

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6089774号
(P6089774)

(45) 発行日 平成29年3月8日(2017.3.8)

(24) 登録日 平成29年2月17日(2017.2.17)

(51) Int.Cl.	F 1
B 2 4 B 49/02 (2006.01)	B 2 4 B 49/02 Z
B 2 4 B 5/42 (2006.01)	B 2 4 B 5/42

請求項の数 6 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2013-35348 (P2013-35348)	(73) 特許権者	000001247
(22) 出願日	平成25年2月26日 (2013.2.26)		株式会社ジェイテクト
(65) 公開番号	特開2014-161954 (P2014-161954A)		大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号
(43) 公開日	平成26年9月8日 (2014.9.8)	(74) 代理人	100089082
審査請求日	平成28年1月19日 (2016.1.19)		弁理士 小林 脩
		(74) 代理人	100130188
			弁理士 山本 喜一
		(72) 発明者	頼経 昌史
			大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号
			株式会社ジェイテクト内
		(72) 発明者	田野 誠
			大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号
			株式会社ジェイテクト内
		審査官	須中 栄治

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 研削盤および研削方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

砥石車を被加工物へ相対的に前進させて研削を行う研削盤であって、

前記被加工物は、回転中心から偏心した位置を中心とする偏心円筒部を有し、前記砥石車による研削部位は、前記偏心円筒部であり、

クーラント動圧 F_p および研削能率 Z の少なくとも一つが、前記被加工物の位相 に応じて異なることにより、研削の際に前記偏心円筒部が前記砥石車から受ける切込方向の押付力 F () が位相 に応じて異なり、その結果研削の際に前記偏心円筒部の撓み量 () が位相 に応じて異なる場合に、

前記被加工物の形状および研削条件に基づいて、研削の際の前記偏心円筒部の撓み量 () を取得する手段と、

前記撓み量 () に基づいて前記砥石車と前記偏心円筒部との相対的な指令位置に対する第一の補正量 D_1 () を算出する手段と、前記第一の補正量 D_1 () に基づいて前記砥石車と前記偏心円筒部との相対的な指令位置を補正する手段と、

を備える研削盤。

【請求項 2】

前記撓み量 () を取得する手段は、

前記被加工物の形状および前記研削条件に基づいて、研削点速度 v と切込量 d を乗算することにより理論的な研削能率 Z_{logical} () を算出する手段と、

10

20

研削の際に実際の研削能率 Z_{real} を取得する手段と、

研削の際に前記偏心円筒部が前記砥石車から受ける切込方向の実際の押付力 F_{real} を取得する手段と、

取得した前記実際の研削能率 Z_{real} と前記実際の押付力 F_{real} とに基づいて、前記実際の研削能率 Z_{real} と前記実際の押付力 F_{real} の関係を示す切れ味係数 を算出する手段と、

前記理論的な研削能率 $Z_{logical}$ () および前記切れ味係数 に基づいて、研削抵抗 F_n () を算出する手段と、

スパークアウト時における前記実際の押付力 F_{real} () をクーラント動圧 F_p () として取得する手段と、

前記研削抵抗 F_n () と前記クーラント動圧 F_p () の和である押付力算出値 F () を算出する手段と、

前記被加工物の剛性 K を取得する手段と、

前記押付力算出値 F () を剛性 K にて除算することにより、前記被加工物の位相 における撓み量 () を算出する手段と、

を備える、請求項 1 の研削盤。

【請求項 3】

さらに、前記被加工物の剛性 K が、前記被加工物の位相 に応じて異なることにより、研削の際に前記偏心円筒部が前記砥石車から受ける切込方向の押付力 F () が位相 に応じて異なり、その結果研削の際に前記偏心円筒部の撓み量 () が位相 に応じて異なる場合に、

前記剛性を取得する手段は、前記被加工物の剛性 K () を取得し、

前記撓み量 () を算出する手段は、前記押付力算出値 F () を剛性 K () にて除算することにより、前記被加工物の位相 における撓み量 () を算出する、

請求項 2 の研削盤。

【請求項 4】

荒研削の後に仕上研削を行う場合に、

前記補正する手段は、前記荒研削にて前記第一の補正量 D_1 () に基づいて補正し、前記仕上研削においては前記第一の補正量 D_1 () に基づく補正を行わない、請求項 1 ~ 3 の何れか一項の研削盤。

【請求項 5】

前記研削盤は、

研削後の前記偏心円筒部の真円度を計測する手段と、

前記真円度に基づいて前記砥石車と前記偏心円筒部との相対的な指令位置に対する第二の補正量 D_2 () を算出する手段と、

を備え、

前記補正する手段は、前記荒研削にて前記第一の補正量 D_1 () に加えて前記第二の補正量 D_2 () に基づいて補正し、前記仕上研削にて前記第二の補正量 D_2 () に基づいて補正する、

請求項 4 の研削盤。

【請求項 6】

砥石車を被加工物へ相対的に前進させて研削を行う研削方法であって、

前記被加工物は、回転中心から偏心した位置を中心とする偏心円筒部を有し、前記砥石車による研削部位は、前記偏心円筒部であり、

クーラント動圧 F_p および研削能率 Z の少なくとも一つが、前記被加工物の位相 に応じて異なることにより、研削の際に前記偏心円筒部が前記砥石車から受ける切込方向の押付力 F () が位相 に応じて異なり、その結果研削の際に前記偏心円筒部の撓み量 () が位相 に応じて異なる場合に、

前記被加工物の形状および研削条件に基づいて、研削の際の前記偏心円筒部の撓み量 () を取得する工程と、

10

20

30

40

50

前記撓み量 () に基づいて前記砥石車と前記偏心円筒部との相対的な指令位置に対する第一の補正量 D_1 () を算出する工程と、

前記第一の補正量 D_1 () に基づいて前記砥石車と前記偏心円筒部との相対的な指令位置を補正する工程と、

を備える研削方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、研削盤および研削方法に関するものである。

【背景技術】

10

【0002】

特開2000-218479号公報(特許文献1)には、円筒研削において、被加工物の真円度を測定して、真円度誤差により補正量を作成し、補正して研削することが記載されている。また、クランクピンを研削する場合には、クランクジャーナルの回転位相に応じてクランクピンの剛性が異なることにより、クランクピンの撓み量が変わる。そこで、特開2000-107902号公報(特許文献2)および特開平11-90800号公報(特許文献3)には、回転位相に応じてクランクピンの剛性が異なることによる撓み量に基づいて補正量を作成し、補正して研削することが記載されている。これにより、クランクピンの真円度を高精度にすることができる。

【先行技術文献】

20

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2000-218479号公報

【特許文献2】特開2000-107902号公報

【特許文献3】特開平11-90800号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、回転位相に応じてクランクピンの剛性による撓み量を考慮したとしても、まだ真円度の高精度化の余地がある。

30

【0005】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、さらに真円度を高精度にすることができる研削盤および研削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】

【0006】

本発明者は、回転位相に応じてクランクピンの撓み量が変わる原因について鋭意研究し、クランクピンの剛性の他に、クーラント動圧および研削能率が回転位相に応じて異なることを見出したことにより、真円度を高精度化することができる本発明を想到するに至った。

【0007】

40

(請求項1) 本手段に係る研削盤は、砥石車を被加工物へ相対的に前進させて研削を行う研削盤であって、前記被加工物は、回転中心から偏心した位置を中心とする偏心円筒部を有し、前記砥石車による研削部位は、前記偏心円筒部であり、クーラント動圧 F_p および研削能率 Z の少なくとも一つが、前記被加工物の位相に応じて異なることにより、研削の際に前記偏心円筒部が前記砥石車から受ける切込方向の押付力 F () が位相に応じて異なり、その結果研削の際に前記偏心円筒部の撓み量 () が位相に応じて異なる場合に、前記被加工物の形状および研削条件に基づいて、研削の際の前記偏心円筒部の撓み量 () を取得する手段と、前記撓み量 () に基づいて前記砥石車と前記偏心円筒部との相対的な指令位置に対する第一の補正量 D_1 () を算出する手段と、前記第一の補正量 D_1 () に基づいて前記砥石車と前記偏心円筒部との相対的な指令位置を補正する手段と

50

を備える。

【0008】

以下に、本手段に係る研削盤の好ましい態様を記載する。

(請求項2) また、前記撓み量 () を取得する手段は、前記被加工物の形状および前記研削条件に基づいて、研削点速度 v と切込量 d を乗算することにより理論的な研削能率 Z_{logical} () を算出する手段と、研削の際に実際の研削能率 Z_{real} を取得する手段と、研削の際に前記偏心円筒部が前記砥石車から受ける切込方向の実際の押付力 F_{real} を取得する手段と、取得した前記実際の研削能率 Z_{real} と前記実際の押付力 F_{real} とに基づいて、前記実際の研削能率 Z_{real} と前記実際の押付力 F_{real} の関係を示す切れ味係数 を算出する手段と、前記理論的な研削能率 Z_{logical} () および前記切れ味係数 に基づいて、研削抵抗 F_n () を算出する手段と、スパークアウト時における前記実際の押付力 F_{real} () をクーラント動圧 F_p () として取得する手段と、前記研削抵抗 F_n () と前記クーラント動圧 F_p () の和である押付力算出値 F () を算出する手段と、前記被加工物の剛性 K を取得する手段と、前記押付力算出値 F () を剛性 K にて除算することにより、前記被加工物の位相 における撓み量 () を算出する手段とを備えるとよい。

10

【0009】

(請求項3) さらに、前記被加工物の剛性 K が、前記被加工物の位相 に応じて異なることにより、研削の際に前記偏心円筒部が前記砥石車から受ける切込方向の押付力 F () が位相 に応じて異なり、その結果研削の際に前記偏心円筒部の撓み量 () が位相 に応じて異なる場合に、前記剛性を取得する手段は、前記被加工物の剛性 K () を取得し、前記撓み量 () を算出する手段は、前記押付力算出値 F () を剛性 K () にて除算することにより、前記被加工物の位相 における撓み量 () を算出するとよい。

20

【0010】

(請求項4) また、荒研削の後に仕上研削を行う場合に、前記補正する手段は、前記荒研削にて前記第一の補正量 D_1 () に基づいて補正し、前記仕上研削においては前記第一の補正量 D_1 () に基づく補正を行わないようにしてもよい。

【0011】

(請求項5) また、前記研削盤は、研削後の前記偏心円筒部の真円度を計測する手段と、前記真円度に基づいて前記砥石車と前記偏心円筒部との相対的な指令位置に対する第二の補正量 D_2 () を算出する手段と、を備え、前記補正する手段は、前記荒研削にて前記第一の補正量 D_1 () に加えて前記第二の補正量 D_2 () に基づいて補正し、前記仕上研削にて前記第二の補正量 D_2 () に基づいて補正するとよい。

30

【0012】

(研削方法)

本発明は、上述した研削盤の他に、研削方法としても把握することができる。

(請求項6) 本手段に係る研削方法は、砥石車を被加工物へ相対的に前進させて研削を行う研削方法であって、前記被加工物は、回転中心から偏心した位置を中心とする偏心円筒部を有し、前記砥石車による研削部位は、前記偏心円筒部であり、クーラント動圧 F_p および研削能率 Z の少なくとも一つが、前記被加工物の位相 に応じて異なることにより、研削の際に前記偏心円筒部が前記砥石車から受ける切込方向の押付力 F () が位相 に応じて異なり、その結果研削の際に前記偏心円筒部の撓み量 () が位相 に応じて異なる場合に、前記被加工物の形状および研削条件に基づいて、研削の際の前記偏心円筒部の撓み量 () を取得する工程と、前記撓み量 () に基づいて前記砥石車と前記偏心円筒部との相対的な指令位置に対する第一の補正量 D_1 () を算出する工程と、前記第一の補正量 D_1 () に基づいて前記砥石車と前記偏心円筒部との相対的な指令位置を補正する工程とを備える。

40

【発明の効果】

【0013】

(請求項1, 6) 本発明者は、クーラント動圧 F_p および研削能率 Z の少なくとも一つが、位相 に応じて異なることを発見した。偏心円筒部を研削する場合には、砥石車に対

50

する研削点が異なる。そのため、砥石車に対する研削点が位相 に応じて異なることにより、クーラントノズルの位置に対する研削点が位相 に応じて異なる。その結果、クーラント動圧 F_p が位相 に応じて異なることになる。また、偏心円筒部を研削する場合には、回転中心から研削点までの距離が位相 に応じて異なる。そのため、研削点速度 v が位相 に応じて異なることになる。ここで、研削能率 Z は、研削点速度 v と切込量 d とを乗算した値である。従って、研削点速度 v が位相 に応じて異なることにより、研削能率 Z が位相 に応じて異なる。

【0014】

このように、偏心円筒部を研削する場合において、クーラント動圧 F_p および研削能率 Z の少なくとも一つが位相 に応じて異なることにより、結果として偏心円筒部の撓み量 () が異なる。そして、この偏心円筒部の撓み量 () に基づいて算出した第一の補正量 D_1 () により補正する。従って、クーラント動圧 F_p および研削能率 Z が位相 に応じて異なることを原因とする研削誤差を低減することができる。つまり、真円度を高精度にすることができる。

10

【0015】

(請求項2) 理論的な研削能率 Z_{logical} ()、実際の押付力 F_{real} 、切れ味係数、研削抵抗 F_n ()、クーラント動圧 F_p () を用いることで、研削抵抗 F_n () とクーラント動圧 F_p () の和である押付力算出値 F () を算出できる。押付力算出値 F () を被加工物の剛性 K にて除算することにより、被加工物の位相 に応じた撓み量 () を確実に算出することができる。その結果、確実に、真円度を高精度にできる。

20

【0016】

(請求項3) さらに、位相 に応じてことなる剛性 K () を用いることで、さらに真円度を高精度にすることができる。

【0017】

(請求項4) 荒研削において上記の第一の補正量 D_1 () により補正を行うことで、荒研削終了時における真円度を高精度にすることができる。一般に、仕上研削における研削代は、荒研削における研削代に比べると非常に少ない。さらに、仕上研削におけるクーラントの供給量も、荒研削におけるクーラントの供給量に比べて少ない。そのため、これらのことから、仕上研削における偏心円筒部の撓み量は、荒研削における偏心円筒部の撓み量より少ない。そこで、荒研削において上記補正を行い、仕上研削において上記補正を行わないとしても、仕上研削後において偏心円筒部の真円度を高精度にすることができる。

30

【0018】

(請求項5) 真円度の計測結果によって得られた第二の補正量 D_2 () による補正を、荒研削および仕上研削において行うことで、真円度をより高精度にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明の実施形態における研削盤の平面図である。

【図2A】クランクシャフト W の位相 が 0° の場合に、クランクシャフト W の回転中心 O と、クランクピン W_a のピン中心 O_w と、砥石車 15 との位置関係を示す図である。ただし、クランクシャフト W が撓んでいないとして図示する。

40

【図2B】クランクシャフト W の位相 が 90° の場合に、クランクシャフト W の回転中心 O と、クランクピン W_a のピン中心 O_w と、砥石車 15 との位置関係を示す図である。

【図2C】クランクシャフト W の位相 が 180° の場合に、クランクシャフト W の回転中心 O と、クランクピン W_a のピン中心 O_w と、砥石車 15 との位置関係を示す図である。

【図2D】クランクシャフト W の位相 が 270° の場合に、クランクシャフト W の回転中心 O と、クランクピン W_a のピン中心 O_w と、砥石車 15 との位置関係を示す図である。

【図3】研削工程の説明であって、砥石車 15 の X 軸位置、クランクシャフト W の外径 D_t についての時間変化を示すグラフである。

50

【図 4】補正処理についてのフローチャートである。

【図 5】第一の補正量 D_1 () の算出手順を示すブロック図である。

【図 6】研削能率 Z_{real} と、クランクピン W_a が砥石車 15 から受ける切込方向の実際の押付力 F_{real} との関係を示すグラフである。

【図 7】クランクシャフト W の回転位相 に対応した研削点速度 v () を示すグラフである。

【図 8】クランクシャフト W の回転位相 に対応した理論的な研削能率 $Z_{logical}$ () を示すグラフである。

【図 9】クランクシャフト W の回転位相 に対応した、クランクピンが砥石車から受ける切込方向の押付力 F ()、研削抵抗 F_n ()、クーラント動圧 F_p () を示すグラフである

10

【図 10】クランクシャフト W の回転位相 に対応して撓み量 () を示すグラフである。

【図 11】クランクシャフト W の回転位相 に対応した第一の補正量 D_1 () を示すグラフである。

【図 12】第二の補正量 D_2 の算出手順を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下に、本発明に係る研削盤および研削方法を適用した実施形態について説明する。

(1. 研削盤の構成)

本実施形態の研削盤の一例として、砥石台トラバース型円筒研削盤を例に挙げて説明する。当該研削盤の加工対象の被加工物は、クランクシャフト W を例に挙げ、その研削部位は、クランクピン (偏心円筒部) W_a とする。また、被加工物の研削面であるクランクピン W_a には、油穴などの凹所 A (図 2 C に示す) が形成されている。例えば、当該油穴は、径方向に貫通形成される。

20

【0021】

当該研削盤について、図 1 を参照して説明する。研削盤 1 は、以下のように構成される。床上にベッド 11 が固定され、ベッド 11 には、クランクシャフト W を回転可能に両端支持する主軸 12 および心押装置 13 が取り付けられる。クランクシャフト W は、ジャーナル中心に回転するように、主軸 12 および心押装置 13 に支持される。つまり、研削部位であるクランクピン W_a は、回転中心から偏心した位置を中心とした円形状をなす。

30

【0022】

さらに、ベッド 11 上には、 Z 軸方向および X 軸方向に移動可能な砥石台 14 が設けられる。この砥石台 14 には、砥石車 15 が回転可能に支持されると共に、クーラントを研削点に向かって供給するためのクーラントノズル 19 (図 2 A に示す) が設けられている。また、主軸 12 には、主軸 12 に加わる X 軸方向成分の力 (切込方向の押付力) F を計測する力センサ 16 が設けられる。さらに、ベッド 11 には、被加工物 W の径を計測する定寸装置 17 が設けられる。さらに、研削盤 1 には、主軸 12 および砥石車 15 を回転しかつ被加工物 W に対する砥石車 15 の位置を制御する制御装置 18 が設けられる。

【0023】

(2. クランクピンと砥石車との位置の説明)

40

上述したように、研削部位であるクランクピン W_a は、回転中心から偏心した位置を中心とした円形状である。そこで、図 2 A ~ 図 2 D を参照して、クランクシャフト W の回転中心 O 、および、クランクシャフト W の回転位相 (以下、位相 と称する) に対応したピン中心 O_w の位置について説明する。ただし、図 2 A ~ 図 2 D においては、クランクシャフト W が撓み変形していないものとして図示する。図 2 A ~ 図 2 D においては、クーラントノズル 19 および研削点 P を図示する。

【0024】

位相 が 0° のときは、図 2 A に示すように、ピン中心 O_w は、回転中心 O に対して砥石車 15 とは反対側 (砥石車 15 による切込方向) に位置する。クーラントは、砥石車 15 の上側から研削点 P に向かって供給される。位相 が 90° のときは、図 2 B に示すよ

50

うに、ピン中心 O_w は回転中心 O に対して下方に位置する。位相が 180° のときは、図2Cに示すように、ピン中心 O_w は回転中心 O に対して砥石車15側（反切込方向）に位置する。位相が 270° のときは、図2Dに示すように、ピン中心 O_w は回転中心 O に対して上方に位置する。

【0025】

（3．研削方法の概要）

次に、本実施形態における研削方法の概要について、図3を参照して説明する。本実施形態においては、荒研削工程 仕上研削工程 スパークアウト工程の順に実行する。また、各研削工程においては、常にクーラントを供給する。

【0026】

まず、制御装置18がクランクシャフトWに対して砥石車15をX軸方向に前進させることで、荒研削を開始する（荒研削工程）（図3のT1～T2）。さらに、荒研削時には、制御装置18によって、研削点Pに供給されるクーラントの供給量が大流量となるように制御される。

【0027】

荒研削工程では、図3の上段のT1～T2に示すように、砥石車15のX軸マイナス方向へ一定速度で前進する。つまり、荒研削工程では、砥石車15をクランクピンWaに押し付ける方向へ相対移動させる。ここで、荒研削工程では、研削能率Z（単位時間単位幅当たりの研削量）を大きくするために、仕上研削工程よりも移動速度を大きくする。つまり、図3のT1～T2の砥石車15のX軸位置の時間変化が大きい。そして、図3の荒研削工程の間、クランクピンWaに、クーラント動圧 F_p （ ）および研削抵抗 F_n （ ）が作用し、切込方向に撓む。

【0028】

荒研削を行っている間、定寸装置17によって計測されるクランクピンWaの外径 D_t が、予め設定された値 D_{th} に達したか否かを判定する。クランクピンWaの外径 D_t が設定値 D_{th} に達すると、荒研削工程から仕上研削工程（図3のT2～T3）に切り替える。

【0029】

仕上工程では、制御装置18は、クランクピンWaに対して砥石車15を前進（X軸マイナス方向へ移動）させることで、仕上研削を開始する。仕上工程では、図3に示すように、荒研削工程における砥石車15の移動速度（切込速度）より遅くする。従って、仕上工程では、クランクピンWaに研削焼けを生じないようにできる。さらに、クーラントの供給量を小流量にすることで、油穴などの凹所Aによる研削精度への悪影響を抑制できる。

【0030】

仕上研削を行っている間、定寸装置17によって計測されるクランクピンWaの外径 D_t が仕上径 D_f に達すると、仕上研削工程からスパークアウト工程に切り替える。スパークアウトは、砥石車15をクランクピンWaに対する切込量をゼロの状態として行う。つまり、スパークアウトにおいては、仕上研削において研削残しの分を研削することになる。そして、このスパークアウトは、予め設定されたクランクピンWaの回転数だけ行う。図3においては、T3～T4である。

【0031】

（4．補正処理）

図3に示したように、荒研削工程 仕上研削工程 スパークアウト工程の順に行う。ここで、研削終了時点において、クランクピンWaの真円度の高精度化を図るために、以下に示す補正処理を行う。補正処理について、図4のフローチャートを参照して説明する。

【0032】

荒研削が開始されると（S11：Y）、砥石車15とクランクピンWaとの相対的な指令位置に対して、第一の補正量 D_1 （ ）および第二の補正量 D_2 （ ）による補正を行う（S12）。ここで、第一の補正量 D_1 （ ）は、研削による押付力 F （ ）に応じたクランク

10

20

30

40

50

ピンW aの撓み量 ()から算出される補正量である。第二の補正量D 2 ()は、真円度計測によって得られた真円度誤差から算出される補正量である。なお、第一、第二の補正量D 1 ()、D 2 ()の詳細は、後述する。

【0033】

そして、この補正は、荒研削が終了するまでの間行う (S 13 : N)。荒研削が終了すると、図3に示したように、仕上研削が開始される。そうすると、第二の補正量D 2 ()による補正を行う (S 14)。この補正は、仕上研削が終了するまでの間行う (S 15)。ここで、仕上研削中は荒研削中に比べて一般的に研削抵抗が小さいので、補正量も異なる。そのため、仕上研削を行っている際には、第一の補正量D 1 ()による補正は行わない。

10

【0034】

(5. 第一の補正量D 1 ()の算出)

次に、第一の補正量D 1 ()の算出手順について説明する。ここで、クランクピンW aは、砥石車15から受ける切込方向の押付力F ()によって、切込方向 (図2A ~ 図2Dの左方向) に撓み変形する。ここで、押付力F ()は、式(1)に示すように、研削抵抗F n ()とクーラント動圧F p ()の加算値となる。つまり、クランクピンW aの撓み量 ()は、押付力F ()による撓みである。

【0035】

[数1]

$$F () = F n () + F p () \quad \cdots (1)$$

20

【0036】

第一の補正量D 1 ()は、この撓み量 ()に基づいて決定される。ここで、撓み量 ()は、クランクシャフトWの回転位相 (以下、位相と称する) に応じて異なる。そのため、第一の補正量D 1 ()は、クランクシャフトWの回転位相 (以下、位相と称する) に応じて異なる値に設定されている。以下に、第一の補正量D 1 ()の算出手順について、図5 ~ 図11を参照して説明する。

【0037】

そこで、まずは、研削抵抗F n ()を算出する。研削抵抗F n ()は、式(2)に示すように、研削能率Z、砥石車15の切れ味係数、および、研削幅に相当する係数H (以下、「研削幅係数H」と称する) の乗算により表される。研削幅係数Hは、例えば、最小幅を1とした場合の比を表す。すなわち、研削幅が全周に亘って同一の場合には、Hは1となる。

30

【0038】

[数2]

$$F n = Z \times \quad \times H \quad \cdots (2)$$

【0039】

そこで、図5に示すように、荒研削工程の際に、実際の切込量dを元に実際の研削能率Z realを取得すると共に (図5の符号111)、力センサ16の検出値を元に実際の押付力F realを取得する (図5の符号112)。また、研削幅係数Hは、クランクピンW aおよび砥石車15の形状から導き出すことができる。切込量dは、研削条件から導き出すことができる。なお、切込量dは、定寸装置17の信号を用いて演算により求めてもよい。

40

【0040】

式(1)(2)の関係より、図6において、研削能率Z realを横軸とし、押付力Fを縦軸とした場合に、傾きが切れ味係数と研削幅係数Hの乗算値となる。すなわち、図6の傾きを求めて、研削幅係数Hで除算することにより、切れ味係数を算出できる。(図5の符号113)。切れ味係数は、砥石車15によるクランクピンW aへの切込方向の押付力Fと研削能率Zとの関係を示す。切れ味係数は、砥石車15の砥粒の状態によって変化する。そこで、クランクシャフトWを多数研削する際において、適宜、荒研削工程にて計測することで、切れ味係数を更新する。

【0041】

50

ここで、図 2 A ~ 図 2 D に示すように、回転中心 O から研削点 P までの距離は、位相に応じて異なる。そのため、図 7 に示すように、研削点速度 $v(\theta)$ は、位相 θ に応じて変化する。例えば、位相 θ が 180° の場合には、図 2 C に示すように研削点 P が最も回転中心 O から離れており、図 7 に示すように研削点速度 $v(180^\circ)$ は最も大きな値となる。このようにして、研削点速度 $v(\theta)$ は、クランクシャフト W の形状および研削条件から幾何学的に算出できる (図 5 の符号 114)。

【0042】

続いて、研削点速度 $v(\theta)$ を用いて、理論的な研削能率 $Z_{\text{logical}}(\theta)$ を算出する (図 5 の符号 115)。研削能率 $Z_{\text{logical}}(\theta)$ は、式 (3) に示すように、研削点速度 $v(\theta)$ と切込量 d を乗算することにより得ることができる。ただし、式 (3) において、凹所 A による影響分 f_A を考慮している。研削能率 $Z_{\text{logical}}(\theta)$ は、図 8 に示すように、位相 θ に応じて変化する。図 8 において、位相 θ が 180° 付近において、研削能率 $Z_{\text{logical}}(\theta)$ が急に低下している部分は、凹所 A の影響分 f_A による。

10

【0043】

[数3]

$$Z_{\text{logical}}(\theta) = d \times v(\theta) + \dots \quad (3)$$

【0044】

そして、研削抵抗 $F_n(\theta)$ は、切れ味係数 K_c 、理論的な研削能率 $Z_{\text{logical}}(\theta)$ および研削幅係数 H より、式 (4) に従って算出する (図 5 の符号 116)。式 (4) は、式 (2) を位相 θ の関数にただけである。研削抵抗 $F_n(\theta)$ は、図 9 の二点鎖線にて示すように、位相 θ に応じて変化する。

20

【0045】

[数4]

$$F_n(\theta) = Z_{\text{logical}}(\theta) \times K_c \times H \dots \quad (4)$$

【0046】

続いて、クーラント動圧 $F_p(\theta)$ を算出する (図 5 の符号 117)。クーラント動圧 $F_p(\theta)$ は、研削抵抗 $F_n(\theta)$ がゼロとなる状態、すなわちスパークアウト時における実際の押付力 $F_{\text{real}}(\theta)$ に相当する。つまり、仕上研削の後に行うスパークアウトの際にクーラント動圧 $F_p(\theta)$ を取得しても良いし、荒研削開始直前にスパークアウトを行って、このときにクーラント動圧 $F_p(\theta)$ を取得しても良い。クーラント動圧 $F_p(\theta)$ は、図 9 の破線に示すように、位相 θ に応じて異なる。

30

【0047】

ここで、図 2 A ~ 図 2 D に示すように、位相 θ が異なると、研削点 P は、クーラントノズルの位置に対して異なる。そのため、位相 θ に応じて、クーラントの供給量が異なる。その結果、クーラント動圧 $F_p(\theta)$ は、位相 θ に応じて異なる。例えば、図 2 B および図 9 の破線に示すように、位相 θ が 90° におけるクーラント動圧 $F_p(90^\circ)$ は、最も小さくなる。一方、図 2 D および図 9 の破線に示すように、位相 θ が 270° におけるクーラント動圧 $F_p(\theta)$ は、最も大きくなる。また、位相 θ が 180° のときには、油穴 A の影響によって、前後の位相に比べてクーラント動圧 $F_p(180^\circ)$ が小さくなっている。

【0048】

研削抵抗 $F_n(\theta)$ およびクーラント動圧 $F_p(\theta)$ を得ることができたので、式 (1) より、これらの和である押付力算出値 $F(\theta)$ を算出する (図 5 の符号 118)。つまり、図 9 の太実線にて示すように、位相 θ に応じて異なる。図 9 より、位相 θ が 250° 付近が最も大きく、 70° 付近が最も小さくなる。また、位相 θ 180° 前後では、油穴 A の影響により低下している。

40

【0049】

続いて、図 5 に示すように、クランクシャフト W の形状から、クランクピン W a 部分における切込方向の剛性 $K(\theta)$ を算出する (図 5 の符号 119)。これは、剛性 $K(\theta)$ は、実測値に基づいて算出することもできるし、解析により取得することもできる。クランクピン W a の剛性 $K(\theta)$ も、位相 θ に応じて異なる。

50

【 0 0 5 0 】

そして、押付力算出値 F () および剛性 K () を用いて、押付力算出値 F () によるクランクピン $W a$ の撓み量 () を式 (5) に従って算出する (図 5 の符号 1 2 0) 。すなわち、撓み量 () は、押付力算出値 F () を剛性 K () により除算する。押付力算出値 F () による撓み量 () は、図 1 0 に示すように、位相 に応じて変化する。

【 0 0 5 1 】

[数 5]

$$() = F () / K () \quad \cdots (5)$$

【 0 0 5 2 】

そして、撓み量 () が位相 に応じて異なることによって、クランクピン $W a$ の真円度誤差が生じることになる。そこで、撓み量 () による真円度誤差をゼロにするための第一の補正量 $D 1$ () を算出する (図 5 の符号 1 2 1) 。つまり、撓み量 () の位相毎の差をゼロとするように、第一の補正量 $D 1$ () が決定される。ここでは、第一の補正量 $D 1$ () は、図 1 1 に示すようにする。

【 0 0 5 3 】

このようにして決定された第一の補正量 $D 1$ () により補正することで、クーラント動圧 $F p$ () および研削能率 Z () が位相 に応じて異なることを原因とする研削誤差を低減することができる。つまり、クランクピン $W a$ の真円度を高精度にすることができる。

【 0 0 5 4 】

また、第一の補正量 $D 1$ () による補正は、図 4 を用いて上述したように、荒研削工程において行う。荒研削において第一の補正量 $D 1$ () により補正を行うことで、荒研削終了時におけるクランクピン $W a$ の真円度を高精度にすることができる。ここで、仕上研削における研削代は、荒研削における研削代に比べると非常に少ない。さらに、仕上研削におけるクーラントの供給量も、荒研削におけるクーラントの供給量に比べて少ない。そのため、これらのことから、仕上研削におけるクランクピン $W a$ の撓み量 () は、荒研削におけるクランクピン $W a$ の撓み量 () より少ない。そこで、荒研削において上記補正を行い、仕上研削において上記補正を行わないとしても、仕上研削後においてクランクピン $W a$ の真円度を高精度にすることができる。

【 0 0 5 5 】

(6 . 第二の補正量 $D 2$ () の算出)

次に、第二の補正量 $D 2$ () の算出手順について図 1 2 のフローチャートを参照して説明する。上述したように、第二の補正量 $D 2$ () による補正は、荒研削工程および仕上研削工程において行われる。

【 0 0 5 6 】

第二の補正量 $D 2$ () は、実際に研削終了したクランクピン $W a$ の真円度を計測して (ステップ $S 2 1$) 、真円度誤差を取得する。この真円度誤差をゼロにするような第二の補正量 $D 2$ () を算出する (ステップ $S 2 2$) 。算出した第二の補正量 $D 2$ () を用いて補正することで、真円度をより高精度にすることができる。

【 0 0 5 7 】

(その他)

また、上記において、第一の補正量 $D 1$ による補正のみならず、第二の補正量 $D 2$ による補正を同時に行った。第一の補正量 $D 1$ のみを適用したとしても、十分な効果を得ることができる。ただし、第二の補正量 $D 2$ による補正を併用することで、撓み量 () 以外の影響による真円度誤差、撓み量 () の計算誤差による真円度誤差を取り除くことができる。

【 符号の説明 】

【 0 0 5 8 】

1 : 研削盤、 1 5 : 砥石車、 1 9 : クーラントノズル、 P : 研削点、 W : クランクシャフト (被加工物) 、 W a : クランクピン (偏心円筒部)

10

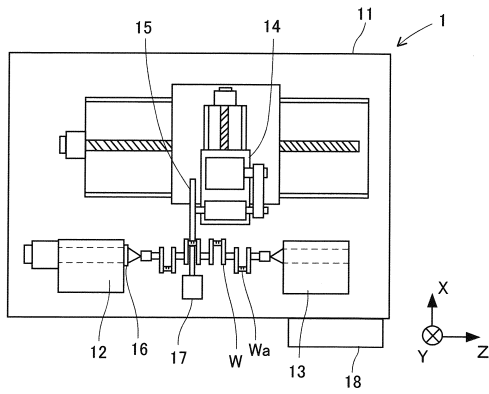
20

30

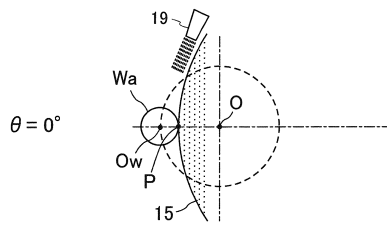
40

50

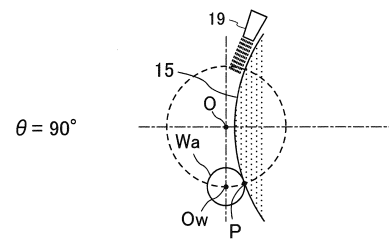
【図 1】



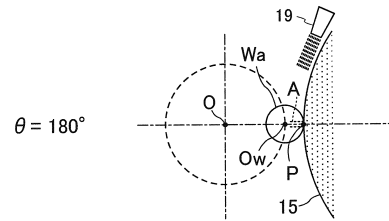
【図 2 A】



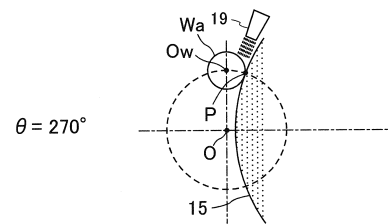
【図 2 B】



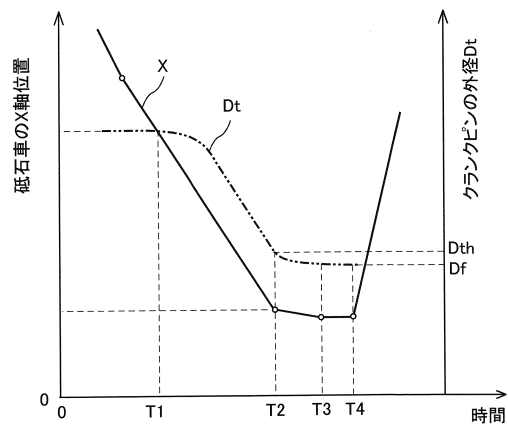
【図 2 C】



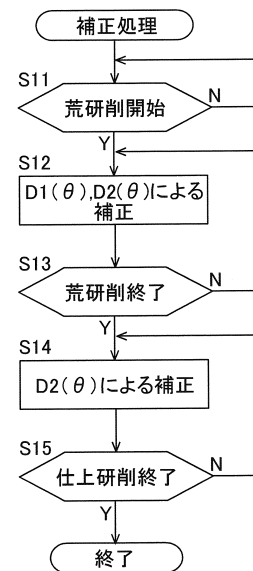
【図 2 D】



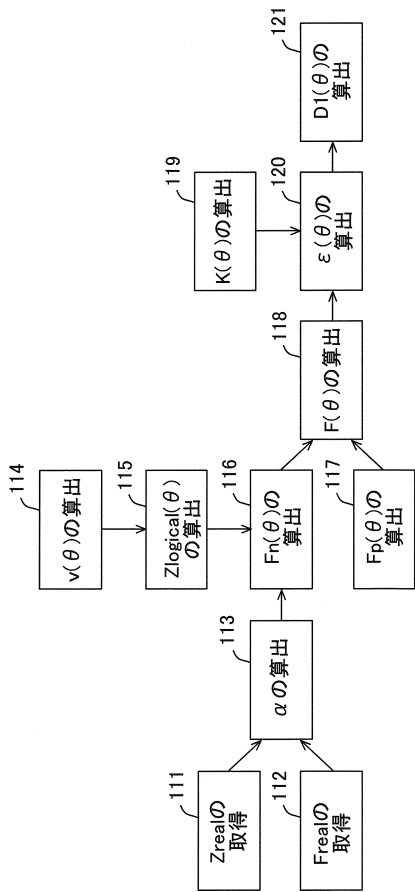
【図 3】



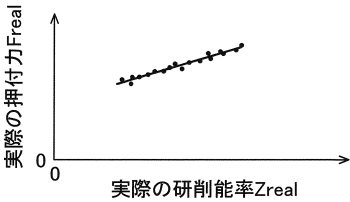
【図 4】



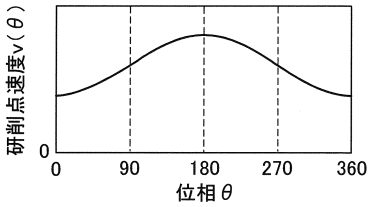
【図 5】



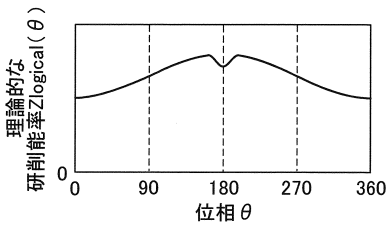
【図 6】



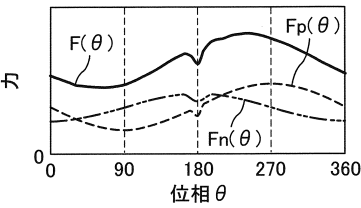
【図 7】



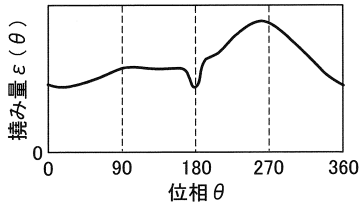
【図 8】



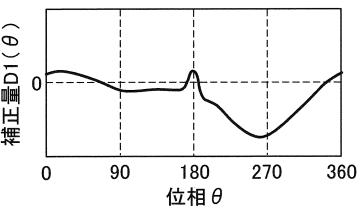
【図 9】



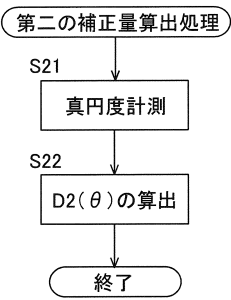
【図 1 0】



【図 1 1】



【図 1 2】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2011-088257(JP,A)
特開2011-093017(JP,A)
特開2003-076409(JP,A)
特開2003-300159(JP,A)
英国特許出願公開第02491211(GB,A)
特開2000-218479(JP,A)
特開2000-107902(JP,A)
特開平11-090800(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B24B5/42

B24B49/02 - 49/03