

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 2 部門第 3 区分

【発行日】平成 17 年 4 月 14 日 (2005.4.14)

【公開番号】特開 2003-159607 (P2003-159607A)

【公開日】平成 15 年 6 月 3 日 (2003.6.3)

【出願番号】特願 2002-259323 (P2002-259323)

【国際特許分類第 7 版】

B 2 3 B 41/02

B 2 3 B 49/00

B 2 3 Q 17/24

G 0 1 B 11/00

G 0 1 B 11/26

G 0 1 B 21/00

G 0 1 B 21/22

【F I】

B 2 3 B 41/02

B 2 3 B 49/00 A

B 2 3 Q 17/24 B

G 0 1 B 11/00 D

G 0 1 B 11/26 Z

G 0 1 B 21/00 F

G 0 1 B 21/22

【手続補正書】

【提出日】平成 16 年 6 月 2 日 (2004.6.2)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】 深穴加工装置および深穴加工方法、深穴評価装置および深穴評価方法ならびに位置ずれ評価方法、深穴加工装置および深穴評価装置の光軸調整装置、光軸調整方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

中心軸を中心として回転可能な回転軸と接続されており、先端部分を被加工物に対して回転させながら深穴加工を行う深穴加工工具と、

上記深穴加工工具の正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を検出する位置ずれ検出手段と、

上記深穴加工工具の外周部に配設され、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴加工工具の位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を修正する位置ずれ修正手段と、

上記検出された位置ずれに応じて、上記位置ずれ修正手段の動作を制御する制御手段とを備えている深穴加工装置において、

上記深穴加工工具と上記回転軸とは、上記深穴加工工具の回転軸を中心とする円方向における上記回転軸に対するローリングを防止するとともに、上記回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性を上記回転軸に持たせた接続手段により接続されていることを特徴とする深穴加工装置。

## 【請求項 2】

中心軸を中心として回転可能な回転軸と接続されており、先端部分を被加工物に対して回転させながら深穴加工を行う深穴加工工具と、

上記中心軸に平行に光を照射する発光手段と、

上記発光手段と対向する位置に設けられ、上記発光手段から照射された光を受光して、上記深穴加工工具の正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を検出する位置ずれ検出手段と、

上記深穴加工工具の外周部に配設され、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴加工工具の位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を修正する位置ずれ修正手段と、

上記検出された位置ずれ及び傾き（中心軸方向）に応じて、上記位置ずれ修正手段の動作を制御する制御手段とを備えている深穴加工装置において、

上記深穴加工工具と上記回転軸とは、上記深穴加工工具の回転軸を中心とする円方向における上記回転軸に対するローリングを防止するとともに、上記回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性を上記回転軸に持たせた接続手段により接続されていることを特徴とする深穴加工装置。

## 【請求項 3】

中心軸を中心として回転可能な回転軸と接続されている深穴加工工具の先端部分を被加工物に対して回転させながら深穴加工を行うとともに、

発光手段から上記中心軸に平行に光を照射し、上記発光手段に対向する位置に設けられた深穴加工工具の位置ずれ検出手段がその光を受光して、深穴加工工具の正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を検出し、

上記深穴加工工具の外周部に配設された位置ずれ修正手段が、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁との間で伸縮して、上記深穴加工工具の位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を修正する深穴加工方法において、

上記深穴加工工具の回転軸を中心とする円方向における上記回転軸に対するローリングを防止するとともに、上記回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性を上記回転軸に持たせた状態で深穴加工を行うことを特徴とする深穴加工方法。

## 【請求項 4】

中心軸を中心として回転可能な回転軸と接続されており、被加工物に対して回転しながら深穴加工を行う深穴加工工具と、

上記深穴加工工具の上記回転軸方向に対する正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を検出する位置ずれ検出手段と、

上記深穴加工工具の上記回転軸を中心とする円方向における正常位置からの傾きを検出する傾き検出手段と、

上記深穴加工工具の外周部に配設され、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴加工工具の位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を修正する位置ずれ修正手段と、

上記深穴加工工具と上記回転軸とを接続する接続手段に設けられており、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記傾き検出手段により検出された上記深穴加工工具の傾きを修正する傾き修正手段とを備えている深穴加工装置において、

上記深穴加工工具における上記平面上に位置する 2 点において、それぞれ上記位置ずれと傾きとを検出し、上記 2 点における検出結果から位置ずれと傾きとが互いに干渉することで検出結果に含まれる干渉成分を除去する制御手段を備えていることを特徴とする深穴加工装置。

## 【請求項 5】

上記位置ずれ検出手段および / または傾き検出手段は、光を照射する発光手段と、該発光手段に対向する位置に設けられており、上記光を受光して上記深穴加工工具の位置を検出する位置検出手段とを備えていることを特徴とする請求項 4 に記載の深穴加工装置。

## 【請求項 6】

先端部分を被加工物に対して回転させ、該回転の中心軸から被加工物の内壁までの半径方向の距離を測定する深穴評価プローブと、

上記深穴評価プローブの上記先端部分とは反対側に接続されており、上記中心軸に沿って配置された測定軸と、

上記中心軸方向に対する正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を検出する位置ずれ検出手段と、

上記中心軸を中心とする円方向における正常位置からの傾きを検出する傾き検出手段と、

上記深穴評価プローブの外周部に配設され、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴評価プローブの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を修正する位置ずれ修正手段と、

上記深穴評価プローブと上記測定軸とを接続する接続手段に設けられており、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記傾き検出手段により検出された上記深穴評価プローブの傾きを修正する傾き修正手段とを備えている深穴評価装置において、

上記深穴評価プローブにおける上記平面上に位置する２点において、それぞれ上記位置ずれと傾きとを検出し、上記２点における検出結果から位置ずれと傾きとが互いに干渉することで検出結果に含まれる干渉成分を除去する制御手段を備えていることを特徴とする深穴評価装置。

#### 【請求項 7】

上記位置ずれ検出手段および／または傾き検出手段は、光を照射する発光手段と、該発光手段に対向する位置に設けられており、上記光を受光して上記深穴評価プローブの位置を検出する位置検出手段とを備えていることを特徴とする請求項 6 に記載の深穴評価装置。

#### 【請求項 8】

装置の X Y 平面方向における位置ずれと、上記 X Y 平面に垂直な直線を中心とする円方向の位置ずれ（ローリング）とをそれぞれ検出する位置ずれ評価方法において、

上記 X Y 平面における位置ずれと、X Y 平面に垂直な直線を中心とする円方向の位置ずれとを、装置の X Y 平面上の２点においてそれぞれ検出し、該２点における検出結果を基にして、上記 X Y 平面における位置ずれ成分と X Y 平面の原点を中心とする円方向の位置ずれ成分とが互いに干渉して生じる検出誤差を除去することを特徴とする位置ずれ評価方法。

#### 【請求項 9】

先端部分を被加工物に対して回転させて、該回転の中心軸から被加工物の内壁までの半径方向の距離を測定する深穴評価プローブと、

上記深穴評価プローブの上記先端部分とは反対側に接続されており、上記中心軸に沿って配置された測定軸と、

上記深穴評価プローブの正常位置からの位置ずれ及び傾き（Z 軸方向）を検出する位置ずれ検出手段と、

上記深穴評価プローブの外周部に配設され、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴評価プローブの位置ずれ及び傾き（Z 軸方向）を修正する位置ずれ修正手段と、

上記検出された位置ずれに応じて、上記位置ずれ修正手段の動作を制御する制御手段とを備えている深穴評価装置において、

上記深穴評価プローブと上記測定軸とは、上記深穴評価プローブの回転の中心軸を中心とする円方向におけるローリングを防止するとともに、上記中心軸方向の荷重に対する剛性を上記測定軸に持たせた接続手段により接続されていることを特徴とする深穴評価装置。

#### 【請求項 10】

先端部分を被加工物に対して回転させて、該回転の中心軸から被加工物の内壁までの半

径方向の距離を測定する深穴評価プローブと、

上記深穴評価プローブの上記先端部分とは反対側に接続されており、上記中心軸に沿って配置された測定軸と、

上記中心軸に平行に光を照射する発光手段と、

上記発光手段と対向する位置に設けられ、上記発光手段から照射された光を受光して、上記深穴評価プローブの正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を検出する位置ずれ検出手段と、

上記深穴評価プローブの外周部に配設され、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴評価プローブの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を修正する位置ずれ修正手段と、

上記検出された位置ずれ及び傾き（中心軸方向）に応じて、上記位置ずれ修正手段の動作を制御する制御手段とを備えている深穴評価装置において、

上記深穴評価プローブと上記測定軸とは、上記深穴評価プローブの上記中心軸を中心とする円方向におけるローリングを防止するとともに、上記中心軸方向の荷重に対する剛性を上記測定軸に持たせた接続手段により接続されていることを特徴とする深穴評価装置。

#### 【請求項 1 1】

中心軸を中心として回転可能な深穴評価プローブの先端部分を被加工物に対して回転させて、上記中心軸から被加工物の内壁までの半径方向の距離を測定するとともに、

上記深穴評価プローブに接続するように、上記先端部分とは反対側に上記中心軸に沿って測定軸を配置し、

発光手段から上記中心軸に平行に光を照射し、上記発光手段に対向する位置に設けられた深穴評価プローブの位置ずれ検出手段がその光を受光して、深穴評価プローブの正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を検出し、

上記深穴評価プローブの外周部に配設された位置ずれ修正手段が、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮して、上記深穴評価プローブの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を修正する深穴評価方法において、

上記深穴評価プローブと上記測定軸とは、上記深穴評価プローブの回転の中心軸を中心とする円方向におけるローリングを防止するとともに、上記中心軸方向の荷重に対する剛性を上記測定軸に持たせた状態で深穴加工精度を測定することを特徴とする深穴評価方法。

#### 【請求項 1 2】

中心軸を中心として回転可能な回転軸と接続されており、被加工物に対して先端部分を回転させて加工を行う深穴加工工具と、該深穴加工工具の外周部に配設され、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記深穴加工工具の姿勢を修正する姿勢修正手段とを有する深穴加工装置の誘導軸の加工目標軸からのずれを修正する光軸調整装置であって、

上記深穴加工工具の回転可能な先端部分における上記中心軸上に配置され、上記加工目標軸に対して垂直な平面に取り付けられた反射手段と、

上記反射手段に対して加工目標軸上から光を照射する発光手段と、

予め深穴加工工具の中心軸と加工目標軸とが一致した状態における受光位置を認識しており、上記反射手段からの上記発光手段から照射された光の反射光を受光して、上記深穴加工工具の誘導軸の上記加工目標軸からのずれを検出する光軸ずれ検出手段とを備えていることを特徴とする光軸調整装置。

#### 【請求項 1 3】

上記深穴加工装置は、上記深穴加工工具の非加工側に、上記深穴加工工具の中心軸と加工目標軸とが一致した状態における受光位置を認識しており、上記深穴加工工具の上記加工目標軸方向に対する垂直な平面における正常位置からの位置ずれ及び傾き（Z軸方向）を検出する位置ずれ検出手段と、上記深穴加工工具の上記加工目標軸を中心とする正常位置からのローリングを検出するローリング検出手段とを有しており、

上記深穴加工工具の外周部に配設され、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁と

の間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴加工工具の位置ずれ及び傾き（Z軸方向）を修正する位置ずれ修正手段と、

上記深穴加工工具と上記回転軸とを接続する位置に設置されており、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記ローリング検出手段により検出された上記深穴加工工具のローリングを修正するローリング修正手段とを備えていることを特徴とする請求項 1 2 に記載の光軸調整装置。

【請求項 1 4】

先端部分を被加工物に対して回転させ、該回転の中心軸から被加工物の内壁までの半径方向の距離を測定する深穴評価プローブと、該深穴評価プローブの外周部に配設され、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記深穴評価プローブの姿勢を修正する姿勢修正手段とを有する深穴評価装置の誘導軸の測定目標軸からのずれを修正する光軸調整装置であって、

上記深穴評価プローブの回転可能な先端部分における深穴評価プローブの中心軸上に配置され、上記測定目標軸に対して垂直な平面を有する反射手段と、

上記反射手段に対して測定目標軸上から光を照射する発光手段と、

予め深穴評価プローブの中心軸と測定目標軸とが一致した状態における受光位置を認識しており、上記反射手段からの上記発光手段から発せられた光の反射光を受光して、上記深穴評価プローブの誘導軸の上記測定目標軸からのずれを検出する光軸ずれ検出手段とを備えていることを特徴とする光軸調整装置。

【請求項 1 5】

上記深穴評価装置は、上記深穴評価プローブの非測定側に、上記深穴評価プローブの誘導軸と測定目標軸とが一致した状態における検出位置を認識しており、上記測定目標軸方向に対して垂直な平面における正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を検出する位置ずれ検出手段と、上記測定目標軸を中心とする正常位置からのローリングを検出するローリング検出手段とを有しており、

上記深穴評価プローブの外周部に配設され、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴評価プローブの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を修正する位置ずれ修正手段と、

上記深穴評価プローブと上記測定軸と接続する位置に設置されており、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記ローリング検出手段により検出された上記深穴評価プローブのローリングを修正するローリング修正手段とを備えていることを特徴とする請求項 1 4 に記載の光軸調整装置。

【請求項 1 6】

上記発光手段は、レーザを照射することを特徴とする請求項 1 2 ～ 1 5 の何れか 1 項に記載の光軸調整装置。

【請求項 1 7】

上記発光手段は、単波長光を照射することを特徴とする請求項 1 2 ～ 1 6 の何れか 1 項に記載の光軸調整装置。

【請求項 1 8】

上記発光手段は、2種類の波長を含む光を照射することを特徴とする請求項 1 2 ～ 1 6 の何れか 1 項に記載の光軸調整装置。

【請求項 1 9】

請求項 1 2 ～ 1 8 に記載の光軸調整装置による光軸調整方法であって、

上記発光手段から照射される光が上記深穴加工工具または深穴評価プローブの中心軸と平行になるように上記発光手段の配置を調整して、上記誘導軸と目標軸とを一致させた後、

上記中心軸に対して直角な平面上に上記反射手段を配置し、

該反射手段に対して上記発光手段から照射された光の反射光を検出する光軸ずれ検出手段を配置して、上記誘導軸と目標軸とが一致した状態における上記反射光の受光位置を認識させ、

上記深穴加工工具または深穴評価プローブの先端部分に上記反射手段を取り付けて、上記発光手段から上記反射手段に対して光を照射し、その反射光を上記光軸ずれ検出手段の上記認識させた受光位置において受光するように、上記姿勢修正手段によって、上記深穴加工工具または深穴評価プローブの姿勢を修正することを特徴とする光軸調整方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば、航空機のエンジンやランディングギア、加速器、新幹線の車軸、プラスチック射出成形機、印刷機の巻き取りシリンダ、火器、ドリルカラ等の深穴加工に適用できる深穴加工装置および深穴加工方法、深穴加工装置および深穴精度測定に使用される深穴評価装置ならびに位置ずれ評価方法、深穴加工装置および深穴評価装置の光軸調整装置、光軸調整方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来より、穴深さ／穴径の比が大きい穴の加工、いわゆる深穴加工に用いられる深穴加工工具および深穴加工方法が提案されている。

【0003】

例えば、特許文献１には、レーザ誘導方式を採用した深穴加工装置および深穴測定装置が開示されている。

【0004】

上記公報に開示された深穴加工装置は、図２８に示すように、下穴１０２を開けられた被加工物１０１に対して、回転駆動手段１０４の回転駆動をボーリングバー１０３を介して深穴加工工具１０５に与え、深穴加工工具１０５の先端部分を回転させながら、被加工物１０１を固定した送り台１０６を深穴加工工具１０５に向かって前進させることで深穴加工を実現している。

【0005】

また、深穴加工工具１０５の先端部分は、ボーリングバー１０３の回転軸線１０７を中心として回転する。このボーリングバー１０３の内部は中空になっており、この中空部分を通して吸引装置１１０に切り屑を排出する。

【0006】

なお、カウンターボーリングヘッドは、被加工物１０１と接触する側の先端に少なくとも１つの切刃を備え、被加工物１０１を切削する。

【0007】

さらに、深穴加工工具１０５とボーリングバー１０３とは、ねじまたはフレックスカップリング１１１aを介して接続されている。

【0008】

そして、上記公報に開示された深穴加工装置１００aは、深穴加工工具１０５による真直な深穴加工を可能にするために、深穴加工工具１０５の姿勢検出用半導体レーザ１１２および姿勢検出手段１１３と、深穴加工工具１０５の姿勢が乱れた場合には、深穴加工工具１０５の側面に備えられた圧電アクチュエータ１１５によって適正な姿勢に修正するように制御する制御装置１１４とを備えている。

【0009】

これにより、深穴加工工具１０５の先端部分を回転させた加工中に、深穴加工工具１０５の回転軸に沿った誘導軸線上からずれた場合でも、その位置ずれを検出して深穴加工工具１０５を適正な位置に戻すことにより、精度の高い真直な深穴の加工が可能になる。

【0010】

また、従来より、穴深さ／穴径の比が大きい穴、いわゆる深穴の加工や加工精度の測定に用いられる深穴加工装置および深穴評価装置が提供されている。

【0011】

このような深穴加工装置および深穴評価装置として、例えば、図３３に示すように、深

穴加工工具 105 の 3 次元の位置ずれを修正しながら深穴加工を行う深穴加工装置 100b がある。

【0012】

深穴加工装置 100b は、図 33 に示すように、先端部に回転しながら被加工物 101 を加工する カウンターボーリングヘッド 108 を有し、側面部に位置ずれを修正するための圧電アクチュエータ 115 を備えた深穴加工工具 105 と、深穴加工工具 105 のローリングを防止するために、深穴加工工具の後に連結したアクティブローテーションストップ 111b を備えている。

【0013】

この深穴加工装置 100b では、深穴加工工具 105 における深穴加工工具 105 に接続されたボーリングバー 103 側に設けた半導体レーザ 112' からミラー 119 に向けてレーザ光を照射する。そして、ミラー 119 からの反射光をビームスプリッタ 118 により Z 方向と Y 方向とに分離して、分離光を 2 次元 PSD (Position-Sensitive Detector) 113・114 で受光することで、X 方向および Y 方向における深穴加工工具 105 の位置ずれを検出している。

【0014】

なお、上記 Z 方向は 図 1 の中心軸 7 方向を示しており、X, Y 方向は 中心軸 方向に対する直行方向を示している。

【0015】

さらに、深穴加工工具 105 の回転しない後端側の側面には、X, Y 両方向の位置ずれを修正する圧電アクチュエータ 115 が前後各 3 個ずつ計 6 個設けられている。上記 X, Y 方向の位置ずれが検出された場合には、圧電アクチュエータ 115 が検出された位置ずれを修正するように被加工物 101 の内壁 102 との間で伸縮し、位置ずれを修正する。

【0016】

さらに、この圧電アクチュエータ 115 が設けられているアクチュエータ保持部は、加工中回転することなく、圧電アクチュエータ 115 により深穴加工工具 105 の X, Y 両方向の位置ずれを修正する。しかし、アクチュエータ保持部は、アクティブローテーションストップ 111b の接続部分において、ボーリングバー 103 の回転軸を中心とする円方向におけるずれ、いわゆるローリングが発生するため、精度の高い深穴測定を行うためには、このローリングも修正する必要がある。

【0017】

アクティブローテーションストップ 111b は、このようなローリングが検出された場合に、適正な位置に深穴加工工具 105 を修正する機能を備えている。

【0018】

具体的には、半導体レーザ 117 からレーザ光をミラー 119 に対して照射し、ミラー 119 からの反射光を深穴加工工具 105 の後端部に設けられた一次元 PSD 120 が受光してローリングを検出する。そして、アクティブローテーションストップ 111b に備えられた図示しない圧電アクチュエータによりローリングを修正する。

【0019】

以上の構成により、従来の深穴加工装置 100b は、X, Y 方向および円方向における深穴加工工具 105 の位置ずれを修正しながら深穴加工を行うことで、精度の高い深穴加工を行うことができる。

【0020】

さらに、従来より、穴深さ / 穴径の比が大きい穴、いわゆる深穴の測定に用いられる深穴評価装置および深穴評価方法が提案されている。

【0021】

上記特開 2000 - 246593 号公報に開示された深穴評価装置は、被加工物に対して、深穴評価プローブの先端部分を回転させながら、被加工物を固定した送り台を深穴評価プローブに向かって前進させることで深穴精度を測定する。

【0022】

なお、深穴評価装置に内蔵されたステッピングモータにより回転する深穴評価プローブの先端部分には、測定ユニットが取り付けられており、深穴の内壁に測定ユニットの先端を当接させて深穴を測定する。

【0023】

さらに、深穴評価プローブと測定バーとは、ねじまたはフレックスカップリングを介して接続されている。

【0024】

そして、上記公報に開示された深穴評価装置は、深穴評価プローブによる高精度な深穴評価を可能にするために、深穴評価プローブの変位検出用半導体レーザおよび姿勢検出手段と、深穴評価プローブの姿勢が乱れた場合には、深穴評価プローブの側面に備えられた圧電アクチュエータによって適正な姿勢に修正するように制御する制御装置とを備えている。

【0025】

これにより、深穴評価プローブにより深穴を測定する際には、深穴評価プローブが中心軸に沿った誘導軸線上からずれた場合でも、その位置ずれを検出して深穴評価プローブを適正な位置に戻すことにより、高精度の深穴の測定が可能になる。

【0026】

【特許文献1】

特開2000-246593号公報（公開日：2000年9月12日）

【0027】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、図28に示す上記公報の従来の深穴加工装置100aは、フレックスカップリング111aが、回転軸の中心軸方向の荷重を支えることができず、ボーリングバー103と深穴加工工具105とを直列に連結して使用することができない。また、この深穴加工装置100aでは、フレックスカップリングが深穴加工装置の固定軸に連結されていないため、加工中に生じるアクチュエータ保持部のローリングを防止することができない。このため、深穴加工工具105の位置ずれが生じやすいという問題点を有している。

【0028】

よって、上記公報に開示された従来の深穴加工装置100aには、回転軸の中心軸方向の荷重をボーリングバー103に持たせ、ねじり剛性をフレックスカップリング111aに持たせ、フレックスカップリングを深穴加工装置の固定軸にジグを使って固定する新しいタイプのカップリング方式が求められる。

【0029】

ところで、上記公報で使用されたフレックスカップリング111aの代替として、図29に示すように、深穴加工工具105のローリングを自動的に修正することができるアクティブローテーションストップ111bを用いた深穴加工装置100bが提案されている。

【0030】

例えば、深穴加工中の深穴加工工具105の正常位置からの位置ずれを修正する際に、深穴加工工具105のローリングが、 $\pm 0.001^\circ$ 生じた場合には、変位検出用の半導体レーザ112'のX座標位置が36mm、Y座標位置が21mmの時に、X方向で $\pm 0.34\mu\text{m}$ 、Y方向で $\pm 0.62\mu\text{m}$ の変位が生じる。よって、 $\mu\text{m}$ 単位のオーダで深穴加工精度を制御するためには、深穴加工工具105のローリングを $\pm 0.001^\circ$ 以下に制御することが望ましい。

【0031】

このアクティブローテーションストップ111bは、レバーと圧電アクチュエータとを備えており、図30(a)～(f)に示すように、半径方向のインチwormで回転し、深穴加工工具105のローリングを修正することができる。

【0032】



しかしながら、このアクティブローテーションストップパ 1 1 1 b を使用した深穴加工装置 1 0 5 b でも、レバーと穴壁との間の摩擦係数が一定しなかったり、レバーを図 3 0 ( b ) および図 3 0 ( e ) に示すように、後方または前方のレバーが穴壁から外れるときに、アクティブローテーションストップパ 1 1 1 b が傾いてしまう等の問題が生じる。

【 0 0 3 3 】

そこで、図 3 1 に示すように、レバーを 3 列にし、図 3 2 ( a ) ~ ( e ) に示すように、レバーの 2 列が常時穴壁に接するようにして、アクティブローテーションストップパ 1 1 1 b が傾かないようにする対策が採られているが、その場合でも深穴加工工具 1 0 5 のローリングを  $\pm 0.001^\circ$  以下に制御することは、困難である。

【 0 0 3 4 】

さらに、アクティブローテーションストップパと深穴加工工具とを、両方の接続面に板を挟み、板とアクティブローテーションストップパと深穴加工工具との間を、スラストニードルベアリングによって連結した深穴加工装置もある。この深穴加工装置では、アクティブローテーションストップパと深穴加工工具とがフレキシブルに連結される。しかし、このアクティブローテーションストップパを用いた深穴加工装置でも、現状の技術レベルでは、深穴加工工具のローリングを  $\pm 0.001^\circ$  以下に制御し、 $\mu\text{m}$  単位の加工精度を実現した深穴加工装置を提供することはできない。

【 0 0 3 5 】

また、上記従来の深穴加工工具をレーザ誘導方式深穴加工ロボットおよびレーザ誘導方式深穴内面研削加工ロボットに用いた場合においても、アクティブローテーションストップパ 1 1 1 b、深穴加工装置の固定軸との間に機械的拘束力を持たないため、加工中のトルクおよびスラストを直接受けてしまう。よって、アクティブローテーションストップパ 1 1 1 b のレバーは、このトルクおよびスラストを支えながら運動するため、レバーにおける対応する穴壁との接触状態も過酷になり、 $\mu\text{m}$  単位の精度の高い深穴加工を行うことはできない。

【 0 0 3 6 】

以上のように、現状の技術レベルでは、アクティブローテーションストップパ 1 1 1 b を使用して、深穴加工工具 1 0 5 のローリングを  $\pm 0.001^\circ$  以下に抑え、 $\mu\text{m}$  単位の高精度の深穴加工を行うことは技術的に難しい。

【 0 0 3 7 】

また、上述のような従来の深穴加工装置では、以下のような問題点を有しており、実際には高精度の深穴加工を行うことができない。

【 0 0 3 8 】

すなわち、X, Y 方向の位置ずれを検出する 2 次元 PSD 1 1 3・1 1 4 は、X, Y 方向の位置ずれが実際には無い場合でも、ローリングによる位置ずれを X, Y 方向の位置ずれとして認識し、そのまま出力してしまう。

【 0 0 3 9 】

さらに、ローリングを検出する 1 次元 PSD 1 2 0 でも、ローリングが実際には無い場合でも、X, Y 方向の位置ずれをローリングによる位置ずれと認識し、そのまま出力してしまう。

【 0 0 4 0 】

このように、X, Y 方向およびローリングによる位置ずれが互いに干渉するため、実際には、深穴加工工具 1 0 5 の位置ずれが正確に検出できない。よって、位置ずれの修正を正確に行うことができず、誤差を含んだ状態で深穴加工工具 1 0 5 を誘導しながらの深穴加工になってしまうため、 $\mu\text{m}$  単位のような高精度な深穴加工を実現できないという問題があった。

【 0 0 4 1 】

さらに、上記公報の従来の深穴評価装置は、フレックスカップリングが、中心軸方向の荷重を支えることができず、測定バーと深穴評価プローブとを直列に連結して使用することができない。また、この深穴評価装置では、フレックスカップリングが深穴評価装置の

固定軸に連結されていないため測定中に生じるアクチュエータ保持部のローリングを防止することができない。

【 0 0 4 2 】

よって、上記公報に開示された従来の深穴評価装置には、回転軸の中心軸方向の荷重を測定バーに持たせ、ねじり剛性をフレックスカップリングに持たせる新しいタイプのカップリング方式が求められる。

【 0 0 4 3 】

さらに、上記公報で使用されたフレックスカップリングの代替として、図 3 4 に示すように、深穴評価プローブ 2 0 1 の位置ずれ（ローリング）を自分で修正することができるアクティブローテーションストップ 2 0 2 を用いた深穴評価装置 2 0 0 が提案されている。

【 0 0 4 4 】

例えば、深穴評価プローブ 2 0 1 の正常位置からの位置ずれを修正する際に、深穴評価プローブ 2 0 1 のローリングが、 $\pm 0.001^\circ$  生じた場合には、変位検出用半導体レーザ 2 0 3 の X 座標位置が 3 6 mm、Y 座標位置が 2 1 mm である時、変位検出用半導体レーザ 2 0 3 に、X 方向で  $\pm 0.34 \mu\text{m}$ 、Y 方向で  $\pm 0.62 \mu\text{m}$  の変位が、変位検出用半導体レーザ 2 0 3 から照射される光を受光した PSD 2 0 8・2 0 9 によって検出される。よって、被加工物 2 0 6 を  $\mu\text{m}$  単位のオーダで深穴測定を行うためには、深穴評価プローブ 2 0 1 のローリングを  $\pm 0.001^\circ$  以下に制御することが望ましい。

【 0 0 4 5 】

アクティブローテーションストップ 2 0 2 は、レバーと圧電アクチュエータとを備えており、図 3 0 ( a ) ~ ( f ) に示すように、半径方向のインチウームで回転し、深穴評価プローブ 2 0 1 のローリングを修正することができる。

【 0 0 4 6 】

しかしながら、このアクティブローテーションストップ 2 0 2 を使用した深穴評価装置 2 0 0 でも、レバーと穴壁との間の摩擦係数が一定しなかったり、レバーを図 3 0 ( b ) および図 3 0 ( e ) に示すように、後方または前方のレバーが穴壁から外れるときに、アクティブローテーションストップ 2 0 2 が傾いてしまう等の問題が生じる。

【 0 0 4 7 】

そこで、図 3 1 に示すように、レバーを 3 列にし、図 3 2 ( a ) ~ 図 3 2 ( e ) に示すように、レバーの 2 列が常時穴壁に接するようにして、アクティブローテーションストップ 2 0 2 が傾かないようにする対策が採られているが、その場合でも深穴評価プローブ 2 0 1 のローリングを  $\pm 0.001^\circ$  以下に制御することは、困難である。

【 0 0 4 8 】

さらに、アクティブローテーションストップ 2 0 2 と深穴評価プローブ 2 0 1 とを、両方の接続面に板を挟み、板とアクティブローテーションストップ 2 0 2 と深穴評価プローブ 2 0 1 との間を、接続プレートとスラストニードルベアリングとによって連結した深穴評価装置もある。すなわち、この深穴評価装置 2 0 0 は、接続プレートと深穴評価プローブ 2 0 1 およびアクティブローテーションストップ 2 0 2 とがスラストニードルベアリングによって接続されており、接続プレートが薄く撓み易いために、深穴評価プローブ 2 0 1 は、長手方向（Z 軸方向）に関して自由に傾くことができる。つまり、アクティブローテーションストップ 2 0 2 と深穴評価プローブ 2 0 1 とがフレキシブルに連結されている。しかし、この連結法ではガタが大きく、深穴評価プローブ 2 0 1 のローリングを  $\pm 0.001^\circ$  以下に制御し、 $\mu\text{m}$  単位の測定精度を実現した深穴評価装置を提供することができない。

【 0 0 4 9 】

以上のように、現状の技術レベルでは、アクティブローテーションストップ 2 0 2 を使用して、深穴評価プローブ 2 0 1 のローリングを  $\pm 0.001^\circ$  以下に抑え、 $\mu\text{m}$  単位の高精度の深穴測定を行うことは技術的に難しい。

【 0 0 5 0 】

さらにまた、上述のような従来の深穴加工装置では、以下に示すような問題を有している。

【 0 0 5 1 】

すなわち、高精度な深穴加工および深穴の形状評価を行うためには、深穴加工工具を目標軸に沿って誘導する必要があるが、従来の深穴加工装置では、加工前に誘導軸を加工目標軸に正確に合わせる調整が行われていないため、高精度な深穴加工を行うことができない。

【 0 0 5 2 】

特に、従来の深穴加工装置では、深穴加工工具の後方に配置された光学系（変位検出用半導体レーザ等）を用いて深穴加工工具の姿勢を検出し、位置ずれ等を修正しながら深穴加工を行っている。このような深穴加工装置では、カウンタボーリングヘッドのシャンク部が深穴加工工具の後方まで伸びてボーリングバーと接続されている。

【 0 0 5 3 】

このため、加工前に、深穴加工工具の後方に配置された変位検出用半導体レーザから発せられるレーザを加工目標軸と平行な位置に正確に配置することが困難であることから、加工中に生じた誘導軸の加工目標軸からの傾きが生じ、高精度な深穴加工を行うことは難しい。

【 0 0 5 4 】

本発明は、上記の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、高精度な深穴加工、深穴評価が可能な深穴加工装置および深穴加工方法、深穴評価装置ならびに位置ずれ評価方法、深穴評価方法、深穴加工装置および深穴評価装置の光軸調整装置および光軸調整方法を提供することにある。

【 0 0 5 5 】

【課題を解決するための手段】

本発明の深穴加工装置は、上記の課題を解決するために、中心軸を中心として回転可能な回転軸と接続されており、先端部を被加工物に対して回転させながら深穴加工を行う深穴加工工具と、上記深穴加工工具の正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を検出する位置ずれ検出手段と、上記深穴加工工具の外周部に配設され、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴加工工具の位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を修正する位置ずれ修正手段と、上記検出された位置ずれに応じて、上記位置ずれ修正手段の動作を制御する制御手段とを備えている深穴加工装置において、上記深穴加工工具と上記回転軸とは、上記深穴加工工具の回転軸を中心とする円方向における上記回転軸に対するローリングを防止するとともに、上記回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性を上記回転軸に持たせた接続手段により接続されていることを特徴としている。

【 0 0 5 6 】

上記の構成によれば、ローリングおよび回転軸の中心軸方向の位置ずれの発生によって、位置ずれ検出手段により検出された位置ずれに誤差が生じ、深穴加工工具を正確に正常位置へ修正することができないという問題を解決し、従来の深穴加工装置よりも精度の高い深穴加工が可能な深穴加工装置を提供できる。

【 0 0 5 7 】

すなわち、従来の深穴加工装置のように、回転軸と深穴加工工具との間にフレックスカップリングを使用した場合には、深穴加工工具のローリングは抑えることができない。さらに、回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性がなく、深穴加工工具を被加工物内で移動させる際に、位置ずれが生じやすい。よって、位置ずれ検出手段により検出される位置ずれに誤差が生じやすく、位置ずれ修正手段により適正な位置修正を行うことができない。

【 0 0 5 8 】

そこで、本発明の深穴加工装置によれば、従来の深穴加工装置に用いられているフレックスカップリングの替わりに、深穴加工工具のローリングを抑え、回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性を回転軸に持たせることができる接続手段を備えているため、位置ずれ

検出手段、位置ずれ修正手段を備えた深穴加工装置において、位置ずれ検出手段により検出された深穴加工工具の加工中の正常位置からの位置ずれを、位置ずれ修正手段により適正に修正しながら深穴加工を行うことができる。よって、従来の深穴加工装置のmm単位の加工精度に比べて加工精度を向上させ、 $\mu\text{m}$ 単位の加工精度での深穴加工が可能な深穴加工装置を提供できる。

【0059】

本発明の深穴加工装置は、上記の課題を解決するために、中心軸を中心として回転可能な回転軸と接続されており、先端部分を被加工物に対して回転させながら深穴加工を行う深穴加工工具と、上記中心軸に平行に光を照射する発光手段と、上記発光手段と対向する位置に設けられ、上記発光手段から照射された光を受光して、上記深穴加工工具の正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を検出する位置ずれ検出手段と、上記深穴加工工具の外周部に配設され、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴加工工具の位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を修正する位置ずれ修正手段と、上記検出された位置ずれ及び傾き（中心軸方向）に応じて、上記位置ずれ修正手段の動作を制御する制御手段とを備えている深穴加工装置において、上記深穴加工工具と上記回転軸とは、上記深穴加工工具の回転軸を中心とする円方向におけるローリングを防止するとともに、上記回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性を上記回転軸に持たせた接続手段により接続されていることを特徴としている。

【0060】

上記の構成によれば、ローリングおよび回転軸の中心軸方向からの位置ずれの発生によって、位置ずれ検出手段により検出された位置ずれに誤差が生じ、深穴加工工具を正確に正常位置へ修正することができないという問題を解決し、従来の深穴加工装置よりも精度の高い深穴加工が可能な深穴加工装置を提供できる。

【0061】

すなわち、従来の深穴加工装置のように、回転軸と深穴加工工具との間にフレックスカップリングを使用した場合には、回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性がない。また、フレックスカップリングが深穴加工装置の固定軸に連結されていない。よって、位置ずれ検出手段により検出される位置ずれに誤差が生じやすく、位置ずれ修正手段により適正な位置修正を行うことができない。

【0062】

そこで、本発明の深穴加工装置によれば、従来の深穴加工装置に用いられているフレックスカップリングの代わりに、深穴加工工具のローリングを抑え、回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性を回転軸に持たせることができる接続手段を備えているため、発光手段、位置ずれ検出手段、位置ずれ修正手段を備えた深穴加工装置において、発光手段から発せられた光を受光することにより、位置ずれ検出手段により検出された深穴加工工具の加工中の正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を、位置ずれ修正手段により適正に修正しながら深穴加工を行うことができる。よって、従来の深穴加工装置のmm単位の加工精度に比べて加工精度を向上させ、 $\mu\text{m}$ 単位の加工精度での深穴加工が可能な深穴加工装置を提供できる。

【0063】

本発明の深穴加工方法は、上記の課題を解決するために、中心軸を中心として回転可能な回転軸と接続されている深穴加工工具の先端部分を被加工物に対して回転させながら深穴加工を行うとともに、発光手段から上記中心軸に平行に光を照射し、上記発光手段に対向する位置に設けられた深穴加工工具の位置ずれ検出手段がその光を受光して、深穴加工工具の正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を検出し、上記深穴加工工具の外周部に配設された位置ずれ修正手段が、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁との間で伸縮して、上記深穴加工工具の位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を修正する深穴加工方法において、上記深穴加工工具の回転軸を中心とする円方向における上記回転軸に対するローリングを防止するとともに、上記回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性を上記回転軸に持たせた状態で深穴加工を行うことを特徴としている。

## 【 0 0 6 4 】

上記の深穴加工方法によれば、深穴加工工具の回転軸を中心とする円方向における回転軸に対する位置ずれ、いわゆるローリングを防止することができるとともに、回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性を持たせた状態で深穴加工を行うことができるため、従来の深穴加工方法よりも精度のよい深穴加工が可能な深穴加工方法を提供できる。

## 【 0 0 6 5 】

すなわち、従来の深穴加工方法のように、回転軸と深穴加工工具との間に回転軸と深穴加工工具との間にフレックスカップリングを使用した深穴加工装置を使用して深穴加工を行った場合には、回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性がない。また、フレックスカップリングが深穴加工装置の固定軸に連結されていない。深穴加工工具を被加工物内で移動させる際に、中心軸方向の位置ずれが生じやすい。よって、位置ずれ検出手段により検出される位置ずれに誤差が生じやすく、位置ずれ修正手段により適正な位置修正を行うことができない。

## 【 0 0 6 6 】

そこで、本発明の深穴加工方法によれば、使用される深穴加工装置は、従来の深穴加工方法に使用される深穴加工装置におけるフレックスカップリングの替わりに、深穴加工工具のローリングを防止し、回転軸の中心軸方向の荷重を回転軸に持たせることができる接続手段を備えているため、発光手段から発せられた光を受光することにより、位置ずれ検出手段により検出された深穴加工工具の加工中の正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を、位置ずれ修正手段により適正に修正しながら深穴加工を行うことができる。よって、従来の深穴加工方法のmm単位の加工精度に比べて加工精度を向上させ、つまり、穴の曲がりやを従来のmm単位から向上させ、 $\mu$ m単位の加工精度での深穴加工が可能な深穴加工方法を提供できる。

## 【 0 0 6 7 】

本発明の深穴加工装置は、上記の課題を解決するために、中心軸を中心として回転可能な回転軸と接続されており、被加工物に対して回転しながら深穴加工を行う深穴加工工具と、上記深穴加工工具の上記回転軸方向に対する正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を検出する位置ずれ検出手段と、上記深穴加工工具の上記回転軸を中心とする円方向における正常位置からの傾きを検出する傾き検出手段と、上記深穴加工工具の外周部に配設され、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴加工工具の位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を修正する位置ずれ修正手段と、上記深穴加工工具と上記回転軸とを接続する接続手段に設けられており、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記傾き検出手段により検出された上記深穴加工工具の傾きを修正する傾き修正手段とを備えている深穴加工装置において、上記深穴加工工具における上記平面上に位置する2点において、それぞれ上記位置ずれと傾きとを検出し、上記2点における検出結果から位置ずれと傾きとが互いに干渉することで検出結果に含まれる干渉成分を除去する制御手段を備えていることを特徴としている。

## 【 0 0 6 8 】

上記の構成によれば、位置ずれ検出手段および傾き検出手段によりそれぞれ検出される、回転軸方向に対して垂直な平面における深穴加工工具の位置ずれと回転軸を中心とする円方向における深穴加工工具の傾きとが、互いに干渉して生じる検出誤差、いわゆる干渉成分を検出結果から除去し、深穴加工工具の位置ずれの高精度の検出が可能になる。

## 【 0 0 6 9 】

すなわち、回転軸方向に対して垂直な平面における深穴加工工具の位置ずれと回転軸を中心とする円方向における深穴加工工具の傾きとをそれぞれ検出し、修正することができる機能を備えた深穴加工装置では、検出された位置ずれ、傾き（ローリング）を示す成分にお互いの干渉成分（誤差）が含まれているため、実際の深穴加工工具の位置ずれ、傾きとは異なる検出結果となる。

## 【 0 0 7 0 】

そこで、本発明の深穴加工装置によれば、深穴加工工具における回転軸方向に対して垂直な平面上において、位置ずれ、傾きを位置ずれ検出手段および傾き検出手段によりそれぞれ検出し、上記２点における検出結果を比較する。ここで、実際の位置ずれおよび傾きは、上記２点在同一平面上に形成されているため等しくなるはずである。よって、実際の位置ずれ（ $x$ ， $y$ ）と傾きとを上記２点における検出結果から導くことで、検出結果に含まれる干渉成分を除去し、上記深穴加工工具の位置ずれ及び傾き（中心軸方向）および傾きの高精度な算出が可能になる。

【００７１】

これにより、正確に検出された位置ずれおよび傾きを位置ずれ修正手段および傾き修正手段により修正することで、従来よりも高精度な深穴加工を実現した深穴加工装置を提供できる。

【００７２】

また、上記位置ずれ検出手段および／または傾き検出手段は、光を照射する発光手段と、該発光手段に対向する位置に設けられており、上記光を受光して上記深穴加工工具の位置を検出する位置検出手段とを備えていることがより好ましい。

【００７３】

これにより、発光手段と位置検出手段とを用いることで、深穴加工工具の位置ずれ及び傾き（中心軸方向）および傾きを容易に検出することが可能になる。

【００７４】

本発明の深穴評価装置は、上記の課題を解決するために、先端部分を被加工物に対して回転させ、該回転の中心軸から被加工物の内壁までの半径方向の距離を測定する深穴評価プローブと、上記深穴評価プローブの上記先端部分とは反対側に接続されており、上記中心軸に沿って配置された測定軸と、上記中心軸方向に対する正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を検出する位置ずれ検出手段と、上記中心軸を中心とする円方向における正常位置からの傾きを検出する傾き検出手段と、上記深穴評価プローブの外周部に配設され、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴評価プローブの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を修正する位置ずれ修正手段と、上記深穴評価プローブと上記測定軸とを接続する接続手段に設けられており、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記傾き検出手段により検出された上記深穴評価プローブの傾きを修正する傾き修正手段とを備えている深穴評価装置において、上記深穴評価プローブにおける上記平面上に位置する２点において、それぞれ上記位置ずれと傾きとを検出し、上記２点における検出結果から位置ずれと傾きとが互いに干渉することで検出結果に含まれる干渉成分を除去する制御手段を備えていることを特徴としている。

【００７５】

上記の構成によれば、位置ずれ検出手段および傾き検出手段によりそれぞれ検出される、中心軸方向に対して垂直な平面における深穴評価プローブの位置ずれと中心軸を中心とする円方向における深穴評価プローブの傾きとが、互いに干渉して生じる検出誤差、いわゆる干渉成分を検出結果から除去し、深穴評価プローブの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）の高精度な検出が可能になる。

【００７６】

すなわち、中心軸方向に対して垂直な平面における深穴評価プローブの位置ずれと中心軸を中心とする円方向における深穴評価プローブの傾きとをそれぞれ検出し、修正することができる機能を備えた深穴評価装置では、検出された位置ずれ、傾きを示す成分にお互いの干渉成分が含まれているため、実際の深穴評価プローブの位置ずれ、傾きとは異なる検出結果となる。

【００７７】

そこで、本発明の深穴評価装置によれば、深穴評価プローブにおける中心軸方向に対して垂直な平面上において、位置ずれ、傾きを位置ずれ検出手段および傾き検出手段によりそれぞれ検出し、上記２点における検出結果を比較している。ここで、実際の位置ずれお

よび傾きは、上記２点が同一平面上に形成されているため等しくなるはずである。よって、実際の位置ずれ（ $x$ ， $y$ ）と傾きとを上記２点における検出結果から導くことで、検出結果に含まれる干渉成分を除去し、上記深穴評価プローブの位置ずれおよび傾きの高精度な算出が可能になる。

【００７８】

これにより、正確に検出された位置ずれおよび傾きを位置ずれ修正手段および傾き修正手段により修正することで、従来よりも高精度な深穴精度測定を実現した深穴評価装置を提供できる。

【００７９】

また、上記位置ずれ検出手段および／または傾き検出手段は、光を照射する発光手段と、該発光手段に対向する位置に設けられており、上記光を受光して上記深穴評価プローブの位置を検出する位置検出手段とを備えていることがより好ましい。

【００８０】

これにより、発光手段と位置検出手段とを用いることで、深穴評価プローブの位置ずれおよび傾きを容易に検出することが可能になる。

【００８１】

本発明の位置ずれ評価方法は、上記の課題を解決するために、装置の $XY$ 平面方向における位置ずれと、上記 $XY$ 平面に垂直な直線（ $Z$ 軸）を中心とする円方向の位置ずれ（ローリング）とをそれぞれ検出する位置ずれ評価方法において、上記 $XY$ 平面における位置ずれと、 $XY$ 平面に垂直な直線を中心とする円方向の位置ずれとを、装置の上記 $XY$ 平面上の２点においてそれぞれ検出し、該２点における検出結果を基にして、上記 $XY$ 平面における位置ずれ成分と $XY$ 平面の原点を中心とする円方向の位置ずれ成分とが互いに干渉して生じる検出誤差を除去することを特徴としている。

【００８２】

上記の構成によれば、検出された $XY$ 平面における装置の位置ずれと $XY$ 平面に垂直な直線を中心とする円方向における装置の位置ずれ（傾き）とが、互いに干渉して生じる検出誤差、いわゆる干渉成分を検出結果から除去し、装置の位置ずれの高精度な検出が可能になる。

【００８３】

すなわち、 $XY$ 平面における装置の位置ずれと、 $XY$ 平面に垂直な直線を中心とする円方向における装置の傾きとをそれぞれ検出し、修正することができる機能を備えた装置では、検出された位置ずれ、傾きを示す成分にお互いの干渉成分が含まれているため、実際の装置の位置ずれ、傾きとは異なる検出結果となる。

【００８４】

そこで、本発明の位置ずれ評価方法によれば、装置の $XY$ 平面上における位置ずれ、および $XY$ 平面に垂直な直線を中心とする円方向の位置ずれ（傾き）をそれぞれ検出し、上記２点における検出結果を比較している。ここで、２点における装置の実際の位置ずれは、上記２点が同一平面上に形成されているため等しくなるはずである。よって、実際の位置ずれ（ $x$ ， $y$ ）と傾きとを上記２点における検出結果から導くことで、検出結果に含まれる干渉成分を除去し、高い精度での位置ずれおよび傾きの算出が可能になる。

【００８５】

これにより、正確に検出された装置の位置ずれを適正な位置へ修正することで、従来よりも高精度な動作が可能な装置を提供できる。

【００８６】

本発明の深穴評価装置は、上記の課題を解決するために、先端部分を被加工物に対して回転させて、該回転の中心軸から被加工物の内壁までの半径方向の距離を測定する深穴評価プローブと、上記深穴評価プローブの上記先端部分とは反対側に接続されており、上記中心軸に沿って配置された測定軸と、上記深穴評価プローブの正常位置からの位置ずれ及び傾き（ $Z$ 軸方向）を検出する位置ずれ検出手段と、上記深穴評価プローブの外周部に配設され、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ

検出手段により検出された上記深穴評価プローブの位置ずれ及び傾き（Ｚ軸方向）を修正する位置ずれ修正手段と、上記検出された位置ずれに応じて、上記位置ずれ修正手段の動作を制御する制御手段とを備えている深穴評価装置において、上記深穴評価プローブと上記測定軸とは、上記深穴評価プローブの回転の中心軸を中心とする円方向におけるローリングを防止するとともに、上記中心軸方向の荷重に対する剛性を上記測定軸に持たせた接続手段により接続されていることを特徴としている。

【 0 0 8 7 】

上記の構成によれば、深穴評価プローブのローリングおよび中心軸方向の位置ずれの発生により、位置ずれ検出手段により検出された位置ずれに誤差が生じ、深穴評価プローブを正確に正常位置へ修正できないという問題を解決し、従来の深穴評価装置よりも精度の高い深穴評価装置を提供できる。

【 0 0 8 8 】

すなわち、従来の深穴評価装置のように、測定軸と深穴評価プローブとの間にフレックスカップリングを使用した場合には、フレックスカップリングが深穴評価装置の固定軸に連結されていないため、深穴評価プローブのローリングを抑えることができず、測定軸の中心軸方向の荷重に対する剛性もなく、深穴評価プローブの姿勢を被加工物内で正確に制御できず、 $\mu\text{m}$ 単位の高精度な深穴測定を行うことは困難であった。

【 0 0 8 9 】

そこで、本発明の深穴評価装置によれば、従来の深穴評価装置に用いられているフレックスカップリングの替わりに、深穴評価プローブのローリングを抑え、中心軸方向の荷重に対する剛性を測定軸に持たせることができる接続手段を備えているため、位置ずれ検出手段、位置ずれ修正手段を備えた深穴評価装置において、深穴評価プローブの正常位置からの位置ずれ及び傾き（Ｚ軸方向）を、位置ずれ検出手段により誤差なく正確に検出できる。よって、深穴評価プローブの位置を位置ずれ修正手段により適正に修正しながら深穴測定を行うことができ、従来の深穴評価装置の $\text{mm}$ 単位の測定精度よりも測定精度を向上させ、 $\mu\text{m}$ 単位の精度での深穴測定が可能な深穴評価装置を提供できる。そして、従来の深穴評価装置では不可能であった超深穴の精度測定が可能な深穴評価装置を提供できる。

【 0 0 9 0 】

本発明の深穴評価装置は、上記の課題を解決するために、先端部分を被加工物に対して回転させて、該回転の中心軸から被加工物の内壁までの半径方向の距離を測定する深穴評価プローブと、上記深穴評価プローブの上記先端部分とは反対側に接続されており、上記中心軸に沿って配置された測定軸と、上記中心軸に平行に光を照射する発光手段と、上記発光手段と対向する位置に設けられ、上記発光手段から照射された光を受光して、上記深穴評価プローブの正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を検出する位置ずれ検出手段と、上記深穴評価プローブの外周部に配設され、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴評価プローブの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を修正する位置ずれ修正手段と、上記検出された位置ずれ及び傾き（中心軸方向）に応じて、上記位置ずれ修正手段の動作を制御する制御手段とを備えている深穴評価装置において、上記深穴評価プローブと上記測定軸とは、上記深穴評価プローブの上記中心軸を中心とする円方向におけるローリングを防止するとともに、上記中心軸方向の荷重に対する剛性を上記測定軸に持たせた接続手段により接続されていることを特徴としている。

【 0 0 9 1 】

上記の構成によれば、深穴評価プローブのローリングおよび中心軸方向の位置ずれの発生により、位置ずれ検出手段により検出された位置ずれに誤差が生じ、深穴評価プローブを正確に正常位置へ修正できないという問題を解決し、従来の深穴評価装置よりも精度の高い深穴評価装置を提供できる。

【 0 0 9 2 】

すなわち、従来の深穴評価装置のように、測定軸と深穴評価プローブとの間にフレックスカップリングを使用した場合には、フレックスカップリングが深穴評価装置の固定軸に



連結されていないため、深穴評価プローブのローリングは抑えることができず、中心軸方向の荷重に対する剛性もなく、深穴評価プローブを被加工物内で移動させる際に、位置ずれが生じやすく、測定誤差を $\mu\text{m}$ 単位に抑えた高精度な深穴測定を行うことは困難であった。

【0093】

そこで、本発明の深穴評価装置によれば、従来の深穴評価装置に用いられているフレックスカップリングの替わりに、深穴評価プローブのローリングを抑え、中心軸方向の荷重に対する剛性を測定軸に持たせることができる接続手段を備えているため、発光手段、位置ずれ検出手段、位置ずれ修正手段を備えた深穴評価装置において、発光手段から発せられた光を受光することにより、深穴評価プローブの正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を、位置ずれ検出手段により誤差なく正確に検出できる。よって、深穴評価プローブの位置を位置ずれ修正手段により適正に修正しながら深穴測定を行うことができ、従来の深穴評価装置の $\text{mm}$ 単位の測定精度よりも測定精度を向上させ、 $\mu\text{m}$ 単位の精度での深穴測定が可能な深穴評価装置を提供できる。そして、従来の深穴評価装置では不可能であった超深穴の精度測定が可能な深穴評価装置を提供できる。

【0094】

本発明の深穴評価方法は、上記の課題を解決するために、中心軸を中心として回転可能な深穴評価プローブの先端部分を被加工物に対して回転させて、上記中心軸から被加工物の内壁までの半径方向の距離を測定するとともに、上記深穴評価プローブに接続するように、上記測定側の反対側に上記中心軸に沿って測定軸を配置し、発光手段から上記中心軸に平行に光を照射し、上記発光手段に対向する位置に設けられた深穴評価プローブの位置ずれ検出手段がその光を受光して、深穴評価プローブの正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を検出し、上記深穴評価プローブの外周部に配設された位置ずれ修正手段が、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮して、上記深穴評価プローブの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を修正する深穴評価方法において、上記深穴評価プローブと上記測定軸とは、上記深穴評価プローブの回転の中心軸を中心とする円方向におけるローリングを防止するとともに、上記中心軸方向の荷重に対する剛性を上記測定軸に持たせた状態で深穴加工精度を測定することを特徴としている。

【0095】

上記の深穴評価方法によれば、深穴評価プローブのローリングおよび中心軸方向の位置ずれの発生により、位置ずれ検出手段により検出された位置ずれに誤差が生じ、深穴評価プローブを正確に正常位置へ修正できないという問題を解決し、従来の深穴評価装置よりも精度の高い深穴評価装置を提供できる。

【0096】

すなわち、従来の深穴評価方法のように、測定軸と深穴評価プローブとの間にフレックスカップリングを使用した深穴評価装置を使用して深穴精度測定を行った場合には、フレックスカップリングが深穴評価装置の固定軸に連結されていないため、深穴評価プローブのローリングを抑えることができず、中心軸方向の荷重に対する剛性もなく、深穴評価プローブを被加工物内で移動させる際に、位置ずれが生じやすく、測定誤差を $\mu\text{m}$ 単位に抑えた高精度な深穴精度測定を行うことは困難であった。

【0097】

そこで、本発明の深穴評価方法によれば、使用される深穴評価装置は、従来の深穴評価方法に使用される深穴評価装置におけるフレックスカップリングの替わりに、深穴評価プローブのローリングを防止し、中心軸方向の荷重を測定軸に持たせることができる接続手段を備えているため、発光手段から発せられた光を受光することにより、深穴評価プローブの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を位置ずれ検出手段により誤差なく正確に検出することができる。よって、深穴評価プローブの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を位置ずれ修正手段により正確に修正しながら深穴精度測定を行うことで、従来の深穴評価方法の $\text{mm}$ 単位の測定精度よりも測定精度を向上させ、 $\mu\text{m}$ 単位の測定精度での深穴精度測定が可能な深穴評価方法を提供できる。

## 【 0 0 9 8 】

本発明の深穴加工装置の光軸調整装置は、上記の課題を解決するために、中心軸を中心として回転可能な回転軸と接続されており、被加工物に対して先端部分を回転させて加工を行う深穴加工工具と、該深穴加工工具の外周部に配設され、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記深穴加工工具の姿勢を修正する姿勢修正手段とを有する深穴加工装置の誘導軸の加工目標軸からのずれを修正する光軸調整装置であって、上記深穴加工工具の回転可能な先端部分における上記中心軸上に配置され、上記加工目標軸に対して垂直な平面に取り付けられた反射手段と、上記反射手段に対して加工目標軸上から光を照射する発光手段と、予め深穴加工工具の中心軸と加工目標軸とが一致した状態における受光位置を認識しており、上記反射手段からの上記発光手段から照射された光の反射光を受光して、上記深穴加工工具の誘導軸の上記加工目標軸からのずれを検出する光軸ずれ検出手段とを備えていることを特徴としている。

## 【 0 0 9 9 】

上記の構成によれば、加工開始前の深穴加工装置に対し、正確な光軸調整を行うことで、より高精度な深穴加工を実現できる。

## 【 0 1 0 0 】

すなわち、本発明の深穴加工装置の光軸調整装置は、まず、深穴加工工具の加工側において加工目標軸に対して垂直な平面に取り付けられた反射手段に対して、発光手段が加工目標軸上から光を照射し、この反射光を受光する位置に光軸ずれ検出手段を正確に配置する。

## 【 0 1 0 1 】

このとき、深穴加工工具の誘導軸と加工目標軸とが一致している状態であることから、光軸ずれ検出手段において、一致状態における検出位置を認識することができる。

## 【 0 1 0 2 】

そして、深穴加工工具の加工側先端部に反射手段を取り付け、再度、反射手段に対して、発光手段が加工目標軸上から光を照射し、光軸ずれ検出手段の上記一致状態における検出位置において該反射光を検出できるように、姿勢修正手段によって深穴加工工具の変位および傾き（Z軸方向）を調整することで、深穴加工工具の中心を誘導軸上に移動させ、深穴加工工具を誘導軸に沿って誘導しながら深穴加工を行うことができる。

## 【 0 1 0 3 】

これにより、加工前に誘導軸と加工目標軸とを一致させた後、加工を開始することで、セッティングの際に生じた誘導軸と加工目標軸とのずれに起因する加工精度の低下を防止し、より高精度な深穴加工を実現できる。

## 【 0 1 0 4 】

なお、加工目標軸とは、被加工物に対する深穴加工工具の理想的な進路であり、誘導軸とは、深穴加工工具が加工中に実際に誘導されていく進路である。そして、光軸調整とは、深穴加工工具の誘導軸と加工目標軸とを一致させることをいう。

## 【 0 1 0 5 】

上記深穴加工装置は、上記深穴加工工具の非加工側に、上記深穴加工工具の中心軸と加工目標軸とが一致した状態における受光位置を認識しており、上記深穴加工工具の上記加工目標軸方向に対する垂直な平面における正常位置からの位置ずれ及び傾き（Z軸方向）を検出する位置ずれ検出手段と、上記深穴加工工具の上記加工目標軸を中心とする正常位置からのローリングを検出するローリング検出手段とを有しており、上記深穴加工工具の外周部に配設され、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴加工工具の位置ずれ及び傾き（Z軸方向）を修正する位置ずれ修正手段と、上記深穴加工工具と上記回転軸とを接続する位置に設置されており、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記ローリング検出手段により検出された上記深穴加工工具のローリングを修正するローリング修正手段とを備えていることがより好ましい。

## 【 0 1 0 6 】

これにより、深穴加工工具の加工側における光軸調整が行われた後、上記誘導軸と加工目標軸とが一致した状態のまま深穴加工工具の非加工側に配置される、例えば、発光手段、受光手段等からなる位置ずれ・ローリング検出手段の配置位置を決定することで、加工中に生じた誘導軸と加工目標軸とのずれを、非加工側における位置ずれ、ローリング検出手段によって検出できる。

【0107】

つまり、加工側において光軸調整をした状態で、非加工側における位置ずれ・ローリング検出手段を正確に配置することで、加工開始後に、上記誘導軸と深穴加工工具とにずれが生じた場合には、該位置ずれ・ローリング検出手段による検出結果が、加工開始前とは異なる結果となる。

【0108】

よって、この異なる検出結果が生じた場合には、上記位置ずれ・ローリング修正手段によって、加工開始前の検出結果になるように深穴加工工具の姿勢を修正することで、常に誘導軸と深穴加工工具の中心とが一致した状態で深穴加工を行うことができ、従来より高精度な深穴加工を行うことができる。

【0109】

本発明の深穴評価装置の光軸調整装置は、上記の課題を解決するために、先端部分を被加工物に対して回転させ、該回転の中心軸から被加工物の内壁までの半径方向の距離を測定する深穴評価プローブと、該深穴評価プローブの外周部に配設され、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記深穴評価プローブの姿勢を修正する姿勢修正手段とを有する深穴評価装置の誘導軸の測定目標軸からのずれを修正する光軸調整装置であって、上記深穴評価プローブの回転可能な先端部分における深穴評価プローブの中心軸上に配置され、上記測定目標軸に対して垂直な平面を有する反射手段と、上記反射手段に対して測定目標軸上から光を照射する発光手段と、予め深穴加工工具の誘導軸と測定目標軸とが一致した状態における受光位置を認識しており、上記反射手段からの上記発光手段から発せられた光の反射光を受光して、上記深穴評価プローブの誘導軸の上記測定目標軸からのずれを検出する光軸ずれ検出手段とを備えていることを特徴としている。

【0110】

上記の構成によれば、深穴の加工精度の測定開始前の深穴評価装置に対し、正確な光軸調整を行うことで、より高精度な深穴測定を実現できる。

【0111】

すなわち、本発明の深穴評価装置の光軸調整装置は、まず、深穴評価プローブの測定側において測定目標軸に対して垂直な平面に取り付けられた反射手段に対して、発光手段が測定目標軸上から光を照射し、この反射光を受光する位置に光軸ずれ検出手段を正確に配置する。

【0112】

このとき、深穴評価プローブの誘導軸と測定目標軸とが一致している状態であることから、光軸ずれ検出手段において、一致状態における検出位置を認識することができる。

【0113】

そして、深穴評価プローブの測定側先端部に反射手段を取り付け、再度、反射手段に対して、発光手段が測定目標軸上から光を照射し、光軸ずれ検出手段の上記一致状態における検出位置において該反射光を検出できるように、姿勢修正手段によって深穴評価プローブの変位および傾き（Z軸方向）を調整することで、深穴評価プローブの中心を誘導軸上に移動させることができる。

【0114】

これにより、測定前に誘導軸と測定目標軸とを一致させた後、測定を開始することで、セッティングの際に生じた誘導軸と測定目標軸とのずれに起因する測定精度の低下を防止し、より高精度な深穴測定を実現できる。

【0115】

なお、測定目標軸とは、被加工物に対する深穴評価プローブの理想的な進路であり、誘

導軸とは、深穴評価プローブが測定中に実際に誘導されていく進路である。そして、光軸調整とは、深穴評価プローブの誘導軸と測定目標軸とを一致させることをいう。

【 0 1 1 6 】

上記深穴評価装置は、上記深穴評価プローブの非測定側に、上記深穴評価プローブの誘導軸と測定目標軸とが一致した状態における検出位置を認識しており、上記測定目標軸方向に対して垂直な平面における正常位置からの位置ずれ及び傾き（Z軸方向）を検出する位置ずれ検出手段と、上記測定目標軸を中心とする正常位置からのローリングを検出するローリング検出手段とを有しており、上記深穴評価プローブの外周部に配設され、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴評価プローブの位置ずれを修正する位置ずれ修正手段と、上記深穴評価プローブと上記測定軸と接続する位置に設置されており、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記ローリング検出手段により検出された上記深穴評価プローブのローリングを修正するローリング修正手段とを備えていることがより好ましい。

【 0 1 1 7 】

これにより、深穴評価プローブにおける測定側において光軸調整が行われた後、上記誘導軸と測定目標軸とが一致した状態のまま深穴評価プローブの非測定側に配置される、例えば、発光手段、受光手段等からなる位置ずれ検出手段の配置位置を決定することで、測定中に生じた深穴評価プローブの誘導軸からのずれを、非測定側における位置ずれ検出手段およびローリング検出手段によって検出できる。

【 0 1 1 8 】

つまり、測定側において光軸調整をした状態で、非測定側における位置ずれ・ローリング検出手段を正確に配置することで、測定開始後に、上記誘導軸と測定目標軸とにずれが生じた場合には、該位置ずれ・ローリング検出手段による検出結果が、測定開始前とは異なる結果となる。

【 0 1 1 9 】

よって、この異なる検出結果が生じた場合には、上記位置ずれ・ローリング修正手段によって、測定開始前の検出結果になるように深穴評価プローブの姿勢を修正することで、常に深穴評価プローブの中心が誘導軸上に位置する状態で深穴測定を行うことができ、従来より高精度な深穴測定を行うことができる。

【 0 1 2 0 】

このとき深穴評価プローブと回転軸とを結合させる部材として、アクティブローテーションストップではなく、ローリング防止装置を用いることがより好ましい。深穴評価装置にローリング防止装置を用いた場合には、深穴評価プローブのローリングは生じないからである。なお、深穴加工装置の場合には、深穴加工工具に切削力がかかりローリングが生じる場合がある。この時は、ローリングの角度を検出して補正し、真のX，Y変位を求めればよい。

【 0 1 2 1 】

上記発光手段は、レーザを照射することがより好ましい。

【 0 1 2 2 】

これにより、ビームの広がり小さく、指向性が鋭い等のレーザの特性を利用することにより、光軸ずれ検出手段、位置ずれ検出手段、ローリング検出手段等の検出精度を向上させることができる。

【 0 1 2 3 】

上記発光手段は、単波長光を照射することがより好ましい。

【 0 1 2 4 】

これにより、例えば、PSD等の光学系を2つ使い、各PSDにおける検出結果から簡単な演算によって、ずれ検出を行うことができるとともに、光学系を単純な構成にすることができる。

【 0 1 2 5 】

上記発光手段は、２種類の波長を含む光を照射することがより好ましい。

【０１２６】

これにより、２種類の波長の光を光学系でそれぞれ検出することで、演算を経なくても位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を直接検出することができる。

【０１２７】

本発明の光軸調整方法は、上記の課題を解決するために、上記光軸調整装置による光軸調整方法であって、上記発光手段から照射される光が上記深穴加工工具または深穴評価プローブの中心軸と平行になるように上記発光手段の配置を調整して、上記誘導軸と目標軸とを一致させた後、上記中心軸に対して直角な平面上に上記反射手段を配置し、該反射手段に対して上記発光手段から照射された光の反射光を検出する光軸ずれ検出手段を配置して、上記誘導軸と目標軸とが一致した状態における上記反射光の受光位置を認識させ、上記深穴加工工具または深穴評価プローブの先端部分に上記反射手段を取り付けて、上記発光手段から上記反射手段に対して光を照射し、その反射光を上記光軸ずれ検出手段の上記認識させた受光位置において受光するように、上記姿勢修正手段によって、上記深穴加工工具または深穴評価プローブの姿勢を修正することを特徴としている。

【０１２８】

上記の構成によれば、加工または測定開始前の深穴加工装置または深穴評価装置に対し、正確な光軸調整を行うことで、より高精度な深穴加工または深穴測定を実現できる。

【０１２９】

すなわち、本発明の光軸調整方法は、まず、深穴加工工具または深穴評価プローブの加工側または測定側において、目標軸に対して垂直な平面に取り付けられた反射手段に対して、発光手段が目標軸上から光を照射し、この反射光を受光する位置に光軸ずれ検出手段を正確に配置する。

【０１３０】

このとき、深穴加工工具等の誘導軸と目標軸とが一致している状態であることから、光軸ずれ検出手段において、一致状態における検出位置を認識することができる。

【０１３１】

そして、深穴加工工具または深穴評価プローブの加工側、測定側先端部に反射手段を取り付け、再度、反射手段に対して、発光手段が目標軸上から光を照射し、光軸ずれ検出手段の上記一致状態における検出位置において該反射光を検出できるように、姿勢修正手段によって深穴加工工具等を移動させることで、深穴加工工具または深穴評価プローブの中心軸、すなわち誘導軸を目標軸と一致させることができる。

【０１３２】

これにより、加工あるいは測定前に誘導軸と目標軸とを一致させた後、加工あるいは測定を開始することで、セッティングの際に生じた誘導軸と目標軸とのずれに起因する加工精度または測定精度の低下を防止し、より高精度な深穴加工、深穴測定を実現できる。

【０１３３】

なお、目標軸とは、被加工物に対する深穴加工工具または深穴評価プローブの中心軸の理想的な進路であり、誘導軸とは、深穴加工工具または深穴評価プローブが加工中あるいは測定中に実際に誘導されていく進路である。そして、光軸調整とは、深穴加工工具または深穴評価プローブの誘導軸と目標軸とを一致させることをいう。

【０１３４】

【発明の実施の形態】

〔実施形態１〕

本発明の深穴加工装置および深穴加工方法に関する一実施形態について、図１～図１０に基づいて説明すれば以下のとおりである。

【０１３５】

なお、以下では深穴加工工具を備えた深穴加工装置について説明するが、この深穴加工装置は、レーザ誘導方式深穴内面研削加工工具、レーザ誘導方式深穴加工ロボット、レーザ誘導方式深穴内面研削加工ロボットも含んでいる。

## 【 0 1 3 6 】

本実施形態のレーザ誘導方式を採用した深穴加工装置 10 a は、図 1 に示すように、深穴加工工具 5 a の後端に、従来の技術で説明したアクティブローテーションストップの替わりに、カップリング 2 a を備えている点で従来の深穴加工装置と異なっている。カップリング 2 a は、ジグ 2 c を通じて、深穴加工装置の固定軸に連結されている。

## 【 0 1 3 7 】

すなわち、本実施形態の深穴加工装置は、図 1 に示すように、下穴 3 を設けた被加工物 4 に対して、図示しない回転駆動手段の回転駆動をボーリングバー（回転軸）1 a を介して深穴加工工具 5 a に与え、カウンターボーリングヘッド 8 a を回転させながら、被加工物 4 を固定したテーブル 6 を深穴加工工具 5 a に向かって前進させることで深穴加工を行う。

## 【 0 1 3 8 】

深穴加工工具 5 a は、加工中に回転するカウンターボーリングヘッド 8 a と、加工中の深穴加工工具 5 a の正常位置からの位置ずれを修正する圧電アクチュエータ 15 を備えたアクチュエータ保持部を含んで構成されている。そして、このアクチュエータ保持部は加工中も回転することなく、加工中の深穴加工工具 5 a の正常位置からの位置ずれを修正する。

## 【 0 1 3 9 】

また、カウンターボーリングヘッド 8 a は、ボーリングバー 1 a の中心軸（主軸の中心線）7 に沿った誘導軸線を中心として回転する。このボーリングバー 1 a の内部は中空になっており、この中空部分を通してボーリングバー 1 a の深穴加工工具 5 a と接続された側とは反対側の端部に接続された吸引装置 11 に切り屑を排出する。

## 【 0 1 4 0 】

さらに、深穴加工工具 5 a とボーリングバー 1 a とは、カップリング（接続手段）2 を介して接続されている。このカップリング 2 a は、トルクに対して十分剛性があるフレックスカップリングを用いている。

## 【 0 1 4 1 】

なお、このカップリング 2 a については、後段にて詳述する。

## 【 0 1 4 2 】

そして、深穴加工装置 10 a は、深穴加工工具 5 a による真直な深穴加工を可能にするために、深穴加工工具 5 a の変位検出用の半導体レーザ（発光手段）12 および 2 次元 P S D（Position-Sensitive Detector）（位置ずれ検出手段）13・14、ミラー 19、ビームスプリッタ 21 を備えており、深穴加工工具 5 a の姿勢が乱れた場合、換言すれば、深穴加工工具 5 a の回転軸が、誘導軸線上から傾いた場合および深穴加工工具 5 a に変位が生じた場合にも、深穴加工工具 5 a の側面に備えられた圧電アクチュエータ（位置ずれ修正手段）15 によって適正な姿勢に修正される。

## 【 0 1 4 3 】

さらに、深穴加工装置 10 a は、ローリング検出用の半導体レーザ（発光手段）18、1 次元 P S D（位置ずれ検出手段）20 を備えており、深穴加工工具 5 a のローリングを検出し、深穴加工工具 5 a の姿勢を制御する際、そのローリングの量だけ圧電アクチュエータ 15 の制御量に補正を加える。

## 【 0 1 4 4 】

また、干渉計 16 とコーナーキューブプリズム 17 とが備えられており、加工中の被加工物 4 の送りを検出する。

## 【 0 1 4 5 】

圧電アクチュエータ 15 は、深穴加工工具 5 a の側面に 3 個 1 組として、前後に 2 組備えられており、各組の 3 個の圧電アクチュエータ 15 は、深穴加工工具 5 a の側面における、鉛直方向上頂点に 1 個、鉛直方向下底から左右に 45° の位置に各 1 個ずつ配置されている。これにより、一方の組の圧電アクチュエータ 15 で誘導軸線上からのずれを修正し、両方の組の圧電アクチュエータ 15 でボーリングバー 1 a の回転軸の中心軸方向に平

行な方向（加工方向）の位置ずれを修正できる。

【0146】

この圧電アクチュエータ15は、深穴加工工具5aへの取付け側から加工穴の半径方向に向かって伸縮することができ、加工中は被加工物4の内壁へ当接することによって、前後両方の組の圧電アクチュエータ15を動作させて、深穴加工工具5aを中心軸（Z軸）に関して傾けたり平行移動させたりすることができる。

【0147】

なお、ここでいうローリングとは、深穴加工工具5a（アクチュエータ保持部）が加工中に切削力の影響および位置ずれの修正の際に働く力の影響を受けて、ボーリングバー1aの回転方向あるいは反対方向に回転してしまうことを指す。そして、このローリングが原因となって、深穴加工工具5aの位置ずれを修正する際に、位置ずれの検出にローリングに起因する誤差が含まれてしまうため、適正な位置ずれの修正ができず、加工精度が低下してしまう。

【0148】

本実施形態の深穴加工装置10aによれば、深穴加工工具5aを回転させた加工中に、位置ずれ等を検出して深穴加工工具5aを適正な位置に戻すように修正する際に生じる深穴加工工具5aのローリングを最小限に抑えることができるため、圧電アクチュエータ15によって適正な位置ずれの修正が可能になり、従来の深穴加工装置より精度の高い真直な深穴加工が可能になる。

【0149】

ここで、深穴加工工具5aに回転駆動を与えるボーリングバー1aと深穴加工工具5aとの間に設けられたカップリング2aについて、図2を用いて説明すれば以下とおりである。

【0150】

カップリング2aは、図2に示すように、ボーリングバー1aと深穴加工工具5aとを距離1の間隔を保ちながら、アクチュエータ保持部に接続されている。

【0151】

このカップリング2aは、深穴加工工具5aのローリングを止めるために設けられたものであり、ジグを通して深穴加工装置固定軸に連結され、ローリング防止装置として使用されている。さらに、ボーリングバー1aは、カウンターボーリングヘッドジャンク部8cの後端に接続されており、ボーリングバー1aにボーリングバー1aの中心軸方向の荷重に対する剛性を持たせた構造になっている。

【0152】

以下で述べる実験に使用したカップリングは鍋屋工業製で、静的ねじりばね常数は、 $2500\text{ Nm/rad}$  ( $0.0025^\circ/\text{kg}\cdot\text{cm}$ ) である。

【0153】

また、本実施形態の深穴加工装置10aに使用可能な三木プーリ製の静的ねじりばね常数は、 $378000\text{ Nm/rad}$  ( $0.000149^\circ/\text{kg}\cdot\text{cm}$ ) であり、ねじり剛性の高いカップリングを製作している。

【0154】

図1に示す深穴加工工具5aにおいては、加工中に深穴加工工具5aは移動せず、ジグ2cも移動しない。従って、図2に示すカップリング2aの距離1も加工中変化しない。

【0155】

また、深穴加工装置10aでは、深穴加工工具5aの位置ずれを圧電アクチュエータ15を用いて修正する際の深穴加工工具5aのローリングを低減するために、カップリング2aのねじり剛性を高める必要がある。また、カップリングには、軸方向の切削力に耐える剛性が必要である。市販のカップリングは、このボーリングバー1aの中心軸方向の荷重に対する剛性を有していない。

【0156】

そこで、本実施形態の深穴加工工具5aの場合には、このボーリングバー1aの中心軸

方向の荷重に対する剛性をボーリングバー 1 a に負担させるような構造になっている。このボーリングバー 1 a は、長さが長いため、ボーリングバー 1 a の撓みに対する剛性は低い、ボーリングバー 1 a の伸縮に対する剛性は高い。

【0157】

よって、本実施形態の深穴加工装置 10 a で使用するカップリング 2 a は、市販のフレックスカップリングにボーリングバー 1 a の中心軸方向の荷重に対する剛性を追加する形の新構造になっているといえる。

【0158】

ここで、図 1 に示す深穴加工装置 10 a におけるローリング防止装置として、以上のようなカップリング 2 a を用いて深穴加工を行う実験結果、および深穴加工精度について調べた実験結果について、図 3 ~ 図 7 を用いて説明すれば、以下の通りである。

【0159】

図 3 ~ 図 5 では、深穴加工工具 5 a における駆動側（後方）の 1 組の 3 個の圧電アクチュエータ 15 のそれぞれにかかる電圧を示している。各圧電アクチュエータ 15 は、深穴加工工具 5 a の駆動側（加工側とは反対側）からみて、上から反時計回りに 4 c h , 5 c h , 6 c h とし、それぞれ図 3 , 図 4 , 図 5 に対応している。

【0160】

深穴加工装置 10 a は、加工中に、図 3 ~ 図 5 のグラフに示すように、3 個の圧電アクチュエータ 15 にそれぞれグラフで示すような電圧が与えられ、深穴加工工具 5 a の位置ずれを修正した。

【0161】

なお、本実施形態の深穴加工装置 10 a では、前方の組の 3 個の圧電アクチュエータ 15 は、加工中の深穴加工工具 5 a を誘導するための軸を決定するときだけに使用されるものである。

【0162】

また、本実施形態の深穴加工装置 10 a を用いて深穴加工を行い、その加工精度について調べた実験結果について、図 6 および図 7 を用いて説明すれば、以下の通りである。

【0163】

本実験結果では、図 6 および図 7 に示すように、深穴加工工具 5 a は、加工開始から、- X , - Y 方向へ進み始めていることが分かる。また、X 方向に関しては、図 3 ~ 図 5 に示すように、5 c h の圧電アクチュエータ 15 の電圧が下がり始め、6 c h の圧電アクチュエータ 15 の電圧が幾分高くなり、深穴加工工具 5 a の後端が - X 方向へ移動し、深穴加工工具 5 a の傾きを + X 方向へ制御していることがわかる。Y 方向に関しては、図 3 に示すように、4 c h の圧電アクチュエータ 15 の電圧が高くなって、深穴加工工具 5 a の後端を下げ始め、深穴加工工具 5 a の - Y 方向への変位を修正している。そして、加工穴の深さが 75 mm 以上になると、定常状態へ移行していることが分かる。

【0164】

ここでさらに、上記深穴加工装置 10 a により加工された深穴の加工精度について、図 8 に示す深穴測定器を用いて測定した結果について、図 9、図 10 を用いて説明すれば、以下の通りである。

【0165】

測定では、図 8 に示すように、深穴加工装置 10 a のローリング防止装置としてのカップリング 2 a の代わりに、電気マイクロメータをセットしたマグネットスタンドを固定し、テーブルに固定した被加工物を方向に送りながら、被加工物の内壁に電気マイクロメータを当接させ、加工穴の 4 方向  $\pm X$  ,  $\pm Y$  を測定して深穴の加工精度を測定した。

【0166】

加工穴の中心の曲がり、 $+X$  と  $-X$  との変位の平均値  $X$ 、 $+Y$  と  $-Y$  との変位の平均値  $Y$  として求めた。

【0167】

また、グラフ内における細線は、深穴加工工具 5 a の誘導軸線を示しており、この誘導



軸線の設定は、深穴加工工具 5 a をガイドブシュへ挿入し、2 組 6 個の圧電アクチュエータ 15 を等量開くことによって行われる。なお、この誘導軸線の設定時には誤差が生じ、誘導軸線が傾いていた。

【0168】

X 方向の変位については、図 9 のグラフに示すように、深穴加工工具 5 a の誘導軸線を示す細線からの位置ずれは、0 ~ + 6  $\mu\text{m}$  程度であることがわかる。

【0169】

次に、Y 方向の変位についても、図 10 のグラフに示すように、深穴加工工具 5 a の誘導軸線を示す細線からの位置ずれは、- 12 ~ 2  $\mu\text{m}$  程度であることがわかる。

【0170】

以上の実験結果から、本発明の深穴加工装置 10 a により加工された深穴は、真直度 14  $\mu\text{m}$  程度の加工精度であることが分かった。

【0171】

よって、本発明の深穴加工装置 10 a によれば、深穴加工工具 5 a のローリングを  $\pm 0.001^\circ$  以下に抑え、深穴加工工具 5 a の位置ずれを正確に修正することで、 $\mu\text{m}$  単位の加工精度を実現することができた。

【0172】

これにより、本発明の深穴加工装置 10 a を使用して、例えば、直径 110 mm の深穴加工を行った場合には、加工穴の深さは 10 m 前後 まで可能となる。

【0173】

ローリング防止装置としてカップリング 2 a を用いた深穴加工工具 5 a では、最小径 75 mm、穴深さ 10 m 前後 での実用化が可能である。これよりも直径が大きいものであれば、実用化に問題はなく、穴の深さも穴径に応じて深くすることができる。

【0174】

従来の深穴加工装置によれば、加工穴は通常 1 m あたり mm 単位のオーダーの加工精度でしか加工できない。よって、本発明の深穴加工装置 10 a で実現できた加工精度は、これまで実現できなかった高精度深穴加工であるといえる。

【0175】

また、本実施形態の深穴加工装置では、深穴加工装置 10 a を改良し、制御方法を発展させることによりさらなる加工精度の向上を図ることができる。

【0176】

なお、本実施形態では、位置ずれ修正手段として圧電アクチュエータを用いた深穴加工装置を例を挙げて説明したが、これに限定されるものでない。例えば、圧電アクチュエータの代替として、カムやリニアアクチュエータ等を用いた場合でも、上記と同様に、 $\mu\text{m}$  単位の精度での深穴加工が可能な深穴加工装置を得ることができる。

【0177】

また、本発明は、中心軸を中心として回転可能な回転軸と接続されており、先端部分が被加工物に対して回転しながら深穴加工を行う深穴加工工具と、上記深穴加工工具の正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を検出する位置ずれ検出手段と、上記深穴加工工具の外周部に配設され、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴加工工具の位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を修正する位置ずれ修正手段と、上記検出された位置ずれに応じて、上記位置ずれ修正手段の動作を制御する制御手段と、上記深穴加工工具の回転軸を中心とする円方向における上記回転軸に対するローリングを防止するローリング防止手段とを備えている深穴加工装置において、上記深穴加工工具と上記回転軸とは、上記回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性を上記回転軸に持たせた接続手段により接続されていることを特徴とする深穴加工装置と表現してもよい。

【0178】

また、本発明の深穴加工装置は、レーザ誘導方式深穴加工において、カウンターボーリングヘッドおよびアクチュエータ保持部を備えた深穴加工工具と、深穴加工装置の固定軸

との間に深穴加工工具のローリングを防止するカップリングを備えたことを特徴とする深穴加工方法および装置と表現してもよい。

【0179】

これにより、上記何れの深穴加工装置であっても、本実施形態で説明したように、 $\mu\text{m}$ 単位の高精度で深穴加工を実現できる。

【0180】

そして、回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性を有するとともに、深穴加工工具のローリングを抑え、 $\mu\text{m}$ 単位の高精度な深穴加工が可能な深穴加工装置および深穴加工方法を提供することができる。

【0181】

〔実施形態2〕

本発明の深穴加工装置および深穴評価装置ならびに位置ずれ評価方法に関する一実施形態について、図11・図12に基づいて説明すれば以下のとおりである。

【0182】

なお、説明の便宜上、上記実施形態1において説明した図面に記載された部材と同じ機能を有する部材については、同じ符号を付記しその説明を省略する。

【0183】

本実施形態の深穴加工装置10bは、図11に示すように、従来の深穴加工装置100bと比較して、検出された深穴加工工具の位置ずれから位置ずれ干渉成分を除去し、実際の正確な位置ずれを算出するための制御装置（制御手段）30を備えている点で異なっているが、他の構成については同様である。

【0184】

本実施形態の深穴加工装置10bは、図11に示すように、下穴を設けた被加工物4に対して、図示しない回転駆動手段の回転駆動をボーリングバー1aを介して深穴加工工具5aに与え、カウンターボーリングヘッド8aを回転させながら、被加工物4を固定したテーブル6を深穴加工工具5aに向かって前進させることで深穴加工を行う。

【0185】

深穴加工工具5aは、被加工物4と接触する位置に切刃8aを備え、加工中に回転するカウンターボーリングヘッド8aと、ボーリングバー1aの回転軸方向に対して垂直な平面における加工中の深穴加工工具5aの正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を修正する圧電アクチュエータ（位置ずれ修正手段）15を備えた圧電アクチュエータ保持部とを含んで構成されている。そして、この圧電アクチュエータ保持部は加工中も回転することなく、圧電アクチュエータ15により加工中の深穴加工工具5aの正常位置からの位置ずれが修正される。

【0186】

また、カウンターボーリングヘッド8aは、ボーリングバー1aの中心軸（主軸の中心線）7に沿った誘導軸線を中心として回転する。このボーリングバー1aの内部は中空になっており、この中空部分を通してボーリングバー1aの深穴加工工具5aと接続された側とは反対側の端部に接続された吸引装置11に切り屑を排出する。

【0187】

さらに、深穴加工工具5aとボーリングバー1aとは、直接接続されている。このアクティブローテーションストップ2bは、深穴加工工具5aのボーリングバー1aの回転軸を中心とする円方向の位置ずれ、いわゆるローリングを修正するための図示しない圧電アクチュエータ（傾き修正手段）とレバーとを内部に備えている。

【0188】

なお、ここでいうローリングとは、深穴加工工具5a（アクチュエータ保持部）が加工中に切削力の影響および位置ずれ等の修正の際に働く力の影響を受けて、ボーリングバー1aの回転方向あるいは反対方向に回転してしまうことを指す。

【0189】

そして、深穴加工装置10bは、深穴加工工具5aによる真直な深穴加工を可能にする

ために、深穴加工工具 5 a の変位検出用の半導体レーザ（発光手段）12 および 2 次元 P S D（Position-Sensitive Detector）（位置ずれ検出手段）13・14 を備えており、深穴加工工具 5 a の姿勢が乱れた場合、換言すれば、深穴加工工具 5 a の回転軸が、誘導軸線上からずれた場合には、深穴加工工具 5 a の側面に備えられた圧電アクチュエータ 15 によって適正な姿勢に修正される。

【0190】

さらに、深穴加工装置 10 b は、ローリング検出用の半導体レーザ（発光手段）17、ミラー 19、1 次元 P S D（傾き検出手段）20、ビームスプリッタ 21 を備えており、深穴加工工具 5 a のローリングを検出し、アクティブローションストップ 2 b 内部に備えられた図示しない圧電アクチュエータによって、深穴加工工具 5 a のローリングが 0° になるように深穴加工工具 5 a の円方向の傾きを修正する。

【0191】

また、圧電アクチュエータ 15 は、深穴加工工具 5 a の側面に 3 個 1 組として、前後に 2 組備えられており、各組の 3 個の圧電アクチュエータ 15 は、深穴加工工具 5 a の側面において、鉛直方向の上部に 1 個、鉛直方向の下部から左右に 45° の位置に 2 個となるように配置されている。この圧電アクチュエータ 15 のうち、一方の組の圧電アクチュエータ 15 を用いて誘導軸線上からの傾きを修正できる。

【0192】

この圧電アクチュエータ 15 は、深穴加工工具 5 a への取付け側から加工穴の半径方向に向かって伸縮することができ、加工中は被加工物 4 の内壁へ当接することによって深穴加工工具 5 a を加工穴の半径方向に移動させることができる。

【0193】

ここで、本実施形態の深穴加工装置 10 b に備えられた位置ずれ検出手段として使用されている 1 次元 P S D 20 および 2 次元 P S D 13・14 による位置ずれ検出方法について、より詳しく説明すれば以下の通りである。

【0194】

深穴加工装置 10 b は、従来の技術で説明したように、深穴加工工具 5 a における深穴加工工具 5 a に接続されたボーリングバー 1 a 側に設けた半導体レーザ 12 からミラー 19 に向けてレーザ光を照射する。そして、ミラー 19 からの反射光をビームスプリッタ 21 により X 方向と Z 方向とに分離して、分離光を 2 次元 P S D（Position-Sensitive Detector）13・14 で受光することで、X 方向および Y 方向における深穴加工工具 5 a の位置ずれを検出する。より詳しくは、ミラー 19 からの反射光をビームスプリッタ 21 により X 方向と Z 方向とに分離して、分離光を 2 次元 P S D（Position-Sensitive Detector）13・14 で受光し、各 P S D 13・14 上のレーザ光のスポットの P S D 上での X，Y 座標と両 P S D 間の距離より深穴加工工具 5 a の位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を算出する。

【0195】

さらに、半導体レーザ 18 からレーザ光をミラー 19 に対して照射し、深穴加工工具 5 a の後端部に設けられた 1 次元 P S D 20 がミラー 19 からの反射光を受光してローリングを検出する。

【0196】

このように、深穴加工装置 10 b は、X，Y 方向およびローリングによるそれぞれの位置ずれを検出し、深穴加工工具 5 a に備えられた圧電アクチュエータ 15、アクティブローションストップ 2 b に備えられた図示しない圧電アクチュエータにより、位置ずれを修正して、深穴加工工具 5 a が常に正しい姿勢で深穴加工を行うことができるように制御している。

【0197】

本実施形態の深穴加工装置 10 b では、以上のような深穴加工工具 5 a の位置ずれ検出に際し、X，Y 方向の位置ずれおよびローリングによる位置ずれが互いに干渉することで生じる検出誤差を除去して、正確な位置ずれ検出を行うことができる。

## 【 0 1 9 8 】

1次元PSD20を含む深穴加工工具5aの断面で考えれば、半導体レーザ12の発光部は1次元PSD20と同一断面に設けられている。また、1次元PSD20および半導体レーザ12の発光部は、深穴加工工具5aの後端側面に配置されている。

## 【 0 1 9 9 】

よって、姿勢検出用の半導体レーザ12に着目すれば、図12に示すように、 $S_{D1}$ の位置から、ローリングによる実際の位置ずれ（以下、実際の傾きと示す）の影響を受け、 $S_{D2}$ の位置に移動し、実際の変位（ $x, y$ ）が生じて、 $S_{D3}$ の位置へ移動したとする。同様に、ローリング検出用の1次元PSD20が、実際の傾きおよび実際の変位（ $x, y$ ）により、 $S_{R1}$ の位置から $S_{R2}, S_{R3}$ の位置へ移動したとする。

## 【 0 2 0 0 】

ここで、1次元PSD20により検出される $S_{D1}$ から $S_{D3}$ への半導体レーザ12の移動量を（ $x^D_{PSD}, y^D_{PSD}$ ）とすれば、実際の変位（ $x, y$ ）は、それぞれ以下の式で示すことができる。

## 【 0 2 0 1 】

$$x = (x^D_{PSD} + R_D \cos \theta_D) - R_D \cos(\theta_D + \alpha) \quad (1)$$

$$y = (y^D_{PSD} + R_D \sin \theta_D) - R_D \sin(\theta_D + \alpha) \quad (2)$$

さらに、ローリング検出用の1次元PSD20の $S_{R1}$ から $S_{R3}$ へのY方向移動量の測定値を $y^D_{PSD}$ とすれば、1次元PSD20により検出されるY方向の実際の変位 $y$ は以下の式で示すことができる。

## 【 0 2 0 2 】

$$y = (y^R_{PSD} + R_R \sin \theta_R) - R_R \sin(\theta_R + \alpha) \quad (3)$$

Y方向の変位 $y^R_{PSD}$ は、半導体レーザ17のビームを水平にし、1次元PSD20をY方向に設置することで測定できる。これにより、式（1）～式（3）から、干渉成分である $S_{D1}, S_{R1}$ を含まない実際の変位（ $x, y$ ）と実際の傾き $\alpha$ とを算出できる。

## 【 0 2 0 3 】

つまり、本発明の位置ずれ評価方法では、同一XY平面上に位置する2点についてそれぞれ位置ずれ $S_{D3}, S_{R3}$ を検出する。しかし、この検出された2点の位置ずれ $S_{D3}, S_{R3}$ には、それぞれX, Y方向の変位とX, Y軸の交点（原点）を中心とする回転方向の変位とが互いに干渉し、 $S_{D1}, S_{R1}$ で示される干渉成分が含まれている。そこで、同一平面上に位置している2点の実際の変位（ $x, y$ ）および実際の傾き $\alpha$ は等しいはずであるから、検出された2点の位置ずれ $S_{D3}, S_{R3}$ と、 $S_{D3}, S_{R3}$ から実際の傾き $\alpha$ の成分を除去した $S_{D2}, S_{R2}$ と、干渉成分 $S_{D1}, S_{R1}$ とを基にして、実際の変位（ $x, y$ ）および実際の傾き $\alpha$ を算出することができる。

## 【 0 2 0 4 】

なお、上記の位置ずれ評価方法では、Y方向について式（3）を作成したが、これに限定されるものではない。例えば、X方向について式（3）をたて、1次元PSD20を水平方向に設置し、 $x^R_{PSD}$ を半導体レーザ18のビームを垂直方向に照射して測定した場合でも、同様に $x, y, \alpha$ を算出できる。

## 【 0 2 0 5 】

ここで算出した実際の変位、実際の傾きに基づいて、深穴加工工具5aによる高精度深穴加工に重要な深穴加工工具5aの先端部分の変位および傾きの値は、以下のようにして求めればよい。

## 【 0 2 0 6 】

2次元PSD13・14の測定値から、その後端の変位を求める式から上記 $x, y$ の値を用いて逆算することにより、実際の傾きを算出できる。さらに、それらの後端における変位および傾きが分かれば、先端における変位および傾きは幾何学的に容易に算出することができる。

## 【 0 2 0 7 】

以上のように、本実施形態の位置ずれ評価方法によれば、位置ずれ検出手段である1次

元 PSD 20 および 2 次元 PSD 13・14 により検出される位置ずれから干渉成分を分離して、実際の変位 (x, y) と実際の傾きとを算出することができる。よって、本発明により、深穴加工工具 5a の正確な位置ずれおよびローリングが検出できるようになり、それらを正確に修正するように制御することが可能となった。これにより、従来の技術では実現できなかったレベルの高精度深穴加工が実現できる。

【0208】

なお、本実施形態では、深穴加工装置 10b を例に挙げて説明したが、これに限定されるものではない。例えば、同様の機構を使用する、深穴評価装置 (深穴評価プローブ) に、本発明の干渉成分の分離方法を適用した場合でも、深穴評価プローブの実際の変位と実際の傾きとを算出でき、誤差の無い正確な位置ずれ修正を行うことで、より高精度な深穴精度測定を行うことができる。

【0209】

また、本実施形態では、位置ずれの検出において、1 次元 PSD 20、2 次元 PSD 13・14、半導体レーザ 12・18 を使用しているが、これに限定されるものではない。例えば、半導体レーザ 18 を点ビームにして、1 次元 PSD 20 を 2 次元 PSD 13・14 にすることも可能である。さらに、1 次元 PSD 20 を半導体レーザ 18 の側に設置し、1 次元 PSD 20 をコーナキューブプリズムに置き換えて測定することも可能である。

【0210】

さらに、本発明は、本実施形態で説明した深穴加工装置や深穴評価装置の技術範囲に留まらず、他の分野への適用も可能である。例えば、本実施形態の深穴加工装置 10b と同様に、(x, y) 方向の変位 (位置ずれ) と x y 軸の交点における回転方向の変位 (ローリング) とを検出し、その検出結果に基づいて、位置を修正する機構を備えた装置であれば、上記と同様の方法により、(x, y) 方向の変位と x y 軸の交点における回転方向の変位との干渉による誤差を除去し、正確な位置ずれを検出してそれを修正することで、より高精度な制御が可能な装置を得ることができる。

【0211】

そして、回転軸方向に垂直な平面における位置ずれおよびローリングによる傾きの干渉成分による影響を取り除いて、深穴加工工具および深穴評価プローブの実際の位置ずれを検出することができる深穴加工装置および深穴評価装置ならびに位置ずれ評価方法を提供することができる。

【0212】

〔実施形態 3〕

本発明の深穴評価装置および深穴評価方法に関する一実施形態について、図 13 ~ 図 17 を用いて説明すれば、以下の通りである。

【0213】

なお、説明の便宜上、上記実施形態 1・2 において説明した図面に記載された部材と同じ機能を有する部材については、同じ符号を付記しその説明を省略する。

【0214】

本実施形態のレーザ誘導方式を採用した深穴評価装置 10c は、図 13 に示すように、深穴評価プローブ 5b の後端に、従来の技術で説明したアクティブローテーションストッパの替わりに、カップリング 2a を備えており、ボーリングバーの替わりに設けられた測定バー 1b が回転しない点で従来の深穴評価装置と異なっている。

【0215】

すなわち、本実施形態の深穴評価装置は、図 13 に示すように、深穴 3 を加工された被加工物 4 に対して、深穴評価プローブ 5b 内に備えられたステッピングモータの回転駆動を深穴評価プローブ 5b の先端部分に取り付けられた測定ユニット 8b に与え、測定ユニット 8b を回転させながら、被加工物 4 を固定したテーブル 6 を深穴評価プローブ 5b に向かって前進させることで深穴の測定を行う。

【0216】

深穴評価プローブ 5b は、測定ユニット 8b と、深穴評価プローブ 5b の正常位置から

の位置ずれを修正する圧電アクチュエータ 15 を備えた圧電アクチュエータ保持部とを含んで構成されている。そして、この圧電アクチュエータ保持部は回転することなく、深穴の測定中において深穴評価プローブ 5 b の正常位置からの位置ずれを修正する。

【0217】

また、深穴評価プローブ 5 b の先端部分に取り付けられた測定ユニット 8 b は、測定バー 1 b の中心軸 7 に沿った誘導軸線を中心として回転する。

【0218】

さらに、深穴評価プローブ 5 b と測定バー 1 b とは、カップリング（接続手段）2 a を介して接続されている。このカップリング 2 a は、回転方向のトルクに対して十分剛性があるフレックスカップリングを用いている。

【0219】

なお、このカップリング 2 a については、後段にて詳述する。

【0220】

そして、深穴評価装置 10 c は、深穴評価プローブ 5 b による深穴の高精度測定を可能にするために、深穴評価プローブ 5 b の姿勢を検出する変位検出用半導体レーザ（発光手段）12 および 2 次元 P S D（Position-Sensitive Detector）（位置ずれ検出手段）13・14、ミラー 19、ビームスプリッタ 21 を備えており、深穴評価プローブ 5 b の姿勢が乱れた場合、換言すれば、深穴評価プローブ 5 b の回転の中心軸が、誘導軸線上から傾いた場合、および測定バー 1 b の中心軸方向に平行な方向における深穴評価プローブ 5 b の位置ずれが生じた場合についても、深穴評価プローブ 5 b の側面に備えられた圧電アクチュエータ（位置ずれ修正手段）15 によって適正な姿勢、位置に修正される。

【0221】

さらに、深穴評価装置 10 c は、ローリング検出用半導体レーザ（発光手段）18、1 次元 P S D（位置ずれ検出手段）20 を備えており、深穴評価プローブ 5 b のローリングを検出し、同じく圧電アクチュエータ 15 によって、深穴加工工具 5 a におけるアクチュエータ保持部のローリングが 0° になるように深穴加工工具 5 a の位置を修正する。

【0222】

また、干渉計 16 とコーナキューブプリズム 17 とが備えられており、深穴評価プローブ 5 b の変位方向の送りを検出している。

【0223】

また、圧電アクチュエータ 15 は、深穴評価プローブ 5 b の側面に 3 個 1 組として、前後に 2 組備えられており、各組の 3 個の圧電アクチュエータ 15 は、深穴評価プローブ 5 b の側面における、鉛直方向上頂点に 1 個、鉛直方向下底から左右に 45° ずつの位置に 2 個配置されている。これにより、一方の組の圧電アクチュエータ 15 で深穴評価プローブ 5 b の誘導軸線上からの傾きを修正し、両方の組の圧電アクチュエータ 15 で測定バー 1 b の中心軸方向に平行な方向の位置ずれを修正できる。

【0224】

この圧電アクチュエータ 15 は、深穴評価プローブ 5 b への取付け側から加工穴の半径方向に向かって伸縮することができ、前後両方の組の圧電アクチュエータ 15 を動作させて、測定中は被加工物 4 の内壁へ当接することによって深穴評価プローブ 5 b を加工穴の半径方向に移動させたり、深穴評価プローブ 5 b を測定穴内において傾けたりすることができる。

【0225】

なお、ここでいうローリングとは、深穴評価プローブ 5 b が測定中に位置ずれの修正を行う際に、深穴評価プローブ 5 b における圧電アクチュエータ保持部が、測定バー 1 b の回転方向あるいはその反対方向にずれてしまうことを指す。そして、このローリングが原因となって、深穴評価プローブ 5 b の位置ずれを修正する際に、位置ずれの検出にローリングに起因する誤差が含まれてしまうため、深穴評価プローブ 5 b の位置ずれを適正に修正できず、測定精度が低下してしまう。

【0226】

本実施形態の深穴評価装置 10 c によれば、深穴評価プローブ 5 b の先端部分の測定ユニット 8 b を回転させた測定中に、位置ずれ等を検出して深穴評価プローブ 5 b を適正な位置に戻すように修正する際に生じる深穴評価プローブ 5 b のローリングを最小限に抑えることができる。これにより、ローリングによる誤差が検出された位置ずれに混入しないため、圧電アクチュエータ 15 によって適正な位置ずれの修正が可能になり、従来の深穴評価装置よりも高精度の深穴測定が可能になる。

【0227】

ここで、深穴評価プローブ 5 b の後端に設けられたカップリング 2 a について、図 14 を用いて説明すれば以下とおりである。

【0228】

カップリング 2 a は、図 14 に示すように、ジグ 2 c と深穴評価プローブ 5 b とを距離 1 の間隔を保ちつつ、深穴評価プローブ 5 b のアクチュエータ保持部に接続されている。

【0229】

このカップリング 2 a は、深穴評価プローブ 5 b における圧電アクチュエータ保持部のローリングを防止するために設けられたものであり、ジグ 2 c を含めてローリング防止装置として使用されるとともに、測定バー 1 b の中心軸方向の荷重に対する剛性を測定バー 1 b に持たせた構造になっている。

【0230】

以下で述べる実験に使用したカップリングは鍋屋工業製で、静的ねじりばね常数は、 $2500 \text{ Nm/rad}$  ( $0.0025^\circ/\text{kg}\cdot\text{cm}$ ) である。

【0231】

また、本実施形態の深穴評価装置 10 c に使用可能な三木ブリー製の静的ねじりばね常数は、 $378000 \text{ Nm/rad}$  ( $0.000149^\circ/\text{kg}\cdot\text{cm}$ ) であり、ねじり剛性の高いカップリングを製作している。

【0232】

図 13 に示す深穴評価プローブ 5 b においては、測定中に ジグ 2 c の位置と深穴評価プローブ 5 b の間隔は変化せず、カップリング 2 a は中心軸方向に関して伸縮しない。従って、図 14 に示すカップリング 2 a の距離 1 も測定中変化しない。

【0233】

また、深穴評価装置 10 c では、深穴評価プローブ 5 b の位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を圧電アクチュエータ 15 を用いて修正する際の深穴評価プローブ 5 b のローリングを低減するために、カップリング 2 a に測定バー 1 b の中心軸方向の荷重に剛性を持たせることが望ましいが、市販のカップリングは、この測定バー 1 b の中心軸方向の荷重に対する剛性を有していない。

【0234】

そこで、本実施形態の深穴評価プローブ 5 b の場合には、この測定バー 1 b の中心軸方向の荷重に対する剛性を測定バー 1 b に負担させるような構造になっている。この測定バー 1 b は、長さが長いため、測定バー 1 b の撓みに対する剛性は低い、測定バー 1 b の伸縮に対する剛性は高い。

【0235】

よって、本実施形態の深穴評価装置 10 c で使用するカップリング 2 a は、市販のフレックスカップリングに測定バー 1 b の中心軸方向の荷重に対する剛性を追加する形の新構造になっている。

【0236】

ここで、本実施形態の深穴評価装置 10 c を使用して、深穴の真直度測定を行った結果について、図 15 ~ 図 17 を用いて説明すれば、以下の通りである。

【0237】

本発明の深穴評価装置 10 c による深穴の測定では、深穴評価プローブ 5 b の制御は前方の 3 個の圧電アクチュエータ 15 の中心および後方の 3 個の圧電アクチュエータ 15 の中心が常に誘導軸上にくるように制御されている。

## 【 0 2 3 8 】

測定時のテーブル6の送り速度は100mm/minであり、深さ $h = 199\text{ mm}$ から前方の圧電アクチュエータ15のサポータリングパッド（圧電アクチュエータと穴壁が接する所）が被加工物の加工穴に挿入される。

## 【 0 2 3 9 】

深穴評価プローブ5bにより、被加工物の内壁の+X方向及び-X方向内壁を走査して深穴の中心の変位（穴の曲がり）Xを測定した測定結果は、図15（a）に示すようなグラフとなった。

## 【 0 2 4 0 】

一方、ローリング防止装置としてのカップリング2aの代わりにダイヤルゲージスタンドおよび電気マイクロメータを取り付けて固定軸から測定した真直度は、図15（b）に示すようなグラフとなった。なお、両者はミクロンオーダーでよく対応しているものとする。

## 【 0 2 4 1 】

図15（a）および図15（b）とを比較して、本実施形態の深穴評価装置10cによる測定誤差を算出すると、形状に関してはミクロンオーダーで対応しており、 $\mu\text{m}$ 単位の高精度測定が可能になったことが分かる。

## 【 0 2 4 2 】

また、別の方法で深穴の評価を行った測定結果として、本発明の深穴評価装置10cを用いた測定結果を図16（a）、図16（c）に示し、真円度測定器（タリロンド100型；テラーホブソン社）を用いた測定結果を、図16（b）、図16（d）に示している。

## 【 0 2 4 3 】

なお、図16（a）と図16（b）とは、測定対象物として、同一工作物WPB（Work piece B）を使用し、図16（c）と図16（d）とは、同一工作物WPC（Work piece C）を使用した。また、真円度は、深穴評価プローブ5bおよび真円度測定器の両者とも、送りを止めて測定している。両者の測定値はミクロンオーダーで対応している。

## 【 0 2 4 4 】

図16（a）～図16（d）の真円度の測定結果は、それぞれ $40\mu\text{m}$ 、 $36\mu\text{m}$ 、 $112\mu\text{m}$ 、 $108\mu\text{m}$ であった。

## 【 0 2 4 5 】

図16（a）～図16（d）に示すグラフから、WPBの測定誤差は $4\mu\text{m}$ であり、WPCの測定誤差も $4\mu\text{m}$ であった。よって、ここでも、本実施形態の深穴評価装置10cによる測定誤差を $\mu\text{m}$ 単位に抑え、高精度の測定が可能であることが分かった。

## 【 0 2 4 6 】

さらに、スパイラル状穴壁の走査プローブに送りをかけ、誘導しながら穴壁を螺旋状に走査した測定結果を図17に示している。穴径は測定をガイドブシュの位置から始めることで可能であり、ガイドブシュの穴径を基準とし、測定穴の穴径の増減を測定した。

## 【 0 2 4 7 】

図17に示すグラフからも、本実施形態の深穴評価装置10cにより、高精度な深穴測定が可能になったことが分かる。

## 【 0 2 4 8 】

以上の測定結果から、本実施形態の深穴評価プローブ5bを誘導することで、現存する測定器では測定できない高精度での測定が可能になった。これにより、本実施形態の接続手段を備えた深穴評価装置により、直径110mmの加工穴の場合、10m前後の深さまで高精度な測定が可能であり、従来の深穴評価装置では測定できない高精度の深穴測定が実現可能となった。

## 【 0 2 4 9 】

例えば、従来の最大級の真円度測定器であっても、深さ300mm以上の真円度は測定



できなかったが、本実施形態の深穴評価装置 10 c を使用することにより測定可能となった。

【0250】

また、被加工物の内壁を螺旋状に走査することにより、真直度・真円度・穴径などの穴精度の測定が一回の操作で可能となった。

【0251】

さらに、従来のオートコリメータを使用して加工穴の真直度の測定を行った場合には、反射鏡を穴に沿って移動させることにより測定される。さらに、同じく従来の超音波による測定の場合には、被加工物の外壁（パイプの場合、外円筒）に基準面をつくり、そこから穴壁までの距離を測定して真直度を間接的に測定している。

【0252】

一方、本実施形態の深穴評価装置 10 c によれば、レーザ光線で測定軸をつくり、そこからの距離を連続的に測定するため、測定精度を他の方法より格段に高くできる。

【0253】

なお、本実施形態では、位置ずれ修正手段として、圧電アクチュエータ 15 を用いた例を挙げて説明したが、これに限定されるものではない。例えば、圧電アクチュエータの代替として、カムやリニアアクチュエータ等を用いた場合でも、上記と同様に、 $\mu\text{m}$  単位の精度での深穴測定が可能な深穴評価装置を得ることができる。

【0254】

また、本発明は、測定軸と接続されており、先端部分を被加工物に対して回転させて、該回転の中心軸から被加工物の内壁までの半径方向の距離を測定する深穴評価プローブと、上記深穴評価プローブの正常位置からの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を検出する位置ずれ検出手段と、上記深穴評価プローブの外周部に配設され、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴評価プローブの位置ずれ及び傾き（中心軸方向）を修正する位置ずれ修正手段と、上記検出された位置ずれに応じて、上記位置ずれ修正手段の動作を制御する制御手段と、上記深穴評価プローブの中心軸を中心とする円方向におけるローリングを防止するローリング防止手段とを備えている深穴評価装置において、上記中心軸方向の荷重に対する剛性を上記測定軸に持たせた接続手段により接続されていることを特徴とする深穴評価装置と表現してもよい。

【0255】

また、本発明の深穴評価装置は、レーザ誘導方式深穴評価装置において、測定ユニットおよびアクチュエータ保持部を備えた深穴評価プローブと、深穴評価装置の固定軸との間に深穴評価プローブのローリングを防止するカップリングを備えたことを特徴とする深穴評価装置および深穴評価方法と表現してもよい。

【0256】

これにより、上記何れの深穴評価装置であっても、本実施形態で説明したように、 $\mu\text{m}$  単位の高精度の深穴測定を実現できる。

【0257】

そして、測定軸の中心軸方向の荷重に対する剛性を有するとともに、深穴評価プローブのローリングを抑え、 $\mu\text{m}$  単位の高精度な測定が可能な深穴評価装置および深穴評価方法を提供することができる。

【0258】

〔実施形態 4〕

本発明の深穴加工装置および深穴評価装置の光軸調整装置、光軸調整方法に関する一実施形態について、図 18～図 27 を用いて説明すれば以下の通りである。なお、説明の便宜上、上記実施形態 1～3 において説明した図面に記載された部材と同じ機能を有する部材については、同じ符号を付記しその説明を省略する。

【0259】

本実施形態のレーザ誘導方式を採用した深穴加工装置 10 d は、図 18 に示すように、

上記実施形態１で説明した深穴加工装置１０ａと比較して、深穴加工工具５ａの加工側の先端部分に光学ヘッド（反射手段）４１ａを備えている点で異なっているが、その他の構成については同様である。

【０２６０】

そして、本実施形態の深穴加工装置の光軸調整装置４０は、図１９に示すように、上記深穴加工装置１０ｄの構成に加えて、レーザ（発光手段）４３、ハーフミラー４２・４４およびＰＳＤ４５・４６を含む光学系（光軸ずれ検出手段）５０とを備えている。

【０２６１】

このように、光源としてレーザ４３を用いた場合には、ビームの広がりが小さく、指向性が鋭い、単一波長からなる等のレーザの特性により、光学系を用いた測定において測定精度を向上させることができるため、特に好ましい。

【０２６２】

ここで、本実施形態の深穴加工装置の光軸調整装置４０による深穴加工装置の光軸調整方法について、図２０～図２３を用いて説明すれば以下のとおりである。

【０２６３】

なお、ここでは、光軸調整に用いるレーザ光として単波長光、つまり１種類の波長しか持たない光を使用する場合について説明する。また、以下で説明する加工目標軸とは、被加工物４に対する深穴加工工具５ａの理想的進路であり、誘導軸とは、深穴加工工具５ａが加工中に実際に誘導されていく進路である。そして、光軸調整とは、深穴加工装置１０ｄによる加工開始前に深穴加工工具５ａの誘導軸と加工目標軸とを一致させることをいう。

【０２６４】

まず、図２０に示すように、ＰＳＤ４９を、その原点が加工目標軸上に位置するように、テーブル６上の加工目標軸に対して直角な面を有するブロック４８に取り付ける。そして、テーブル６を送り方向において前進後退させた際に、光のスポットが常にＰＳＤ４９の原点に来るように、光源となるレーザ４３の姿勢（変位とＺ軸方向に関する傾き）を調整する。これにより、レーザ４３から照射されるレーザ光の向きを加工目標軸と平行にすることができる。

【０２６５】

次に、図２１に示すように、深穴加工工具５ａの中心軸に対して直角の面を有するブロック４８に光学ヘッド（反射手段）４１ａを取り付け、該光学ヘッド４１ａに対してレーザ光を照射する。そして、光学ヘッド４１ａからの反射光のスポットが常にＰＳＤ４５およびＰＳＤ４６の原点にくるように、両ＰＳＤ４５・４６を移動させ、ＰＳＤ４５およびＰＳＤ４６の配置を決定する。これにより、上記誘導軸と加工目標軸とが一致した状態での、上記反射光のスポットのＰＳＤ４５・４６における検出位置を認識できる。

【０２６６】

次に、図２２に示すように、深穴加工工具５ａに光学ヘッド４１ａを取り付ける。そして、図２３に示すように、深穴加工工具５ａをガイドブシュ４'に挿入し、６個の圧電アクチュエータ（姿勢修正手段）１５を連動駆動して、ミラー４１ａからの反射光がＰＳＤ４５およびＰＳＤ４６の原点に戻るよう深穴加工工具５ａの姿勢を調整する。

【０２６７】

これにより、深穴加工工具５ａの中心線を加工目標軸上に移動させることにより、加工開始前に深穴加工工具５ａの誘導軸と加工目標軸とを一致させた状態を形成できる。よって、このような光軸調整を終えた深穴加工装置１０ｄによれば、より高精度な深穴加工を実現可能になる。

【０２６８】

なお、この時、光軸調整用の光として単波長光を用いた場合には、セッティングした後の誘導軸と加工目標軸との間に最大で（ブシュ径－工具径）／２の誤差が生じるため、誘導軸と加工目標軸とは完全に一致しない。しかし、ブシュ径と深穴加工工具径との関係を考慮してブシュ径、深穴加工工具の径を決定し、深穴加工を行った場合には、この誤差は

数  $\mu\text{m}$  の範囲内に抑えることが可能である。また、光軸調整に単波長光を用いた場合には、XY座標センサとして2枚のPSD45・46を軸方向に並べ、検出結果に基づいて深穴加工工具5aの傾き(Z軸方向)・変位を検出する際に、簡単な演算が必要となるものの、光学系の構成を単純にできるというメリットがある。

【0269】

以上のような光軸調整後、誘導座標を深穴加工工具5aの非加工側、つまり深穴加工工具5aの後端部分へ移す、すなわち、深穴加工工具5aの後端部分に配置された光学系(PSD13・14、ハーフミラー19・21)(光軸ずれ検出手段)を用いて光軸ずれを検出するために、図19に示すように、深穴加工工具5aの後方へレーザ光を照射して、光のスポットがPSD13およびPSD14の原点と一致するように、PSD13・14を深穴加工工具5aの非加工側に配置する。これにより、上記光のスポットがPSD13・14の原点からずれたことを検出することで、誘導軸と加工目標軸とがずれたことを検出できる。

【0270】

以上のような工程によって、深穴加工装置の光軸調整装置40を用いて光軸調整が行われた深穴加工装置10dでは、深穴加工工具5aの誘導軸と加工目標軸とを一致させた状態で加工を開始することができる。そして、光軸ずれ検出を深穴加工工具5aの加工側、つまり先端部分から非加工側、つまり後端部分に移動させているため、加工中に、加工目標軸と正確に一致させた深穴加工工具5aの先端部の中心が誘導軸からずれた場合には、深穴加工工具5aの後端部分に配置されたPSD13・14がこれを検出し、検出結果に応じて圧電アクチュエータ15によってこのずれを修正する制御を行う。

【0271】

これにより、深穴加工工具5aの誘導軸と加工目標軸とを一致させたまま加工することが可能となり、加工前のセッティングで生じた誘導軸と加工目標軸とのずれに起因する加工精度の低下を防止し、これまで実現できなかったレベルの高精度な深穴加工が可能になる。

【0272】

また、本発明の深穴加工装置および深穴評価装置の光軸調整装置、光軸調整方法では、例えば、Ar(アルゴン)レーザのように青色波長、緑色波長の2種類の波長の光を含むレーザ光を使用することも可能である。

【0273】

このような2種類の波長の光を含むレーザ光を使用した光軸調整は、以下のようにして行われる。

【0274】

まず、上記単波長光を使用した場合と同様に、PSD49を用いて、レーザ43の姿勢を調整する。

【0275】

次に、PSD45およびPSD46の配置を決定するために、図24に示すように、光学ヘッド41bをブロック48に取り付け、レーザ光を照射する。そして、光のスポットが常にPSD45およびPSD46の原点にくるように、両PSD45・46を移動させる。

【0276】

次に、図25に示すように、光学ヘッド41bが有する反射面が深穴加工工具5aの中心軸に対して直角になるように、光学ヘッド41bを深穴加工工具5aに取り付ける。

【0277】

光学ヘッド41bは、ダイクロイックミラー、90°ダイクロイックミラーおよびコーナーキューブプリズムを搭載しており、レーザ43から照射されたレーザ光を反射している。

【0278】

次に、図26に示すように、深穴加工工具5aをガイドブシュ4'に挿入し、6個の圧

電アクチュエータ 15 を連動させて駆動し、光学ヘッド 41b からの反射光が PSD 45 および PSD 46 の原点と一致するように深穴加工工具 5a の姿勢を調整する。

【0279】

これにより、深穴加工工具 5a の中心線を誘導軸上に移動させることができ、結果として、深穴加工工具 5a の誘導軸と加工目標軸とを一致させることができる。

【0280】

ここで、上記と同様に、誘導座標を深穴加工工具 5a の後方へ移すために、図 19 に示すように、深穴加工工具 5a の後方へレーザ光を照射し、光のスポットが PSD 13 および PSD 14 の原点と一致するように両 PSD 13・14 を移動させる。

【0281】

本実施形態の深穴加工装置の光軸調整装置 40 は、以上のように、2 種類の波長を含む光を用いた場合でも、深穴加工装置および深穴評価装置の高精度な光軸調整を行った後に深穴加工を行うことで、加工中に生じたずれを深穴加工工具 5a の後端部分に配置された PSD 13・14 によって検出し、これを修正することで、深穴加工工具 5a の誘導軸と加工目標軸とを一致させる制御を行うことができ、単波長光を用いた光軸調整と同様に、これまで実現できなかったレベルのより高精度な深穴加工が可能になる。

【0282】

なお、このような 2 種類の波長を含む光を光軸調整に用いた場合には、2 種類の波長を分離するための分光器、フィルタ等が必要になるものの、誤差なく誘導軸と加工目標軸とを一致させることができるとともに、2 種類の波長のうち、一方の波長光を変位、他方の波長光を傾きを検出するために用いることで、PSD 13・14 による検出結果に基づいて、深穴加工工具 5a の姿勢を演算なしで直接検出できるというメリットがある。

【0283】

[ 実施例 1 ]

上記実施形態 4 に記載された深穴加工装置の光軸調整装置によって光軸調整された深穴加工装置を用いて加工された深穴に関して、深穴の加工精度を検出する実験を行った。加工条件は、回転数  $N = 270 \text{ rpm}$ 、送り  $f = 0.125 \text{ mm/rev}$  で工具回転・工作物送りである。

【0284】

なお、工作物として下穴 (108 mm) のあるジュラルミン (JIS2017-T4) を使用し、切削油として不水溶性硫化塩素化油 (ユシロンカット DS50、JIS2 種 13 号) を深穴加工工具前方より供給した。油量は  $150 \text{ mL/min}$  である。

【0285】

実験では、上記深穴を加工中の X 方向および Y 方向における深穴加工工具 5a の位置、加工後の深穴の曲がりについて測定した。

【0286】

加工中の深穴加工工具 5a は、X 方向において、図 27 (a) 上段のグラフに示すように、加工目標軸 (Z 軸) に対して高精度に誘導されていることが分かる。また、Y 方向においては、図 27 (a) 下段のグラフに示すように、誘導軸に関しては真直に誘導されていることがわかる。

【0287】

一方、加工穴の曲がりについては、X 方向において、図 27 (b) 上段のグラフに示すように、真直に加工されていることが分かる。また、Y 方向においては、図 27 (b) 下段のグラフに示すように、加工目標軸 (Z 軸) に関し傾いていることがわかる。

【0288】

なお、図 27 (b) において、- X, - Y は、一方向穴壁を、+ X, + Y は、+ 方向穴壁を測定したものであり、X, Y は X 方向および Y 方向における穴の中心の曲がりである。

【0289】

これは、PSD 13 および PSD 14 の原点を決める際に、ミラー 41a に取付け誤差

が生じたことによるものと考えられる。なお、この取付け誤差は、誘導用コンピュータ上で補正可能であり、図27(a)の変動成分についても、データを1回転に1回同期してとることによってなくすることができる。

【0290】

以上の実験結果から、本発明の深穴加工装置の光軸調整装置を用いて光軸調整後、深穴加工を行う場合には、工具回転・工作物送り方式の深穴加工において、直径100～150mm、深さ10mの穴を誤差±10μm程度の真直度で加工することが可能となった。

【0291】

通常、このような真直度の高い高精度な深穴加工は、熟練した作業者の技能をしても不可能である。しかし、本発明の深穴加工装置の光軸調整装置によれば、熟練した作業者によらなくても高精度な深穴加工を実現できる。

【0292】

なお、本実施形態では、深穴加工装置を例にあげて説明したが、本発明の光軸調整方法は深穴加工装置に限定されるものではなく、例えば、深穴評価装置に適用することも可能である。

【0293】

また、本実施形態の深穴加工装置10dのように、深穴加工工具5aの回転駆動側、つまり深穴加工工具5aの後方においてその姿勢を検出する場合には、深穴加工工具5aの加工側において姿勢検出を行う場合と比較して、検出手段等を常にクリーンな状態で検出を行うことができ、下穴加工されていない被加工物に対するソリッドボーリングが可能になる、検出手段が回転しない側に取り付けられていることで、姿勢制御用検出データを精度よく検出できる等の長所がある。よって、本発明は、深穴加工工具後端部分、つまり非加工側において姿勢制御を行う深穴加工装置に適用することがより好ましい。

【0294】

なお、各実施形態の中では、深穴加工工具の回転軸を中心とする円方向における上記回転軸に対する傾きとローリングとについて説明しているが、これらは同じものを意味している。よって、傾き検出・修正手段とローリング検出・修正手段とは同じ機能を有する部材である。さらに、深穴加工工具の目標軸からの平行移動量について、深穴加工工具の変位、位置ずれという文言を用いているが、これについても同じ意味で使用しているものである。深穴加工工具の姿勢を制御するという場合の姿勢は、深穴加工工具の変位と傾き（中心軸方向）を意味する。

【0295】

本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

【0296】

【発明の効果】

本発明の深穴加工装置は、以上のように、上記深穴加工工具と上記回転軸とは、上記深穴加工工具の回転軸を中心とする円方向における上記回転軸に対するローリングを防止するとともに、上記回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性を上記回転軸に持たせた接続手段により接続されている構成である。

【0297】

それゆえ、ローリングの発生によって、位置ずれ検出手段により検出された位置ずれに誤差が生じ、深穴加工工具を正確に正常位置へ修正することができないという問題を解決し、従来の深穴加工装置よりも精度の高い深穴加工が可能な深穴加工装置を提供できるという効果を奏する。

【0298】

すなわち、本発明の深穴加工装置によれば、従来の深穴加工装置に用いられているフレックスカップリングの代わりに、深穴加工工具のローリングを抑え、回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性を回転軸に持たせることができる接続手段を備えているため、位置ず

れ検出手段、位置ずれ修正手段を備えた深穴加工装置において、位置ずれ検出手段により検出された深穴加工工具の加工中の正常位置からの位置ずれを、位置ずれ修正手段により適正に修正しながら深穴加工を行うことができる。よって、従来の深穴加工装置のmm単位の加工精度に比べて加工精度を向上させ、 $\mu\text{m}$ 単位の加工精度での深穴加工が可能な深穴加工装置を提供できる。

【0299】

本発明の深穴加工装置は、以上のように、上記深穴加工工具と上記回転軸とは、上記深穴加工工具の回転軸を中心とする円方向における上記回転軸に対するローリングを防止するとともに、上記回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性を上記回転軸に持たせた接続手段により接続されている構成である。

【0300】

それゆえ、ローリングおよび回転軸の中心軸方向の位置ずれの発生によって、位置ずれ検出手段により検出された位置ずれに誤差が生じ、深穴加工工具を正確に正常位置へ修正することができないという問題を解決し、従来の深穴加工装置よりも精度の高い深穴加工が可能な深穴加工装置を提供できるという効果を奏する。

【0301】

すなわち、本発明の深穴加工装置によれば、従来の深穴加工装置に用いられているフレックスカップリングの替わりに、深穴加工工具のローリングを抑え、回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性を回転軸に持たせることができる接続手段を備えているため、発光手段、位置ずれ検出手段、位置ずれ修正手段を備えた深穴加工装置において、発光手段から発せられた光を受光することにより、位置ずれ検出手段により検出された深穴加工工具の加工中の正常位置からの位置ずれを、位置ずれ修正手段により適正に修正しながら深穴加工を行うことができる。よって、従来の深穴加工装置のmm単位の加工精度に比べて加工精度を向上させ、 $\mu\text{m}$ 単位の加工精度での深穴加工が可能な深穴加工装置を提供できる。

【0302】

本発明の深穴加工方法は、以上のように、上記深穴加工工具の回転軸を中心とする円方向における上記回転軸に対するローリングを防止するとともに、上記回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性を上記回転軸に持たせた状態で深穴加工を行う方法である。

【0303】

それゆえ、深穴加工工具の回転軸を中心とする円方向における回転軸に対する位置ずれ、いわゆるローリングを防止することができるとともに、回転軸の中心軸方向の荷重に対する剛性を持たせた状態で深穴加工を行うことができるため、従来の深穴加工方法よりも精度のよい深穴加工が可能な深穴加工方法を提供できるという効果を奏する。

【0304】

すなわち、本発明の深穴加工方法によれば、使用される深穴加工装置は、従来の深穴加工方法に使用される深穴加工装置におけるフレックスカップリングの替わりに、深穴加工工具のローリングを防止し、回転軸の中心軸方向の荷重を回転軸に持たせることができる接続手段を備えているため、発光手段から発せられた光を受光することにより、位置ずれ検出手段により検出された深穴加工工具の加工中の正常位置からの位置ずれを、位置ずれ修正手段により適正に修正しながら深穴加工を行うことができる。よって、従来の深穴加工方法のmm単位の加工精度に比べて加工精度を向上させ、 $\mu\text{m}$ 単位の加工精度での深穴加工が可能な深穴加工方法を提供できる。

【0305】

本発明の深穴加工装置は、以上のように、上記深穴加工工具における上記平面上に位置する2点において、それぞれ上記位置ずれと傾きとを検出し、上記2点における検出結果から位置ずれと傾きとが互いに干渉することで検出結果に含まれる干渉成分を除去する制御手段を備えている構成である。

【0306】

それゆえ、位置ずれ検出手段および傾き検出手段によりそれぞれ検出される、回転軸方向に対して垂直な平面における深穴加工工具の位置ずれと回転軸を中心とする円方向にお

ける深穴加工工具の傾きとが、互いに干渉して生じる検出誤差、いわゆる干渉成分を検出結果から除去し、実際の深穴加工工具の位置ずれを正確に検出できるという効果を奏する。

【0307】

すなわち、本発明の深穴加工装置によれば、深穴加工工具における回転軸方向に対して垂直な平面上において、位置ずれ、傾きを位置ずれ検出手段および傾き検出手段によりそれぞれ検出し、上記2点における検出結果を比較する。ここで、実際の位置ずれおよび傾きは、上記2点在同一平面上に形成されているため等しくなるはずである。よって、実際の位置ずれ( $x$ ,  $y$ )と傾きとを上記2点における検出結果から導くことで、検出結果に含まれる干渉成分を除去し、上記深穴加工工具の位置ずれおよび傾きを高精度で算出することができる。

【0308】

これにより、正確に検出された位置ずれおよび傾きを位置ずれ修正手段および傾き修正手段により修正することで、従来よりも高精度な深穴加工を実現した深穴加工装置を提供できる。

【0309】

また、上記位置ずれ検出手段および/または傾き検出手段は、光を照射する発光手段と、該発光手段に対向する位置に設けられており、上記光を受光して上記深穴加工工具の位置を検出する位置検出手段とを備えていることがより好ましい。

【0310】

それゆえ、発光手段と位置検出手段とを用いることで、深穴加工工具の位置ずれおよび傾きを容易に検出することが可能になるという効果を奏する。

【0311】

本発明の深穴評価装置は、以上のように、上記深穴評価プローブにおける上記平面上に位置する2点において、それぞれ上記位置ずれと傾きとを検出し、上記2点における検出結果から位置ずれと傾きとが互いに干渉することで検出結果に含まれる干渉成分を除去する制御手段を備えている構成である。

【0312】

それゆえ、位置ずれ検出手段および傾き検出手段によりそれぞれ検出される、中心軸方向に対して垂直な平面における深穴評価プローブの位置ずれと中心軸を中心とする円方向における深穴評価プローブの傾きとが、互いに干渉して生じる検出誤差、いわゆる干渉成分を検出結果から除去し、実際の深穴評価プローブの位置ずれを正確に検出できるという効果を奏する。

【0313】

すなわち、本発明の深穴評価装置によれば、深穴評価プローブにおける中心軸方向に対して垂直な平面上において、位置ずれ、傾きを位置ずれ検出手段および傾き検出手段によりそれぞれ検出し、上記2点における検出結果を比較している。ここで、実際の位置ずれおよび傾きは、上記2点在同一平面上に形成されているため等しくなるはずである。よって、実際の位置ずれ( $x$ ,  $y$ )と傾きとを上記2点における検出結果から導くことで、検出結果に含まれる干渉成分を除去し、上記深穴評価プローブの位置ずれおよび傾きを高精度で算出することができる。

【0314】

これにより、正確に検出された位置ずれおよび傾きを位置ずれ修正手段および傾き修正手段により修正することで、従来よりも高精度な深穴加工を実現した深穴評価装置を提供できる。

【0315】

また、上記位置ずれ検出手段および/または傾き検出手段は、光を照射する発光手段と、該発光手段に対向する位置に設けられており、上記光を受光して上記深穴評価プローブの位置を検出する位置検出手段とを備えていることがより好ましい。

【0316】

それゆえ、発光手段と位置検出手段とを用いることで、深穴評価プローブの位置ずれおよび傾きを容易に検出することが可能になるという効果を奏する。

【0317】

本発明の位置ずれ評価方法は、以上のように、上記XY平面における位置ずれと、XY平面に垂直な直線を中心とする円方向の位置ずれとを、装置の上記XY平面上の2点においてそれぞれ検出し、該2点における検出結果を基にして、上記XY平面における位置ずれ成分とXY平面の原点を中心とする円方向の位置ずれ成分とが互いに干渉して生じる検出誤差を除去する方法である。

【0318】

それゆえ、検出されたXY平面における装置の位置ずれとXY平面に垂直な直線を中心とする円方向における装置の位置ずれ（傾き）とが、互いに干渉して生じる検出誤差、いわゆる干渉成分を検出結果から除去し、実際の装置の位置ずれを正確に検出できるという効果を奏する。

【0319】

すなわち、本発明の位置ずれ評価方法によれば、装置のXY平面上における位置ずれ、およびXY平面に垂直な直線を中心とする円方向の位置ずれ（傾き）をそれぞれ検出し、上記2点における検出結果を比較している。ここで、2点における装置の実際の位置ずれは、上記2点が同一平面上に形成されているため等しくなるはずである。よって、実際の位置ずれ（ $x$ ,  $y$ ）と傾きとを上記2点における検出結果から導くことで、検出結果に含まれる干渉成分を除去し、装置の位置ずれおよび傾きを高精度で算出することができる。

【0320】

これにより、正確に検出された装置の位置ずれを適正な位置へ修正することで、従来よりも高精度な動作が可能な装置を提供できる。

【0321】

本発明の深穴評価装置は、以上のように、上記深穴評価プローブと上記測定軸とは、上記深穴評価プローブの回転の中心軸を中心とする円方向におけるローリングを防止するとともに、上記中心軸方向の荷重に対する剛性を上記測定軸に持たせた接続手段により接続されている構成である。

【0322】

それゆえ、深穴評価プローブのローリングおよび中心軸方向の位置ずれの発生により、位置ずれ検出手段により検出された位置ずれに誤差が生じ、深穴評価プローブを正確に正常位置へ修正できないという問題を解決し、従来の深穴評価装置よりも精度の高い深穴評価装置を提供できるという効果を奏する。

【0323】

すなわち、本発明の深穴評価装置によれば、従来の深穴評価装置に用いられているフレックスカップリングの替わりに、深穴評価プローブのローリングを抑え、中心軸方向の荷重に対する剛性を測定軸に持たせることができる接続手段を備えているため、位置ずれ検出手段、位置ずれ修正手段を備えた深穴評価装置において、深穴評価プローブの正常位置からの位置ずれを、位置ずれ検出手段により誤差なく正確に検出できる。よって、深穴評価プローブの位置を位置ずれ修正手段により適正に修正しながら深穴測定を行うことができ、従来の深穴評価装置のmm単位の測定精度よりも測定精度を向上させ、 $\mu\text{m}$ 単位の精度での深穴測定が可能な深穴評価装置を提供できる。

【0324】

本発明の深穴評価装置は、以上のように、上記深穴評価プローブと上記測定軸とは、上記深穴評価プローブの上記中心軸を中心とする円方向におけるローリングを防止するとともに、上記中心軸方向の荷重に対する剛性を上記測定軸に持たせた接続手段により接続されている構成である。

【0325】

それゆえ、深穴評価プローブのローリングおよび中心軸方向の位置ずれの発生により、



位置ずれ検出手段により検出された位置ずれに誤差が生じ、深穴評価プローブを正確に正常位置へ修正できないという問題を解決し、従来の深穴評価装置よりも精度の高い深穴評価装置を提供できるという効果を奏する。

【0326】

すなわち、本発明の深穴評価装置によれば、従来の深穴評価装置に用いられているフレックスカップリングの替わりに、深穴評価プローブのローリングを抑え、中心軸方向の荷重に対する剛性を測定軸に持たせることができる接続手段を備えているため、発光手段、位置ずれ検出手段、位置ずれ修正手段を備えた深穴評価装置において、発光手段から発せられた光を受光することにより、深穴評価プローブの正常位置からの位置ずれを、位置ずれ検出手段により誤差なく正確に検出できる。よって、深穴評価プローブの位置を位置ずれ修正手段により適正に修正しながら深穴測定を行うことができ、従来の深穴評価装置のmm単位の測定精度よりも測定精度を向上させ、 $\mu$ m単位の精度での深穴測定が可能な深穴評価装置を提供できる。そして、従来の深穴評価装置では不可能であった超深穴の精度測定が可能な深穴評価装置を提供できる。

【0327】

本発明の深穴評価方法は、以上のように、上記深穴評価プローブと上記測定軸とは、上記深穴評価プローブの回転の中心軸を中心とする円方向におけるローリングを防止するとともに、上記中心軸方向の荷重に対する剛性を上記測定軸に持たせた状態で深穴加工精度を測定する方法である。

【0328】

それゆえ、深穴評価プローブのローリングおよび中心軸方向の位置ずれの発生により、位置ずれ検出手段により検出された位置ずれに誤差が生じ、深穴評価プローブを正確に正常位置へ修正できないという問題を解決し、従来の深穴評価装置よりも精度の高い深穴評価装置を提供できるという効果を奏する。

【0329】

すなわち、本発明の深穴評価方法によれば、使用される深穴評価装置は、従来の深穴評価方法に使用される深穴評価装置におけるフレックスカップリングの替わりに、深穴評価プローブのローリングを防止し、中心軸方向の荷重を測定軸に持たせることができる接続手段を備えているため、発光手段から発せられた光を受光することにより、深穴評価プローブの位置ずれを位置ずれ検出手段により誤差なく正確に検出することができる。よって、深穴評価プローブの位置ずれを位置ずれ修正手段により正確に修正しながら深穴精度測定を行うことで、従来の深穴評価方法のmm単位の測定精度よりも測定精度を向上させ、 $\mu$ m単位の測定精度での深穴精度測定が可能な深穴評価方法を提供できる。そして、従来の深穴評価装置では不可能であった超深穴の精度測定が可能な深穴評価方法を提供できる。

【0330】

本発明の深穴加工装置の光軸調整装置は、以上のように、深穴加工工具の回転可能な先端部分における上記中心軸上に配置され、上記加工目標軸に対して垂直な平面に取り付けられた反射手段と、上記反射手段に対して加工目標軸上から光を照射する発光手段と、予め深穴加工工具の中心軸と加工目標軸とが一致した状態における受光位置を認識しており、上記反射手段からの上記発光手段から照射された光の反射光を受光して、上記深穴加工工具の誘導軸の上記加工目標軸からのずれを検出する光軸ずれ検出手段とを備えている構成である。

【0331】

それゆえ、加工前に誘導軸と加工目標軸とを一致させた後、加工を開始することで、セッティングの際に生じた誘導軸と加工目標軸とのずれに起因する加工精度の低下を防止し、より高精度な深穴加工を実現できる。

【0332】

上記深穴加工装置は、上記深穴加工工具の非加工側に、上記深穴加工工具の中心軸と加工目標軸とが一致した状態における受光位置を認識しており、上記深穴加工工具の上記回

回転方向に対する垂直な平面における正常位置からの位置ずれ及び傾きを検出する位置ずれ検出手段と、上記深穴加工工具の上記回転軸を中心とする正常位置からのローリングを検出するローリング検出手段とを有しており、上記深穴加工工具の外周部に配設され、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴加工工具の位置ずれ及び傾きを修正する位置ずれ修正手段と、上記深穴加工工具と上記回転軸とを接続する位置に設置されており、上記深穴加工工具の外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記ローリング検出手段により検出された上記深穴加工工具のローリングを修正するローリング修正手段とを備えていることがより好ましい。

#### 【0333】

それゆえ、加工前と異なる検出結果が生じた場合には、上記位置ずれ・ローリング修正手段によって、加工開始前の検出結果になるように深穴加工工具の姿勢を修正することで、常に誘導軸と加工目標軸とが一致した状態で深穴加工を行うことができ、従来より高精度な深穴加工を行うことができるという効果を奏する。

#### 【0334】

本発明の深穴評価装置の光軸調整装置は、以上のように、深穴評価プローブの回転可能な先端部分における深穴評価プローブの中心軸上に配置され、上記測定目標軸に対して垂直な平面を有する反射手段と、上記反射手段に対して測定目標軸上から光を照射する発光手段と、予め深穴加工工具の誘導軸と測定目標軸とが一致した状態における受光位置を認識しており、上記反射手段からの上記発光手段から発せられた光の反射光を受光して、上記深穴評価プローブの誘導軸の上記測定目標軸からのずれを検出する光軸ずれ検出手段とを備えている構成である。

#### 【0335】

それゆえ、測定前に誘導軸と測定目標軸とを一致させた後、測定を開始することで、セッティングの際に生じた誘導軸と測定目標軸とのずれに起因する測定精度の低下を防止し、より高精度な深穴測定を実現できる。

#### 【0336】

上記深穴評価装置は、上記深穴評価プローブの非測定側に、上記深穴評価プローブの誘導軸と測定目標軸とが一致した状態における検出位置を認識しており、上記中心軸方向に対して垂直な平面における正常位置からの位置ずれを検出する位置ずれ検出手段と、上記中心軸を中心とする正常位置からのローリングを検出するローリング検出手段とを有しており、上記深穴評価プローブの外周部に配設され、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記位置ずれ検出手段により検出された上記深穴評価プローブの位置ずれを修正する位置ずれ修正手段と、上記深穴評価プローブと上記測定軸と接続する位置に設置されており、上記深穴評価プローブの外周部と被加工物の内壁との間で伸縮し、上記ローリング検出手段により検出された上記深穴評価プローブのローリングを修正するローリング修正手段とを備えていることがより好ましい。

#### 【0337】

それゆえ、測定開始前と異なる検出結果となった場合には、上記位置ずれ・ローリング修正手段によって、測定開始前の検出結果になるように深穴評価プローブの姿勢を修正することで、常に誘導軸と測定目標軸とが一致した状態で深穴測定を行うことができ、従来より高精度な深穴測定を行うことができるという効果を奏する。

#### 【0338】

上記発光手段は、レーザを照射することがより好ましく、ビームの広がり小さく、指向性が鋭い等のレーザの特性を利用することにより、光軸ずれ検出手段、位置ずれ検出手段、ローリング検出手段等の検出精度を向上させることができるという効果を奏する。

#### 【0339】

上記発光手段は、単波長光を照射することがより好ましく、例えば、PSD等の光学系を2つ用い、各PSDにおける検出結果から簡単な演算によって、ずれ検出を行うことができるとともに、光学系を単純な構成にすることができるという効果を奏する。

#### 【0340】

上記発光手段は、２種類の波長を含む光を照射することがより好ましく、２種類の波長の光を光学系でそれぞれ検出することで、演算を経なくても位置ずれを直接検出することができるという効果を奏する。

【 0 3 4 1 】

本発明の光軸調整方法は、以上のように、上記光軸調整装置による光軸調整方法であって、上記発光手段から照射される光が上記深穴加工工具または深穴評価プローブの中心軸と平行になるように上記発光手段の配置を調整して、上記誘導軸と目標軸とを一致させた後、上記中心軸に対して直角な平面上に上記反射手段を配置し、該反射手段に対して上記発光手段から照射された光の反射光を検出する光軸ずれ検出手段を配置して、上記誘導軸と目標軸とが一致した状態における上記反射光の受光位置を認識させ、上記深穴加工工具または深穴評価プローブの先端部分に上記反射手段を取り付けて、上記発光手段から上記反射手段に対して光を照射し、その反射光を上記光軸ずれ検出手段の上記認識させた受光位置において受光するように、上記姿勢修正手段によって、上記深穴加工工具または深穴評価プローブの姿勢を修正する。

【 0 3 4 2 】

それゆえ、加工あるいは測定前に誘導軸と目標軸とを一致させた後、加工あるいは測定を開始することで、セッティングの際に生じた誘導軸と目標軸とのずれに起因する加工精度または測定精度の低下を防止し、より高精度な深穴加工、深穴測定を実現できるという効果を奏する。

【 0 3 4 3 】

上記深穴加工工具または深穴評価プローブの加工側または測定側における深穴加工工具または深穴評価プローブの姿勢検出に基づく姿勢修正後、上記深穴加工工具または深穴評価プローブの非加工側または非測定側に姿勢検出手段を配置して、上記誘導軸と上記目標軸とが一致した状態における検出位置を認識させ、上記姿勢検出手段による検出結果に基づいて、加工中に生じた上記誘導軸と目標軸とのずれを修正することがより好ましい。

【 0 3 4 4 】

それゆえ、加工前あるいは測定前と異なる検出結果が生じた場合には、上記位置ずれ・ローリング修正手段によって、加工開始前の検出結果になるように深穴加工工具の姿勢を修正することで、常に誘導軸と加工目標軸とが一致した状態で深穴加工を行うことができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の深穴加工装置の一実施形態であるレーザ誘導方式を採用した深穴加工装置の断面図である。

【図 2】

図 1 の深穴加工装置のカップリング（ローリング防止装置）とレーザ誘導方式深穴加工工具との連結部分を示す拡大図である。

【図 3】

図 1 の深穴加工装置に設けられた前方の 3 個の圧電アクチュエータのうち、4 c h の圧電アクチュエータにかかる電圧と穴深さとの関係を示す図である。

【図 4】

図 1 の深穴加工装置に設けられた前方の 3 個の圧電アクチュエータのうち、5 c h の圧電アクチュエータにかかる電圧と穴深さとの関係を示す図である。

【図 5】

図 1 の深穴加工装置に設けられた前方の 3 個の圧電アクチュエータのうち、6 c h の圧電アクチュエータにかかる電圧と穴深さとの関係を示す図である。

【図 6】

図 1 の深穴加工装置に備えられた深穴加工工具の X 方向変位と穴深さ h との関係を示すグラフである。

【図 7】

図 1 の深穴加工装置に備えられた深穴加工工具の Y 方向変位と穴深さ h との関係を示す

グラフである。

【図 8】

図 1 の深穴加工装置で加工した深穴の測定を行うための深穴測定器を示す断面図である。

【図 9】

図 8 の深穴測定器により測定した X 方向の穴変位の測定結果を示す図である。

【図 10】

図 8 の深穴測定器により測定した Y 方向の穴変位の測定結果を示す図である。

【図 11】

本発明の他の実施形態に係る深穴加工装置の構成を示す断面図である。

【図 12】

本発明の他の実施形態に係る干渉成分の分離方法について説明するための図である。

【図 13】

本発明の深穴評価装置の一実施形態に係るレーザ誘導方式を採用した深穴評価装置を示す断面図である。

【図 14】

図 13 の深穴評価装置の深穴評価プローブと測定バーとの間の接続部分に設けられたカップリングを示す拡大図である。

【図 15】

(a) , (b) は、図 13 の深穴評価装置の深穴評価プローブによる深穴の真直度の測定結果と、固定軸からの真直度の測定結果とを比較する図である。

【図 16】

(a) ~ (d) は、図 13 の深穴評価装置の深穴評価プローブによる真円度の測定結果と、真円度測定器による真円度の測定結果とを比較する図である。

【図 17】

図 13 の深穴評価装置の深穴評価プローブに送りをかけて螺旋状に走査した結果得られた穴壁の形状を示す図である。

【図 18】

本発明の深穴加工装置の光軸調整装置に関する一実施形態を示す誘導方式を採用した深穴加工装置の構成を示す図である。

【図 19】

図 18 の深穴加工装置の光軸調整装置による深穴加工工具の光軸調整方法を示す光軸調整装置の側面図である。

【図 20】

本発明の深穴加工装置の光軸調整方法における深穴加工工具の誘導軸と加工目標軸とを一致させる工程を示す光軸調整装置の側面図である。

【図 21】

本発明の深穴加工装置の光軸調整方法における深穴加工工具の誘導軸を維持するための光軸ずれ検出手段の配置位置を決定する工程を示す光軸調整装置の側面図である。

【図 22】

光軸調整に使用される 1 波長の光に対応する光学ヘッドを取り付けた深穴加工工具の断面図である。

【図 23】

1 波長の光を使用して光軸調整を行った場合の誘導誤差を示す深穴加工装置の断面図である。

【図 24】

2 種類の波長の光を含むレーザを使用して光軸調整を行った場合の誘導軸と光軸ずれ検出手段の配置位置を決定する工程を示す光軸調整装置の側面図である。

【図 25】

2 種類の波長の光を含むレーザに対応する光学ヘッドを取付けられた深穴加工工具の断

面図である。

【図 2 6】

2 種類の波長の光を含むレーザを使用する場合の深穴加工工具の誘導誤差を示す深穴加工装置の断面図である。

【図 2 7】

( a ) ・ ( b ) は、X、Y 方向における深穴加工工具の変位と穴の曲がりについて測定した実験結果を示すグラフである。

【図 2 8】

従来の深穴加工装置を示す断面図である。

【図 2 9】

従来のアクティブローリングストップパを使用した深穴加工装置を示す断面図である。

【図 3 0】

( a ) ～ ( f ) は、従来の深穴加工装置におけるインチウオームのメカニズムによるアクティブローテーションストップパの回転を示す説明図である。

【図 3 1】

従来の深穴加工装置におけるレバーを 3 列に配置した上側のアクティブローテーションストップパを示す説明図である。

【図 3 2】

( a ) ～ ( e ) は、図 1 4 のアクティブローテーションストップパの回転を示す説明図である。

【図 3 3】

従来の深穴加工装置の構成を示す断面図である。

【図 3 4】

従来のアクティブローテーションストップパを使用したレーザ誘導方式を採用した深穴評価装置を示す断面図である。

【符号の説明】

1 a	ボーリングバー（回転軸）
1 b	測定バー（測定軸）
2 a	カップリング（接続手段）
2 b	アクティブローテーションストップパ
<u>2 c</u>	<u>ジグ</u>
3	下穴
4	被加工物
4 '	ガイドブシュ
5 a	深穴加工工具
5 b	深穴評価プローブ
6	テーブル
7	中心軸
8 a	<u>カウンターボーリングヘッド</u>
8 b	測定ユニット
<u>8 c</u>	<u>カウンターボーリングヘッドジャンク部</u>
<u>8 d</u>	<u>アクチュエータホルダとの連結部品</u>
1 0 a	深穴加工装置
1 0 b	深穴加工装置
1 0 c	深穴評価装置
1 0 d	深穴加工装置
1 1	吸引装置
1 2 ・ 1 8	半導体レーザ（発光手段）
1 3 ・ 1 4	2 次元 P S D（位置ずれ検出手段）
1 5	圧電アクチュエータ（位置ずれ修正手段）

1 6	干渉計
1 7	コーナークューブプリズム
1 9	ミラー
2 0	1次元PSD（位置ずれ検出手段）
2 1	ビームスプリッタ
3 0	制御装置（制御手段）
4 0	光軸調整装置
4 1 a・4 1 b	光学ヘッド（反射手段）
4 2・4 4	<u>ハーフミラー</u>
4 3	レーザ（発光手段）
4 5・4 6	PSD（光軸ずれ検出手段）
4 8	ブロック
4 9	PSD
5 0	光学系（光軸ずれ検出手段）

【手続補正2】

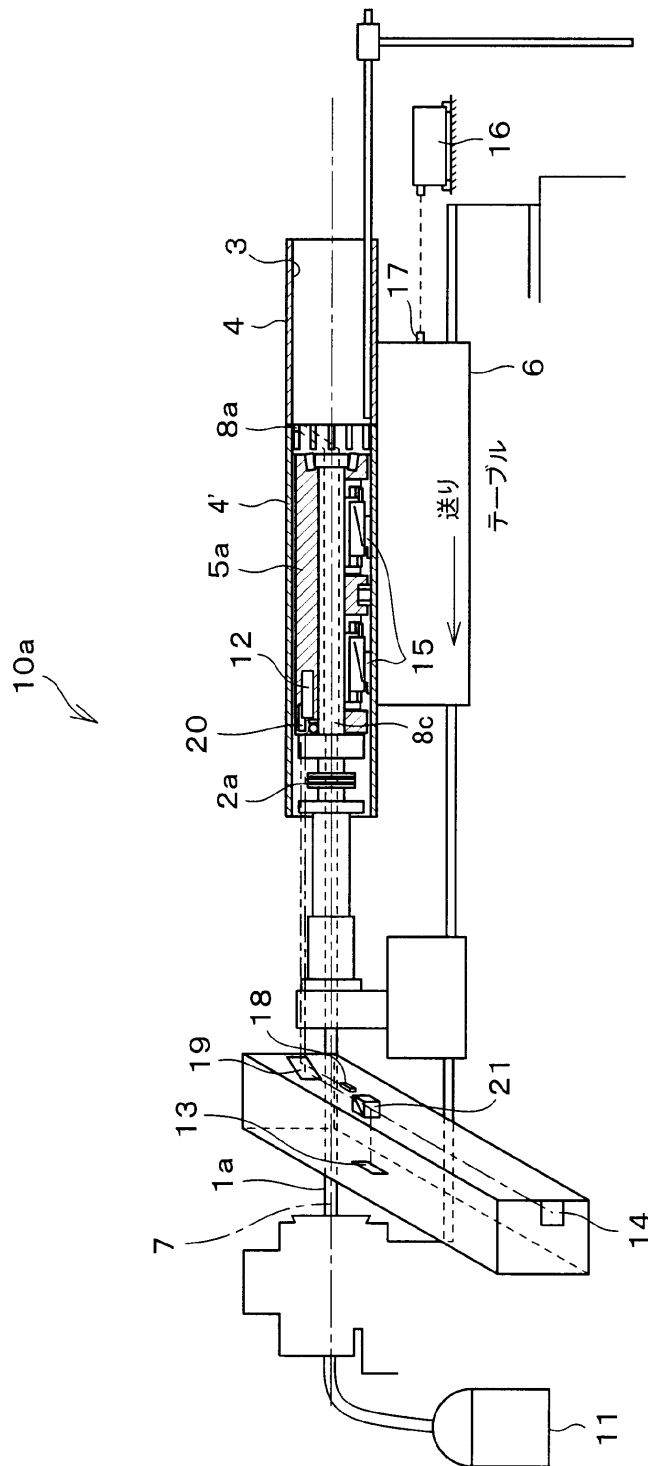
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図1

【補正方法】変更

【補正の内容】

【 図 1 】



【 手続補正 3 】

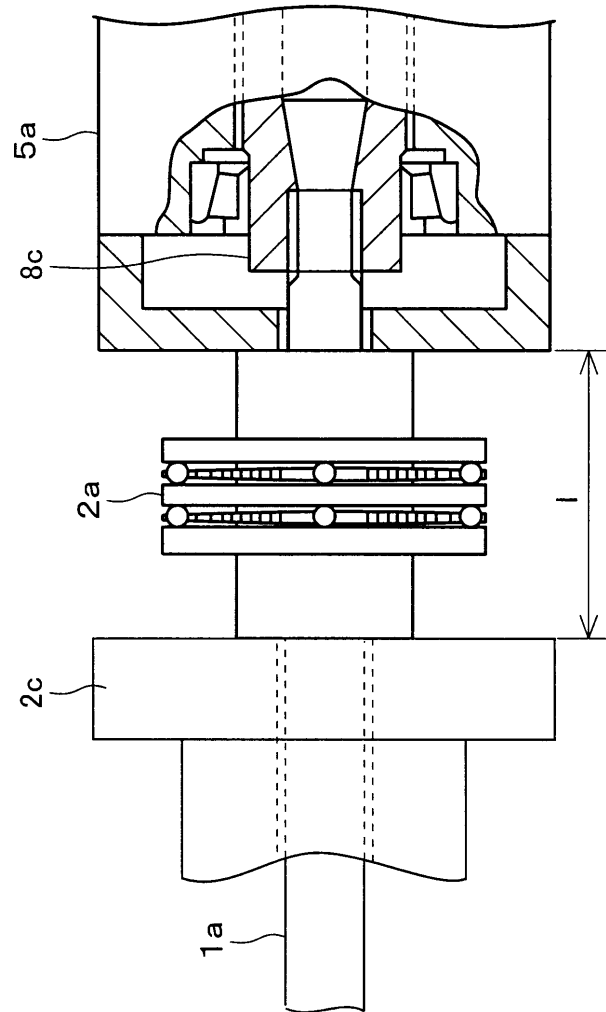
【 補正対象書類名 】 図面

【 補正対象項目名 】 図 2

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 図 2 】



【 手続補正 4 】

【 補正対象書類名 】 図面

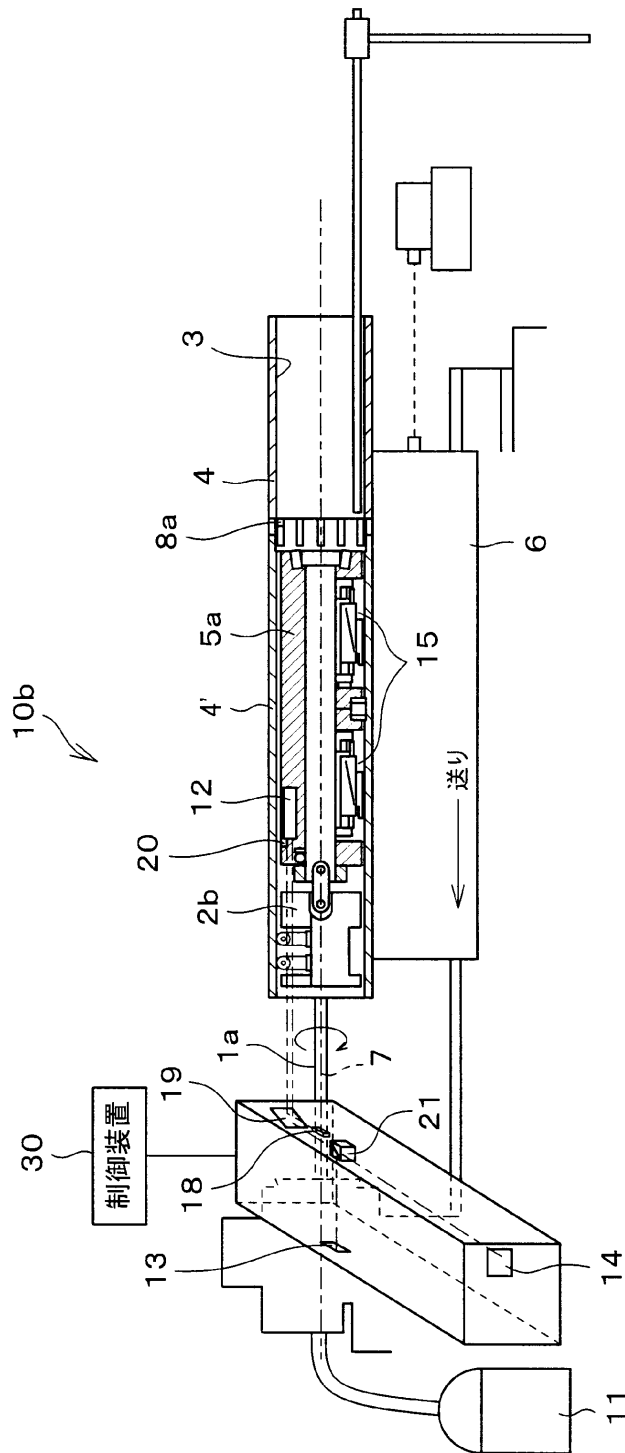
【 補正対象項目名 】 図 1 1

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】



【図 1 1】



【手続補正 5】

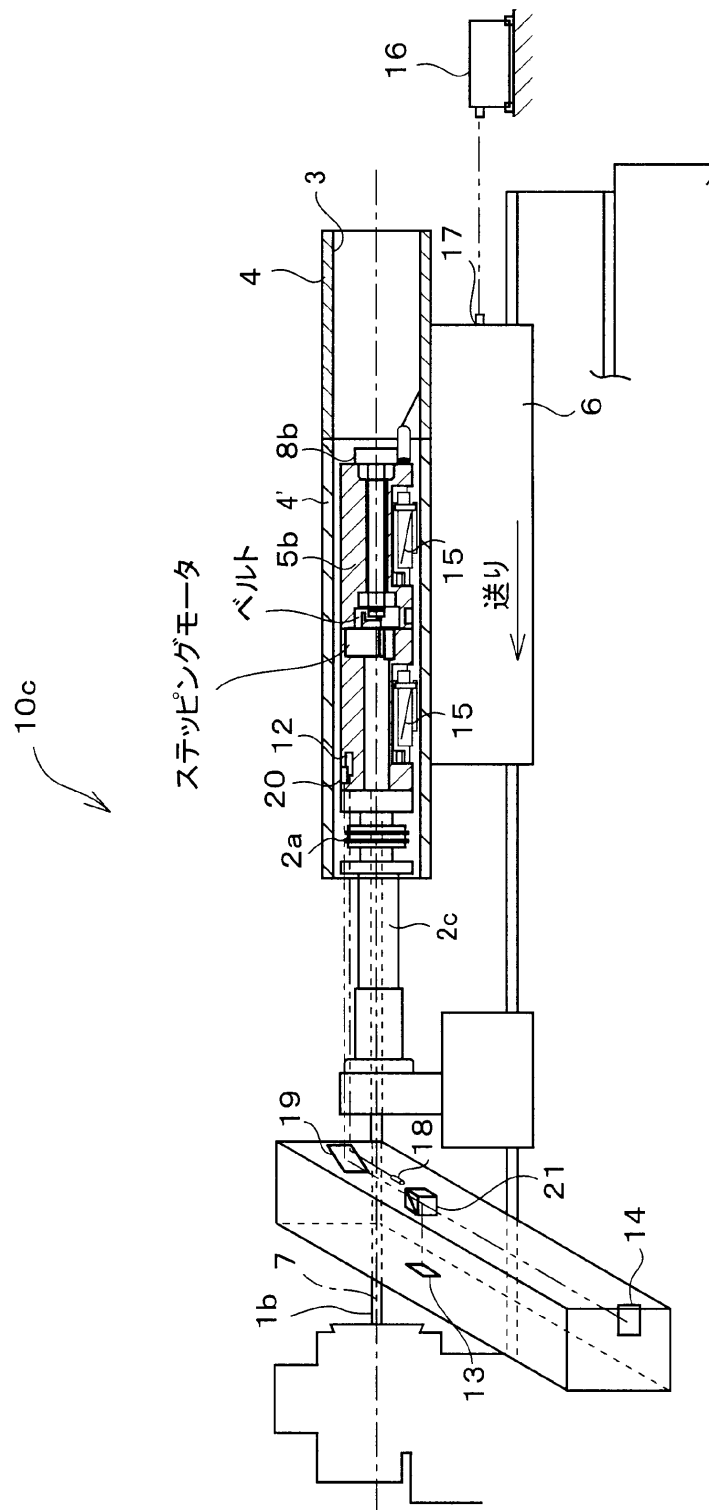
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図 1 3

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図 13】



【手続補正 6】

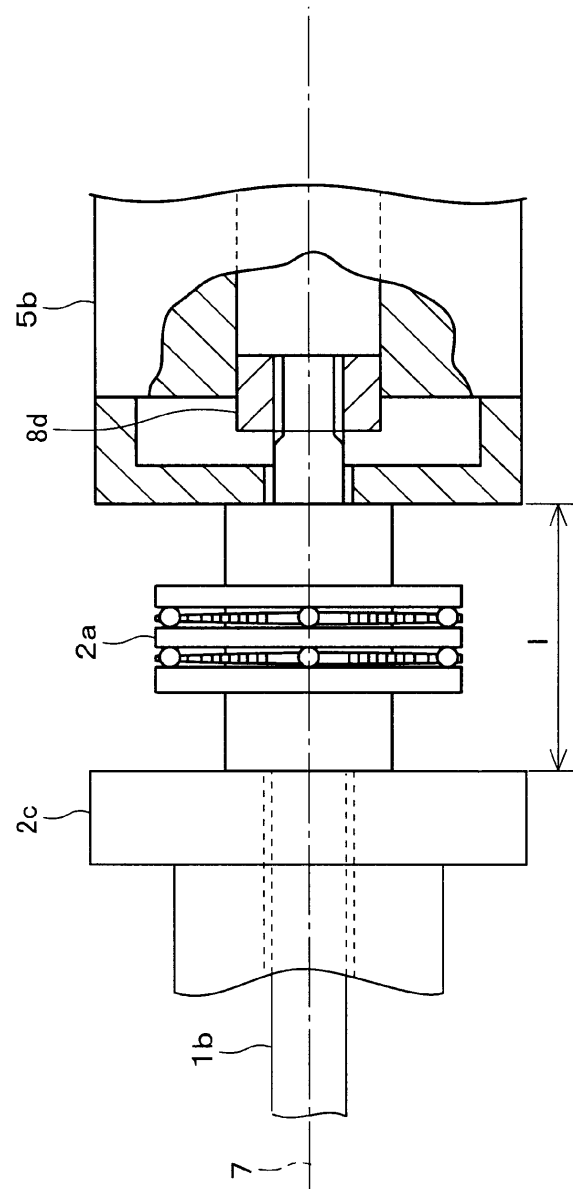
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図 14

【補正方法】変更

【補正の内容】

【 図 1 4 】



【 手続補正 7 】

【 補正対象書類名 】 図面

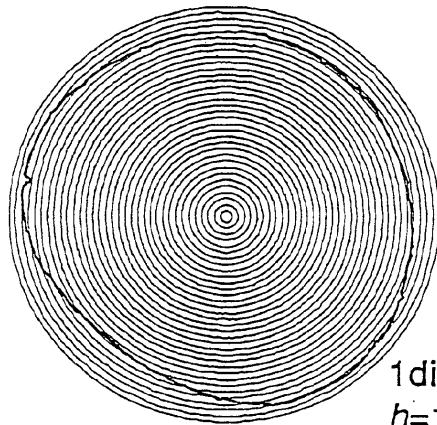
【 補正対象項目名 】 図 1 6

【 補正方法 】 変更

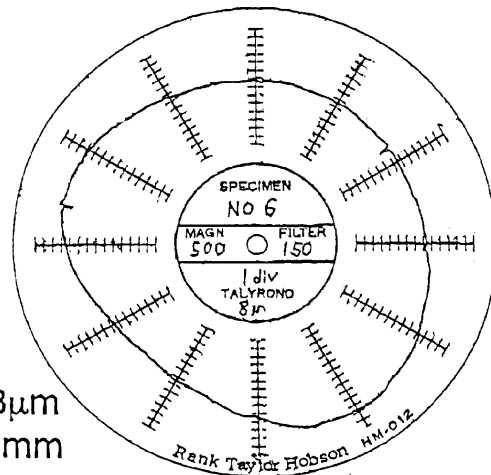
【 補正の内容 】

【 図 1 6 】

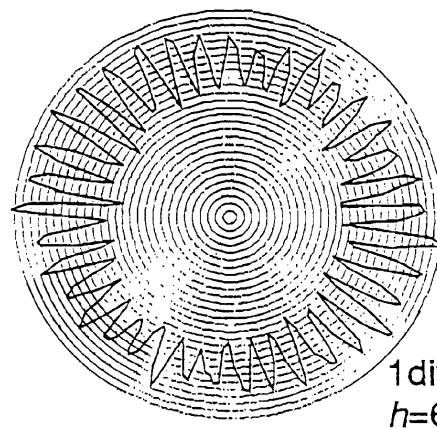
(a) プローブの場合 (WPB)



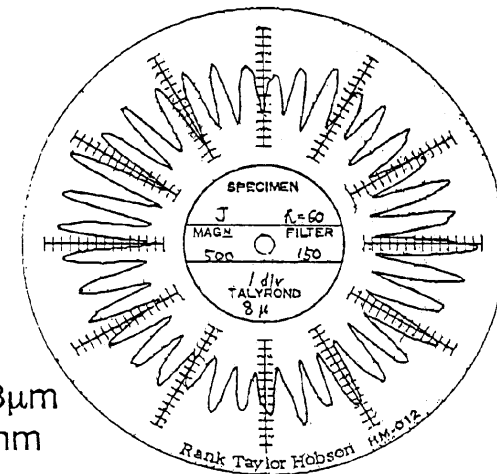
(b) タリロンドの場合 (WPB)



(c) プローブの場合 (WPC)



(d) タリロンドの場合 (WPC)



【 手続補正 8 】

【 補正対象書類名 】 図面

【 補正対象項目名 】 図 3 0

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 図 3 0 】

