気浮上領域を設定するステップと、

第 1 の領域から間隔を置いて配置され、成形工具から離れたスピンドルの第 2 の領域の周りに磁気浮上領域を設定するステップと、

第 1 および第 2 の磁気浮上領域内で軸心を中心としてスピンドルを回転させるステップ

50

と、

第 1 および第 2 の磁気浮上領域を変動させることによって、スピンドルが回転する間に、第 1 および第 2 の領域で軸心の半径方向位置を調整し、このことにより所定の非円形の軌道において成形端部を動かすステップと、

第 1 および第 2 の領域で軸心の半径方向位置を調整する前記ステップと同時に、加工物に対して軸心に沿って成形工具を動かすことによって、加工物における不規則の軸方向に異なる軌道の孔を形成するステップと、

を備える、方法。

【請求項 4 8】

スピンドルの第 1 の領域の周りに磁気浮上領域を設定する前記ステップが、軸心を中心として共通面において概して円弧状に等しい間隔に配置される少なくとも 3 つの検出器を位置決めすることを含む、請求項 4 7 に記載の方法。 10

【請求項 4 9】

スピンドルの第 2 の領域の周りに磁気浮上領域を設定する前記ステップが、軸心を中心として共通面において概して円弧状に等しい間隔に配置される少なくとも 3 つの検出器を位置決めすることを含む、請求項 4 8 に記載の方法。

【請求項 5 0】

第 1 および第 2 の領域で軸心の半径方向位置を調整するステップが、少なくとも 3 つの第 1 の位置検出器を、第 1 の領域の少なくとも 3 つの磁石固定子に近接して軸心を中心として共通面に概して円弧状に等しい間隔に配置することと、少なくとも 3 つの第 1 の位置検出器を、第 2 の領域の少なくとも 3 つの磁石固定子に近接して軸心を中心として共通面に概して円弧状に等しい間隔に配置することとを含む、請求項 4 9 に記載の方法。 20

【請求項 5 1】

スピンドルの第 1 の領域の周りに磁気浮上領域を設定する前記ステップが、1 対の対向する X 座標磁石固定子および 1 対の対向する Y 座標磁石固定子を位置決めすることと、X 座標磁石固定子を、対向する Y 座標磁石固定子の間にかつ概して共面に間隔を置いて配置することとを含む、請求項 4 7 に記載の方法。

【請求項 5 2】

スピンドルの第 2 の領域の周りに磁気浮上領域を設定する前記ステップが、1 対の対向する X 座標磁石固定子および 1 対の対向する Y 座標磁石固定子を位置決めすることと、X 座標磁石固定子を、対向する Y 座標磁石固定子の間にかつ概して共面に間隔を置いて配置することとを含む、請求項 5 1 に記載の方法。 30

【請求項 5 3】

前記第 1 の軸受クラスタの各前記 1 対の X 座標磁石への電流の供給を非線形に等しく比例するように変動させるステップをさらに含む、請求項 5 2 に記載の方法。

【請求項 5 4】

第 1 および第 2 の領域で軸心の半径方向位置を調整するためのステップが、各前記磁気固定子に近接して位置検出器を固定することを含む、請求項 5 2 に記載の方法。

【請求項 5 5】

加工物に対して成形工具を動かす前記ステップが、加工物を動かす一方でスピンドルを軸方向に固定した状態を保つことを含む、請求項 4 7 に記載の方法。 40

【請求項 5 6】

孔を形成する前記ステップの間、軸心を中心として成形工具の角位置を瞬間的に決定するステップをさらに含む、請求項 4 7 に記載の方法。

【請求項 5 7】

成形工具が軸心を中心として 1 回転し終わると同時に、成形端部が軌道の周囲を 1 周し終わるように、成形工具の角速度を計時するステップをさらに含む、請求項 5 6 に記載の方法。

【請求項 5 8】

成形工具の切れ刃および軌道間の連続した傾斜角を保つためステップであって、傾斜角 50

が軸心から切れ刃まで延びる半径、および、軌道に沿って任意の点に対する接線の間の角度によって定められる最適な切削角を備えるステップをさらに含む、請求項 47 に記載の方法。

【請求項 59】

連続した傾斜角を保つためステップが、傾斜角を実質的に直角に保つことを含む、請求項 58 に記載の方法。

【請求項 60】

軌道を不規則な形状に向けるステップをさらに含む、請求項 58 に記載のアセンブリ。

【請求項 61】

加工物に非円形の孔を形成するための高速スピンドルアセンブリを磁氣的に浮上させるための方法であって、前記方法は、

成形工具に切れ刃を形成するステップと、

切れ刃が軸心から半径方向に外側に配置されるように、軸心を有するスピンドルの一端に半径方向に延びる成形工具を固定するステップと、

軸心を中心として回転するために成形工具に近接するスピンドルの第 1 の領域の周りに磁気浮上領域を設定するステップと、

第 1 の領域から間隔を置いて配置され、成形工具から離れたスピンドルの第 2 の領域の周りに磁気浮上領域を設定するステップと、

第 1 および第 2 の磁気浮上領域内で軸心を中心としてスピンドルを回転させるステップと、

第 1 および第 2 の浮上領域を変動させることによって、スピンドルが回転する間に、第 1 および第 2 の領域で軸心の半径方向位置を調整し、このことにより所定の非円形の軌道に切れ刃を動かして加工物に非円形の孔を形成するステップと

切れ刃および軌道との連続した傾斜角を保つステップであって、傾斜角は、軸心から切れ刃まで延びる半径および非円形の軌道に沿った任意の点に対する接線の間の角度によって定まる最適な切削角を備え、そのため、非円形の孔が改良された精度で成形されることが可能となり、かつスピンドルがより高速の回転速度およびより高い安定性で作動可能となるステップと、

を備える、方法。

【請求項 62】

連続した傾斜角を保つためステップが、傾斜角を実質的に直角に保つことを含む、請求項 61 に記載の方法。

【請求項 63】

軌道を不規則な形状に向けるステップをさらに含む、請求項 61 に記載のアセンブリ。

【請求項 64】

孔を形成する前記ステップの間、軸心を中心として成形工具の角位置を瞬間的に決定するステップをさらに含む、請求項 61 に記載の方法。

【請求項 65】

成形工具が軸心を中心として 1 回転を終えると同時に、成形端部が軌道の周囲を 1 周し終わるように、成形工具の角速度を計時するステップをさらに含む、請求項 64 に記載の方法。

【請求項 66】

加工物に対して軸心に沿って成形工具を動かすことによって、加工物における不規則の軸方向に異なる軌道の孔を形成すると同時に、第 1 および第 2 の領域で軸心の半径方向位置を調整する前記ステップを備えるステップをさらに含む、請求項 61 に記載の方法。

【請求項 67】

加工物に対して軸心に沿って成形工具を動かす前記ステップが、加工物を動かす一方でスピンドルを軸方向に固定した状態を保つことを含む、請求項 66 に記載の方法。

【請求項 68】

スピンドルの第 1 の領域の周りに磁気浮上領域を設定する前記ステップが、軸心を中心

として共通面において概して円弧状に等しい間隔に配置される少なくとも3つの検出器を位置決めすることを含む、請求項61に記載の方法。

【請求項69】

スピンドルの第2の領域の周りに磁気浮上領域を設定する前記ステップが、軸心を中心として共通面において概して円弧状に等しい間隔に配置される少なくとも3つの検出器を位置決めすることを含む、請求項68に記載の方法。

【請求項70】

第1および第2の領域で軸心の半径方向位置を調整するステップが、少なくとも3つの第1の位置検出器を、第1の領域の少なくとも3つの磁石固定子に近接して軸心を中心として共通面に概して円弧状に等しい間隔に配置することと、少なくとも3つの第1の位置検出器を、第2の領域の少なくとも3つの磁石固定子に近接して軸心を中心として共通面に概して円弧状に等しい間隔に配置することを含む、請求項69に記載の方法。

10

【請求項71】

スピンドルの第1の領域の周りに磁気浮上領域を設定する前記ステップが、1対の対向するX座標磁石固定子および1対の対向するY座標磁石固定子を位置決めすることと、X座標磁石固定子を、対向するY座標磁石固定子の間にかつ概して共面に間隔を置いて配置することを含む、請求項61に記載の方法。

【請求項72】

スピンドルの第2の領域の周りに磁気浮上領域を設定する前記ステップが、1対の対向するX座標磁石固定子および1対の対向するY座標磁石固定子を位置決めすることと、X座標磁石固定子を、対向するY座標磁石固定子の間にかつ概して共面に間隔を置いて配置することを含む、請求項71に記載の方法。

20

【請求項73】

前記第1の軸受クラスタの各前記1対のX座標磁石への電流の供給を非線形に等しく比例して変動させるステップをさらに含む、請求項72に記載の方法。

【請求項74】

第1および第2の領域で軸心の半径方向位置を調整するためのステップが、各前記磁気固定子に近接して位置検出器を固定することを含む、請求項72に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本特許出願は、2004年2月26日付け出願の米国仮特許出願第60/547891号の優先権を主張する。

【0002】

発明の背景

1. 技術分野

本発明は、一般に、非円形の表面を成形するための磁気浮上型の高速スピンドルアセンブリに関し、より詳細には、加工物に非円形孔を形成するためのかかるアセンブリに関する。

【背景技術】

40

【0003】

2. 関連技術

製品の用途によっては、非円形の孔の形成が必要となるものがある。たとえば、内燃機関のためのピストンの製造において、リストピンまたはピストンピンのために形成されるいわゆるピンホールは、たいていリストピン内の撓みに適応するために、中心に向かって開口するわずかなランペット形状を有する。さらに、ピンホールのこのランペット形状は、わずかな楕円率によって最適に設計され、様々なサイクルによってリストピンが動くために、リストピンの歪曲するさらなる原因となる。ピンホールのこのランペット形状であり非円形の横断面は、厳しい公差で形成されなければならない。たとえば、3から5ミクロンの範囲内の公差が、これらのタイプを使用するのにたいてい必要である。

50

## 【0004】

このような非円形の孔を厳しい公差規格で作成するための工業的方法があり、この方法は油圧作動式フライス工具および電解加工技術を含むものである。従来技術はまた、能動型磁気軸受を備える特別な工作機械スピンドルを使用して、非円形の形状を穿孔することを提案している。能動型磁気軸受は、電磁石固定子によって発生する磁界に支持される回転軸が、強磁性物質から、または、強磁性物質によって形成される原理に従って作用する。適切なパワー増幅器を備えた制御システムが磁場を調整し、スピンドルが回転する間、所望の半径方向位置にスピンドルを保持する。たとえ荷重条件が変化しても、この半径方向位置を保つことが可能である。

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

能動型磁気軸受システムの利点は、スピンドルの移動を制御し、意図的にスピンドルの回転の偏差を生じさせ、このことにより、所望の軌道で成形工具を動かすことが可能なことにある。それにもかかわらず、従来技術には数多くの欠点および制限がある。たとえば、特に3次元で作成可能な非円形の孔の形状が、とりわけ制限される。さらに、正確に工具の切れ刃の位置を制御し、このことにより、公差の変動を5ミクロン未満にすることが可能であるかは、確かなものではない。それゆえに、本発明の目的は、これらの問題点および制限を解決することである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0006】

## 発明の概要

本発明は、寸法的に異なる軸方向の軌道がある非円形の孔を加工物に形成するための磁気浮上式の高速スピンドルアセンブリを備える。アセンブリは、長手方向に延びる軸心を画定し、かつその成形端部で固定される成形工具を有するスピンドルを備える。軸心を中心として磁気浮上式に回転するために、第1の磁気軸受クラスタは、成形工具に近接してスピンドルを支持する。軸心を中心として磁気浮上式に回転するために、第2の磁気軸受クラスタは、第1の磁気軸受クラスタから間隔を置いて配置され、成形工具から遠く的位置でスピンドルを支持する。ラジアル軸受制御装置は、第1および第2の磁気軸受クラスタを別々に制御し、スピンドルが磁気浮上式に回転する間に軸心の半径方向位置を調整し、このことにより、所定の非円形の軌道の成形端部で軸心を移動させる。本発明の本態様によると、改良は、加工物に対して軸心に沿って成形工具を動かしつつ、同時に軌道の形状を変えるための、軸方向運動の制御装置を備える。そのため、連続的に軸方向に変動する軌道を持つ非円形の孔を、加工物に高速かつ高精度に形成することが可能となる。したがって、磁気軸受クラスタと加工物に対する成形工具の軸方向の位置とを別々に、しかしながら同時に制御することによって、連続的に変動する横断面域および横断面形状を有する非円形の孔を形成することができる。

## 【0007】

本発明の第2の態様によると、加工物に非円形の孔を形成するために、磁気浮上式の高速スピンドルアセンブリを設ける。アセンブリは、後端部および成形端部の間を軸心に沿って延びる、細長いスピンドルを備える。成形工具は、成形端部に近接してスピンドルから半径方向に外側に延び、配置された切れ刃で終端する。軸心を中心として磁気浮上式に回転するために、第1の磁気軸受クラスタは、成形端部に近接してスピンドルを支持する。軸心を中心として磁気浮上式に回転するために、第2の磁気軸受クラスタは第1の磁気軸受クラスタから間隔を置いて配置され、成形端部から遠く的位置でスピンドルを支持する。ラジアル軸受制御装置は、第1および第2の磁気軸受クラスタを別々に制御し、スピンドルが磁気浮上式に回転する間に軸心の半径方向位置を調整し、所定の非円形の軌道における成形端部で軸心を移動させるために設けられる。そのため、高速の切れ刃は、対応するように成形された非円形の孔を加工物に形成することとなる。本発明の本態様によると、切れ刃および軌道の間に関連的な傾斜角を保つために、切れ刃制御装置が設けられる

10

20

30

40

50

。傾斜角は、軸心から切れ刃まで延びる半径および軌道に沿った任意の点に対する接線の間の角度によって定まる最適な切削角を備え、そこで非円形の孔は改良された精度で成形可能であり、アセンブリはより高いスピンドル安定性を提供しつつ、より高速の回転速度で作動することができる。

【0008】

主題発明のさらに別の態様によると、高速スピンドルアセンブリを磁氣的に浮上させるための方法を備える。寸法的に変動する軸方向の軌道を有する不規則な孔を加工物に形成するために、この方法が実施される。この方法は、軸心を有するスピンドルの一端に半径方向に延びる成形工具を固定するステップと、軸心を中心として回転するために成形工具に近接するスピンドルの第1の領域の周りに磁気浮上領域を設定するステップと、第1の領域から間隔を置いて配置され、成形工具から遠くにあるスピンドルの第2の領域の周りに磁気浮上領域を設定するステップと、第1および第2の磁気浮上領域内で軸心を中心としてスピンドルを回転させるステップと、別々に第2の浮上領域を変動させることによって、スピンドルが回転する間に、第1および第2の領域で軸心の半径方向位置を調整し、このことにより所定の非円形の軌道の成形端部で軸心を動かすステップとを備える。この方法には、加工物に対して軸心に沿って成形工具を動かすことによって、不規則な軸方向に変動する軌道の孔を加工物に形成すると同時に、第1および第2の領域で軸心の半径方向位置を調整するステップを備えるという特徴がある。

10

【0009】

本発明のさらなる別の態様によると、高速スピンドルアセンブリを磁氣的に浮上させるための方法を目的とする。この方法は、加工物に非円形の孔を形成するために実施され、成形工具に切れ刃を形成するステップと、切れ刃が軸心から半径方向に外側に配置されるように、軸心を有するスピンドルの一端に半径方向に延びる成形工具を固定するステップと、軸心を中心として回転するために成形工具に近接するスピンドルの第1の領域の周りに磁気浮上領域を設定するステップと、第1の領域から間隔を置いて配置され、成形工具から遠くにあるスピンドルの第2の領域の周りに磁気浮上領域を設定するステップと、第1および第2の磁気浮上領域内で軸心なしでスピンドルを回転させるステップと、第1および第2の浮上領域を変動させることによって、スピンドルが回転する間に、第1および第2の領域で軸心の半径方向位置を調整し、このことにより所定の非円形の軌道に切れ刃を動かして加工物に非円形の孔を形成するステップとを備える。改良は、切れ刃および軌道の間の連続した傾斜角を保つ工程を含み、そのため、非円形の孔が改良された精度で成形されることが可能となり、かつスピンドルがより高速の回転速度でより高い安定性で作動可能となる。傾斜角は、軸心から切れ刃まで延びる半径および非円形の軌道に沿った任意の点に対する接線の間の角度によって定まる最適な切削角を備える。

20

30

【0010】

孔を形成するアセンブリ、および、主題発明による方法は、高速で高精度に形成可能な孔の形状および構成の利用可能な範囲を拡大することによって、特に立体感において、従来技術の問題点および欠点を解決するものである。

【0011】

これらおよび他の本発明の特徴および効果は、以下の詳細な説明および添付の図面に関連して考慮すると、より容易に理解されるであろう。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

好ましい実施形態の詳細な説明

図を参照すると、いくつかの図全体を通して同一の符号は同一のあるいは対応する部分を示しており、磁気浮上型高速スピンドルアセンブリは、図1および図2において全体として20で示される。スピンドルアセンブリ20は、加工物24に非円形の孔22を形成するためのタイプである。図1において、内燃機関のためのピストンを備えるだけの実施例のために、加工物24が示される。非円形の孔22は、従来技術においてよく知られているリストピン(図示せず)を含むためのピンホールとして図示される。しかしながら、

50

加工物 24 は任意の構成部品を備えてもよく、ピストン、エンジン、さらには自動車の用途に限定されるものではない。むしろ、どのような活動分野においても、高精度の公差を持つ非円形の孔 22 に適用可能である。

#### 【0013】

アセンブリ 20 は剛性の軸状のスピンダルを含み、全体として 26 で示され、後端部 28 および成形端部 30 の間を軸心 A に沿って延びる。成形工具 32 は、スピンドルの成形端部 30 に近接してスピンドル 26 から半径方向に外側に延び、点状の切れ刃 34 で終端する。成形工具 34 は、たとえば、商業的に入手可能な任意の形状を有する着脱可能な超硬チップを備えることが可能である。図 2 の横断面図に示すように、成形工具 32 は、テーパおよびボルト装置 38 を介して、スピンドル 26 に固定される着脱可能なツールホルダ 36 に保持されてもよい。スピンドル 26 は、スピンドルの後端部 28 および成形端部 30 に近接するレンチ面 40 を備え、メンテナンスのために成形工具 32 を取りはずし、工具保持器 36 を交替するのを容易にする。

10

#### 【0014】

アセンブリ 20 は、スピンドルの後端部 28 およびスピンドル 26 の成形端部 30 が中を通して延びるハウジング 42 をさらに含む。図 2 において全体として 44 で示される駆動モータが、ハウジング 42 内に配置され、スピンドルの軸心 A を中心としてスピンドル 26 を強制的に回転させるよう作動する。駆動モータ 44 は、知られているいかなる種類のものでもよく、交流または直流で作動する。あるいは、駆動モータ 44 は、流体で駆動するか、空気で駆動するか、または、他の任意のタイプのエネルギー源により駆動することができる。ここに示される実施例において、駆動モータ 44 は、ハウジング 42 内に固定される電気固定子 46、および、スピンドル 26 に固定される回転子または電機子 48 を含む。

20

#### 【0015】

1 対の補助軸受 50 がハウジング 42 の対向する端部に支持され、スピンドル 26 の間に実質的なすきまを備える。補助軸受 50 は、後備安全機構 (back up safety mechanism) としての役割を果たすので、磁気浮上型システムが故障した場合には、いかなる構成部品も損傷せずに、高速で回転するスピンドル 26 は補助軸受 50 で安全に停止することができる。

#### 【0016】

ハウジング 42 内でスピンドル 26 を適切に軸方向に確実に整列するために、全体として 52 で示される磁気スラスト軸受が、ハウジング 42 およびスピンドル 26 の間に挿置される。磁気スラスト軸受 52 は、ロータディスク 56 の対向側に配置される 2 つの固定子 54 を備える。固定子 54 は、中実鋼、または、くさびの中間に半径方向溝を有する中実鋼のくさびで作製され、積層で充てんされることが可能である。固定子 54 はまた、コイルで充てんされ、ロータディスク 56 を含む領域における軸方向の力を相殺する。図示していないが、アセンブリ 20 はまた、スラスト軸受 52 と連動して作用する軸方向の位置検出器およびパワー増幅器を含むことができ、スピンドル 26 の軸方向の位置を決定し制御する。

30

#### 【0017】

次に図 3 を参照する。全体として 58 で示される第 1 の磁気軸受クラスタが、スピンドルの軸心 A を中心として磁気浮上式に回転させるために成形工具 32 に最も近くでスピンドル 26 を支持する。同様に、軸心 A を中心として磁気浮上式に回転させるため、全体として 60 で示される第 2 の磁気軸受クラスタが、スピンドル 26 を成形工具 32 からもう一方の側で支持するために磁気軸受クラスタ 58 から間隔を置いて配置される。換言すれば、第 1 の磁気軸受クラスタ 58 がスピンドル 26 の成形端部 30 に近接するのに対して、第 2 の磁気軸受クラスタ 60 がスピンドル 26 の後端部 28 に近接する。

40

#### 【0018】

第 1 の磁気軸受クラスタ 58 は、軸心 A に垂直な共通面内に全体として円弧状に等しい間隔に配置される少なくとも 3 つの、そして、好ましくは 4 つの磁石固定子を含む。磁石

50

固定子は、通常、1対の対向するX座標の磁石固定子62および62'と、1対の対向するY座標の磁石固定子の64および64'の2つ1組で配置される。X座標固定子62および62'は、軸心Aを斜めに貫通し、水平面に対して約45度の角度で向きを定められる、いわゆるX平面にそれ自体が含まれる。上側のX座標固定子62が軸心Aより上に位置するのに対して、下側のX座標固定子62'が軸心Aの下に位置する。Y座標固定子64および64'は、水平面に対して約45度である軸心Aを含む、いわゆるY平面に配置される。Y平面はX平面に垂直である。したがって、スピンドル26が第1の軸受クラスタ58および第2の軸受クラスタ60内で完全に中心におかれる場合、軸心AはX平面およびY平面の交点と一致する。X平面をY平面に固定して交差させることによって、軸受軸心Zを形成する。したがって、スピンドル26が中立で中心におかれた位置にある場合、軸受軸心Zおよび軸心Aが一致する。しかしながら、電流の変動および他の外部の衝撃によってスピンドル26が作動されるにつれて、軸心Aが移動し、固定された軸受軸心Zに対して回転する。

10

#### 【0019】

同様に、第2の磁気軸受クラスタ60は、第1の磁石軸受クラスタ58の固定子と同様に向きを定められるX座標固定子66および66'とY座標固定子68および68'を含む。X座標固定子62、62'、66、66'はすべてX平面に置かれ、Y座標固定子64、64'、68、68'はすべてY平面に置かれる。図3において、これらの磁石固定子は、概略的にU字形の固定磁石として示される。しかしながら、実際には、これらの固定子はまた、内径に電極を有する多くの積層リングで作製されることができる。コイルが各電極の周囲に巻付けられるので、各軸受クラスタが4分割されることができる。各4分割のコイルは、単一の電磁石として機能する。記載されるように、そして、特にスピンドル26が全体として水平な状態で支持される状況において、重力反力を分配するように、4分割部が垂直面から45度に整列配置される。

20

#### 【0020】

再び図2を参照する。スピンドル26の第1の領域72に配置される第1の回転子70を含む第1の磁気軸受クラスタ58が示される。第1の回転子70は、スリーブに取り付けられスピンドル26に嵌合される多くの積層リングから構成される。積層は、第1の磁気軸受クラスタ58の反応を向上するのに効率的である。また、第2の磁気軸受クラスタ60は、スピンドル26の第2の領域76に配置される第2の回転子74を含む。第1の回転子72および第2の回転子74は、概して構造上同一であるが、アセンブリ20への設計用途によってわずかに寸法および形状において変動してもよい。

30

#### 【0021】

少なくとも3つの、そして、好ましくは4つの第1の位置検出器が、軸心Aに垂直な共通面内に全体として円弧状に等しい間隔に配置され、第1の磁気軸受クラスタ58に近接して配置される。好ましくは、図3に示すように、第1の位置検出器は、1対の対向するX座標検出器78および78'を第1のX座標固定子62および62'それぞれに近接して含み、1対の対向するY座標検出器80および80'を対応するY座標固定子64および64'に隣接して含む。同様に、第2の位置検出器である対向するX座標位置検出器82および82'とY座標位置検出器84および84'とは、それぞれのX座標およびY座標固定子66、66'、68、68'に近接して配置される。スピンドル26の位置に関する情報を電圧の形で送ることによって、すべての位置検出器が作動する。通常、スピンドル26が中立にある場合に検出器がゼロ電圧を発生するように、これらの位置検出器が調整される。スピンドル26が中立位置より上に移動する場合、プラスの電圧が発生する。スピンドル26が中立位置より下に移動する場合、マイナスの電圧が結果として生じる。

40

#### 【0022】

ラジアル軸制御装置は第1の磁気軸受クラスタ58および第2の磁気軸受クラスタ60を別々に制御し、スピンドル26が磁気浮上式に回転する間、軸受軸心Zに対して軸心Aの半径方向位置を調整する。第1の磁気軸受クラスタ58および第2の磁気軸受クラ

50

タ60に対するスピンドル26の位置を別々に制御することによって、成形端部30での軸心Aが調整され、高度に制御された非円形軌道Bを描くことができるようになる。成形端部30を所望に調整するために、ラジアル軸受制御装置はすべての検出器から入力を調整し、すべての軸受クラスタへ出力を出す、集中化したタイプであってもよい。

#### 【0023】

あるいは、ラジアル軸受制御装置は、X軸制御装置86および分離したY軸制御装置88を含むことができる。この構成において、X軸制御装置86は、X座標位置検出器78、78'、82、82'から電圧信号を受け、たとえば切れ刃34までのアキシアル距離や軸心Aから切れ刃34まで測定される工具半径等の寸法関係を含む数学的モデルでこの情報を処理し、電流（または電圧）の要求を一体化されたか独立型の増幅器に送信する。したがって、X軸制御装置86は、複数の入力、すなわちX平面におけるあらゆる検出器からの入力を受け、X平面図におけるすべての固定子に複数の出力を出して、力学的にスピンドル26を制御する。X軸制御装置86は、アンチエリアシングフィルタと、アナログ-デジタル変換器と、デジタル信号処理装置と、パルス幅変調器とを含むことができる。位置検出器78、78'、82、82'からの電圧は、アンチエリアシングフィルタを通過して信号から高周波雑音を取り除く。高い周波数コンテンツが取り除かれたあと、電圧信号をデジタル信号処理装置によって処理可能な形に変換するアナログ-デジタル変換器によって、位置信号がサンプリングされる。ついで、デジタル情報がデジタルフィルタを通過し、既定値にしたがってスピンドル26の位置を修正または調整するのに必要とされる電流（または電圧）の量に比例した出力を出す。要求された電流は、磁気軸受クラスタ58に供給された実際の電流と比較されるが、その電流はまた送られ、選択されて、アナログ-デジタル変換器によってサンプリングされる。実際の電流および要求された電流間の誤差は、増幅器に送信されるパルス幅変調信号を特徴づけるのに使用される。この情報は、ついで、増幅器に送信されるパルス幅変調波形を発生するパルス幅変調器に送信される。同じように、Y軸制御装置88は、Y座標検出器80、80'、84、84'から複数の入力信号を受け、第2の磁気軸受クラスタ60への出力を介して複数の修正処置をする働きをする。

#### 【0024】

X軸制御装置86およびY軸制御装置88は、A級チューニング(Class A tuning)、またはB級チューニング(Class B tuning)のどちらにも設計可能である。B級チューニングでは、X軸制御装置86によって各X座標固定子62、62'、66、66'に送られた電流供給は、それぞれの対向する固定子間で非線形に比例して増加して変動する。B級チューニングのこの方法は、軌道Bの形状の生成の自由度をより高めるのに有用であり、また、軸受の中心から離れて大きく動くときに、スピンドル26の剛性および安定性を制御するのに役立つ。

#### 【0025】

スピンドル26をより強く制御するために、スラスト軸受制御装置89が選択的に構成可能である。スラスト軸受制御装置89は、上述のように、軸方向の位置検出器（図示せず）からの入力を受け、磁気スラスト軸受52に修正出力を出す。この場合、図3に示すように、ラジアル軸受62、64、66、68と一緒に磁気スラスト軸受52を意図的に作動するように、スラスト軸受制御装置89がX軸制御装置58およびY軸制御装置60に伝達可能である。あるいは、単一端末から軸受すべてを制御する集中化した軸受制御装置の実施形態において、ラジアル軸受およびスラスト軸受をこのように調整して制御することができる。

#### 【0026】

次に図4を参照する。軌道Bを中心として軸心Aが動くときの成形工具32の動きを示す。示される成形工具32は中実であり、軸受軸心Zからずれているスピンドルの軸心Aを備える。切れ刃34が加工物24の非円形孔22と接触する点によって、評価の基準が定まる。軸受軸心Zから切れ刃34まで引かれる線は、形状半径90を備える。軸受軸心Zから軸心Aまで引かれる線は、軌道半径92を備える。軸心Aから切れ刃34まで引か

10

20

30

40

50

れる線は、工具半径 94 を備える。本発明の好ましい実施形態において、傾斜角、すなわち、軌道 B 上の接線 96 に対する工具半径 94 の角度は一定のままであり、成形操作全体を通して直角であるのが好ましい。工具半径 94 はまた、孔 22 との接点で引かれる接線 98 に対して直角のままである。図 4 において仮想的に示すように、軌道 B の周囲の軸心 A の動きの全体を通して、この傾斜角は、一定の (consistent) ままである。複数の入力および複数の出力 (multiple input - multiple output) を制御するストラテジーを使用して、第 1 の磁気軸受クラスタ 58 および磁気軸受クラスタ 60 を調整して制御することは、このように保たれる連続的な傾斜角を達成するのに必要となる。形状半径 90 および軌道半径 92 の間の角度 100 が軌道のサイクル全体にわたって正および負の数値間を変動する場合であっても、この連続的な、好ましくは直角の傾斜角が保たれる。X 軸制御装置 86 および Y 軸制御装置 88 を用いて、それぞれ第 1 の磁気軸受クラスタ 58 および第 2 の磁気軸受クラスタ 60 を制御することによって、切れ刃 34 および軌道 B 間の連続した傾斜角を保つことができ、そのため、非円形の孔 22 が高精度に成形可能となる。また、軌道 B に沿ってあらゆる点で傾斜角を保つことによって、アセンブリ 20 がより高速の回転速度で、かつより高いスピンドル安定性で作動することができるのは、成形工具 32 からの反力がほとんど変動しないからである。もちろん、最適な傾斜角が 90° 以外のものであってもよく、成形サイクル全体にわたって最適角度を保つように、制御装置 86 および 86' がプログラムされることができる。

10

**【0027】**

スピンドル 26 の角位置、およびその結果として軸心 A に対する成形工具 32 の位置を決定するための、ロータリエンコーダ 102 の形の回転位置検出器が、図 3 において概略的に図示される。ロータリエンコーダ 102 は、X 軸制御装置 86 および Y 軸制御装置 88 と通信し、第 1 の磁気軸受クラスタ 58 および第 2 の磁気軸受クラスタ 60 を調整することが可能となる。成形工具 32 が軸心 A を中心として 1 回転を終えると同時に、スピンドル 26 の成形端部 30 が軌道 B の周囲を 1 周し終わるような方法で、これらの制御装置 86 および 88 は、成形工具 32 を制御するのが好ましい。このことによって、軌道 B を完全に掃引することにより最適に傾斜角を保つことが容易となる。しかしながら、複雑な孔 22 の形状のために、スピンドル 26 が移動する間に孔 22 の表面から成形工具 32 を持ち上げる必要があり得る。したがって、複雑な孔の形状によって、軌道 B を中心とする 1 周ごとに対して、成形工具 32 を複数回転させる必要があり得る。

20

30

**【0028】**

軸方向の動作制御装置は、図 1 において 104 で概略的に示される。軸方向動作制御器 104 は、概して軸心 A と平行の方向に成形工具 32 を加工物 24 に移動させると同時に、成形工具 32 が非円形の孔 22 を形成する。同時に、制御装置 86 および 88 が、磁気軸受クラスタ 58 および 60 を作動させ、その結果、加工物 24 の孔 22 の軸方向の軌道を寸法的に変動する。軸方向動作制御装置 104 は、固定された加工物 24 を保持しスピンドルアセンブリ 20 を移動させることにより作動可能であり、または、図 1 に示すように、固定されたスピンドルアセンブリ 20 に対して移動する加工物保持器 106 を含んでもよい。あるいは、両方の構成部品は、同時に移動可能である。

**【0029】**

軸、または連続的に変動する軌道 B に結びつけられる軸方向の動きを組合せることによって、図 5 に示されるような幾何学的に複雑な形状を作成することが可能となる。この場合、孔 22 は加工物 24 の開口部で概して楕円断面を有して示され、ここにおいて楕円部は概して垂直の長軸 108 を有する。孔 22 が加工物 24 の中により深く延びるにつれて、楕円部の寸法は減少しつつ、長軸 108 が時計回り方向に回転する。このことは、中間点 110 での仮想の楕円横断面図によって示される。孔 22 が続いて加工物 24 の中により深く延びるにつれて、孔 22 の形状が拡大する一方で、終端点 112 に達するまで長軸 108 が続いて時計回りに回転し、ここでは楕円形状の長軸 108 が次には概して水平となる。加工物 24 の孔 22 の複雑であり寸法的に変動する軸方向の軌道は、図 5 に示される構成に限定されない。たとえば、図 6 は、2 つのローブのある (2-lobed) カム

40

50

状の形状をした非楕円形状の不規則な孔 2 2 ' を示す。あるいは、図 7 は、孔 2 2 ' ' の複数のローブのある ( multi - lobed ) 形状を示す。当業者には明らかなように、主題のスピンダルアセンブリ 2 0 と制御装置 8 6 および 8 8 の複数の入力と複数の出力を制御するストラテジーとを使用して、あらゆる幾何学的に考え得る形状をほとんど作成することができる。

【 0 0 3 0 】

図 8 および図 9 は、2 つ以上の切れ刃 3 4 ' を使用可能な成形工具 3 2 ' の様々な代替装置を示す。あるいは、切れ刃 3 4 ' ' は、研削ディスクまたは研削ホイールの形 ( 図示せず ) で連続的に成形端部 3 0 ' ' の周囲に延びることができる。

【 0 0 3 1 】

図 1 0 および図 1 1 は、理論上の円 1 1 4 および 1 1 6 による末端スピンドル 2 6 の配向の可能性を示し、それぞれ第 1 の磁気軸受クラスタ 5 8 および第 2 の磁気軸受クラスタ 6 0 内におけるスピンドル 2 6 の第 1 の領域 7 2 および第 2 の領域 7 6 の最大限の可動域を示す。切れ刃 3 4 の切断半径は、仮想の理論上の円 1 1 8 によって示される。明らかなように、記載される可能な運動範囲内で作動する制御装置 8 6 および 8 8 によって配置される複数の入力と複数の出力を制御するストラテジーによって、連続的にアキシアル方向に変動し得る無限の種類孔 2 2 の形状が使用可能となる。かつ、この制御ストラテジーは、高速の製造作業に容易に適応可能である。たとえば、高速の製造作業において、スピンドル 2 6 が 1 0 , 0 0 0 回転数 / 分よりも高速に駆動する。

【 0 0 3 2 】

この発明の例示的实施形態がより従来の意味において孔の形成と関連して記載されたにもかかわらず、当業者には明らかなように、これらの新規な技術は外表面に実行することができる。したがって、おす部の数に成形工具 3 4 を直接変形するだけで、非円形の表面を成形することが可能である。それゆえに、本発明は、寸法的に変動する軌道を備える孔および非丸形の形状を必要とする孔およびピン状の特徴部に等しい効果で使用可能な、表面成形の方法および装置を意図するものである。

【 0 0 3 3 】

明らかに、上述の教示を考慮して、本発明の数多くの変形および変更を行うことは可能である。それゆえに、添付の請求の範囲を逸脱することなく、本発明は、特にここに記載したもの以外でも実施可能であることが理解されるであろう。

【 0 0 3 4 】

本発明は、請求項によって定められる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 5 】

【 図 1 】 主題発明によるスピンドルアセンブリ、および、孔を形成する操作のために用意されたピストン加工物の概略正面図である。

【 図 2 】 本発明による磁気浮上型高速スピンドルアセンブリの概略横断面図である。

【 図 3 】 磁石固定子のためのそれぞれのラジアル軸受制御装置と、それぞれの X 座標面および Y 座標面における位置検出器とを備える、第 1 および第 2 の磁気軸受クラスタの間を磁氣的に浮上する、主題発明によるスピンドルを示す概略図である。

【 図 4 】 軌道の周りの様々な位置を仮想的に示す、成形工具を用いて加工物に形成される非円形の孔の拡大横断面図である。

【 図 5 】 連続的に軸方向に変動する軌道が成形工具によって作製される、加工物の典型的な孔のジオメトリーを示す概略斜視図である。

【 図 6 】 2 つの不規則なローブを有する別の例示的な非円形の孔のジオメトリーを示す。

【 図 7 】 複数のローブを有するさらに別の非円形の孔のジオメトリーをさらに示す、図 6 に類似した図である。

【 図 8 】 2 つの対向する切れ刃を含む、代替成形工具の構成の端面図である。

【 図 9 】 複数の切れ刃を含む成形工具のさらに別の代替実施形態をさらに示す、図 8 に類似した端面図である。

10

20

30

40

50

【図10】スピンドルの軸心がその軌道全体にわたって平行なままである状況の、第1および第2の磁気軸受クラスタ内における上側および下側の軌道の範囲を示す、スピンドルアセンブリの概略図である。

【図11】反対側の末端の限度で第1および第2の磁気軸受クラスタによってスピンドルが制御される場合の、軌道の末端部の範囲を示す、図10に類似した図である。

【図1】

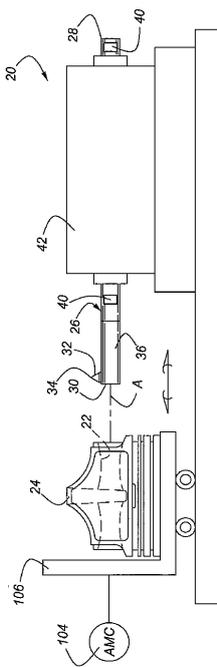


Figure 1

【図2】

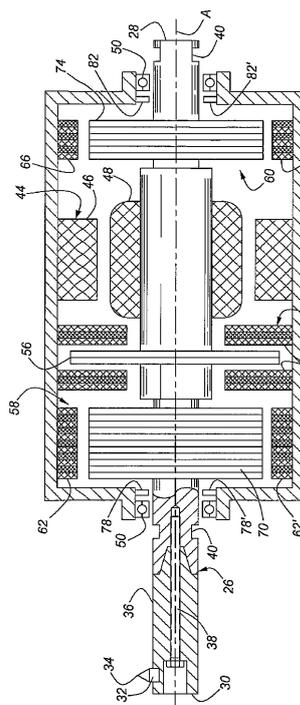


Figure 2

【 図 3 】

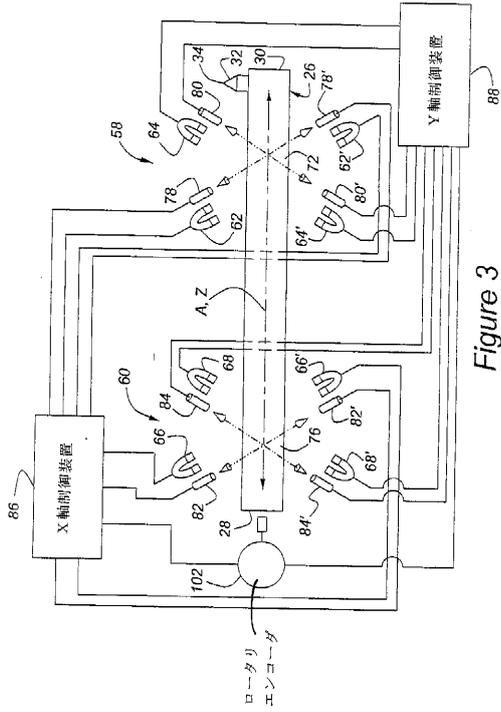


Figure 3

【 図 4 】

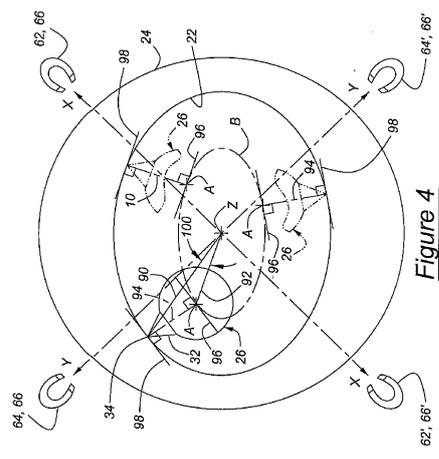


Figure 4

【 図 5 】

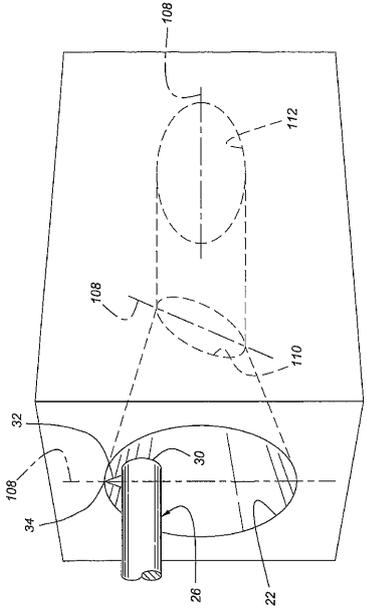


Figure 5

【 図 6 】

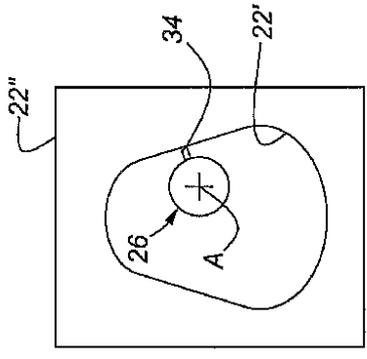


Figure 6

【 図 7 】

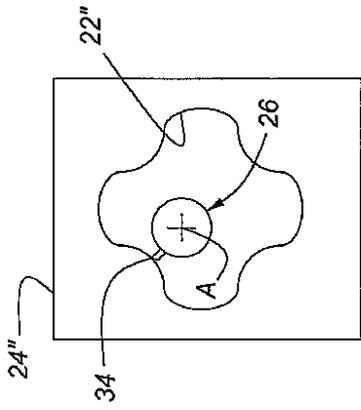


Figure 7

【 図 8 】

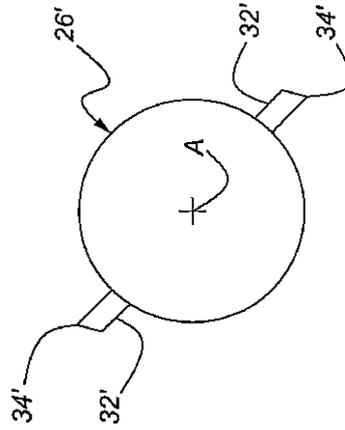


Figure 8

【 図 9 】

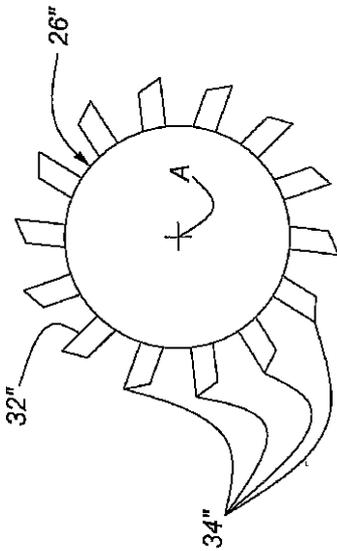


Figure 9

【 図 10 】

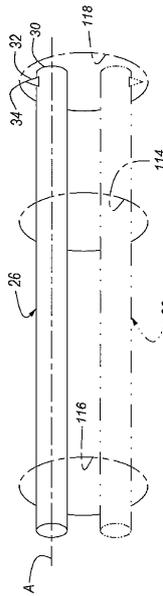


Figure 10

【 図 1 1 】

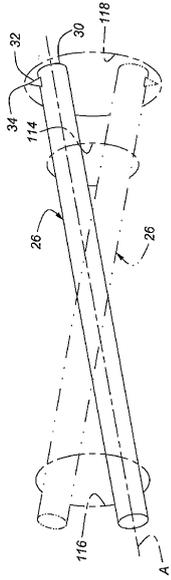


Figure 11

## 【 国際調査報告 】

60700260089



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US05/06193

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
IPC: B24B 05/00		
USPC: 409/231,186,193,135;408/147;82/1.11,1.2,1.3,1.4,1.5;310/90.5		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 409/231,186,193,135;408/147;82/1.11,1.2,1.3,1.4,1.5;310/90.5		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 61152304 A (Tsumaki) 11 July 1986 (11.07.1986) abstract and figures 1-7	1-74
X	US 4,180,946 A (Heijkenskjold et al.) 01 January 1980 (01.01.1980), entire document	1-12, 14-40, 43-54, 56-66, 68-74
Y	US 4,250,775 A (Jerue) et al. 17 February 1981 (17.02.1981), column 1, lines 20-27 and figures 1, 2, 9 and 10	13,41,42,55,67
A	US 4,612,833 A (Slee) 23 September 1986 (23.09.1986)	1-74
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:		
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E"	earlier application or patent published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"V" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	
Date of the actual completion of the international search 19 December 2006 (19.12.2006)		Date of mailing of the international search report 05 FEB 2007
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (571) 273-3201		Authorized officer Monica Carter Telephone No. 571-272-4475

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

07. 5. 2007

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(74)代理人 100109162

弁理士 酒井 將行

(72)発明者 ビスチョフ, ケネス・アール

アメリカ合衆国、4 4 1 3 8 オハイオ州、オムステッド・フォールズ、ファーンウッド・ドライブ、9 6 5 1

(72)発明者 ズデブリック, ウィリアム・ジェイ

アメリカ合衆国、4 8 1 0 3 ミシガン州、アナーバー、ドーンダック・ドライブ、6 9 9

Fターム(参考) 3C045 FD16