(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3632489号
(P3632489)
(45)発行日　平成17年3月23日(2005.3.23)　(24)登録日　平成17年1月7日(2005.1.7)

(51)Int.Cl.[7]　F I
B24B　5/06　B24B　5/06

請求項の数 4　(全 9 頁)

(21)出願番号　特願平11-54845
(22)出願日　平成11年3月2日(1999.3.2)
(65)公開番号　特開2000-246605(P2000-246605A)
(43)公開日　平成12年9月12日(2000.9.12)
審査請求日　平成14年11月26日(2002.11.26)

(73)特許権者　000004204
日本精工株式会社
東京都品川区大崎１丁目６番３号
(74)代理人　100081260
弁理士　染川　利吉
(72)発明者　鎌村　有宏
神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目５番５０号
日本精工株式会社内
(72)発明者　高橋　正紀
神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目５番５０号
日本精工株式会社内
(72)発明者　水野　浩樹
神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目５番５０号
日本精工株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】内面研削方法および内面研削盤

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

円筒状ワークを軸線方向にはさむように砥石と測定子を配置し、インプロセス内径寸法測定を前記砥石と前記測定子の同期した高速オシレーションにより間歇的に行って母線形状が直線のワーク内径面を研削する内面研削方法において、前記ワークに向って前進後退動作する砥石テーブルの移動方向に対して、該砥石テーブルの後退時の前記砥石と前記ワークとの接触部位における砥石外径が減少するように先端が小径となった円錐台形状に砥石周面を傾斜状（テーパ状）にツルーイングし、前記砥石テーブルをその移動方向にオシレーションさせることを特徴とする内面研削方法。

【請求項２】

研削面の母線が直線状となっているワークの内面を研削する内面研削盤において、砥石軸線方向にオシレーション動作する砥石テーブルと、該砥石テーブル上に保持され、かつ、前記砥石軸線方向に対して先端が小径となった円錐台形状にツルーイングされた砥石を先端に有する砥石スピンドル装置と、前記砥石軸線方向に対し直角方向に移動するクロススライドテーブルと、該クロススライドテーブル上に保持され、かつ、砥石周面をトラバースツルーイングする砥石ツルーイング装置と、前記クロススライドテーブル上に保持され、かつ、ワーク内径面が砥石周面に接触するように前記ワークを前記砥石テーブルの移動方向に対して傾斜可能に支持するワーク支持装置と、該ワーク支持装置上に保持され、かつ、前記ワークとともに傾斜可能なインプロセス寸法測定装置と、前記砥石テーブルの移動方向に対して砥石周面をテーパ状にツルーイングするように前記砥石テーブルの前後進

動作および前記クロススライドテーブルの送り動作を制御する制御装置とを有することを特徴とする内面研削盤。
【請求項３】
前記ワークの内径面と前記砥石の周面が線接触することとなる方向に、前記ワークの軸線が前記砥石テーブルの移動方向に対して角度θ′だけ傾斜するように該ワークを傾斜支持することを特徴とする請求項第１項に記載した内面研削方法。
【請求項４】
前記砥石軸線方向にオシレーション動作する砥石の側方に配置され、かつ、砥石テーブル移動方向に対して直交方向移動可能に保持されたツルアと、前記砥石周面を先端が小径となった円錐台形状にツルーイングするように前記ツルアを前記砥石周面に接触させながら該ツルアの前記直交方向移動と前記砥石テーブルの移動とを同時制御するＮＣコントローラおよびサーボモータとを有することを特徴とする請求項第２項に記載した内面研削盤。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術の分野】
本発明は、母線形状が直線のワークに対して砥石をオシレーションしつつワーク内面の研削加工を行う内面研削方法およびこの方法を実施するのに有用な内面研削盤に関する。
【０００２】
【従来の技術】
ころがり軸受内輪等高い精度を要する円筒状小物部品（ワーク）の内面研削では、間欠インプロセス測定を行いつつ砥石を砥石テーブルの軸線に沿って前記ワーク内へ前後進（オシレーション）させて研削する。通常は前記ワークを軸線方向にはさむように砥石とインプロセスゲージを配置し、両者を連動させて同方向にオシレーションさせ、砥石がワークから後退したときにインプロセスゲージを前進、つまり前記ワークに挿入して定寸測定を行う。
【０００３】
実際の研削作業中の砥石スピンドルは法線研削力によってたわみを生じ、砥石オシレーションの後退時における研削幅の減少の割には法線研削力は小さくならず、このときの単位研削幅当りの法線研削力が過大となるので、砥石後退時に円柱状あるいは円筒状砥石の先端稜部が前記ワークの研削面を局部的に削り込む現象が起る。上述の如く砥石はその先端稜部で前記ワークに急に削り込むこととなるので、砥石の局部的摩耗、砥石寿命の低下とともにワーク母線形状の悪化をもたらす。
【０００４】
このため本発明に係る出願人は先に、砥石のツルーイングをつかさどる砥石テーブルの前後進移動方向に対して傾斜した方向に砥石をオシレーションさせるようにした砥石オシレーション方法を開示し、これを実現するために図６に示す内面研削盤を開発した（特開平５－２８５８０８号公報）。この構造を簡単に説明すれば、砥石テーブル７上に枢軸１５によって旋回可能に砥石オシレーションユニット６を枢支し、該砥石オシレーションユニット６上に作動台１６を介して旋回可能に砥石スピンドル装置５を搭載し、砥石オシレーションユニット６を砥石テーブル７の移動方向に対して角度θだけ旋回させるとともに、前記作動台１６を同じ量だけ該オシレーションユニット６に対して逆方向に旋回させて砥石軸をワーク軸線に平行に保持し、この状態で砥石オシレーションユニット６により作動台１６をオシレーション動作させる構造としている。なお、砥石１のツルーイングは砥石テーブル７の砥石軸線方向の移動とツルア８の回転によって行う。２は円筒状ワーク、３はインプロセス測定装置９のインプロセス測定ゲージ、１４は作動台１６上に立設した砥石スピンドル装置５の枢軸である。
【０００５】
【発明が解決しようとする課題】
上述した特開平５－２８５８０８号公報に記載された内面研削における砥石オシレーション方法および内面研削盤は、オシレーション後退時に砥石をワークから離れる方向に、砥

石軸線に対して傾斜したオシレーション角度θで後退させるので、砥石後退時の砥石スピンドルのたわみ量が減少し、単位研削幅当りの法線研削力が小さくなり、前記オシレーション角度を適切に選定することにより砥石最後退時の単位研削幅当りの法線研削力を砥石前進時の法線研削力と等しくできる。したがって砥石後退位置での急な削り込みが防止され、研削面に段差のない内面研削が達成できるので、この点ではきわめて有用な方法であるが、砥石のツルーイングをつかさどる砥石テーブルの移動方向（砥石軸線方向）に対して傾斜した方向に砥石スピンドルをオシレーションさせる構造のため、砥石テーブルの他に前記砥石テーブル上に旋回可能に枢支されてオシレーション動作する作動台を備えた砥石オシレーションユニット等を必要とし、機構が増加かつ複雑化し、全体として高価になるという問題があった。

【０００６】

本発明は、上述した砥石オシレーションユニットやオシレーション作動台等を不要とし、簡素かつ安価な構造で砥石が後退した時の単位研削幅当りの法線研削力が過大となるのを防ぎ、ワーク形状の向上および砥石の寿命低下の防止を図り得る内面研削方法および内面研削盤を提供することにある。

【０００７】

【課題を解決するための手段】

本発明による研削面の母線が直線状のワークの内面を研削する内面研削方法は、インプロセス内径寸法測定を砥石と測定子の同期した高速オシレーションにより間歇的に行って母線形状が直線のワーク内径面を研削する内面研削方法において、ワークに向って前進後退動作する砥石テーブルの移動方向に対して、該砥石テーブルの後退時の法線研削力が減少するように砥石周面を傾斜状（テーパ状）にツルーイングし、前記ワークを前記砥石テーブルの移動方向に対して予め傾斜状態に支持し、前記砥石テーブルをその移動方向にオシレーションさせるようにしたものである。

【０００８】

また本発明による研削面の母線が直線状となっているワークの内面を研削する内面研削盤は、砥石軸線方向にオシレーション動作する砥石テーブルと、該砥石テーブル上に保持され、かつ、前記砥石軸線方向に対して先端が小径となった円錐台形状にツルーイングされた砥石を先端に有する砥石スピンドル装置と、前記砥石軸線方向に対し直角方向に移動するクロススライドテーブルと、該クロススライドテーブル上に保持され、かつ、砥石周面をトラバースツルーイングする砥石ツルーイング装置と、前記クロススライドテーブル上に保持され、かつ、ワーク内径面が砥石周面に接触するように前記ワークを前記砥石テーブルの移動方向に対して傾斜可能に支持するワーク支持装置と、該ワーク支持装置上に保持され、かつ、前記ワークとともに傾斜可能なインプロセス寸法測定装置と、前記砥石テーブルの移動方向に対して砥石周面をテーパ状にツルーイングするように前記砥石テーブルの前後進動作および前記クロススライドテーブルの送り動作を制御する制御装置とを有している。

【０００９】

【作用】

砥石のツルーイングは砥石テーブルとツルアとの相対移動で行われるが、請求項１に係る発明によれば、砥石テーブルによるオシレーション方向に対して砥石表面がテーパ状に傾斜してツルーイングされているので、オシレーション後退時に砥石はワークから離れる方向に後退する。また請求項４に係る発明によれば、円筒度が必要なワークは、傾斜してツルーイングされた砥石表面の方向に研削時の砥石軸たわみを加えた場合において適正な円筒度が得られる方向に、予め傾斜して支持されている。このため、砥石後退時の砥石スピンドルのたわみ量が減少し、単位研削幅当りの法線研削力が小さくなる。この砥石ツルーイング角度を適切に選定することにより、砥石最後退時の単位幅当りの法線研削力が従来より小さくなる。砥石ツルーイング角度は砥石テーブルを移動させるサーボモータと前記ツルアを前記砥石テーブルに対して直交方向に移動させるサーボモータとをＮＣ機能付きコントローラおよび増幅器によって同時制御することにより行われる。また、請求項２お

よび４の発明に係る内面研削盤は、砥石の側方にツルアを配置した既存の研削盤に砥石テーブルとツルアの相対移動駆動装置を同時制御する制御装置（前記ＮＣ機能付きコントローラおよび増幅器）を付加するなどの変更改良で実現できる。

【００１０】

【発明の実施の形態】

次に、本発明の実施例について図面を参照して説明する。図１は本発明による砥石ツルーイング角度θの選定を説明するためのワーク２と砥石１の位置関係を拡大して示したものである。同図（ａ）は無負荷状態での砥石１のオシレーション動作状態を示し、同図（ｂ）は加工時負荷状態でのワークと砥石のオシレーション動作状態の縦断面図を示したものである。本発明においては前述したように砥石スピンドル装置の先端に設けられる砥石の周面形状を、砥石軸線に対して、砥石後退時に砥石スピンドル４のたわみが開放されて小さくなる方向（砥石軸線に対し角度θ）に傾斜させた形状にしてある。砥石後退時の砥石スピンドルのたわみ量δ_bは、法線研削力を受けて傾きをもったワーク加工面２ａと新しく設定した砥石スピンドル装置の砥石周面の傾きとの角度差から生じるたわみの開放量によって決まる。ここで砥石後退時の単位研削幅当りの法線研削力は前述の砥石ツルーイング角度θの大きさにより調整可能である。この角度θは、後述する数式モデルにより砥石最前進時の法線研削力を変数とする関数で表わすことが可能となる。

【００１１】

本発明による砥石ツルーイング角度θを解析するに際し、以下の仮定を行う。

（イ）単純化のためワークは内面に段の付いていない状態から研削を行う。

（ロ）砥石が前進位置から後退位置まで移動する間にワークが削られる量は、加工時の砥石スピンドルのたわみ量に比べて非常に小さいものとする。

（ハ）砥石がワークに削り込む直前の瞬間を取り上げて、このときの砥石スピンドルのたわみ量より法線研削力を求め、砥石がいかにワークに削り込んでいくかを解析する。

（ニ）砥石面および研削面は研削力による弾性変形を生じない、つまり砥石とワークの接線は常に直線で表わされる。

【００１２】

図１に示す記号の説明は以下のとおりである。

Ａ；砥石オシレーションストローク、

Ａ′；砥石オシレーション時の砥石面に平行にとった砥石移動長さ、

F_f，F_b；法線研削力、

Ｌ；砥石の軸方向長さ、

W_f，W_b；研削幅、

δ_f，δ_b；砥石面中央部のたわみ量、

ξ_f，ξ_b；法線力による砥石面の傾き角、

θ；砥石ツルーイング角度（砥石軸線に対する砥石周面の母線の角度）、

ここで添字ｆ，ｂは各々砥石前進時（ｆ）および砥石後退時（ｂ）を示す。また法線方向の機械系たわみ剛性K_mと砥石面の法線研削力に対する砥石面傾斜感度S_cは以下のように定義される。図２において、研削中の砥石スピンドル４は砥石面中央部に法線方向の力を受けてたわむ。このとき法線力Ｆと砥石面中央部に対称な２点（幅Ｂ）での法線力方向の変位量δ_1，δ_2を測定すれば、

$K_m = 2F/(\delta_1 + \delta_2)$

$S_c = (\delta_1 - \delta_2)/F \cdot B$

【００１３】

図１においてまず、砥石ツルーイング角度θとした場合の砥石スピンドルたわみ量の変化を求める。図１の幾何学的寸法関係から、

$A\sin\theta = (\delta_f - \delta_b) - \{(A' - L/2)\sin\xi_f + (L/2)\sin\xi_b\}$ ・・・（１）

このとき法線研削力により傾く砥石面の角度はそれぞれ、

$\tan\xi_f = S_c \cdot F_f = S_c \cdot K_m \cdot \delta_f$ ・・・（２）

$\tan\xi_b = S_c \cdot F_b = S_c \cdot K_m \cdot \delta_b$ ・・・（３）
次に、従来みられていた砥石後退時の急な削り込みをなくすため、砥石後退時の単位研削幅当り法線研削力を砥石前進時のそれと等しくする場合を例にとる。まず砥石前進時および砥石後退時の単位研削幅当りの法線研削力P_f，P_bは各々、
$P_f = F_f / W_f = K_m \delta_f / W_f$ ・・・（４）
$P_b = F_b / W_f = K_m \delta_b / W_b$ ・・・（５）
【００１４】
砥石後退時の研削幅W_bは幾何学的寸法から次のようになる。

$$W_b = (W_f - A') / \cos(\xi_f - \xi_b)$$

$$= \frac{(W_f - A')\sqrt{(1+S_c^2 K_m^2 \delta_f^2)(1+S_c^2 K_m^2 \delta_b^2)}}{1+S_c^2 K_m^2 \delta_f \delta_b}$$

$$\fallingdotseq W_f - A' \cdots (6)$$

【００１５】
式（１）と式（４），（５）より、砥石前進時および後退時における単位研削幅当り法線研削力を等しくする時の砥石ツルーイング角度θが求められる。即ち$P_f = P_b$より、
$\delta_b = \delta_f (1 - A'/W_f)$ ・・・（７）
式（２）より、
$\sin\xi_f = S_c K_m \delta_f / \sqrt{(1 + S_c^2 K_m^2 \delta_f^2)}$ ・・・（８）
$S_c^2 K_m^2 \delta_f \ll 1$ ・・・（９）
式（９）を考慮すれば式（８）は、
$\sin\xi_f \fallingdotseq S_c K_m \delta_f$ ・・・（１０）
同様に、
$\sin\xi_b \fallingdotseq S_c K_m \delta_b$ ・・・（１１）
式（７），（１０），（１１）を式（１）に代入すれば、

$$A\sin\theta = \delta_f A'/W_f - \{(A' - L/2) + (L/2)(1 - A'/W_f)\delta_f S_c K_m\}$$

$$= (\delta_f A'/W_f)\{1 - S_c K_m (W_f - L/2)\} \cdots (12)$$

ここでA＝A´と置けるので、無負荷状態の砥石ツルーイング角度θは小であるため、

$$\tan\theta = \sin\theta / \sqrt{(1 - \sin^2\theta)}$$

$$\fallingdotseq \sin\theta \cdots (13)$$

式（１２），（１３）より結局砥石ツルーイング角度θは、
$\tan\theta = (F_f / W_f)\{1/K_m - S_c (W_f - L/2)\}$ ・・（１４）
【００１６】
式（１４）からも分るように砥石オシレーション時の単位研削幅当りの法線研削力を等しくした場合の砥石ツルーイング角度θは、砥石前進端での法線研削力F_fを変数にもつ関数で表わされ、この法線研削力を検出することによって得られた砥石ツルーイング角度θでツルーイングされた砥石によりオシレーション研削を行う。スキップ研削中にこの法線研削力が大きく変化した場合とか砥石交換時などにはこれにあわせて砥石ツルーイング角度θを変更する。
【００１７】
次に、上述の内面研削方法を実施する場合のワーク内面研削盤およびその動作について図

３～図５を参照して説明する。研削盤の本体ベッド１５上に砥石テーブル７および該テーブル７の移動方向に軸線を持つ砥石スピンドル装置５が搭載され、該スピンドル装置５の砥石スピンドル（クイル）４の先端部に砥石１が装着されている。砥石テーブル７に対向するように、かつ、該砥石テーブル７の移動方向に対して直交する方向に移動可能なクロススライドテーブル１２が本体ベッド１５上に搭載されている。クロススライドテーブル１２上にはワーク２およびインプロセス寸法測定装置９を保持したワーク主軸台１３が載置されている。インプロセス寸法測定装置９のインプロセス寸法測定ゲージコンタクト３はワーク軸線と平行にワーク２内に出入して該ワークの内径面を測定するようになっている。主軸台１３は、図示しない垂直な枢軸を介してクロススライドテーブル１２に対して旋回可能である。

【００１８】

クロススライドテーブル１２上には砥石軸線位置より後方に寄ってツルーイング装置２０が設けられている。ツルーイング装置２０は高速回転する円盤状のツルア８が軸支されており、ツルア８が砥石周面に接触して回転し、同時に砥石１が軸線まわりに回転しつつ砥石テーブル７の作動で軸線方向に移動することにより、砥石１の周面がツルーイングされる。このときクロススライドテーブル１２はクロススライドテーブル用サーボモータ１１の駆動により、砥石１とツルア８が接触したまま砥石テーブル７と直交方向に移動し、また砥石テーブル７も砥石テーブル用サーボモータ１０の駆動により砥石１とともに砥石軸線方向に移動し、これら両テーブル１２，７の同時制御によって砥石１の周面はその軸線に対して傾斜状態にツルーイングされる。具体的には図示の状態でツルア８が砥石先端から後端へとツルーイングしていく場合、クロススライドテーブル１２が砥石先端のツルーイング開始から後退し、これと連動して砥石テーブル７が前進移動し、砥石１は図示の如く先端が小径となった円錐台形状にツルーイングされ、そのときの砥石母線と砥石軸線とのなす角が砥石ツルーイング角度θとなる。両サーボモータ１１，１０の同時制御を行うためのＮＣ機能付きコントローラ１７および増幅器１８，１９が設けられる。

【００１９】

砥石ツルーイング角度θを設定するには、図１に関して説明したように、式（１４）従って行われる。式（１４）は法線研削力F_fを変数とする関数であり、このために砥石スピンドル装置５と砥石テーブル７との間に４個の法線研削力を検出する圧電形フォースゲージが介在され、各フォースゲージの和により、研削動作時の砥石１にかかる法線研削力が検出される（なお法線研削力は予め測定しておいてもよい）。

【００２０】

このように角度θでツルーイングされた砥石１でワーク２の内径面のオシレーション研削が砥石テーブル７のオシレーション動作により行われる。この際、インプロセス寸法測定装置９と共働して間歇インプロセス寸法測定によるオシレーション研削がなされる。ここでワーク２は、砥石表面の母線方向と研削時のクイルベンディング量を考慮して所望の円筒度が得られるように、ワーク主軸台１３の枢軸回りの旋回により適正な方向に、具体的にはワーク２の内径面と砥石周面が線接触することとなる方向に角度θ′で傾斜支持されている。主軸台１３に保持されたインプロセス寸法測定装置９も同角度で傾斜している。なお、砥石交換時などこの法線研削力が大きく変化した場合などには、これに合せて砥石ツルーイング角度θを変更してもよく、法線研削力F_fを個別に測定することは必ずしも必要でない。また上記の実施例ではワーク２およびインプロセス寸法測定装置９を保持した主軸台１３がクロススライドテーブル１２に対して水平面内で旋回して該ワークが傾斜するように構成したが、本発明はこの形態に限定されるものでなく、例えばワーク２の直径方向上側あるいは下側のワーク内径面位置で研削する場合には、これに応じてワーク２がインプロセス寸法測定装置９とともに砥石スピンドル装置５の軸線を含む鉛直面内で適正な角度傾斜するようにしてもよい。

【００２１】

図４はオシレーション研削において砥石最前進時の砥石１とワーク２の関係を示した図であり、図５は砥石最後退時の砥石１とワーク２の関係を示した図である。ワーク２が角度

θで傾斜していることにより、砥石最前進時にはワーク内径面は母線が傾斜した砥石１の周面に全面当りで研削され、砥石１のオシレーション後退時には砥石１の母線傾斜構造により砥石１はワーク２から離れる方向に後退させられる。したがって、この時のクイルベンディング量は減少し、法線研削力が減少するので、従来のようにオシレーション後退とときに砥石先端稜部での切込みが過大となってワーク内径面の母線形状を乱すことがなくなる。また砥石先端部が過負荷を受けて砥石形状が崩れ、砥石寿命の低下をきたすことがなくなる。

【００２２】

【発明の効果】

以上説明したように請求項１に係る本発明の内面研削方法によれば、砥石オシレーション動作の砥石後退時に砥石がワークから離れる方向に傾斜させた形状にツルーイングした砥石を用いてオシレーション研削を行うので、砥石後退時のクイルベンディング量が小さくなり、単位研削幅当りの法線研削力が過大となることが防止でき、ワークの形状精度の向上および砥石寿命の延長が図られる。砥石を砥石テーブル移動方向に対して傾斜した方向にオシレーションさせる方法では、そのための砥石オシレーションユニットやその上部に搭載する作動台などが砥石テーブル以外に必要となり、砥石オシレーションユニットの旋回、クランプ操作および該ユニットに対する前記作動台の逆方向旋回、クランプなどの操作が必要であったが、請求項２に係る本発明の内面研削盤では、研削盤自体はテーブルの制御装置を付加するなどの簡単な変更工事だけで既存の研削盤を利用でき、その操作もきわめて簡単であり、信頼性の高い内面研削方法および高精度内面研削盤が得られる。また請求項４の構成による内面研削盤では、砥石のツルーイングも砥石テーブルと、ツルーイング装置を載置したクロススライドテーブルの同時ＮＣ制御だけで砥石を傾斜状にツルーイングできる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明による砥石ツルーイング角度θの選定を説明するためのワークと砥石の位置関係を拡大して示した図である。

【図２】研削中の砥石スピンドルのたわみ状態を示した模式図である。

【図３】本発明の実施例による内面研削盤の概略的な平面図である。

【図４】間欠インプロセス定寸測定研削における砥石オシレーション前進端の状態を示す断面図である。

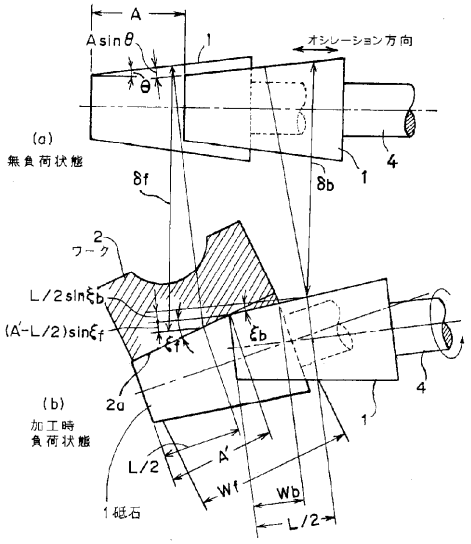
【図５】間欠インプロセス定寸測定研削における砥石オシレーション後退端の状態を示す断面図である。

【図６】傾斜方向に砥石オシレーションさせる従来の内面研削盤の部分的な平面図である。

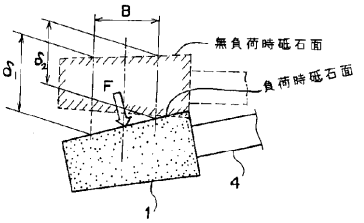
【符号の説明】

１　砥石
２　ワーク
５　砥石スピンドル装置
７　砥石テーブル
８　ツルア
９　インプロセス寸法測定装置
１０，１１　サーボモータ
１２　クロススライドテーブル
１３　ワーク主軸台
１７　ＮＣ機能付きコントローラ
θ　　砥石ツルーイング角度

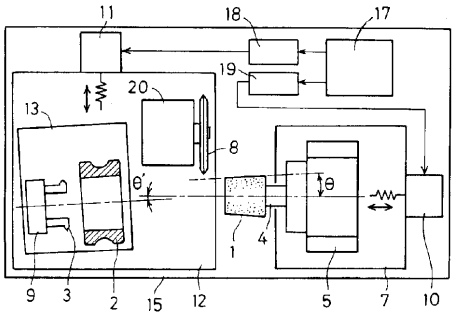
【図１】



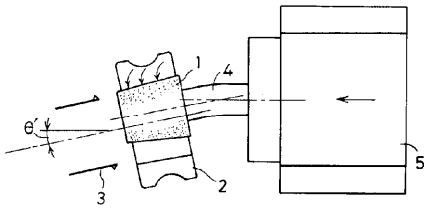
【図２】



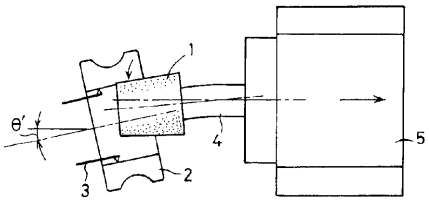
【図３】



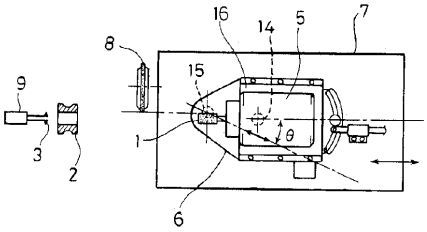
【図４】



【図５】



【図６】



フロントページの続き

審査官　齋藤　健児

(56)参考文献　特開平０７－１５６０４７（ＪＰ，Ａ）
特表平０５－５０３８８３（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
B24B 5/06
B24B 5/08
B24B 5/10
B24B 27/06