

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2023-61684

(P2023-61684A)

(43)公開日 令和5年5月2日(2023.5.2)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード(参考)
B 2 3 Q 17/24 (2006.01)	B 2 3 Q 17/24	B 2 F 0 6 5
G 0 1 B 11/16 (2006.01)	G 0 1 B 11/16	H 3 C 0 2 9

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全27頁)

(21)出願番号	特願2021-171764(P2021-171764)	(71)出願人	000003458 芝浦機械株式会社 東京都千代田区内幸町2丁目2番2号
(22)出願日	令和3年10月20日(2021.10.20)	(74)代理人	100091487 弁理士 中村 行孝
		(74)代理人	100120031 弁理士 宮嶋 学
		(74)代理人	100118843 弁理士 赤岡 明
		(74)代理人	100141830 弁理士 村田 卓久
		(74)代理人	100210790 弁理士 石川 大策
		(72)発明者	室伏 勇 静岡県沼津市大岡2068-3 芝浦機 最終頁に続く

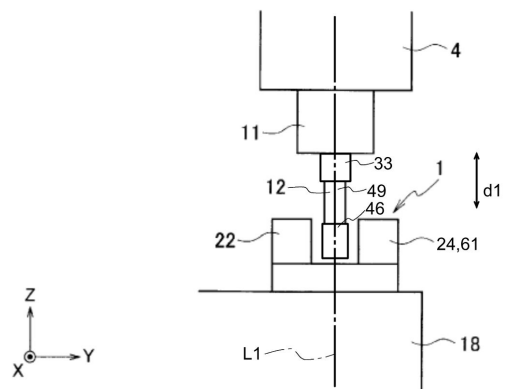
(54)【発明の名称】 工具測定装置および工具測定方法

(57)【要約】

【課題】回転中の工具において複数の突部を比較した場合の、突部の各々の外面と回転軸線との間の距離のずれの量を把握可能な工具測定装置および工具測定方法を提供する。

【解決手段】工具測定装置1は、カメラ22と、主軸回転角度センサ23と、制御装置20と、を備える。工具12は、少なくとも第1突部481と第2突部482との2つの突部48を含む作動部46を有する。制御装置20は、撮影指令制御部25と、演算部27と、を有する。撮影指令制御部25は、主軸11の回転角度が異なる複数の位相において、カメラ22に撮影指令を出力する。演算部27は、複数の位相の各々において撮影された複数の画像に基づいて、第1距離、およびこのときの第1位相と、第2距離、およびこのときの第2位相と、を求め、第1距離と前記第2距離との差に相当する作動部ずれ量を演算する。

【選択図】図5



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

工作機械の主軸に設定された工具を測定する工具測定装置であって、
前記工具を撮影するカメラと、
前記主軸の回転角度を検出する主軸回転角度センサと、
制御装置と、を備え、
前記工具は、少なくとも第 1 突部と第 2 突部との 2 つの突部を含む作動部を有し、
前記制御装置は、前記主軸回転角度センサが検出した前記主軸の回転角度に応じて前記カメラに撮影指令を出力する撮影指令制御部と、前記カメラが撮影した画像に基づき演算を行う演算部と、を有し、
前記撮影指令制御部は、前記主軸の回転角度が異なる複数の位相において、前記カメラに撮影指令を出力し、

10

前記演算部は、前記複数の位相の各々において撮影された複数の画像に基づいて、前記主軸の回転軸線と前記第 1 突部の外面との間の距離が最大となる第 1 距離、およびこのときの第 1 位相と、前記主軸の回転軸線と前記第 2 突部の外面との間の距離が最大となる第 2 距離、およびこのときの第 2 位相と、を求め、前記第 1 距離と前記第 2 距離との差に相当する作動部ずれ量を演算する、工具測定装置。

【請求項 2】

前記撮影指令制御部は、前記工具の異なる回転毎に前記撮影指令を順次 0 ° 以上 3 6 0 ° 未満の全位相範囲に渡り出力する、請求項 1 に記載の工具測定装置。

20

【請求項 3】

前記作動部は、2 つ以上の前記突部を含み、このうち、前記突部の外面と前記主軸の回転軸線との間の最大の距離が最も大きくなる突部を前記第 1 突部とし、前記突部の外面と前記主軸の回転軸線との間の最大の距離が最も小さくなる突部を前記第 2 突部とする、請求項 1 又は 2 に記載の工具測定装置。

【請求項 4】

前記工具は、前記作動部から、前記主軸の回転軸線方向に延び、一端において前記主軸に固定され、他端において前記作動部と接続する、円柱状の軸部を有し、
前記演算部は、前記第 1 位相における前記軸部の外面から前記主軸の回転軸線までの距離と、前記第 2 位相における前記軸部の外面から前記主軸の回転軸線までの距離との差である軸部ずれ量を演算し、更に前記作動部ずれ量と前記軸部ずれ量との差に基づいて、前記作動部の歪みを求める、請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の工具測定装置。

30

【請求項 5】

工作機械の主軸に設定された工具を測定する工具測定方法であって、
前記工具は、少なくとも第 1 突部と第 2 突部との 2 つの突部を含む作動部を有し、
前記主軸の回転角度を検出し、検出した前記主軸の回転角度に応じて、前記主軸の回転角度が異なる複数の位相において前記工具を撮影する撮影工程と、
前記撮影工程で前記複数の位相の各々において撮影された複数の画像に基づいて、前記主軸の回転軸線と前記第 1 突部の外面との間の距離が最大となる第 1 距離、およびこのときの第 1 位相と、前記主軸の回転軸線と前記第 2 突部の外面との間の距離が最大となる第 2 距離、およびこのときの第 2 位相と、を求め、前記第 1 距離と前記第 2 距離との差に相当する作動部ずれ量を演算する演算工程と、を備える、工具測定方法。

40

【請求項 6】

前記撮影工程において、前記工具の異なる回転毎に順次 0 ° 以上 3 6 0 ° 未満の全位相範囲に渡り前記工具を撮影する、請求項 5 に記載の工具測定方法。

【請求項 7】

前記作動部は、2 つ以上の前記突部を含み、このうち、前記突部の外面と前記主軸の回転軸線との間の最大の距離が最も大きくなる突部を前記第 1 突部とし、前記突部の外面と前記主軸の回転軸線との間の最大の距離が最も小さくなる突部を前記第 2 突部とする、請求項 5 又は 6 に記載の工具測定方法。

50

【請求項 8】

前記工具は、前記作動部から、前記主軸の回転軸線方向に延び、一端において前記主軸に固定され、他端において前記作動部と接続する、円柱状の軸部を有し、

前記演算工程は、前記第 1 位相における前記軸部の外面から前記主軸の回転軸線までの距離と、前記第 2 位相における前記軸部の外面から前記主軸の回転軸線までの距離との差である軸部ずれ量を演算する、軸部ずれ量演算工程と、前記作動部ずれ量と前記軸部ずれ量との差に基づいて、前記作動部の歪みを求める、歪み演算工程と、を含む、請求項 5 乃至 7 のいずれか一項に記載の工具測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本開示は、工具測定装置および工具測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、工作機械で使用する回転工具の測定装置が提供されている。該工具測定装置は、複数の突部を含む工具、例えば複数の刃を含む工具、具体的にはフライス盤のエンドミルの測定で使用される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

20

【特許文献 1】特開 2007 - 49489 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

複数の突部を含む工具、例えば複数の突部として複数の刃を含む工具について、突部の形状のばらつきや、工具に入力される回転の回転軸線に対する工具の中心軸線のずれなどに起因して、工具に含まれる複数の突部を比較した場合に、突部の各々の外面のうち加工の対象に接触する部分と回転軸線との間の距離に、ずれが生じることが考えられる。このようなずれが大きいと、工具による加工の精度が低下する。このため、工具に含まれる複数の突部を比較した場合の上述したずれの量を把握することが求められている。特に、回転中の工具は遠心力や熱変位等で変形していると考えられるため、回転中の工具において、上述したずれの量を把握することが求められている。

30

【0005】

本開示はこのような点を考慮してなされたものであり、回転中の工具において複数の突部を比較した場合の、突部の各々の外面と回転軸線との間の距離のずれの量を把握可能な工具測定装置および工具測定方法を提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本開示は、工作機械の主軸に設定された工具を測定する工具測定装置であって、前記工具を撮影するカメラと、前記主軸の回転角度を検出する主軸回転角度センサと、制御装置と、を備え、前記工具は、少なくとも第 1 突部と第 2 突部との 2 つの突部を含む作動部を有し、前記制御装置は、前記主軸回転角度センサが検出した前記主軸の回転角度に応じて前記カメラに撮影指令を出力する撮影指令制御部と、前記カメラが撮影した画像に基づき演算を行う演算部と、を有し、前記撮影指令制御部は、前記主軸の回転角度が異なる複数の位相において、前記カメラに撮影指令を出力し、前記演算部は、前記複数の位相の各々において撮影された複数の画像に基づいて、前記主軸の回転軸線と前記第 1 突部の外面との間の距離が最大となる第 1 距離、およびこのときの第 1 位相と、前記主軸の回転軸線と前記第 2 突部の外面との間の距離が最大となる第 2 距離、およびこのときの第 2 位相と、を求め、前記第 1 距離と前記第 2 距離との差に相当する作動部ずれ量を演算する、工具測定装置である。

40

50

【 0 0 0 7 】

本開示は、前記撮影指令制御部は、前記工具の異なる回転毎に前記撮影指令を順次 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡り出力する、工具測定装置である。

【 0 0 0 8 】

本開示は、前記作動部は、2つ以上の前記突部を含み、このうち、前記突部の外面と前記主軸の回転軸線との間の最大の距離が最も大きくなる突部を前記第1突部とし、前記突部の外面と前記主軸の回転軸線との間の最大の距離が最も小さくなる突部を前記第2突部とする、工具測定装置である。

【 0 0 0 9 】

本開示は、前記工具は、前記作動部から、前記主軸の回転軸線方向に延び、一端において前記主軸に固定され、他端において前記作動部と接続する、円柱状の軸部を有し、前記演算部は、前記第1位相における前記軸部の外面から前記主軸の回転軸線までの距離と、前記第2位相における前記軸部の外面から前記主軸の回転軸線までの距離との差である軸部ずれ量を演算し、更に前記作動部ずれ量と前記軸部ずれ量との差に基づいて、前記作動部の歪みを求める、工具測定装置である。

10

【 0 0 1 0 】

本開示は、工作機械の主軸に設定された工具を測定する工具測定方法であって、前記工具は、少なくとも第1突部と第2突部との2つの突部を含む作動部を有し、前記主軸の回転角度を検出し、検出した前記主軸の回転角度に応じて、前記主軸の回転角度が異なる複数の位相において前記工具を撮影する撮影工程と、前記撮影工程で前記複数の位相の各々において撮影された複数の画像に基づいて、前記主軸の回転軸線と前記第1突部の外面との間の距離が最大となる第1距離、およびこのときの第1位相と、前記主軸の回転軸線と前記第2突部の外面との間の距離が最大となる第2距離、およびこのときの第2位相と、を求め、前記第1距離と前記第2距離との差に相当する作動部ずれ量を演算する演算工程と、を備える、工具測定方法である。

20

【 0 0 1 1 】

本開示は、前記撮影工程において、前記工具の異なる回転毎に順次 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡り前記工具を撮影する、工具測定方法である。

【 0 0 1 2 】

本開示は、前記作動部は、2つ以上の前記突部を含み、このうち、前記突部の外面と前記主軸の回転軸線との間の最大の距離が最も大きくなる突部を前記第1突部とし、前記突部の外面と前記主軸の回転軸線との間の最大の距離が最も小さくなる突部を前記第2突部とする、工具測定方法である。

30

【 0 0 1 3 】

本開示は、前記工具は、前記作動部から、前記主軸の回転軸線方向に延び、一端において前記主軸に固定され、他端において前記作動部と接続する、円柱状の軸部を有し、前記演算工程は、前記第1位相における前記軸部の外面から前記主軸の回転軸線までの距離と、前記第2位相における前記軸部の外面から前記主軸の回転軸線までの距離との差である軸部ずれ量を演算する、軸部ずれ量演算工程と、前記作動部ずれ量と前記軸部ずれ量との差に基づいて、前記作動部の歪みを求める、歪み演算工程と、を含む、工具測定方法である。

40

【 発明の効果 】

【 0 0 1 4 】

以上のように、本開示によれば、回転中の工具において複数の突部を比較した場合の、突部の各々の外面と回転軸線との間の距離のずれの量を把握可能な工具測定装置および工具測定方法を提供できる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 5 】

【 図 1 】 図 1 は、本開示の実施形態に係る工具測定装置及び工作機械を示す概略図。

【 図 2 】 図 2 は、本開示の実施形態に係る工作機械の主軸ヘッドを示す概略断面図。

50

【図 3】図 3 は、本開示の実施形態に係る工具の一例を示す断面図。

【図 4】図 4 は、本開示の実施形態に係る工具の一例を示す断面図。

【図 5】図 5 は、工具測定装置で工具を測定している様子を示す図。

【図 6】図 6 は、工具、カメラ及び照明装置の位置関係を示す図。

【図 7 A】図 7 A は、撮影工程において撮影される画像の一例を示す図。

【図 7 B】図 7 B は、撮影工程において撮影される画像の一例を示す図。

【図 8】図 8 は、画像が撮影される位相の変化と、各位相において撮影される画像における主軸の回転軸線と作動部の外面との間の距離の変化と、の対応を示す図。

【図 9】図 9 は、画像が撮影される位相の変化と、各位相において撮影される画像における主軸の回転軸線と軸部の外面との間の距離の変化と、の対応を示す図。

【図 10 A】図 10 A は、変形例に係る工作機械の主軸ヘッドを示す概略断面図。

【図 10 B】図 10 B は、変形例に係る工作機械の主軸回転角度センサを示す概略図。

【図 10 C】図 10 C は、変形例に係る工作機械の主軸回転角度センサから得られる連続パルス信号を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0016】

まず、本開示に係る工具測定装置 1 によって測定される工具 1 2 が設定される工作機械 2 について説明する。図 1 は、本開示の実施形態に係る工具測定装置 1 及び工作機械 2 を示す概略図である。図 1 に示す工作機械 2 は、ベッド 1 8 の上面に位置するテーブル 1 6 及び門型のコラム 1 0 を有し、コラム 1 0 のクロスレール 8 にはサドル 6 を介して主軸ヘッド 4 が支持されている。主軸ヘッド 4 は主軸 1 1 を有する。工具 1 2 は、工作機械 2 の主軸 1 1 に設定されている。

【0017】

ここで、工作機械 2 の主軸ヘッド 4 について、図 2 を参照しつつより詳しく説明する。図 2 は、本開示の実施形態に係る工作機械 2 の主軸ヘッド 4 を示す概略断面図である。主軸ヘッド 4 は、ビルトインモータのタイプになっており、筐体 3 1 と主軸（スピンドル）1 1 とを備えて構成されている。主軸 1 1 は、円柱状に形成されており、空気軸受けによって、筐体 3 1 に回転自在に支持されている。図 2 に示す符号 L 1 を付した一点鎖線は、主軸 1 1 が回転する中心となる軸線を示している。主軸 1 1 が回転する中心となる軸線を、主軸 1 1 の回転軸線 L 1 と呼ぶ。主軸 1 1 の回転軸線 L 1 は、主軸 1 1 から工具 1 2 に入力される回転の回転軸線であるともいえる。主軸 1 1 の回転軸線 L 1 が延びる方向を軸線方向 d 1 と呼ぶ。図 2 に示す例において、軸線方向 d 1 は、X 方向と平行となっている。

【0018】

主軸 1 1 の回転軸線 L 1 が延びる軸線方向 d 1 の一方の端部（図 2 の下端部）には、工具保持部 3 3 が設けられている。工具保持部 3 3 は、工具 1 2 を着脱自在に保持する。主軸 1 1 のうち工具保持部 3 3 に工具 1 2 を保持させることによって、主軸 1 1 に工具 1 2 を設定できる。主軸 1 1 の長手方向の他方の端部（図 2 の上端部）には、モータ 3 5 のロータ 3 7 が一体的に設けられている。ロータ 3 7 の外側にはモータ 3 5 のステータ 3 9 が設けられている。ステータ 3 9 は、ロータ 3 7 から僅かに離れて筐体 3 1 に一体的に設けられている。モータ 3 5 のうちロータ 3 7 がステータ 3 9 に対して回転することによって、ロータ 3 7 に一体化された主軸 1 1 が回転する。主軸 1 1 が回転することによって、主軸 1 1 に設定された工具 1 2 も回転する。

【0019】

ここで、説明の便宜のために水平な所定の一方向を X 方向（X 軸方向）とし、X 方向に対して直交する水平な所定の他の一方向を Y 方向（Y 軸方向）とし、X 方向と Y 方向とに対して直交する上下方向を Z 方向（Z 軸方向）とする。

【0020】

テーブル 1 6 はベッド 1 8 に対して X 軸方向に移動可能である。サドル 6 はクロスレール 8 に沿って Y 軸方向に移動可能である。主軸ヘッド 4 はサドル 6 に対して Z 軸方向に移

10

20

30

40

50

動可能である。これらの3軸を移動させることにより、テーブル16に載置された工作機械2による加工の対象となるワーク14に対して、工具12を3次元で移動させることができる。主軸11を回転させることによって工具12を回転させた状態で、工具12をワーク14に接触させることで、ワーク14を加工することが可能である。

【0021】

次に、工作機械2に設定される工具12について説明する。図2に示すように、工具12は、作動部46と軸部49とを有する。作動部46は、後述する複数の突部48を有する部分である。図2に示す例において、作動部46は、複数の突部48の一例として、複数の刃48cを有している。なお、図2においては、作動部46が有する複数の突部48の具体的な形状については図示を省略して、作動部46の概形のみを示している。軸部49は、作動部46から、主軸11の回転軸線L1が延びる回転軸線方向(図2に示す軸線方向d1)に延び、一端において主軸11に固定され、他端において作動部46と接続する、円柱状の部分である。図2に示す例においては、軸部49の軸線方向d1における一端(図2における上方の一端)が、主軸11のうち工具保持部33に保持されることによって、軸部49が主軸11に固定される。

10

【0022】

図3は、工作機械2の主軸11に設定される工具12の一例を示す図である。図3は、特に、工具12を工作機械2の主軸11に設定された状態で、主軸11の回転軸線L1に垂直な断面において切断した断面図である。図3に示す符号L1を付した点は、主軸11の回転軸線L1の位置を示している。図3に示すように、工具12は、少なくとも第1突部481と第2突部482とを含む作動部46を有する。すなわち、図3に示す例において、作動部46は、第1突部481と第2突部482との2つの突部48を含む。

20

【0023】

図4は、工作機械2の主軸11に設定される工具12の、図3に示した例とは異なる一例を示す図である。図4は、特に、工具12を工作機械2の主軸11に設定された状態で、主軸11の回転軸線L1に垂直な断面において切断した断面図である。図4は、後述する基準位置L5における工具12の断面に相当する。図4に示す符号L1を付した点は、主軸11の回転軸線L1の位置を示している。図4に示すように、作動部46は、3つ以上の突部48を含んでもよい。図4に示す例において、作動部46は、第1突部481と第2突部482と第3突部483との3つの突部48を含む。

30

【0024】

図3及び図4に示す例において、作動部46は、円柱状の基部45を有する。図3及び図4に示す例においては、作動部46のうち突部48と基部45との境界を、便宜的に符号45aを付した破線によって示している。本明細書中、「突部」とは、工具12のうち、回転軸線L1を中心とする円柱状の基部45に対して半径方向に突出する部分をいう。そして、複数の突部48は、円柱状の基部45を螺旋状に周回するように設けられている。このため、図3及び図4に示すような、工具12を主軸11の回転軸線L1に垂直な断面において切断した断面図において、複数の突部48は、主軸11の回転軸線L1を周回する周回方向d2に並ぶ。

【0025】

工具12は、例えば、金型のコアやキャビティの表面を切削加工で形成するとき时使用されるものである。上記切削加工は、例えば金型のコアやキャビティの表面を最終仕上げ加工するためにされるものである。上記切削加工によって、金型のコアやキャビティの表面が鏡面ようになる。

40

【0026】

図3及び図4に示す工具12は、切削加工用の、作動部46が複数の突部48として複数の刃48cを有する工具12である。図示はしないが、工具12は、作動部46が複数の突部48として複数の突起を有する、ワーク14の研磨用の工具12であってもよい。

【0027】

工具12として、例えばエンドミルを掲げることができる。工具12として用いられる

50

エンドミルの外径は、例えば 1 mm 程度である。

【 0 0 2 8 】

なお、工具 1 2 としてエンドミルが用いられる場合、エンドミルとしては、ボールエンドミル、スクエアエンドミル、又はラジラスエンドミル等が用いられてもよい。またエンドミルは、PCD 工具等の砥石型のエンドミルであっても良い。

【 0 0 2 9 】

なお、工具 1 2 の回転数は、例えば 6 万回転 / 分程度である。工具 1 2 の最大回転数は、1 2 万回転 / 分程度に設定できる。

【 0 0 3 0 】

図 3 及び図 4 に示す距離 w_1 は、第 1 突部 4 8 1 における、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と突部 4 8 の外面 4 8 a との間の最大の距離である。本開示の実施形態において、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と第 1 突部 4 8 1 の外面 4 8 a との間の距離のうち最大の距離 w_1 を、第 1 距離 w_1 と呼ぶ。図 3 及び図 4 に示す例において、第 1 距離 w_1 は、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と第 1 突部 4 8 1 の先端 4 8 b との間の距離に相当する。図 3 及び図 4 に示す距離 w_2 は、第 2 突部 4 8 2 における、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と突部 4 8 の外面 4 8 a との間の最大の距離である。本開示の実施形態において、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と第 2 突部 4 8 2 の外面 4 8 a との間の距離のうち最大の距離 w_2 を、第 2 距離 w_2 と呼ぶ。図 3 及び図 4 に示す例において、第 2 距離 w_2 は、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と第 2 突部 4 8 2 の先端 4 8 b との間の距離に相当する。なお、後述するように、工作機械 2 の主軸 1 1 以外の部分に対する主軸 1 1 の回転軸線 L_1 の位置が、正規の位置からずれていることが想定される場合には、以下のように第 1 距離 w_1 及び第 2 距離 w_2 を定めてもよい。第 1 距離 w_1 を、第 1 突部 4 8 1 における、正規の位置にある仮想の主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と突部 4 8 の外面 4 8 a との間の最大の距離としてもよい。また、第 2 距離 w_2 を、第 2 突部 4 8 2 における、正規の位置にある仮想の主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と突部 4 8 の外面 4 8 a との間の最大の距離としてもよい。

【 0 0 3 1 】

理想的な形状の工具 1 2 において、複数の突部 4 8 の各々における主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と突部 4 8 の外面 4 8 a との間の最大の距離は等しくなる。例えば、第 1 突部 4 8 1 における、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と突部 4 8 の外面 4 8 a との間の最大の距離である第 1 距離 w_1 と、第 2 突部 4 8 2 における、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と突部 4 8 の外面 4 8 a との間の最大の距離である第 2 距離 w_2 とは等しくなる。しかしながら、実際の工具においては、図 3 及び図 4 に示すように、複数の突部 4 8 の各々における主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と突部 4 8 の外面 4 8 a との間の最大の距離は等しくならない場合がある。図 3 及び図 4 に示す例において、第 1 距離 w_1 と第 2 距離 w_2 とは、等しくなっていない。

【 0 0 3 2 】

工具 1 2 を回転させてワーク 1 4 を加工しているときに、複数の突部 4 8 の各々における主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と突部 4 8 の外面 4 8 a との間の最大の距離が等しくならない理由としては、以下の理由が考えられる。工具 1 2 の製造時の誤差、工具 1 2 を回転させてワーク 1 4 を加工する際の、工具 1 2 に生じる熱による工具 1 2 の変形、遠心力による工具 1 2 の変形、及び摩耗による工具 1 2 の形状の変化などのために、作動部 4 6 の形状が歪んでいることが考えられる。図 3 及び図 4 に示す例においては、作動部 4 6 の形状が歪んでいるために、第 1 突部 4 8 1 と第 2 突部 4 8 2 との形状が異なっており、このために第 1 距離 w_1 と第 2 距離 w_2 とが等しくなっていない。

【 0 0 3 3 】

工具 1 2 を回転させてワーク 1 4 を加工しているときに、複数の突部 4 8 の各々における主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と突部 4 8 の外面 4 8 a との間の最大の距離が等しくならない理由として、以下の理由も考えられる。主軸 1 1 に対する工具 1 2 の位置が、理想的な位置からずれていることも考えられる。例えば、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 に対して、後述する工具 1 2 の中心軸線 L_2 がずれていることが考えられる。具体的には、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 に対して工具 1 2 の中心軸線 L_2 が傾いていることが考えられる。また、工具 1

2のうち主軸11に設定されている部分、具体的には工具12のうち軸部49が、主軸11のうち工具保持部33に保持されている部分において、主軸11の回転軸線L1に対して工具12の中心軸線L2が偏心していることも考えられる。また、工作機械2の主軸11以外の部分に対する主軸11の回転軸線L1の位置が、正規の位置からずれていることによって、複数の突部48の各々における、正規の位置にある仮想の主軸11の回転軸線L1と突部48の外面48aとの間の最大の距離が等しくならぬことも考えられる。

【0034】

図3及び図4に示す例においては、複数の突部48のうち、突部48の外面48aと主軸11の回転軸線L1との間の最大の距離が最も大きくなる突部48が、第1突部481となる。また、複数の突部48のうち、突部48の外面48aと主軸11の回転軸線L1との間の最大の距離が最も小さくなる突部48が、第2突部482となる。換言すれば、主軸11の回転軸線L1と突部48の外面48aとの間の最大の距離は、作動部46に含まれる複数の突部48のうち第1突部481において最大となり、第2突部482において最小となっている。

10

【0035】

続いて、本開示に係る工具測定装置1について説明する。工具測定装置1は、上述の通りに工作機械2の主軸11に設定された工具12を測定する。図1において、工具測定装置1はテーブル16の端に設置されている。

【0036】

図5は、工具測定装置1で工具12を測定している図を示している。図2及び図5に示すように、工具測定装置1は、工具12を撮影するカメラ22と、主軸11の回転角度を検出する主軸回転角度センサ23と、制御装置20と、を備える。工具測定装置1は、照明装置24を更に備える。先に示した3軸により図5に示す位置まで工具12を移動させることによって、工具測定装置1を用いて工具12を測定することができる。図5に示すように、工具測定装置1は、カメラ22と照明装置24の間に位置した状態の工具12を測定する。

20

【0037】

主軸回転角度センサ23は、主軸11の回転角度を検出するセンサである。一例として、主軸回転角度センサ23は、主軸11の回転の位相のうち1つの位相を基準位相と定めて、基準位相からの主軸11の回転角度を検出する。主軸回転角度センサ23は、主軸11に設けられている。

30

【0038】

主軸回転角度センサ23は、例えば主軸11の回転角度を検出するように設けられたロータリエンコーダである。ロータリエンコーダの分解能は、例えば0.1°以上5°以下であってもよく、0.1°未満であってもよい。ロータリエンコーダの分解能は、例えば1°である。主軸回転角度センサ23としてロータリエンコーダを用いることによって、ロータリエンコーダが検出した主軸11の回転角度に応じて制御装置20の後述する撮影指令制御部25が撮影指令を出力することで、工具12の適切な画像が撮影される。

【0039】

制御装置20は、工具測定装置1を制御するが、この制御装置20は、工具測定装置1を制御するとともに、工作機械2に接続されて工作機械2を制御してもよい。この場合、制御装置20は、主軸11の回転数や回転角度の位置決め等の制御を行ってもよい。制御装置20は、例えば図示しないCPUとメモリとを備えて構成されている。

40

【0040】

制御装置20は、主軸回転角度センサ23が検出した主軸11の回転角度に応じてカメラ22に撮影指令を出力する撮影指令制御部25と、カメラ22が撮影した画像に基づき演算を行う演算部27と、を有する。撮影指令制御部25は、主軸11の回転角度が異なる複数の位相において、カメラ22に撮影指令を出力する。演算部27は、撮影指令制御部25の撮影指令に応じて、複数の位相の各々においてカメラ22によって撮影された複数の画像に基づいて、後述する作動部ずれ量w6を演算する。撮影指令制御部25が撮影

50

指令を出力する具体的な方法については、工具測定装置 1 を用いた工具測定方法の説明において後述する。演算部 27 が作動部ずれ量 w_6 を演算する具体的な方法についても、工具測定装置 1 を用いた工具測定方法の説明において後述する。

【0041】

カメラ 22 は、図 5 に示すようにカメラ 22 と照明装置 24 の間に位置した状態の工具 12 を撮影する。特に、カメラ 22 は、回転している工具 12 を撮影して、工具 12 の画像（静止画像）を得るものである。カメラ 22 は、例えば、デジタルカメラであり、グローバルシャッターによって工具 12 を撮影するようになっている。一例として、カメラ 22 は高速シャッターを備えていて、工具 12 が数千回転 / 分で回転中でも静止画のような撮影が可能であってもよい。この場合、工具 12 を撮影するときのカメラ 22 のシャッタースピードは、回転している工具 12 の画像がほぼ静止画となる程度の短い時間になっている。またカメラ 22 にはズームレンズが取り付けられていて、制御装置 20 で拡大率の制御が行うことができるようになっている。図 5 に示すように照明装置 24 からの光を工具 12 の後ろから当てて画像を撮影することによって、工具 12 が影として撮影される。

10

【0042】

次に、照明装置 24 について説明する。図 6 は、本開示の実施形態に係る、工具 12、カメラ 22 及び照明装置 24 の位置関係を示す図である。図 6 は、軸線方向 d_1 に平行な視線から見た、工具 12、カメラ 22 及び照明装置 24 の位置を示している。図 6 に示す例において、照明装置 24 はストロボ 61 を有し、回転している工具 12 がカメラ 22 と照明装置 24 との間に挟まれるように、カメラ 22 及び照明装置 24 が設置されている。この場合、ストロボ 61 に工具 12 とカメラ 22 とに向けて光をさせた上で、カメラ 22 での工具 12 の撮影を行うことができる。このとき、ストロボ 61 は、工具 12 に向けて平行光 79 を発するように構成されている。

20

【0043】

カメラ 22 で工具 12 を撮影する際に、ストロボ 61 はバックライトとして機能し、これによって、カメラ 22 を用いて工具 12 のシルエットを撮影できる。

【0044】

次に、カメラ 22 とストロボ 61 の構成についてさらに説明する。ストロボ 61 が発する平行光 79 の進行方向は、例えば X 方向になっている。ストロボ 61 が発する平行光 79 の進行方向は、主軸 11 の回転軸線 L_1 に対して直交している。カメラ 22 のレンズ 69 の光軸 71 は、ストロボ 61 が発する平行光 79 の進行方向に平行に延びている。

30

【0045】

上述したように、カメラ 22 と照明装置 24 とは、カメラ 22 と照明装置 24 との間で回転している工具 12 を挟むよう配置される。そして、ストロボ 61 が工具 12 とカメラ 22 とに向けて平行光 79 を発させた上で、カメラ 22 での工具 12 の撮影をすることによって、実際の工具 12 の外形と差異が無い、工具 12 のシルエットを撮影することができる。

【0046】

工具 12 のシルエットを静止画像として撮影することで、工具 12 の外形が鮮明に表れる画像を容易に撮影することができる。

40

【0047】

上述したように、照明装置 24 はストロボ 61 を有する。ストロボ 61 を有する照明装置 24 は、工具 12 が高速で回転する場合、特に工具 12 が 1 万回転 / 分以上の回転数で回転する場合に、好適に用いられる。照明装置 24 がストロボ 61 を有する場合、ストロボ 61 の発光は、カメラ 22 の撮影によって、より鮮明な工具 12 の静止画像が得られるように、また、より短時間で工具 12 を撮影できるように、調整されてもよい。例えば、カメラ 22 のシャッターが開いている時間よりもストロボ 61 が発光している時間のほうが短くなり、且つカメラ 22 のシャッターが開いている時間内にストロボ 61 が発光するように、ストロボ 61 の発光が調整されてもよい。

50

【 0 0 4 8 】

すなわち、制御装置 2 0 によるカメラ 2 2 への撮影指令の出力によってカメラ 2 2 のシャッターが開いている時間内（カメラ 2 2 のシャッターが全開している時間内）にストロボ 6 1 が発光するように、ストロボ 6 1 の発光が調整されていてもよい。

【 0 0 4 9 】

ストロボ 6 1 は、カメラ 2 2 がシャッターを開く動作を開始した時刻よりもわずかな時間が経過した時刻であって、カメラ 2 2 がシャッターを閉じる動作を開始する前の時刻に、発光するように調整されていてもよい。

【 0 0 5 0 】

一例として、カメラ 2 2 が、制御装置 2 0 によるカメラ 2 2 への撮影指令の出力がされたときに直ちにシャッターを開く動作を開始するように設定されている場合について考える。この場合、制御装置 2 0 が、主軸回転角度センサ 2 3 の測定結果をトリガーとして、カメラ 2 2 のシャッターに撮影指令を出力すると同時にストロボ 6 1 に発光すべき旨の指示を出力することも考えられる。ただし、この場合、カメラ 2 2 に撮影指令が出力されてからカメラ 2 2 のシャッターが開ききるまでには時間差があるため、カメラ 2 2 のシャッターが開ききらないうちにストロボ 6 1 が発光してしまうことも考えられる。これを回避するために、ストロボ 6 1 の発光のタイミングが、カメラ 2 2 がシャッターを開く動作を開始するタイミングよりも遅れるように、カメラ 2 2 への撮影指令及びストロボ 6 1 への発光すべき旨の指示が出力されるタイミングが調整されてもよい。この場合、十分にシャッターが開ききったタイミングでストロボ 6 1 を発光させることができる。

【 0 0 5 1 】

特に、カメラ 2 2 のシャッターが開ききらないうちにストロボ 6 1 が発光しないように、カメラ 2 2 への撮影指令及びストロボ 6 1 への発光すべき旨の指示が出力されるタイミングが調整されてもよい。また、カメラ 2 2 のシャッターが閉じてしまっている状態、もしくは、閉じている途中の状態、ストロボ 6 1 が発光しないように、カメラ 2 2 への撮影指令及びストロボ 6 1 への発光すべき旨の指示が出力されるタイミングが調整されてもよい。

【 0 0 5 2 】

ストロボ 6 1 を使用して（ストロボ 6 1 の瞬間的な発光によって）工具 1 2 の静止画を撮影する場合には、上述したように、カメラ 2 2 のシャッタースピードを比較的遅くしたとしても、工具 1 2 を撮影することができる。なお、ストロボ 6 1 の発光体として LED が採用されている場合においては、LED の輝度が高く非常に明るいために、撮影環境を特に暗くしなくても、工具 1 2 のシルエットが明確に観察できる画像を撮影し得る。

【 0 0 5 3 】

図 6 に示すように、工具測定装置 1 は、工具 1 2 に対するストロボ 6 1 のアライメントを調整するためのアライメント調整装置 7 3 を備えてもよい。図 6 で示すアライメント調整装置 7 3 は、Z 方向に延びている所定の回転軸線を中心としたストロボ 6 1 の回転角度と、Y 方向に延びている所定の回転軸線を中心としたストロボ 6 1 の回転角度とを調整することによって、ストロボ 6 1 を回転位置決めする。また、図示はしないが、工具測定装置 1 は、工具 1 2 に対するカメラ 2 2 のアライメントを調整するための、カメラ 2 2 用のアライメント調整装置を備えていてもよい。カメラ 2 2 用のアライメント調整装置は、Z 方向に延びている所定の回転軸線を中心としたカメラ 2 2 の回転角度と、Y 方向に延びている所定の回転軸線を中心としたカメラ 2 2 の回転角度とを調整することによって、カメラ 2 2 を回転位置決めしてもよい。

【 0 0 5 4 】

工具測定装置 1 が、ストロボ 6 1 用のアライメント調整装置 7 3 及びカメラ 2 2 用のアライメント調整装置を備えることによって、ストロボ 6 1 が発する平行光 7 9 の進行方向とカメラ 2 2 のレンズ 6 9 の光軸 7 1 とをお互いが平行になるように調整することが容易になる。

【 0 0 5 5 】

10

20

30

40

50

カメラ 2 2 が高速シャッターを備え、且つ照明装置 2 4 がストロボ 6 1 を有する場合には、数 μ s e c の短い発光時間のストロボ 6 1 を用いることによって、工具 1 2 が特に高速で回転する場合であっても、回転中の工具 1 2 の測定が可能である。ストロボ 6 1 に用いられる発光体（発光源）として、たとえば L E D を採用することができる。

【 0 0 5 6 】

本開示の実施形態に係る照明装置 2 4 の効果について説明する。本開示の実施形態に係る照明装置 2 4 はストロボ 6 1 を有し、ストロボ 6 1 は、工具 1 2 に向けて光を発するように構成されている。このため、カメラ 2 2 のシャッターが開いている時間内にストロボ 6 1 が発光するようにストロボ 6 1 の発光を調整することによって、カメラ 2 2 のシャッターの開閉によって画像を撮影する場合に比べて、より短時間で工具 1 2 を撮影することができる。これによって、回転している工具 1 2 の鮮明な画像を安価にしかも容易に得ることができる。

10

【 0 0 5 7 】

仮にストロボ 6 1 を有しない照明装置 2 4 を用いた場合、カメラ 2 2 として、短いシャッタースピードで十分に鮮明な画像を連続して撮影できるカメラ 2 2 を用いる必要が生じる。このため、非常に高価なカメラ 2 2 が必要となり得る。これに対して、ストロボ 6 1 は立ち上がり時間が早く且つ短い時間の発光が可能であるため、ストロボ 6 1 を有する照明装置 2 4 を使用することによって、回転している工具 1 2 の鮮明な画像を撮影することができる。

【 0 0 5 8 】

次に、工作機械 2 の主軸 1 1 に設定された工具 1 2 を測定する工具測定方法について説明する。特に、図 1 に示すようにテーブル 1 6 にワーク 1 4 を載置して、工具 1 2 を回転させることによってワーク 1 4 を加工しているときに、ワーク 1 4 を加工するための工具 1 2 の回転を継続したままで工具 1 2 を測定する方法について説明する。

20

【 0 0 5 9 】

工具測定方法は、主軸 1 1 の回転角度を検出し、検出した主軸 1 1 の回転角度に応じて、主軸 1 1 の回転角度が異なる複数の位相において工具 1 2 を撮影する撮影工程と、撮影工程で複数の位相の各々において撮影された複数の画像に基づいて、主軸 1 1 の回転軸線 L 1 と第 1 突部 4 8 1 の外面 4 8 a との間の距離が最大となる第 1 距離 w_1 、およびこのときの第 1 位相と、主軸 1 1 の回転軸線 L 1 と第 2 突部 4 8 2 の外面 4 8 a との間の距離が最大となる第 2 距離 w_2 、およびこのときの第 2 位相と、を求め、第 1 距離 w_1 と第 2 距離 w_2 との差に相当する作動部ずれ量 w_6 を演算する演算工程と、を備える。本開示の実施形態において、工具測定方法は、工具 1 2 の少なくとも作動部 4 6 がカメラ 2 2 と照明装置 2 4 の間に位置するように、工具 1 2 を移動させる移動工程を更に備える。

30

【 0 0 6 0 】

工具測定方法においては、まず、移動工程において、工具 1 2 の少なくとも作動部 4 6 がカメラ 2 2 と照明装置 2 4 の間に位置するように、工具 1 2 を移動させる。移動工程は、例えば工作機械 2 でワーク 1 4 を加工しているときに、制御装置 2 0 に設定してある指定した時間が経過することで開始される。移動工程においては、主軸 1 1 の回転に伴って回転し、テーブル 1 6 に載置されたワーク 1 4 を加工している工具 1 2 を、回転を維持したままで、工具 1 2 の少なくとも作動部 4 6 がカメラ 2 2 と照明装置 2 4 の間に位置するように移動させる。テーブル 1 6 のベッド 1 8 に対する移動、サドル 6 のクロスレール 8 に沿った移動、主軸ヘッド 4 のサドル 6 に対する移動によって、工具 1 2 を主軸ヘッド 4 とともに移動させることができる。

40

【 0 0 6 1 】

撮影工程においては、主軸 1 1 の回転角度を検出し、検出した主軸 1 1 の回転角度に応じて、主軸 1 1 の回転角度が異なる複数の位相において工具 1 2 を撮影する。複数の位相における工具 1 2 の撮影は、上述した撮影指令制御部 2 5 が主軸 1 1 の回転角度が異なる複数の位相においてカメラ 2 2 に撮影指令を出力することによって、行われる。一例として、工具 1 2 の撮影は、 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡って行われる。主軸 1 1

50

の回転角度の検出は上述した主軸回転角度センサ 2 3 によって行われる。

【 0 0 6 2 】

撮影工程について、より具体的に説明する。撮影工程においては、まず、主軸 1 1 の回転の位相のうち 1 つの位相を基準位相と定めて、基準位相において撮影指令制御部 2 5 に撮影指令を出力させて、工具 1 2 を撮影する。また、主軸回転角度センサ 2 3 によって、基準位相にある主軸 1 1 の位置を把握する。次に、基準位相から角度 だけずれた位相において、撮影指令制御部 2 5 に撮影指令を出力させて、工具 1 2 を撮影する。この後、先の画像が撮影された位相から、更に角度 だけずれた位相において撮影指令制御部 2 5 に撮影指令を出力させて工具 1 2 を撮影する操作を繰り返す。これによって、工具 1 2 の撮影を、角度 だけずれた位相毎に、 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡って行うことができる。この場合の角度 は、例えば 1° である。角度 が 1° のときは、工具 1 2 の撮影を、 1° だけずれた位相毎に 360 回繰り返すことによって、工具 1 2 の撮影を 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡って行うことができる。角度 は、 5° であってもよい。角度 が 5° のときは、工具 1 2 の撮影を、 5° だけずれた位相毎に 72 回繰り返すことによって、工具 1 2 の撮影を 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡って行うことができる。

10

【 0 0 6 3 】

ここで、撮影工程においては、工具 1 2 の異なる回転毎に工具 1 2 を撮影する。言い換えると、撮影工程において、工具 1 2 が一回転する間には、2 回以上の撮影を行わない。例えば、撮影工程において、第 n の位相 (n は正の整数とする) において n 回目の工具 1 2 の撮影を行った後、第 n の位相から角度 だけずれた第 $n + 1$ の位相において $n + 1$ 回目の工具 1 2 の撮影を行う場合には、以下のように撮影を行う。 $n + 1$ 回目の工具 1 2 の撮影を、 n 回目の工具 1 2 の撮影を行ってから工具 1 2 が角度 だけ回転したときに行うのではなく、工具 1 2 が m 回転した上で更に角度 だけ回転したときに行う (m は正の整数、例えば 10 回転とする)。 $n + 1$ 回目の工具 1 2 の撮影は、例えば、 n 回目の工具 1 2 の撮影を行ってから、工具 1 2 が 10 回転した上で更に角度 だけ回転したときに行うことができる。 $n + 1$ 回目の工具 1 2 の撮影は、 n 回目の工具 1 2 の撮影を行ってから、工具 1 2 が 5 回転した上で更に角度 だけ回転したときに行ってもよい。

20

【 0 0 6 4 】

一例として、撮影工程においては、工具 1 2 の異なる回転毎に順次 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡り工具 1 2 を撮影する。この場合、撮影指令制御部 2 5 は、工具 1 2 の異なる回転毎に撮影指令を順次 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡り出力する。

30

【 0 0 6 5 】

なお、工具 1 2 の異なる回転毎に順次 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡り工具 1 2 を撮影する操作には、基準位相において工具 1 2 を撮影した後に、主軸 1 1 の回転角度の小さな位相から大きな位相に向かって順に工具 1 2 を撮影することが含まれる。また、工具 1 2 の異なる回転毎に順次 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡り工具 1 2 を撮影する操作には、主軸 1 1 の回転角度の大小とは無関係な順序で工具 1 2 を撮影することも含まれる。また、工具 1 2 の異なる回転毎に撮影指令を順次 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡り出力する撮影指令制御部 2 5 には、基準位相において工具 1 2 を撮影する撮影指令を出力した後に、主軸 1 1 の回転角度の小さな位相から大きな位相に向かって順に撮影指令を出力する撮影指令制御部 2 5 が含まれる。また、工具 1 2 の異なる回転毎に撮影指令を順次 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡り出力する撮影指令制御部 2 5 には、主軸 1 1 の回転角度の大小とは無関係な順序で撮影指令を出力する撮影指令制御部 2 5 も含まれる。

40

【 0 0 6 6 】

撮影工程において、工具 1 2 の異なる回転毎に工具 1 2 を撮影することの効果について説明する。 n 回目の工具 1 2 の撮影を行ってから工具 1 2 が角度 だけ回転したときに $n + 1$ 回目の工具 1 2 の撮影を行う場合について考える。この場合、 n 回目の撮影と $n + 1$ 回目の撮影とを行うためには、工具 1 2 が角度 だけ回転する短時間の間に、 n 回目の撮

50

影と $n + 1$ 回目の撮影とを続けて行う必要が生じる。特に、上述したように工具 1 2 が高速回転している場合には、工具 1 2 が角度 だけ回転する時間は、極めて短時間となってしまう。

【 0 0 6 7 】

これに対して、工具 1 2 の異なる回転毎に工具 1 2 を撮影するものとし、 n 回目の工具 1 2 の撮影を行ってから工具 1 2 が m 回転、例えば 1 0 回転した上で更に角度 だけ回転したときに $n + 1$ 回目の工具 1 2 の撮影を行うことによって、以下の効果が得られる。すなわち、工具 1 2 が m 回転、例えば 1 0 回転した上で更に角度 だけ回転するまでの間に n 回目の撮影と $n + 1$ 回目の撮影とを行うことで、第 n の位相と、第 n の位相から角度 だけずれた第 $n + 1$ の位相とにおいて工具 1 2 の画像を撮影できる。このために、 m の値を大きくすることによって、高速回転する工具 1 2 を撮影する場合であっても、カメラ 2 2 のシャッタースピードが追い付かなくなる懸念なく、画像を撮影できる。

10

【 0 0 6 8 】

本開示の実施形態に係る工具測定方法は、本開示の実施形態に係る工具測定装置 1 を用いて行われる。そして、工具測定装置 1 は、主軸 1 1 の回転角度を検出する主軸回転角度センサ 2 3 と、主軸回転角度センサ 2 3 が検出した主軸 1 1 の回転角度に応じてカメラ 2 2 に撮影指令を出力する撮影指令制御部 2 5 を有する制御装置 2 0 と、を備える。このために、上述したように、 n 回目の工具 1 2 の撮影を行ってから、工具 1 2 が m 回転した上で更に角度 だけ回転したときに、 $n + 1$ 回目の工具 1 2 の撮影を行うことができる。これによって、工具 1 2 が一回転する間に複数回の撮影を行わなくとも、 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡って、角度 ずつずれた位相における工具 1 2 の画像を撮影できる。

20

【 0 0 6 9 】

なお、特定の位相における工具 1 2 を撮影することが求められた場合に、主軸 1 1 が該特定の位相まで回転したときに撮影指令制御部 2 5 が撮影指令を出力していると、実際の撮影タイミングが遅れる場合がある。撮影タイミングの遅れは、例えば撮影指令制御部 2 5 が撮影指令を出力してからカメラ 2 2 が撮影を行うまでのタイムラグ、主軸回転角度センサ 2 3 に起因して発生するタイムラグ、又は制御装置 2 0 に起因して発生するタイムラグ等のために生じる。撮影タイミングの遅れの影響は、特に主軸 1 1 が高速回転している場合に顕著に表れると考えられる。これを防止するために、撮影指令制御部 2 5 は、主軸 1 1 が該特定の位相まで回転する少し前に撮影指令を出力してもよい。この場合、主軸 1 1 が該特定の位相にどの程度近づいたら撮影指令を出力するのかを事前に実験で測定しておいてもよい。また、照明装置 2 4 は、上述した撮影タイミングの遅れを考慮して、実際の撮影タイミングにおいて発光するように設定されていてもよい。一例として、撮影指令の出力から照明装置 2 4 が発光するまでの時間は、 $\mu s e c$ 単位で調整できる。

30

【 0 0 7 0 】

撮影工程で複数の位相の各々において撮影された複数の画像には、例えば図 7 A 及び図 7 B に示すような画像が含まれる。図 7 A は、図 4 に示す、作動部 4 6 が 3 つの突部 4 8 を含む工具 1 2 を、図 4 の矢印 2 6 A で示した方向から撮影した画像を示す図である。矢印 2 6 A で示した方向は、主軸 1 1 の回転軸線 L 1 に垂直な方向である。図 7 B は、図 4 に示す工具 1 2 を、図 4 の矢印 2 6 B で示した方向から撮影した画像を示す図である。矢印 2 6 B で示した方向は、矢印 2 6 A で示した方向とは異なり、且つ主軸 1 1 の回転軸線 L 1 に垂直な方向である。なお、図 7 A 及び図 7 B においては、作動部 4 6 が有する複数の突部 4 8 の具体的な形状については図示を省略して、作動部 4 6 の概形を矩形として示している。

40

【 0 0 7 1 】

本開示の実施形態においては、図 7 A 及び図 7 B に示すように、工具 1 2 の作動部 4 6 が写るように、画像が撮影されている。図 7 A 及び図 7 B に示す例においては、作動部 4 6 とともに軸部 4 9 が写るように、画像が撮影されている。図 7 A 及び図 7 B に示す例においては、工具 1 2 のうち作動部 4 6 の全体と軸部 4 9 の一部とのシルエットの画像が撮

50

影されている。

【0072】

演算工程においては、撮影工程で複数の位相の各々において撮影された複数の画像に基づいて、作動部ずれ量を演算する。具体的には、主軸11の回転軸線L1と第1突部481の外面48aとの間の距離が最大となる第1距離w1、およびこのときの第1位相を求める。また、主軸11の回転軸線L1と第2突部482の外面48aとの間の距離が最大となる第2距離w2、およびこのときの第2位相を求める。そして、第1距離w1と第2距離w2との差に相当する作動部ずれ量w6を演算する。本開示の実施形態に係る工具測定方法において、演算工程は、第1位相における軸部49の外面49aから主軸11の回転軸線L1までの距離w7と、第2位相における軸部49の外面49aから主軸11の回転軸線L1までの距離w7との差である軸部ずれ量w8を演算する、軸部ずれ量演算工程と、作動部ずれ量w6と軸部ずれ量w8との差に基づいて、作動部46の歪みを求める、歪み演算工程と、を含む。

10

【0073】

演算工程は、上述した演算部27によって行われる。すなわち、演算部27は、主軸11の回転軸線L1と第1突部481の外面48aとの間の距離が最大となる第1距離w1、およびこのときの第1位相を求める。また、主軸11の回転軸線L1と第2突部482の外面48aとの間の距離が最大となる第2距離w2、およびこのときの第2位相を求める。また、本開示の実施形態に係る演算部27は、第1位相における軸部49の外面49aから主軸11の回転軸線L1までの距離w7と、第2位相における軸部49の外面49aから主軸11の回転軸線L1までの距離w7との差である軸部ずれ量w8を演算し、更に作動部ずれ量w6と軸部ずれ量w8との差に基づいて、作動部46の歪みを求める。

20

【0074】

演算工程においては、まず、撮影工程で撮影された複数の画像の各々において、主軸11の回転軸線L1と作動部46の外面46aとの間の距離を求める。具体的には、撮影工程で撮影された複数の画像の各々には工具12のシルエットが表れるところ、複数の画像の各々において工具12のうち作動部46のシルエットの輪郭をなす外面46aと、主軸11の回転軸線L1と、の間の距離を求める。特に、複数の画像の各々において、作動部46のシルエットの輪郭をなす外面46aのうち、主軸11の回転軸線L1を境界として一方の側(図7A及び図7Bに示す例においては図の左側)に位置する外面46aと、主軸11の回転軸線L1と、の間の距離を求める。

30

【0075】

なお、画像における主軸11の回転軸線L1と作動部46の外面46aとの間の距離は、例えばデジタル画像の画素数を数えることによって求められる。また、画像における主軸11の回転軸線L1と作動部46の外面46aとの間の距離を求めるに際して、例えば以下の方法によって、演算部27に主軸11の回転軸線L1の位置を特定させることができる。制御装置20に、カメラ22が撮影する画像における主軸11の回転軸線L1の位置を記憶させておく。そして、記憶された主軸11の回転軸線L1の位置を、演算部27に参照させる。これによって、演算部27に、画像における主軸11の回転軸線L1の位置を特定させることができる。

40

【0076】

ここで、撮影された画像において、主軸11の回転軸線L1と作動部46の外面46aとの間の距離は、軸線方向d1における異なる位置で比較して、一定ではない場合がある。図7A及び図7Bに示す符号L2を付した二点鎖線は、工具12の中心を通る軸線を示している。工具12の中心を通る軸線を、工具12の中心軸線L2と呼ぶ。工具12が歪みのない理想的な形状を有する場合において、工具12の形状は、中心軸線L2を中心として回転対称となる。図7A及び図7Bに示す例においては、工具12の中心軸線L2が、主軸11の回転軸線L1に対してずれているために、画像における主軸11の回転軸線L1と作動部46の外面46aとの間の距離が、軸線方向d1における異なる位置で比較して、一定ではない。例えば、図7A及び図7Bの各々において、軸線方向d1の第1の

50

位置 L 3 における作動部 4 6 の外面 4 6 a と主軸 1 1 の回転軸線 L 1 との間の距離 w_3 と、軸線方向 d_1 の第 2 の位置 L 4 における作動部 4 6 の外面 4 6 a と主軸 1 1 の回転軸線 L 1 との間の距離 w_4 とは、等しくない。また、上述したように突部 4 8 が基部 4 5 を螺旋状に周回するように設けられているために、撮影された画像における作動部 4 6 の外面 4 6 a と主軸 1 1 の回転軸線 L 1 との間の距離が一定とならないことも考えられる。

【 0 0 7 7 】

この場合、主軸 1 1 の回転軸線 L 1 と作動部 4 6 の外面 4 6 a との間の距離として、軸線方向 d_1 の特定の位置である基準位置 L 5 における主軸 1 1 の回転軸線 L 1 と作動部 4 6 の外面 4 6 a との間の距離を求めてもよい。基準位置 L 5 は、例えば、工具 1 2 のワーク 1 4 に接触し得る位置に定められる。具体的には、基準位置 L 5 は、工具 1 2 のワーク 1 4 に接触し得る位置のうち、最も主軸 1 1 から離れた位置に定められてもよい。本開示の実施形態においては、第 1 の位置 L 3 を基準位置 L 5 とする。この場合、演算工程において、基準位置 L 5 における主軸 1 1 の回転軸線 L 1 と作動部 4 6 の外面 4 6 a との間の距離として、図 7 A 及び図 7 B に示す画像の距離 w_3 が求められる。

10

【 0 0 7 8 】

図 8 は、図 4 に示す、作動部 4 6 が 3 つの突部 4 8 を含む工具 1 2 における、画像が撮影される位相の変化と、各位相において撮影される画像の基準位置 L 5 における主軸 1 1 の回転軸線 L 1 と作動部 4 6 の外面 4 6 a との間の距離 w_3 の変化との対応を示すグラフである。なお、図 8 においては、画像が撮影される位相の変化と距離 w_3 との対応を、曲線によって表している。当該曲線は、例えば、グラフ上に画像が撮影された各位相と距離 w_3 との対応を示す複数の点をプロットし、プロットされた複数の点を結ぶことで得られる。また、図 8 においては、図 4 の矢印 2 6 B で示した方向から画像が撮影される位相を基準位相、すなわち主軸 1 1 の回転角度が 0° の位相と定めて、工具 1 2 が周回方向 d_2 を第 1 側 s_1 に向かって回転する場合の、 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡る位相の変化を横軸に示している。図 8 に示す符号 L 6 を付した破線は、図 4 の矢印 2 6 A で示した方向から画像が撮影される位相における主軸 1 1 の回転角度の位置を示している。また、図 8 に示すグラフには、作動部 4 6 のうち基部 4 5 の断面形状には歪みがなく、主軸 1 1 の回転軸線 L 1 に対する工具 1 2 の中心軸線 L 2 のずれが特に小さい場合の、画像が撮影される位相の変化と距離 w_3 の変化との対応が示されている。

20

【 0 0 7 9 】

図 8 に示す例において、距離 w_3 は、画像が撮影される位相の変化に応じて、複数の極大値 9_3 を示すように変化している。図 8 に示す位相範囲には、距離 w_3 の複数回の山型の変化が表れている。

30

【 0 0 8 0 】

距離 w_3 は、画像が撮影される位相の 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡る変化に応じて、作動部 4 6 に含まれる突部 4 8 の数だけ山型の変化が表れるように変化する。また、距離 w_3 は、画像が撮影される位相の 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡る変化に応じて、作動部 4 6 に含まれる突部 4 8 の数の極大値 9_3 が表れるように変化する。図 4 に示す工具 1 2 の作動部 4 6 には 3 つの突部 4 8 が含まれる。このため、図 8 に示すグラフには、3 つの山型の変化が表れている。また、距離 w_3 は、極大値 $9_3 a$ 、極大値 $9_3 b$ 、極大値 $9_3 c$ の 3 つの極大値 9_3 が表れるように変化している。

40

【 0 0 8 1 】

図 8 に示すような、画像が撮影される位相の 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡る変化と距離 w_3 との対応を示すグラフから、基準位置 L 5 における主軸 1 1 の回転軸線 L 1 と第 1 突部 4 8 1 の外面 4 8 a との間の距離が最大となる第 1 距離 w_1 、およびこのときの第 1 位相を求めることができる。また、図 8 に示すようなグラフから、基準位置 L 5 における主軸 1 1 の回転軸線 L 1 と第 2 突部 4 8 2 の外面 4 8 a との間の距離が最大となる第 2 距離 w_2 、およびこのときの第 2 位相を求めることができる。以下、第 1 距離 w_1 、第 1 位相、第 2 距離 w_2 及び第 2 位相を求める方法の一例として、図 8 に示すグラフから第 1 距離 w_1 、第 1 位相、第 2 距離 w_2 及び第 2 位相を求める方法について説明する。

50

【 0 0 8 2 】

まず、画像が撮影される位相の 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡る変化と、距離 w_3 と、の対応を示すグラフに表れる複数の極大値 9_3 を特定する。特定された複数の極大値 9_3 の各々は、基準位置 L_5 における主軸 1_1 の回転軸線 L_1 と複数の突部 4_8 の各々の外面 $4_8 a$ との間の最大の距離に相当する。

【 0 0 8 3 】

本開示の実施形態においては、上述したように、図 4 に示す基準位置 L_5 における工具 1_2 の断面図において、複数の突部 4_8 のうち、突部 4_8 の外面 $4_8 a$ と主軸 1_1 の回転軸線 L_1 との間の最大の距離が最も大きくなる突部 4_8 を、第 1 突部 $4_8 1$ とする。また、複数の突部 4_8 のうち、突部 4_8 の外面 $4_8 a$ と主軸 1_1 の回転軸線 L_1 との間の最大の距離が最も小さくなる突部 4_8 を、第 2 突部 $4_8 2$ とする。このため、特定された極大値 9_3 のうち最も大きな極大値 $9_3 a$ は、基準位置 L_5 における主軸 1_1 の回転軸線 L_1 と第 1 突部 $4_8 1$ の外面 $4_8 a$ との間の距離が最大となる第 1 距離 w_1 に相当する。また、特定された極大値 9_3 のうち最も小さな極大値 $9_3 b$ は、基準位置 L_5 における主軸 1_1 の回転軸線 L_1 と第 2 突部 $4_8 2$ の外面 $4_8 a$ との間の距離が最大となる第 2 距離 w_2 に相当する。このため、特定された極大値 9_3 から最も大きな極大値 $9_3 a$ を特定することによって、第 1 距離 w_1 を求めることができる。また、特定された極大値 9_3 から最も小さな極大値 $9_3 b$ を特定することによって、第 2 距離 w_2 を求めることができる。なお、図 8 に示す極大値 $9_3 c$ は、図 4 に示す第 3 突部 $4_8 3$ の外面 $4_8 a$ と主軸 1_1 の回転軸線 L_1 との間の最大の距離に相当する。

【 0 0 8 4 】

第 1 位相は、図 7 A 及び図 7 B に示すような撮影工程で撮影された複数の画像のうち、距離 w_3 が第 1 距離 w_1 となる画像が撮影された位相である。第 1 位相は、図 8 に示すような画像が撮影される位相の変化と距離 w_3 との対応を示すグラフの、距離 w_3 が最も大きな極大値 $9_3 a$ をとるときの位相として求められる。図 8 に示す例において、第 1 位相は、主軸 1_1 の回転角度が符号 L_6 に位置を示す回転角度となる位相である。第 2 位相は、図 7 A 及び図 7 B に示すような撮影工程で撮影された複数の画像のうち、距離 w_3 が第 2 距離 w_2 となる画像が撮影された位相である。第 2 位相は、図 8 に示すような画像が撮影される位相の変化と距離 w_3 との対応を示すグラフの、距離 w_3 が最も小さな極大値 $9_3 b$ をとるときの位相として求められる。図 8 に示す例において、第 2 位相は、主軸 1_1 の回転角度が符号 L_7 を付した破線によって位置を示す回転角度となる位相である。

【 0 0 8 5 】

第 1 距離 w_1 、第 1 位相、第 2 距離 w_2 及び第 2 位相を求めた後に、第 1 距離 w_1 と第 2 距離 w_2 との差に相当する、図 8 に示す作動部ずれ量 w_6 を演算する。作動部ずれ量 w_6 は、第 1 距離 w_1 から第 2 距離 w_2 を引くことによって求められる。

【 0 0 8 6 】

なお、複数の位相の各々において撮影された複数の画像に基づいて、第 1 距離 w_1 、第 1 位相、第 2 距離 w_2 及び第 2 位相を求め、第 1 距離 w_1 と第 2 距離 w_2 との差に相当する作動部ずれ量 w_6 を演算する演算工程は、上述した例に限られない。本開示の実施形態に係る演算部 27 には、複数の位相の各々において撮影された複数の画像に基づいて、実質的に第 1 距離 w_1 と第 2 距離 w_2 との差に相当する作動部ずれ量 w_6 を演算する演算工程が含まれる。

【 0 0 8 7 】

また、複数の位相の各々において撮影された複数の画像に基づいて、第 1 距離 w_1 、第 1 位相、第 2 距離 w_2 及び第 2 位相を求め、第 1 距離 w_1 と第 2 距離 w_2 との差に相当する作動部ずれ量 w_6 を演算する演算部 27 は、上述した例に限られない。本開示の実施形態に係る演算部 27 には、複数の位相の各々において撮影された複数の画像に基づいて、実質的に第 1 距離 w_1 と第 2 距離 w_2 との差に相当する作動部ずれ量 w_6 を演算する演算部 27 が含まれる。

【 0 0 8 8 】

10

20

30

40

50

例えば、演算工程においては、以下の方法によって作動部ずれ量 w_6 を演算してもよい。まず、第 1 位相において撮影された画像と第 2 位相において撮影された画像とを、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 及び基準位置 L_5 が重なるように重ねる。そして、第 1 位相において撮影された画像に表れている第 1 突部 4 8 1 の外面 4 8 a と、第 2 位相において撮影された画像に表れている第 2 突部 4 8 2 の外面 4 8 a と、の距離を求め、作動部ずれ量 w_6 とする。この方法によっても、実質的に第 1 距離 w_1 と第 2 距離 w_2 との差に相当する作動部ずれ量 w_6 を演算できる。上述した方法は、演算部 2 7 によって行うことができる。

【0089】

演算により作動部ずれ量 w_6 を求めることの効果について説明する。作動部ずれ量 w_6 が大きいほど、工具 1 2 を用いてワーク 1 4 を加工する際に、作動部 4 6 の複数の突部 4 8 の各々のワーク 1 4 への接触が不均等になる。このため、作動部ずれ量 w_6 が大きいほど、工具 1 2 による加工の精度が低下すると考えられる。演算により作動部ずれ量 w_6 を求めることによって、求められた作動部ずれ量 w_6 に基づいて、作動部 4 6 の複数の突部 4 8 の各々のワーク 1 4 への接触の不均等さの度合いを把握できる。更に、作動部ずれ量 w_6 を、工具 1 2 の交換や主軸 1 1 に対して工具 1 2 が設定される位置の調整を行う指標とすることによって、工具 1 2 による加工の精度を確保できる。

10

【0090】

また、上述したように、本開示の実施形態に係る演算工程は、軸部ずれ量演算工程と、歪み演算工程と、を含む。

【0091】

軸部ずれ量演算工程においては、撮影工程で撮影された複数の画像に基づいて、第 1 位相における軸部 4 9 の外面 4 9 a から主軸 1 1 の回転軸線 L_1 までの距離 w_7 と、第 2 位相における軸部 4 9 の外面 4 9 a から主軸 1 1 の回転軸線 L_1 までの距離 w_7 との差である軸部ずれ量 w_8 を演算する。

20

【0092】

軸部ずれ量演算工程の一例について説明する。軸部ずれ量演算工程においては、まず、撮影工程で撮影された複数の画像の各々において、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と軸部 4 9 の外面 4 9 a との間の距離を求める。具体的には、撮影工程で撮影された複数の画像の各々には工具 1 2 のシルエットが表れるところ、複数の画像の各々において工具 1 2 のうち軸部 4 9 のシルエットの輪郭をなす外面 4 9 a と、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と、の間の距離を求める。特に、複数の画像の各々において、軸部 4 9 のシルエットの輪郭をなす外面 4 9 a のうち、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 を境界として一方の側（図 7 A 及び図 7 B に示す例においては図の左側）に位置する外面 4 9 a と、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と、の間の距離を求める。撮影された画像における主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と軸部 4 9 の外面 4 9 a との間の距離を求める方法の詳細は、上述した、演算工程において画像における主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と作動部 4 6 の外面 4 6 a との間の距離を求める方法の詳細と同様である。

30

【0093】

ここで、撮影された画像において、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と軸部 4 9 の外面 4 9 a との間の距離は、軸線方向 d_1 における異なる位置で比較して、一定ではない場合がある。図 7 A 及び図 7 B に示す例においては、工具 1 2 の中心軸線 L_2 が、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 に対してずれているために、画像における主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と作動部 4 6 の外面 4 6 a との間の距離が、軸線方向 d_1 における異なる位置で比較して、一定ではない。

40

【0094】

この場合、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と軸部 4 9 の外面 4 9 a との間の距離として、軸線方向 d_1 の特定の位置である軸部基準位置 L_8 における主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と軸部 4 9 の外面 4 9 a との間の距離を求めてもよい。軸部基準位置 L_8 は、例えば図 7 A 及び図 7 B に示すように、軸部 4 9 と作動部 4 6 との境界の位置に定められる。この場合、軸部ずれ量演算工程において、軸部基準位置 L_8 における主軸 1 1 の回転軸線 L_1 と軸部 4 9 の外面 4 9 a との間の距離として、図 7 A 及び図 7 B に示す画像の距離 w_7 が求められる。なお、後述するように、工作機械 2 の主軸 1 1 以外の部分に対する主軸 1 1 の回転軸線

50

L 1 の位置が、正規の位置からずれていることが想定される場合には、以下のように距離 w_7 を定めてもよい。距離 w_7 を、正規の位置にある仮想の主軸 1 1 の回転軸線 L 1 と軸部 4 9 の外面 4 9 a との間の距離としてもよい。

【 0 0 9 5 】

図 9 は、図 4 に示す工具 1 2 における、画像が撮影される位相の変化と、各位相において撮影される画像の軸部基準位置 L 8 における主軸 1 1 の回転軸線 L 1 と軸部 4 9 の外面 4 9 a との間の距離 w_7 の変化との対応を示すグラフである。なお、図 9 においては、画像が撮影される位相の変化と距離 w_7 との対応を、曲線によって表している。当該曲線は、例えば、グラフ上に画像が撮影された各位相と距離 w_7 との対応を示す複数の点をプロットし、プロットされた複数の点を結ぶことで得られる。また、図 9 においては、図 4 の矢印 2 6 B で示した方向から画像が撮影される位相を基準位相、すなわち主軸 1 1 の回転角度が 0° の位相と定めて、工具 1 2 が図 4 に示す周回方向 d 2 を第 1 側 s 1 に向かって回転する場合の、 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡る位相の変化を横軸に示している。図 9 に示す符号 L 9 を付した破線は、図 4 の矢印 2 6 A で示した方向から画像が撮影される位相における主軸 1 1 の回転角度の位置を示している。図 9 に示す例において、第 1 位相は、主軸 1 1 の回転角度が符号 L 9 に位置を示す回転角度となる位相である。また、図 9 に示す例において、第 2 位相は、主軸 1 1 の回転角度が符号 L 1 0 を付した破線によって位置を示す回転角度となる位相である。また、図 9 に示すグラフには、軸部 4 9 の断面形状には歪みがない場合の、画像が撮影される位相の変化と距離 w_7 の変化との対応が示されている。

【 0 0 9 6 】

図 9 に示す例において、距離 w_7 は、画像が撮影される位相の変化に応じて、正弦曲線と同様の形状の波形を描くように変化している。図 9 に示す例において、距離 w_7 は、最大値 9 4 と、最小値 9 5 とが表れるように変化している。

【 0 0 9 7 】

一例として、図 9 に示すような、画像が撮影される位相の 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡る変化と距離 w_7 との対応を示すグラフから、軸部基準位置 L 8 における、第 1 位相における軸部 4 9 の外面 4 9 a から主軸 1 1 の回転軸線 L 1 までの距離 w_7 と、第 2 位相における軸部 4 9 の外面 4 9 a から主軸 1 1 の回転軸線 L 1 までの距離 w_7 との差である軸部ずれ量 w_8 を演算することができる。以下、軸部ずれ量 w_8 を求める方法の一例として、図 9 に示すグラフから軸部ずれ量 w_8 を求める方法について説明する。

【 0 0 9 8 】

まず、画像が撮影される位相の 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡る変化と、距離 w_7 と、の対応を示すグラフから、軸部基準位置 L 8 における、第 1 位相における軸部 4 9 の外面 4 9 a から主軸 1 1 の回転軸線 L 1 までの距離 w_7 を特定する。また、軸部基準位置 L 8 における、第 2 位相における軸部 4 9 の外面 4 9 a から主軸 1 1 の回転軸線 L 1 までの距離 w_7 を特定する。そして、特定された第 1 位相における軸部 4 9 の外面 4 9 a から主軸 1 1 の回転軸線 L 1 までの距離 w_7 から、特定された第 2 位相における軸部 4 9 の外面 4 9 a から主軸 1 1 の回転軸線 L 1 までの距離 w_7 を引く。これによって、軸部基準位置 L 8 における、第 1 位相における軸部 4 9 の外面 4 9 a から主軸 1 1 の回転軸線 L 1 までの距離 w_7 と、第 2 位相における軸部 4 9 の外面 4 9 a から主軸 1 1 の回転軸線 L 1 までの距離 w_7 との差である軸部ずれ量 w_8 を演算できる。なお、第 1 位相における軸部 4 9 の外面 4 9 a から主軸 1 1 の回転軸線 L 1 までの距離 w_7 のほうが、第 2 位相における軸部 4 9 の外面 4 9 a から主軸 1 1 の回転軸線 L 1 までの距離 w_7 よりも大きい場合には、距離 w_7 は負の値となる。

【 0 0 9 9 】

歪み演算工程においては、作動部ずれ量 w_6 と軸部ずれ量 w_8 との差に基づいて、作動部 4 6 の歪みを求める。すなわち、作動部ずれ量 w_6 と軸部ずれ量 w_8 との差に基づいて、作動部 4 6 の歪みの度合いを評価する。具体的には、作動部ずれ量 w_6 と軸部ずれ量 w_8 との差に基づいて、作動部 4 6 の歪みの度合いを表す歪み度 を計算して、歪み度 の

大きさに基づいて、作動部 4 6 の歪みの度合いを評価する。なお、軸部ずれ量 w_7 が負の値である場合には、歪み度 α は、作動部ずれ量 w_6 に軸部ずれ量 w_8 の絶対値を足した値となる。

【0100】

作動部ずれ量 w_6 と軸部ずれ量 w_8 との差に基づいて作動部 4 6 の歪みを求めることの効果について説明する。上述したように、作動部ずれ量 w_6 に基づいて、作動部 4 6 の複数の突部 4 8 の各々のワーク 1 4 への接触の不均等さの度合いを把握できる。しかしながら、作動部ずれ量 w_6 の大きさは、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 に対する工具 1 2 の中心軸線 L_2 のずれと、複数の突部 4 8 の各々の大きさが異なる等の作動部 4 6 の歪みとの、両方の影響によって決まる。また、工作機械 2 の主軸 1 1 以外の部分に対する主軸 1 1 の回転軸線 L_1 の位置が正規の位置からずれていることが想定される場合には、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 の位置の正規の位置からのずれも、作動部ずれ量 w_6 の大きさに影響する。そして、作動部ずれ量 w_6 を求めるだけでは、作動部ずれ量 w_6 が、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 に対する工具 1 2 の中心軸線 L_2 のずれや主軸 1 1 の回転軸線 L_1 の位置の正規の位置からのずれが大きいために大きくなっているのか、作動部 4 6 の歪みが大きいために大きくなっているのかは把握できない。

10

【0101】

これに対して、作動部ずれ量 w_6 と軸部ずれ量 w_8 との差に基づいて作動部 4 6 の歪みを求めることによって、作動部ずれ量 w_6 に対する作動部 4 6 の歪みの影響の大きさを把握できる。例えば、求められた作動部ずれ量 w_6 が大きい場合に、作動部 4 6 の歪み度が大きければ、作動部 4 6 の歪みが大きいために作動部ずれ量 w_6 が大きくなっていると判断できる。また、求められた作動部ずれ量 w_6 が大きい場合に、作動部 4 6 の歪み度が小さければ、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 に対する工具 1 2 の中心軸線 L_2 のずれや主軸 1 1 の回転軸線 L_1 の位置の正規の位置からのずれが大きいために作動部ずれ量 w_6 が大きくなっていると判断できる。

20

【0102】

なお、作動部ずれ量 w_6 と軸部ずれ量 w_8 との差に基づいて作動部 4 6 の歪みを求めることには、軸部ずれ量 w_8 に基づいて軸部ずれ量 w_8 の補正值を計算し、作動部ずれ量 w_6 と軸部ずれ量 w_8 の補正值との差に基づいて作動部 4 6 の歪みを求めることも含まれる。

30

【0103】

軸部ずれ量 w_8 の補正值を計算する方法の一例について説明する。図 7 A 及び図 7 B に示すように、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 に対して工具 1 2 の中心軸線 L_2 が傾いていることが考えられる。この場合、工具 1 2 の中心軸線 L_2 の傾きによる影響は、基準位置 L_5 において求められる作動部ずれ量 w_6 よりも、基準位置 L_5 よりも主軸 1 1 側に位置する軸部基準位置 L_8 において求められる軸部ずれ量 w_8 において、大きくなると考えられる。このような場合、以下のようにして軸部ずれ量 w_8 の補正值を計算してもよい。工具 1 2 の主軸 1 1 側の端部から基準位置 L_5 までの距離を w_9 とする。また、工具 1 2 の主軸 1 1 側の端部から軸部基準位置 L_8 までの距離を w_{10} とする。このときに、軸部ずれ量 w_8 に (w_9 / w_{10}) を乗じて軸部ずれ量 w_8 の補正值を算出し、この軸部ずれ量 w_8 と作動部ずれ量 w_6 との差に基づいて作動部 4 6 の歪みを求めてもよい。言い換えると、作動部 4 6 の歪みの度合いを表す歪み度 α を、以下の式 (1) によって求めてもよい。

40

【数 1】

$$\alpha = w_6 - w_8 (w_9 / w_{10}) \quad \cdots \text{式 (1)}$$

【0104】

演算工程の後に、演算工程の結果に基づいて、工作機械 2 及び工具 1 2 を調整してもよい。工作機械 2 及び工具 1 2 の調整は、例えば作動部ずれ量 w_6 、軸部ずれ量 w_8 又は歪

50

み度 が小さくなるように行う。

【 0 1 0 5 】

工作機械 2 及び工具 1 2 の調整は、例えば以下のように行う。作動部ずれ量 w_6 、軸部ずれ量 w_8 及び歪み度 について、許容できる最大の数値である基準値を定めておく。基準値は、例えば工作機械 2 及び工具 1 2 を用いた加工に求められる精度に応じて定められる。演算工程において求められた作動部ずれ量 w_6 、軸部ずれ量 w_8 及び歪み度 のいずれかが基準値を超えた場合には、当該数値が基準値以下となるように工作機械 2 及び工具 1 2 を調整する。演算工程において求められた作動部ずれ量 w_6 、軸部ずれ量 w_8 及び歪み度 のいずれもが基準値以下であった場合には、工作機械 2 及び工具 1 2 の調整を行わない。工作機械 2 及び工具 1 2 の調整としては、工具 1 2 の交換や、主軸 1 1 に対する工具 1 2 の位置の調整を行うことができる。

10

【 0 1 0 6 】

特に、作動部ずれ量 w_6 が基準値を超え、且つ歪み度 が基準値を超えた場合には、摩擦などによって作動部 4 6 の歪みが大きくなっていると判断してもよい。この場合には、工具 1 2 の交換を行ってもよい。また、作動部ずれ量 w_6 が基準値を超え、且つ歪み度が基準値以下であった場合には、作動部 4 6 の歪みは許容できる程度に小さいが、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 に対する工具 1 2 の中心軸線 L_2 のずれが大きいため作動部ずれ量 w_6 が大きくなっていると判断してもよい。この場合には、主軸 1 1 の回転軸線 L_1 に対する工具 1 2 の中心軸線 L_2 のずれが小さくなるように、主軸 1 1 に対して工具 1 2 が設定される位置を調整してもよい。

20

【 0 1 0 7 】

なお、工具測定装置 1 は、演算部 2 7 によって求められた作動部ずれ量 w_6 、軸部ずれ量 w_8 又は歪み度 が基準値を超えていた場合には、アラームを発して使用者に工作機械 2 及び工具 1 2 の調整を促してもよい。

【 0 1 0 8 】

演算工程の結果に基づいて、工作機械 2 及び工具 1 2 を調整するか、又は工作機械 2 及び工具 1 2 の調整は不要と判断した後に、工作機械 2 及び工具 1 2 を用いたワーク 1 4 の加工を再開してもよい。工作機械 2 を用いて工具 1 2 を図 5 に示す位置から 3 次元で移動させることによって、工具 1 2 をワーク 1 4 に接触させて、ワーク 1 4 の加工を再開することができる。

30

【 0 1 0 9 】

本開示の実施形態に係る工具測定装置 1 及び工具測定方法の作用効果について説明する。本開示の実施形態に係る工具測定装置 1 において、演算部 2 7 は、複数の位相の各々において撮影された複数の画像に基づいて第 1 距離 w_1 および第 2 距離 w_2 を求め、第 1 距離 w_1 と第 2 距離 w_2 との差に相当する作動部ずれ量 w_6 を演算する。また、本開示の実施形態に係る工具測定方法は、複数の位相の各々において撮影された複数の画像に基づいて第 1 距離 w_1 および第 2 距離 w_2 を求め、第 1 距離 w_1 と第 2 距離 w_2 との差に相当する作動部ずれ量 w_6 を演算する、演算工程を備える。これによって、複数の突部 4 8 を比較した場合の、突部 4 8 の各々の外面 4 8 a と主軸 1 1 の回転軸線 L_1 との間の距離のずれの最大値に相当する、作動部ずれ量 w_6 を求めることができる。このため、作動部ずれ量 w_6 を、工具 1 2 の交換や主軸 1 1 に対して工具 1 2 が設定される位置の調整を行う指標とすることによって、工具 1 2 による加工の精度を確保できる。

40

【 0 1 1 0 】

特に、本開示の実施形態に係る工具測定装置 1 及び工具測定方法によれば、回転中の工具の作動部ずれ量 w_6 を演算することができる。このため、回転中に工具 1 2 に生じる遠心力や熱等の影響を受けた状態で、作動部ずれ量 w_6 を演算できる。

【 0 1 1 1 】

また、本開示の実施形態に係る工具測定装置 1 によれば、撮影指令制御部 2 5 が、工具 1 2 の異なる回転毎に撮影指令を出力する。また、本開示の実施形態に係る工具測定方法によれば、撮影工程において、工具 1 2 の異なる回転毎に工具 1 2 を撮影する。これによ

50

って、高速回転する工具 1 2 を撮影する場合であっても、カメラ 2 2 のシャッタースピードが追い付かなくなる懸念なく、画像を撮影できる。

【 0 1 1 2 】

また、本開示の実施形態に係る工具測定装置 1 によれば、演算部 2 7 が、作動部ずれ量 w_6 と軸部ずれ量 w_8 との差に基づいて、作動部 4 6 の歪みを求める。また、本開示の実施形態に係る工具測定方法によれば、演算工程が、作動部ずれ量 w_6 と軸部ずれ量 w_8 との差に基づいて作動部 4 6 の歪みを求める、歪み演算工程を含む。これによって、作動部ずれ量 w_6 に対する作動部 4 6 の歪みの影響の大きさを把握できる。

【 0 1 1 3 】

以上の通り、具体例を参照しながら一実施の形態を説明してきたが、上述した具体例が一実施の形態を限定することを意図していない。上述した一実施の形態は、その他の様々な具体例で実施されることが可能であり、その要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。

10

【 0 1 1 4 】

以下、図面を参照しながら、変形の一例について説明する。以下の説明及び以下の説明で用いる図面では、上述した具体例と同様に構成され得る部分について、上述の具体例における対応する部分に対して用いた符号と同一の符号を用いるとともに、重複する説明を省略する。

【 0 1 1 5 】

(変形例)

変形例に係る工具測定装置 1 は、上述した実施形態に係る工具測定装置 1 と同様にして、工作機械 2 の主軸 1 1 に設定された工具 1 2 の形状を測定する装置であり、カメラ 2 2 と主軸回転角度センサ 2 3 と制御装置 2 0 とを備えている。

20

【 0 1 1 6 】

図 1 0 A は、変形例に係る工作機械 2 の主軸ヘッド 4 を示す概略断面図である。図 1 0 A には、工作機械 2 の主軸ヘッド 4 とともに、主軸 1 1 の回転角度を検出する主軸回転角度センサ 2 3 が示されている。変形例に係る工具測定装置 1 において、主軸回転角度センサ 2 3 は、主軸 1 1 (主軸 1 1 に設置されている工具 1 2) の回転角度を検出するものである。また、主軸回転角度センサ 2 3 は、主軸 1 1 が回転しているときに連続パルス信号 (図 1 0 C を参照) を出力するとともに、主軸 1 1 が一回転する毎に一周期のパルス信号を発するように構成されている。なお、主軸 1 1 が一定速度で回転していることで、連続パルス信号の周期は一定値になっている。

30

【 0 1 1 7 】

主軸回転角度センサ 2 3 について、図 1 0 A 及び図 1 0 B を参照してさらに詳しく説明する。図 1 0 B は、変形例に係る工作機械の主軸回転角度センサ 2 3 を、図 1 0 A に示す方向 V B から見た様子を示す図である。主軸回転角度センサ 2 3 は、たとえば、反射式の光電センサ 4 3 とマーク 4 7 とを備えて構成されている。

【 0 1 1 8 】

光電センサ 4 3 は主軸 1 1 に一体的に設けられている。マーク 4 7 は、主軸 1 1 にたとえばこの半周にわたって一体的に設けられている (図 1 0 B の破線を付した部位を参照) 。そして、主軸 1 1 が回転すると、光電センサ 4 3 がマーク 4 7 を検出している状態と検出していない状態とを繰り返し、光電センサ 4 3 が図 1 0 C で示すような連続パルス信号を発するようになっていく。光電センサ 4 3 は筐体 3 1 に一体的に設けられていてもよい。

40

【 0 1 1 9 】

すでに理解されるように、主軸回転角度センサ 2 3 による主軸 1 1 の回転角度の分解能は、極めて大きく 180° になっている。

【 0 1 2 0 】

主軸回転角度センサ 2 3 は、主軸 1 1 の回転数 (回転角速度) も検出するように構成されている。主軸回転角度センサ 2 3 は、上述したように、一定の回転数で回転している主

50

軸 1 1 によってたとえば図 1 0 C で示すような矩形波状の連続パルス信号を発するように構成されている。

【 0 1 2 1 】

制御装置 2 0 が、主軸回転角度センサ 2 3 が発した連続パルス信号を受信し、所定の時間あたりの、オン・オフされる連続パルス信号の時間間隔（連続パルス信号の周期）を測定することで、主軸 1 1 の回転数を検出することができる。また、制御装置 2 0 の代わりに主軸回転角度センサ 2 3 がオン・オフされる連続パルス信号の時間間隔を測定することで、主軸回転角度センサ 2 3 によって主軸 1 1 の回転数が検出されてもよい。

【 0 1 2 2 】

変形例に係る主軸回転角度センサ 2 3 によれば、以下の方法によって、 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡って、角度 ずつずれた位相における工具 1 2 の画像を撮影できる。まず、制御装置 2 0 または主軸回転角度センサ 2 3 によって検出された回転数から、主軸 1 1 が一回転する時間、及び主軸 1 1 が角度 だけ回転する時間を算出する。次に主軸 1 1 の回転の位相のうち 1 つの位相を基準位相と定めて、基準位相において撮影指令制御部 2 5 に撮影指令を出力させて、工具 1 2 を撮影する。次に、主軸 1 1 が m 回転（ m は正の整数、例えば 1 0 回転とする）した上で更に角度 だけ回転する時間を空けて、撮影指令制御部 2 5 に撮影指令を出力させる。これによって、基準位相から角度 だけずれた位相において工具 1 2 の撮影を行うことができる。更に、同様の方法によって、第 n の位相（ n は正の整数とする）において n 回目の工具 1 2 の撮影を行った後、第 n の位相から角度 だけずれた第 $n + 1$ の位相において $n + 1$ 回目の工具 1 2 の撮影を行う操作を繰り返す。これによって、 0° 以上 360° 未満の全位相範囲に渡って、角度 ずつずれた位相における工具 1 2 の画像を撮影できる。

【 0 1 2 3 】

上記実施形態及び変形例に開示されている複数の構成要素を必要に応じて適宜組み合わせることも可能である。あるいは、上記実施形態及び変形例に示される全構成要素から幾つかの構成要素を削除してもよい。

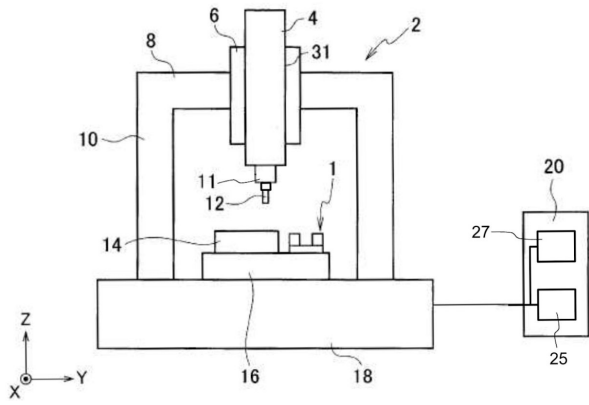
【 符号の説明 】

【 0 1 2 4 】

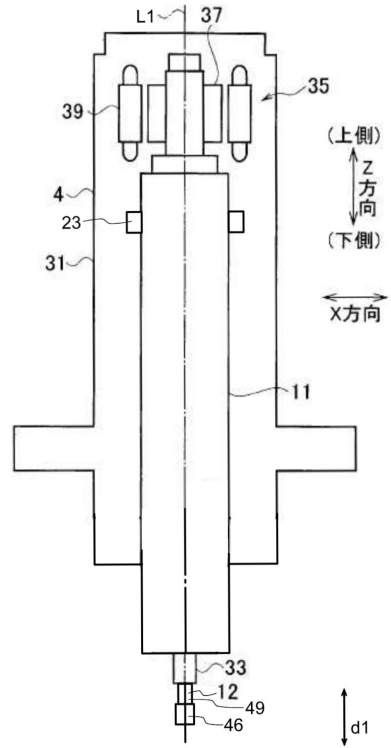
- 1 工具測定装置
- 2 工作機械
- 1 1 主軸
- 1 2 工具
- 2 0 制御装置
- 2 2 カメラ
- 2 3 主軸回転角度センサ
- 2 4 照明装置
- 2 5 撮影指令制御部
- 2 7 演算部
- 4 6 作動部
- 4 8 突部
- 4 8 1 第 1 突部
- 4 8 2 第 2 突部
- 4 9 軸部

【 図面 】

【 図 1 】



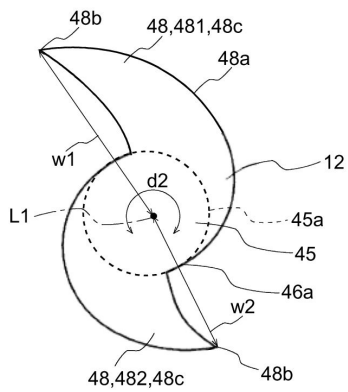
【 図 2 】



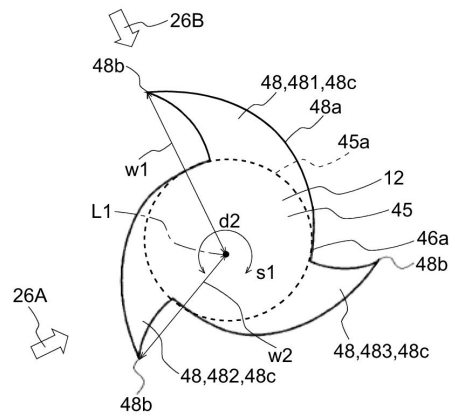
10

20

【 図 3 】



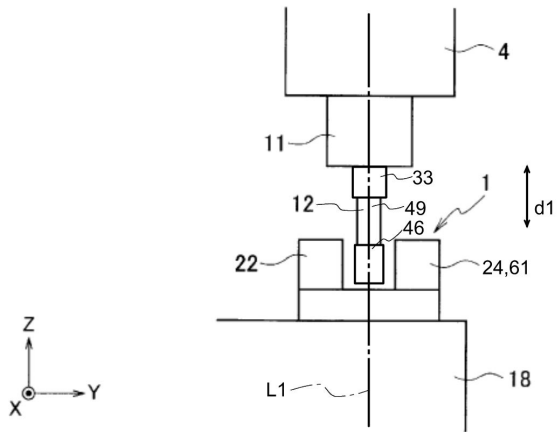
【 図 4 】



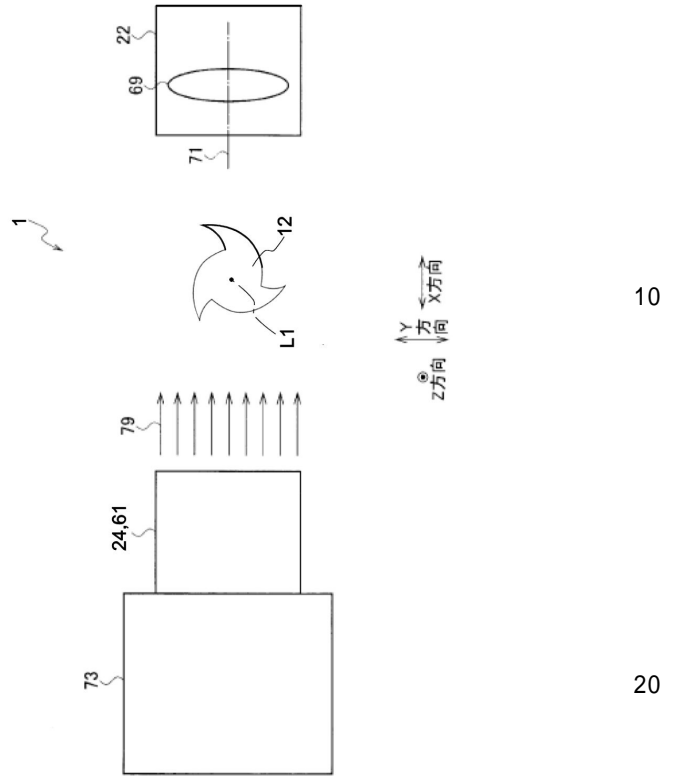
30

40

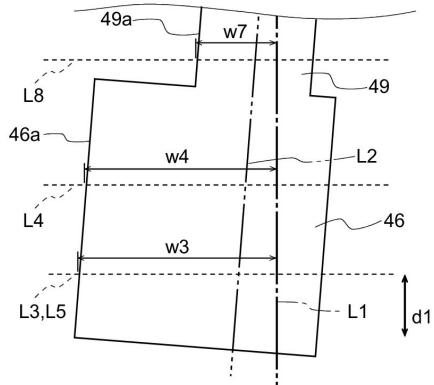
【 図 5 】



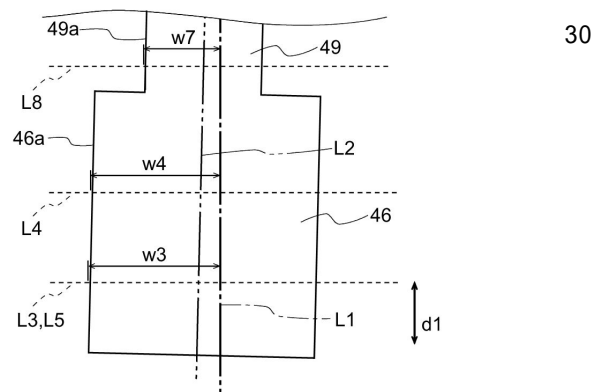
【 図 6 】



【 図 7 A 】



【 図 7 B 】



10

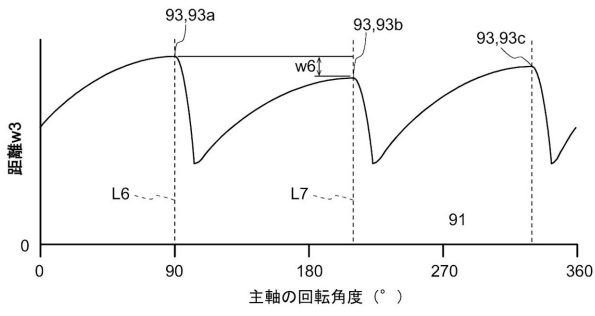
20

30

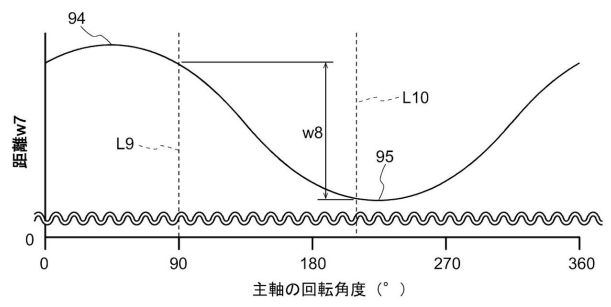
40

50

【 図 8 】

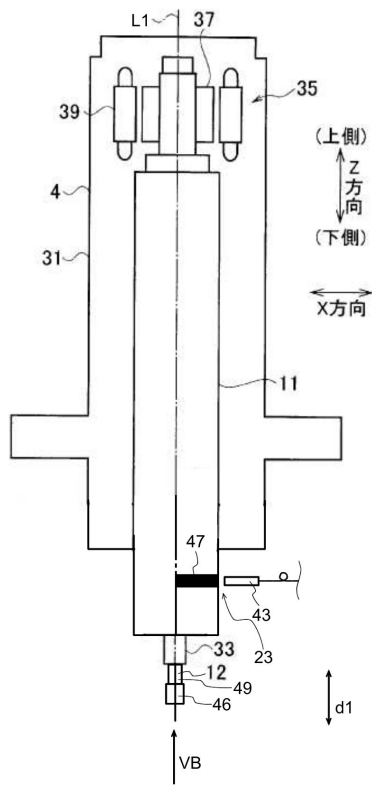


【 図 9 】

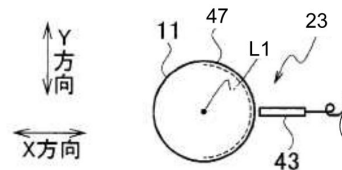


10

【 図 10 A 】



【 図 10 B 】



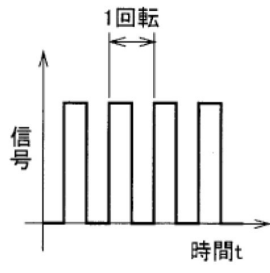
20

30

40

50

【 図 1 0 C 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

械株式会社内

F ターム (参考) 2F065 AA65 BB16 FF01 FF65 GG07 GG08 HH03 HH15 JJ03 JJ09
JJ26 LL30 MM04 MM28 NN12 PP13
3C029 AA24 AA40