

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6012104号
(P6012104)

(45) 発行日 平成28年10月25日(2016.10.25)

(24) 登録日 平成28年9月30日(2016.9.30)

(51) Int.Cl.

F 1

B24B 39/00 (2006.01)
B24B 49/16 (2006.01)B 2 4 B 39/00
B 2 4 B 49/16

請求項の数 4 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2012-276072 (P2012-276072)
 (22) 出願日 平成24年12月18日 (2012.12.18)
 (65) 公開番号 特開2014-117784 (P2014-117784A)
 (43) 公開日 平成26年6月30日 (2014.6.30)
 審査請求日 平成27年7月31日 (2015.7.31)

(73) 特許権者 514030104
 三菱日立パワーシステムズ株式会社
 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3
 番1号
 (74) 代理人 110001829
 特許業務法人開知国際特許事務所
 (74) 代理人 110000350
 ポレール特許業務法人
 (72) 発明者 平野 敦也
 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
 株式会社日立製作所
 日立研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】バニシング装置及びそれを用いたバニシング方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

加工対象物における高さ及び傾斜角が変化する加工面を回転押圧する押圧部を有するバニシングツールと、

前記バニシングツールを移動させるツール駆動装置と、

前記バニシングツールのひずみ量を検出するひずみセンサと、

前記ひずみセンサが検出したひずみ量に基づいて前記押圧部による前記加工対象物の加工面の法線方向の押付け力を演算し、前記演算した押付け力と予め記憶した押付け力に基づいて前記ツール駆動装置の押付け方向の変位の補正量を演算し、その補正量をツール駆動装置に出力するコンピュータとを備え、

前記コンピュータは、

バニシング実行時の前記押圧部による前記押付け力、前記加工対象物の加工面の接線方向の摩擦力、前記バニシングツールのせん断力及び前記バニシングツールの軸力の釣り合いの関係を示す特性図と、所定の圧縮残留応力を形成可能な許容押付け力と、前記押圧部による前記押付け力と前記バニシングツールのたわみの関係を示す特性図とが予め記憶された記憶部と、

前記ひずみ量と前記釣り合いの関係を示す特性図とに基づいて前記押付け力を演算し、前記演算した押付け力と前記許容押付け力を比較し、前記演算した押付け力が前記許容押付け力を下回った場合に、前記押圧部による前記押付け力と前記バニシングツールのたわみの関係を示す前記特性図と、前記許容押付け力を下回った最小の前記押付け力とに基

10

20

づいて前記補正量を演算し、前記補正量をツール駆動装置に出力する演算部とを備えたことを特徴とするバニシング装置。

【請求項 2】

加工対象物における高さ及び傾斜角が変化する加工面を回転押圧する押圧部を有するバニシングツールと、

前記バニシングツールを移動させるツール駆動装置と、

前記バニシングツールのひずみ量を検出するひずみセンサと、

前記ひずみセンサが検出したひずみ量に基づいて前記押圧部による前記加工対象物の加工面の法線方向の押付け力を演算し、前記演算した押付け力と予め記憶した押付け力に基づいて前記ツール駆動装置の押付け方向の変位の補正量を演算し、その補正量をツール駆動装置に出力するコンピュータとを備え、

前記コンピュータは、

バニシング実行時の前記押圧部による前記押付け力、前記加工対象物の加工面の接線方向の摩擦力、前記バニシングツールのせん断力及び前記バニシングツールの軸力の釣り合いの関係を示す特性図と、所定の圧縮残留応力を形成可能な許容押付け力と、前記押圧部による前記押付け力と前記バニシングツールのたわみの関係を示す特性図と、前記押圧部による前記押付け力を前記許容押付け力以上に維持するための目標押付け力とが予め記憶された記憶部と、

前記ひずみ量と前記釣り合いの関係を示す特性図とに基づいて前記押付け力を演算し、前記押圧部による前記押付け力と前記バニシングツールのたわみの関係を示す前記特性図と、前記演算した押付け力と、前記目標押付け力とに基づいて前記補正量を演算し、前記補正量をツール駆動装置に出力する演算部とを備えた

ことを特徴とするバニシング装置。

【請求項 3】

請求項1又は2に記載のバニシング装置において、

前記バニシングツールは、前記加工対象物の狭隘部内に挿入可能なビームと、前記ビームの先端側に設け、前記ビームの長手方向に平行な軸線方向の回りに回転可能な押圧部とを備えた

ことを特徴とするバニシング装置。

【請求項 4】

請求項1又は2に記載のバニシング装置において、

前記バニシングツールは、軸力シャフトと、前記軸力シャフトの先端側に設け、前記軸力シャフトの長手方向に直交する軸線方向の回りに回転可能な押圧部とを備えた

ことを特徴とするバニシング装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、バニシング装置及びそれを用いたバニシング方法に関する。

【背景技術】

【0002】

金属部材の耐摩耗性や疲労強度を向上させるための表面仕上げとしてバニシングが知られている。このバニシングに用いられるバニシングツールとして、特許文献1に記載のものがある。

【0003】

特許文献1に記載のバニシングツールは、筒状のシャンクと、シャンク内に回動軸を介して内設され、ワーク押圧力によって回動するヘッドと、転圧加工用のローラとを備えたローラバニシングツールであって、筒状のシャンク内に備えられたシャンク軸方向への付勢手段と、付勢手段により発生する付勢力を調整する付勢力調整手段と、付勢力をヘッド軸に伝達し、付勢力の方向をヘッド軸の回動方向へ変換する付勢力変換手段とを備え、転圧加工時に発生するワーク押圧力を制御するものである。

10

20

30

40

50

【先行技術文献】**【特許文献】****【0004】**

【特許文献1】特開2005-288557号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0005】**

ところで、蒸気タービン等のタービン翼とロータディスクを連結する部分は、タービン翼側の植込み部とロータディスク側の植込み部とを噛み合わせた構造となっている。この連結部分は、タービン稼働時にタービン翼にかかる遠心力を支持する部位であるため、十分な耐疲労性を確保する必要がある。

【0006】

特許文献1に記載された発明においては、円筒内面にバニシングツールの先端を押し付けることは記載されているが、押付け力を測定する手段を備えていないため、前述したタービン翼とロータディスクとの連結部分に適用する場合には、植込み部のセッティングのずれ、植込み部の形状の寸法誤差等により、植込み部の加工部位に圧縮残留応力が確実に形成されていることを保証できないという問題点がある。特に、植込み部のように加工面の高さや傾斜角が変化する形状に対しては、予め入力された位置と実際の位置との間に誤差が生じやすいため、バニシングの加工処理が十分に実行されない虞がある。

【0007】

本発明は、上記の問題点を解消するためになされたものであり、その目的は、加工対象物における高さ及び傾斜角が変化する加工面へのバニシングの加工処理を確実に実行することができるバニシング装置及びそれを用いたバニシング方法を提供するものである。

【課題を解決するための手段】**【0008】**

上記課題を解決するため、例えば特許請求の範囲に記載の構成を採用する。

本願は上記課題を解決する手段を複数含んでいるが、その一例を挙げるならば、加工対象物における高さ及び傾斜角が変化する加工面を回転押圧する押圧部を有するバニシングツールと、前記バニシングツールを移動させるツール駆動装置と、前記バニシングツールのひずみ量を検出するひずみセンサと、前記ひずみセンサが検出したひずみ量に基づいて前記押圧部による前記加工対象物の加工面の法線方向の押付け力を演算し、前記演算した押付け力と予め記憶した押付け力に基づいて前記ツール駆動装置の押付け方向の変位の補正量を演算し、その補正量をツール駆動装置に出力するコンピュータとを備え、前記コンピュータは、バニシング実行時の前記押圧部による前記押付け力、前記加工対象物の加工面の接線方向の摩擦力、前記バニシングツールのせん断力及び前記バニシングツールの軸力の釣り合いの関係を示す特性図と、所定の圧縮残留応力を形成可能な許容押付け力と、前記押圧部による前記押付け力と前記バニシングツールのたわみの関係を示す特性図とが予め記憶された記憶部と、前記ひずみ量と前記釣り合いの関係を示す特性図とに基づいて前記押付け力を演算し、前記演算した押付け力と前記許容押付け力とを比較し、前記演算した押付け力が前記許容押付け力を下回った場合に、前記押圧部による前記押付け力と前記バニシングツールのたわみの関係を示す前記特性図と、前記許容押付け力を下回った最小の前記押付け力とに基づいて前記補正量を演算し、前記補正量をツール駆動装置に出力する演算部とを備えたことを特徴とする。

【発明の効果】**【0009】**

本発明によれば、バニシングツールのひずみ量に基づいて、押圧部における加工対象物の加工面の法線方向の押付け力を演算し、この演算した押付け力により押圧部を加工面に押し付けるようにしたので、加工対象物における高さ及び傾斜角が変化する加工面に対して、バニシングの加工処理を確実に実行することができる。この結果、加工対象物の長寿命化を図ることができる。

10

20

30

40

50

上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明のバニシング装置及びそれを用いたバニシング方法の加工対象物である蒸気タービンのタービン翼を部分的に示す斜視図である。

【図2】図1の符号Aで示す蒸気タービンのタービン翼とロータディスクとの連結部分を拡大した斜視図である。

【図3】本発明のバニシング装置の第1の実施の形態を示す概略構成図である。

【図4】図3に示す本発明のバニシング装置の第1の実施の形態を構成するバニシングツールのローラを拡大して示す斜視図である。

10

【図5】本発明のバニシング装置の第1の実施の形態におけるバニシングの過程を示す説明図である。

【図6】本発明のバニシング装置の第1の実施の形態におけるバニシング実行時のビームのたわみとアームの変位との関係を示す説明図である。

【図7】本発明のバニシング装置の第1の実施の形態におけるバニシング実行時の傾斜した加工面に生じた押付け力及び摩擦力とビームに生じたせん断力及び軸力との関係を示す説明図である。

【図8】本発明のバニシング装置の第1の実施の形態におけるバニシング実行時の押付け力、摩擦力、ビームのせん断力及びビームの軸力の釣り合いの関係を示す特性図である。

【図9】本発明のバニシング装置の第1の実施の形態におけるバニシング実行時の押付け力とビームのたわみの関係を示す特性図である。

20

【図10】本発明のバニシング装置の第1の実施の形態におけるバニシング方法を示すフローチャート図である。

【図11】本発明のバニシング装置の第1の実施の形態を構成するバニシングツールのチャッキングのずれを示す説明図である。

【図12】本発明のバニシング装置の第1の実施の形態におけるバニシング実行時のビームのせん断力とビームのたわみの関係を示す特性図である。

【図13】本発明のバニシング装置の第1の実施の形態におけるバニシング方法の加工記録を表示した表示部の表示画面図である。

【図14】本発明のバニシング装置の第2の実施の形態におけるバニシング実行時の押付け力とビームのたわみの関係を示す特性図である。

30

【図15】本発明のバニシング装置の第2の実施の形態におけるバニシング方法を示すフローチャート図である。

【図16】本発明のバニシング装置の第2の実施の形態におけるバニシング実行時のビームのせん断力とビームのたわみの関係を示す特性図である。

【図17】本発明のバニシング装置の第3の実施の形態を示すものであり、バニシング実行時の傾斜した加工面に生じた押付け力及び摩擦力と軸力シャフトに生じたせん断力及び軸力との関係を示す説明図である。

【図18】本発明のバニシング装置の第3の実施の形態におけるタービン翼の翼植込み部に対するバニシングを示す説明図である。

40

【図19】本発明のバニシング装置の第3の実施の形態におけるバニシング実行時の押付け力、摩擦力、シャフトせん断力及びシャフト軸力の釣り合いの関係を示す特性図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本発明のバニシング装置及びそれを用いたバニシング方法の実施の形態を図面を用いて説明する。

まず、本発明のバニシング装置及びそれを用いたバニシング方法の加工対象である蒸気タービンの構成を図1及び図2を用いて説明する。

図1は本発明のバニシング装置及びそれを用いたバニシング方法の加工対象物である蒸

50

気タービンのタービン翼を部分的に示す斜視図、図2は図1の符号Aで示す蒸気タービンのタービン翼とロータディスクとの連結部分を拡大した斜視図である。

【0012】

図1において、タービン100は、ロータシャフト101と、ロータシャフト101の外周に取り付けられたロータディスク102と、ロータディスク102の外周に間隔を以って連結された複数のタービン翼103とを備えている。

【0013】

図2に示すように、ロータディスク102とタービン翼103とを連結する連結部分104は、断面形状がクリスマスツリー状のロータディスク102のロータ植込み部105と、断面形状がクリスマスツリー状のタービン翼103の翼植込み部106とをかみ合わせた構造となっている。

10

【0014】

タービン稼働時には、タービン翼103が蒸気を受けることにより連結されたロータシャフト101が回転し、この回転駆動力により発電機（図示せず）が発電する。このとき、回転するタービン翼103には遠心力が作用するが、噛み合わせ構造の連結部分104で遠心力を支持する。このため、ロータ植込み部105の溝底部107及び翼植込み部106の溝底部108に応力集中が生じて、局部的に高い応力が発生し、長期間の使用により、疲労き裂や応力腐食割れなどの損傷が発生するおそれがある。

【0015】

上記損傷を抑制する技術としては、表面に圧縮の残留応力層を形成させることにより、き裂の発生、進展を抑制するバニシングが有効である。バニシングは、形成される圧縮残留応力層が深いこと、加工後の表面粗さが滑らかであること、加工費用が比較的低コストであることなどの利点がある。

20

【0016】

【第1の実施の形態】

次に、本発明のバニシング装置の第1の実施の形態を図3乃至図6を用いて説明する。

図3は本発明のバニシング装置の第1の実施の形態を示す概略構成図、図4は図3に示す本発明のバニシング装置の第1の実施の形態を構成するバニシングツールのローラを拡大して示す斜視図、図5は本発明のバニシング装置の第1の実施の形態におけるバニシングの過程を示す説明図、図6は本発明のバニシング装置の第1の実施の形態におけるバニシング実行時のビームのたわみとアームの変位との関係を示す説明図である。図3乃至図6において、図1及び図2に示す符号と同符号のものは、同一部分であるので、その詳細な説明は省略する。図3、図5、図6において、バニシングツールの挿入方向をX軸方向、ロータ植込み部の溝底部の溝方向をY軸方向、バニシングツールのロータ植込み部への押付け方向をZ軸方向とする。

30

【0017】

本実施の形態においては、ロータディスク102のロータ植込み部105における狭隘な内面形状で高さ及び傾斜角が変化する加工面をバニシングする例を説明する。

図3において、バニシング装置は、加工対象物（ロータ植込み部105）に圧縮残留応力層を形成するバニシングツール1と、バニシングツール1をX、Y、Z軸方向に移動させるツール駆動装置2とを備えている。

40

【0018】

バニシングツール1は、狭隘な内面形状のロータ植込み部105の溝底部107へのアクセスを考慮し、はりのたわみ反力をを利用してツール先端部を加工面に押し付けるビーム方式を採用している。バニシングツール1は、ロータ植込み部105の狭隘部内に挿入可能なビーム11と、ビーム11の長手方向の一端側に設けた固定部12と、ビーム11の先端部の下側に設けられ、加工対象物の加工面を押圧する押圧部としてのローラ13とを有する。ローラ13は、図4に示すように、ビーム11の長手方向に平行な軸線方向（X軸方向）の回りに回転可能になっている。

【0019】

50

ツール駆動装置 2 は、ベース部 2 1 と、ベース部 2 1 に対して Y 軸方向に移動可能に設けた Y 軸ステージ 2 2 と、Y 軸ステージ 2 2 を移動させる Y 軸駆動装置 2 3 と、Y 軸ステージ 2 2 に立設した支持部 2 4 と、支持部 2 4 に X 軸方向に移動可能に取り付けたアーム 2 5 と、アーム 2 5 を支持部 2 4 に対して X 軸方向に移動させる X 軸駆動装置 2 6 と、アーム 2 5 を保持し、支持部 2 4 に対して Z 軸方向に移動可能に設けたアーム保持部 2 7 と、アーム保持部 2 7 を支持部 2 4 に対して Z 軸方向へ移動させる Z 軸駆動装置 2 8 と、アーム 2 5 の先端側に設けたツールつかみ部 2 9 とを有している。

【 0 0 2 0 】

ツールつかみ部 2 9 には、チャッキング孔 2 9 a が設けられている。チャッキング孔 2 9 a には、バニシングツール 1 の固定部 1 2 を挿通してボルト締めすることにより、バニシングツール 1 が固定されている。

10

【 0 0 2 1 】

バニシングツール 1 は、X 軸駆動装置 2 6 により X 軸方向に移動し、ロータ植込み部 1 0 5 間の間隙に挿入される。次に、Z 軸駆動装置 2 8 により Z 軸方向に移動し、バニシングツール 1 のローラ 1 3 がロータ植込み部 1 0 5 の溝底部 1 0 7 に押し付けられる。ローラ 1 3 が溝底部 1 0 7 に押し付けられた状態で、図 4 に示すように、Y 軸駆動装置 2 3 によりバニシングツール 1 が Y 軸方向に移動し、ローラ 1 3 が溝底部 1 0 7 を回転押圧しながら溝方向 (Y 軸方向) へ移動する (1 ラインを加工する)。

【 0 0 2 2 】

ローラ 1 3 が溝底部 1 0 7 の Y 軸方向の一端から他端に向けて押圧しながら移動し終えたら、図 5 に示すように、X 軸駆動装置 2 6 によりローラ 1 3 が所定のピッチ p だけ X 軸方向に移動する。さらに、Z 軸駆動装置 2 8 を駆動させてローラ 1 3 が溝底部 1 0 7 に再び押し付けられ、ローラ 1 3 は Y 軸方向の他端から一端に向けて押圧しながら移動する。以降、これを繰返すことにより溝底部 1 0 7 の全体のバニシングが完了する。

20

【 0 0 2 3 】

このとき、ローラ 1 3 による加工面の法線方向の押付け力 F によって、接触部で局所的な塑性変形が生じ、圧縮残留応力が形成される。加工面の法線方向の押付け力 F とバニシングにより形成される圧縮残留応力の大きさとは相関がある。

【 0 0 2 4 】

そこで、所定以上の圧縮残留応力を得るために、必要な許容押付け力 F_t を予め定め、押付け力 F が許容押付け力 F_t を下回らないように、ビーム 1 1 のたわみ v はツール駆動装置 2 によって制御される。

30

【 0 0 2 5 】

上記のビーム 1 1 のたわみ v を制御するための構成、作用を次に説明する。

図 6 に示すように、ビーム 1 1 のたわみ v は、ツール駆動装置 2 のアーム 2 5 の Z 軸方向 (押付け方向) の変位 u と次式 (1) の関係にある。

【 0 0 2 6 】

$$v = u - u_0 (x) \dots (1)$$

ここで、 u_0 は、加工対象物 (ロータ植込み部 1 0 5) の加工面にローラ 1 3 が接触し始める Z 軸方向の基準変位であり、溝底部 1 0 7 の X 軸方向の座標 x の関数である。

40

【 0 0 2 7 】

このため、本実施の形態においては、ローラ 1 3 による押付け力 F を測定してビーム 1 1 のたわみ v を制御する構成としている。

図 3 に戻り、ビーム 1 1 の固定部 1 2 近傍の上下面 (ビーム 1 1 のバニシング実行時のせん断方向における両端部) には、ひずみセンサ 1 4 a、1 4 b がそれぞれ設置されている。ひずみセンサ 1 4 a、1 4 b は、コンピュータ 3 にそれぞれ接続されており、ビーム 1 1 のひずみ量をそれぞれ検出して、そのひずみ量に対応した検出信号をコンピュータ 3 にそれぞれ出力する。

【 0 0 2 8 】

コンピュータ 3 には、ツール駆動装置 2 の X 軸駆動装置 2 6、Y 軸駆動装置 2 3、Z 軸

50

駆動装置 28 を駆動し、アーム 25 の位置を制御するツール制御部 4 が接続されている。また、コンピュータ 3 には、バニシングの加工条件、バニシング実行時の測定データの表示、ツール駆動装置 2 のアーム 25 の変位 u の制御値などのユーザからの各種指令を行うキー ボード等の入力手段 5 と、バニシング実行時の測定データ等を表示するディスプレイ等の表示部 6 と、警報音を発する警報器 7 とが接続されている。

【0029】

コンピュータ 3 は、入出力部 (I / O) 31 と、各種の特性図及び各種の設定値を予め記憶する記憶部 32 と、ひずみセンサ 14a、14b からの検出値と特性図とに基づくローラ 13 による加工面の法線方向の押付け力 F の演算、演算した押付け力 F と設定値との比較判断、演算した押付け力 F と特性図と設定値とに基づくアーム 25 の押付け方向の変位 u の補正値 u の演算を実行する演算部 33 とを備えている。

10

【0030】

記憶部 32 には、演算部 33 が押付け力 F を演算するために、バニシング実行時の押付け力 F 、摩擦力、ビーム 11 のせん断力及びビーム 11 の軸力の釣り合いの関係を示す特性図が記憶されている（後述の図 8 参照）。また、演算した押付け力 F が所定以上の圧縮残留応力を形成できる押付け力であったか否かを比較判断するための設定値である許容押付け力 F_t が記憶されている。さらに、演算部 33 がアーム 25 の変位 u の補正量 u を演算するために、押付け力とビーム 11 のたわみの関係を示す特性図と、その特性図上において許容押付け力 F_t に対応するビーム 11 の許容たわみ v_t とが記憶されている（後述の図 9 参照）。

20

【0031】

また、記憶部 32 には、入力手段 5 から入力されたバニシングの加工条件、演算部 33 からの押付け力 F の演算結果等が記録される。

【0032】

演算部 33 は、後述するように、ひずみセンサ 14a、14b の検出信号を取り込み、ひずみセンサ 14a、14b の検出信号と記憶部 32 に記憶した後述の図 8 に示す特性図とに基づき押付け力 F を演算し、その演算結果を記憶部 32 及び表示部 6 へ出力する。また、演算した押付け力 F が記憶部 32 に記憶した許容押付け力 F_t を下回っているか否かを判断する。押付け力 F が許容押付け力 F_t を下回ったと判断した場合には、警報指令信号を警報器 7 へ出力すると共に、押付け力 F が許容押付け力 F_t 以上となるようなアーム 25 の変位 u の補正量 u を演算し、その演算結果を表示部 6 へ出力する。また、入力手段 5 から入力されたアーム 25 の変位 u の補正量 u に基づいて補正量 u 分移動させるための補正変位指令をツール制御部 4 へ出力する。

30

【0033】

入出力部 31 は、ひずみセンサ 14a、14b の検出信号及び入力手段 5 の指令信号が入力される。また、入出力部 31 は、演算部 33 からの押付け力 F の演算結果を表示部 6 へ出力し、演算部 33 からの警報指令信号を警報器 7 へ出力し、演算部 33 からのアーム 25 の変位 u の補正量 u の演算結果を表示部 6 へ出力し、演算部 33 からの補正変位指令をツール制御部 4 へ出力する。

【0034】

40

次に、演算部 33 がひずみセンサ 14a、14b による測定値からローラ 13 による押付け力 F を演算する具体的方法を図 7 及び図 8 を用いて説明する。

図 7 は本発明のバニシング装置の第 1 の実施の形態におけるバニシング実行時の傾斜した加工面に生じた押付け力及び摩擦力とビームに生じたせん断力及び軸力との関係を示す説明図、図 8 は本発明のバニシング装置の第 1 の実施の形態におけるバニシング実行時の押付け力、摩擦力、ビームのせん断力及びビームの軸力の釣り合いの関係を示す特性図である。図 7 及び図 8 において、図 1 乃至図 6 に示す符号と同符合のものは、同一部分であるので、その詳細な説明は省略する。

【0035】

図 7 に示すビーム 11 のせん断力 W 、軸力 B は、ひずみセンサ 14a、14b でそれぞ

50

れ測定されたひずみ量 a 、 b から次式(2)、(3)で求められる。

【0036】

$$W = (b - a) / 2 \cdot E \cdot Z / L \quad \dots (2)$$

$$B = (a + b) / 2 \cdot E \cdot A \quad \dots (3)$$

ここで、 E はビーム 11 のヤング率、 Z はビーム 11 の断面係数、 A はビーム 11 の横断面積、 L はローラ 13 からひずみセンサ 14a、14b までの距離をそれぞれ示している。

【0037】

ビーム 11 の先端部では、ローラ 13 による加工面の法線方向の押付け力 F 、加工面の接線方向の摩擦力 f 、ビーム 11 のせん断力 W 、ビーム 11 の軸力 B が釣り合っている。加工面の傾斜角を (絶対値) とすると、上下、左右の力の釣合いから、次式(4)～(6)が成り立つ。

【0038】

$$F \cos + f \sin = W \quad \dots (4)$$

$$F \sin - f \cos = B \quad \dots (5)$$

$$f = \min \{ \mu F, F \tan \} \quad \dots (6)$$

ここで、 μ は摩擦係数を示している。

【0039】

加工面の傾斜角 θ が小さい場合、ビーム 11 のたわみ v に応じて、ビーム 11 のせん断力 W が生じ、押付け力 F と摩擦力 f とで釣り合い、ビーム 11 の軸力 B は 0 である。このとき、ローラ 13 が加工面上を滑らずに力が釣り合う状態であるから、 $\mu F > F \tan$ であり、摩擦力 f は $F \tan$ となる。

【0040】

一方、加工面の傾斜角 θ が大きい場合、押付け力 F と摩擦力 f 、ビーム 11 のせん断力 W だけでは、左右方向の釣り合いが取れず、ローラ 13 が加工面上を滑ろうとするため、ビーム 11 の軸力 B が発生する。このとき、ローラ 13 が加工面上を滑ろうとする状態であるため、 $\mu F < F \tan$ であり、摩擦力 f は μF となる。

【0041】

式(4)～(6)の関係は、図 8 に示す特性図として示すことができる。図 8 は、縦軸がローラ 13 による押付け力とビーム 11 のせん断力との比 F / W 、横軸がビーム 11 の軸力とビーム 11 のせん断力との比 B / W を示している。図 8 中の実線 A は摩擦係数 μ が 0.15 の場合、破線 B は摩擦係数 μ が 0.3 の場合、点線 C は摩擦係数 μ が 0.6 の場合の特性曲線を示している。ここで、摩擦係数 μ は別途試験により測定した結果に応じて適切なものを選択する。

【0042】

ひずみセンサ 14a、14b の測定値から式(2)及び式(3)を用いて、せん断力 W 、軸力 B が求まるので、図 8 の特性曲線 A、B、C のうち摩擦係数 μ の試験結果に応じて選択した特性曲線を用いて、求めた軸力 B 及びせん断力 W で定まる横軸の B / W の値から該当する縦軸の F / W の値を求める。この F / W の値から押付け力 F を求めることができる。

【0043】

ただし、ビーム 11 の軸力 B が 0 の場合には、縦軸の F / W の値が一意に定まらないため、安全側に低めに見積もるものとして曲線ライン上の値(図 8 のプロット)を採用する。このときの縦軸の F / W の値の誤差は、摩擦係数 μ が 0.6 の場合でも、最大 14 % である。

【0044】

このように、ロータ植込み部 105 のような加工面の傾斜角 θ が変化する加工対象物に対するバニシングにおいて、この傾斜角 θ を測定せずに押付け力 F を求めることが可能となる。

【0045】

10

20

30

40

50

次に、演算部 3 3 がアーム 2 5 の押付け方向の変位 u の補正量 u を演算する具体的方法を図 9 を用いて説明する。

図 9 は本発明のバニシング装置の第 1 の実施の形態におけるバニシング実行時の押付け力とビームのたわみの関係を示す特性図であり、縦軸はローラ 1 3 による押付け力 F 、横軸はビーム 1 1 のたわみ v を示している。図中の特性曲線 A は、図 8 における F / W 値が最小となる条件を選定した場合の押付け力とビームのたわみの関係を示す特性曲線である。

【 0 0 4 6 】

図中、許容押付け力 F_t 及びそれに対応した許容たわみ v_t は所定の圧縮残留応力を得るための設定値である。

10

【 0 0 4 7 】

また、ロータ植込み部 1 0 5 の溝底部 1 0 7 の 1 ライン加工中に基準変位 u_0 が最大変動量 u_0 変動したとしても、ローラ 1 3 による押付け力 F が許容押付け力 F_t 以上を維持できるように、開始押付け力 F_s 及びその開始押付け力 F_s に対応する開始たわみ v_s が設定される。

【 0 0 4 8 】

この開始押付け力 F_s は、1 ライン加工するときに、アーム 2 5 の変位 u の開始位置を定めるための基準値となる。

【 0 0 4 9 】

1 ライン加工中の基準変位 u_0 の変動は、ロータ植込み部 1 0 5 のセッティング時の Z 軸方向を軸とした回転ずれとロータ植込み部 1 0 5 の形状の寸法誤差により生じるものである。基準変位 u_0 の最大変動量 u_0 は、例えば、初期値が 0.5 mm に設定され、ローラ 1 3 による押付け力 F が許容押付け力 F_t を下回ってバニシングの再加工が実行された場合には、後述するアーム 2 5 の変位 u の補正量 u に基づいて変更される。

20

【 0 0 5 0 】

これらの許容押付け力 F_t 、許容たわみ v_t 、開始押付け力 F_s 及び開始たわみ v_s は、この特性図と共に記憶部 3 2 に記憶されている。

【 0 0 5 1 】

図 9 において、ロータ植込み部 1 0 5 の溝方向への 1 ライン加工中に測定された押付け力 F のうち、許容押付け力 F_t を下回った最小の押付け力 F_{min} から、最小たわみ v_{min} が求められる。この最小たわみ v_{min} 、開始たわみ v_s 、基準変位 u_0 の最大変動量 u_0 から、アーム 2 5 の変位 u の補正量 u が次式 (7) から求められる。

30

$$u = (v_s - v_{min}) - u_0 \dots (7)$$

このように、アーム 2 5 の変位 u を補正量 u 分だけ移動させると、図 9 から明らかのように、押付け力 F が許容押付け力 F_t 以上となる。

【 0 0 5 2 】

なお、図 9 に示す特性曲線 A は、図 8 に示す特性図において F / W が最小となる条件を選定した場合の押付け力 F とたわみ v の関係を示すものであり、 W は v と比例関係にあるから F / v も最小となる。そのため、この特性線 A から求められる押付け力 F は安全側に低くなるように配慮されている。

40

【 0 0 5 3 】

次に、本発明のバニシング装置の第 1 の実施の形態を用いたバニシング方法を図 3 乃至図 6、図 8 乃至図 1 2 を用いて説明する。

図 1 0 は本発明のバニシング装置の第 1 の実施の形態を用いたバニシング方法を示すフローチャート図、図 1 1 は本発明のバニシング装置の第 1 の実施の形態を構成するバニシングツールのチャッキングのずれを示す説明図、図 1 2 は本発明のバニシング装置の第 1 の実施の形態におけるバニシング実行時のビームのせん断力とビームのたわみとの関係を示す特性図である。図 1 0 乃至図 1 2 において、図 1 乃至図 9 に示す符号と同符合のものは、同一部分であるので、その詳細な説明は省略する。図 1 0 において、バニシングツールの挿入方向を X 軸方向、ロータ植込み部の溝底部の溝方向を Y 軸方向、バニシングツー

50

ルのロータ植込み部への押付け方向をZ軸方向とする。

【0054】

図10に示すように、バニシング加工をする前に、加工時に想定されるビーム11の最大せん断力Wmaxよりも大きなせん断力W0をビーム11に予めかける(ステップS1)。

【0055】

最大せん断力Wmaxとは、図3に示す溝底部107の溝方向(Y軸方向)の1ライン加工中に生じうる基準変位u0の最大変動量によりビーム11に生じるせん断力である。

【0056】

ビーム11にある大きさ以上のせん断力が加わると、図11に示すように、ツールつかみ部29のチャッキング孔29aに挿入された状態で固定されたバニシングツール1には、チャッキングのずれが生じる。図中、二点鎖線のバニシングツール1は、チャッキングのずれがない状態のバニシングツール1を、実線のバニシングツール1は、チャッキングのずれが生じた状態のバニシングツール1を示す。

【0057】

加工時に想定されるビーム11の最大せん断力Wmaxよりも大きなせん断力W0をビーム11に予めかけて、バニシングツール1のチャッキングのずれが生じた場合には、チャッキングのずれが生じた状態のバニシングツール1で加工することにより、加工中のチャッキングの更なるずれを抑制することができる。

【0058】

また、せん断力W0をビーム11に予めかけても、バニシングツール1のチャッキングのずれが生じない場合には、加工中にせん断力W0以上のせん断力がビーム11に加わらないので、バニシングツール1のチャッキングのずれは生じないと考えられる。

【0059】

このため、加工中にバニシングツール1のチャッキングのずれが生じて押付け力Fが許容押付け力Ftを下回ることを抑制できる。

【0060】

次に、ビーム11の最大せん断力Wmaxの決定方法を図12を用いて説明する。

図12は本発明のバニシング装置の第1の実施の形態におけるバニシング実行時のビーム11のせん断力とビーム11のたわみとの関係を示す特性図であり、縦軸はビームのせん断力W、横軸はビーム11のたわみvを示している。図中の実線Aは、図8におけるF/Wが最小となるB/W=0時の条件を想定した場合のビームのせん断力とビームのたわみの関係を示す特性曲線である。

【0061】

1ライン加工中の基準変位u0の変動量を、例えば、±0.5mm以内と想定する。この場合、図12から、基準変位u0の変動量が±0.5mm以内において、たわみvが許容たわみvt以上となるように最大せん断力Wmaxが決定される。この場合、基準変位u0の最大変動量u0は、初期値0.5mmに設定される。

【0062】

なお、図12に示す特性曲線Aは、図8におけるF/Wが最小となるB/W=0時の条件を想定した場合のビームのせん断力とビームのたわみの関係を示すものであるため、この特性線Aから求められるビームの最大せん断力Wmaxは安全側に高くなるように配慮されている。

【0063】

図10に戻り、図3に示すツール駆動装置2のX軸駆動装置26を駆動させ、ビーム11をX軸方向へ移動させる。ビーム11の先端部をロータ植込み部105間に挿入し、ローラ13をロータ植込み部105の溝底部107のX軸方向の加工開始位置にセットする(ステップS2)。

【0064】

次に、Z軸駆動装置28を駆動させ、ビーム11をZ軸方向(押付け方向)へ移動させ

10

20

30

40

50

、ローラ13を溝底部107に押圧させる(ステップS3)。ローラ13が溝底部107を押圧すると、図6に示すように、ビーム11がたわみ、ひずみセンサ14a、14bはそのひずみ量を検出し、そのひずみ量を演算部33に出力する。ひずみセンサ14a、14bは、ステップS3以降、ひずみ量を検出するとそのひずみ量を演算部33に常時出力する。

【0065】

演算部33は、ひずみセンサ14a、14bで検出されたひずみ量を取り込み、そのひずみ量及び記憶部32に記憶された図8に示す特性図に基づいてローラ13による押付け力Fを演算し、押付け力Fの演算結果を表示部6に出力する(ステップS4)。これにより、押付け力Fが表示部6に表示される。

10

【0066】

ローラ13による押付け力Fが所定の開始押付け力Fsとなるようにアーム25のZ軸方向の変位uをセットする(ステップS5)。開始押付け力Fsは、上述したように、基準変位u0が最大変動量u0(初期値0.5mm)変動したとしても、ローラ13による押付け力Fが許容押付け力Ft以上を維持できるように設定されている。

20

【0067】

押付け力Fが開始押付け力Fsとなった状態のアーム25の変位uを保持した状態で、Y軸駆動装置23を駆動させ、図4に示すように、ローラ13が溝底部107のY軸方向(溝方向)の一端から他端まで1ライン加工する(ステップS6)。この加工中、ビーム11のたわみv及びローラ13による押付け力Fが基準変位u0の変動に伴い変化する。

20

【0068】

演算部33は、ひずみセンサ14a、14bで検出されたひずみ量を取り込み、このひずみ量及び記憶部32に記憶された図8に示す特性図に基づいて押付け力Fを演算し、押付け力Fの演算結果を記憶部32及び表示部6へ出力する(ステップS7)。これにより、1ライン加工時の押付け力Fが記憶部32に記録され、表示部6に表示される。

【0069】

次に、1ライン加工終了後に、演算部33は、記憶部32に記録された1ライン加工時の押付け力Fが記憶部32に予め記憶された許容押付け力Ftを下回っているか否かを判断する(ステップS8)。押付け力Fが許容押付け力Ftを下回っている場合には、ステップ9へ進み、それ以外の場合には、ステップS13へ進む。

30

【0070】

ステップS8において、押付け力Fが許容押付け力Ftを下回った場合(YES)には、演算部33は、警報器7へ警報指令信号を出力する(ステップS9)。これによって、警報器7が警報音を発する。この警報音により、1ライン加工時の押付け力Fが許容押付け力Ftを下回ったことをユーザに報知することができる。

【0071】

また、演算部33は、図9に示す特性図からアーム25の変位uの補正量uを演算し、補正量uの演算結果を表示部6に出力する(ステップS9)。これにより、アーム25の変位uの補正量uが表示部6に表示される。

【0072】

具体的には、演算部33は、記憶部32に記録された1ライン加工時の押付け力Fのうち、許容押付け力Ftを下回った最小の押付け力Fminと、記憶部32に記憶されている押付け力とビームのたわみの関係を示す特性図、開始たわみvs及び基準変位u0の最大変動量u0(初期値0.5mm)とに基づいて補正量uを演算する(図9参照)。

40

【0073】

補正量uを演算した後に、最大変動量u0がu0+uに変更される。この最大変動量u0の変更に応じて、図9に示す特性図中の開始たわみvs及び開始押付け力Fsが変更される。すなわち、開始たわみvs及び開始押付け力Fsは、最大変動量u0がu增加した分、大きくなる。

【0074】

50

次に、表示部 6 に表示された補正量 u を入力手段 5 からコンピュータ 3 に入力する(ステップ S 10)。

【0075】

演算部 33 は、入力手段 5 からの補正量 u を取り込み、アーム 25 の変位 u が $u + u$ になるようにツール駆動装置 2 を制御する(ステップ S 11)。具体的には、演算部 33 は、入力手段 5 から入力された補正量 u に基づいてアーム 25 の変位 u を補正量 u 分移動させるための補正変位指令をツール制御部 4 へ出力し、ツール制御部 4 を介してアーム 25 の変位 u が $u + u$ となるように Z 軸駆動装置 28 を駆動させる。

【0076】

次に、アーム 25 の変位 u を $u + u$ に保持した状態で、Y 軸駆動装置 23 を駆動させ、ステップ S 6 と逆方向に他端から一端まで同一ラインを再度加工する(ステップ S 12)。

【0077】

再びステップ S 7 に戻り、演算部 33 は、ひずみセンサ 14a、14b で検出されたひずみ量を取り込んで押付け力 F を演算し、押付け力 F の演算結果を記憶部 32 及び表示部 6 へ出力する(ステップ S 7)。これにより、1 ライン再加工時の押付け力 F が記憶部 32 に記録され、表示部 6 に表示される。

【0078】

次に、ステップ S 11 の 1 ラインの再加工後に、演算部 33 は、記憶部 32 に記録された 1 ライン再加工時の押付け力 F が記憶部 32 に予め記憶された許容押付け力 F_t を下回っているか否かを判断する(ステップ S 8)。

【0079】

ステップ S 8 において、押付け力 F が許容押付け力 F_t を下回る部分がなかった場合(NO)には、X 軸駆動装置 26 を駆動させ、図 5 に示すように、ローラ 13 を所定ピッチ p だけ X 軸方向にずらし、加工方向を逆方向にセットする(ステップ S 13)。これは、次のラインの加工準備を行うものである。本実施の形態においては、Y 軸方向への 1 ライン加工終了ごとにローラ 13 をピッチ p だけ X 軸方向にずらし、Y 軸の逆方向へ向けて加工する工程を実行して、溝底部 107 全体のバニシングの加工処理を実行する。

【0080】

次に、ローラ 13 が X 軸方向の加工終了位置に到達したか否かが判断される(ステップ S 14)。ローラ 13 が加工終了位置に到達していない場合(NO)には、ステップ S 3 へ戻り、上述した手順を繰り返すことで次のラインの加工が行われる。一方、ローラ 13 が加工終了位置に到達した(YES)場合には、加工完了となる。

【0081】

なお、次のラインの加工の場合のステップ S 5 における開始押付け力 F_s は、2 つの場合があり、前のラインの加工の場合のステップ S 8 において、1 度も YES と判断されずに NO と判断されて 1 ラインの加工が実行された場合(前のラインの再加工がなった場合)と、少なくとも 1 度は YES と判断されて 1 ラインの加工が実行された場合(前のラインの再加工が実行された場合)とで異なる。

【0082】

前のラインの再加工がなった場合には、次のラインの加工の場合のステップ S 5 における開始押付け力 F_s は、前のラインの加工の場合のステップ S 5 における開始押付け力 F_s と同一のものである。

【0083】

一方、前のラインの再加工が実行された場合には、次のラインの加工の場合のステップ S 5 における開始押付け力 F_s は、前のラインの加工におけるステップ 9 で変更された開始押付け力 F_s と同一のものである。

【0084】

上述したように、加工対象物における高さ及び傾斜角が変化する加工面に対して、傾斜角 θ を測定せずに、押付け力不足となる部位を残さずにバニシングが可能となった。

10

20

30

40

50

【0085】

なお、上述したステップ S 9 ~ S 11において、演算部 3 3 が演算した補正量 u を表示部 6 に出力し、表示部 6 に出力された補正量 u を入力手段 5 からコンピュータ 3 に入力し、入力された補正量 u に基づいて演算部 3 3 が補正変位指令をツール制御部 4 へ出力してツール制御部 4 を介してアーム 2 5 の変位 u を制御する例を示したが、演算部 3 3 が演算した補正量 u を入力手段 5 からコンピュータ 3 に入力することなしに、演算部 3 3 がその演算結果に基づいて補正変位指令をツール制御部 4 へ出力してツール制御部 4 を介してアーム 2 5 の変位 u を制御することもできる。

【0086】

また、上述の例では、ステップ S 1 ~ S 3、S 5、S 6、S 10、S 12 ~ S 14 の作業は、手動操作としたが、コンピュータ制御で自動化することが可能である。 10

【0087】

次に、本発明のバニシング装置の第 1 の実施の形態を構成する表示部に表示された加工記録の出力結果を図 13 を用いて説明する。

図 13 は、本発明のバニシング装置の第 1 の実施の形態におけるバニシング方法の加工記録を表示した表示部の表示画面図である。

【0088】

表示部 6 には、加工時の X 軸方向、Y 軸方向座標におけるローラ 1 3 による押付け力 F が押付け力 F の大きさに応じて色分けして表示される。このため、押付け力不足がないことを一目で確認することができる。 20

【0089】

また、各加工ライン毎に、Y 軸方向の両端における基準変位 u_0 及びたわみ v 、再加工数、加工方向、所定ピッチ p 、加工速度も表示される。このため、必要に応じて加工状況を詳細に調べることができる。

【0090】

上述したように、本発明のバニシング装置の第 1 の実施の形態及びそれを用いたバニシング方法によれば、バニシングツール 1 のひずみ量に基づいて、押圧部 1 3 における加工対象物 1 0 5 の加工面の法線方向の押付け力 F を演算し、この演算した押付け力 F により押圧部 1 3 を加工面に押し付けるようにしたので、加工対象物 1 0 5 における高さ及び傾斜角が変化する加工面に対して、バニシングの加工処理を確実に実行することができる。この結果、加工対象物 1 0 5 の長寿命化を図ることができる。 30

【0091】

また、本実施の形態によれば、ひずみセンサ 1 4 a、1 4 b で検出されたひずみ量により演算した押付け力 F に基づいてアーム 2 5 の変位 u を制御するため、ロータ植込み部 1 0 5 の形状情報をツール駆動装置 2 に予め入力しておく必要がない。さらに、詳細な形状情報を把握していないような加工対象物であっても、加工可能となる。

【0092】

さらに、本実施の形態によれば、ローラ 1 3 による傾斜角 θ が変化する加工面の法線方向の押付け力 F 、加工面の接線方向の摩擦力 f 、ビーム 1 1 のせん断力 W 、ビーム 1 1 の軸力 B の釣り合いの関係を、図 8 に示すように、押付け力 F 、ビーム 1 1 のせん断力 W 及びビーム 1 1 の軸力 B との特性関係として演算するようにしたので、ローラ 1 3 による傾斜角 θ が変化する加工面の法線方向の押付け力 F を傾斜角 θ を測定せずに演算することができる。 40

【0093】

また、本実施の形態によれば、バニシングツール 1 は、はりのたわみ反力をを利用してローラ 1 3 を押し付けるビーム方式であるので、ロータ植込み部 1 0 5 のような狭隘な内面形状を有する加工対象物に対して、バニシングの加工処理を確実に実行することができる。

【0094】

さらに、本実施の形態によれば、測定された押付け力 F を押付け力 F の大きさに応じて

50

色分けして表示部 6 に表示するので、容易かつ必要に応じて詳細に、バニシングの品質管理が可能となる。

【 0 0 9 5 】

[第 2 の実施の形態]

次に、本発明のバニシング装置の第 2 の実施の形態を図 3、図 8 及び図 14 を用いて説明する。

図 14 は本発明のバニシング装置の第 2 の実施の形態におけるバニシング実行時の押付け力とビームのたわみの関係を示す特性図である。図 14 において、図 1 乃至図 13 に示す符号と同符号のものは、同一部分であるので、その詳細な説明は省略する。

【 0 0 9 6 】

本発明の本発明のバニシング装置の第 2 の実施の形態は、第 1 の実施の形態がアーム 2 5 の変位 u を固定してバニシングを一度実行し、加工不良が発見された場合に、測定された押付け力 F に応じてアーム 2 5 の変位 u を補正して再度バニシングを実行する構成に対して、加工中に測定されている押付け力 F に応じてアーム 2 5 の変位 u を逐次補正する構成である点が異なる。

【 0 0 9 7 】

本実施の形態を構成するコンピュータ 3 は、入出力部 (I/O) 3 1 と、各種の特性図及び各種の設定値を予め記憶する記憶部 3 2 と、ひずみセンサ 14 a、14 b からの検出値と特性図とに基づくローラ 1 3 による加工面の法線方向の押付け力 F の演算、演算した押付け力 F と特性図と設定値とに基づくビーム 1 1 のたわみ v のたわみ補正量 v の演算を実行する演算部 3 3 とを備えている (図 3 参照)。

【 0 0 9 8 】

記憶部 3 2 には、演算部 3 3 が押付け力 F を演算するために、バニシング実行時の押付け力、摩擦力、ビーム 1 1 のせん断力及びビーム 1 1 の軸力の釣り合いの関係を示す特性図が記憶されている (図 8 参照)。また、演算部 3 3 がビーム 1 1 のたわみ v のたわみ補正量 v を演算するために、押付け力とビーム 1 1 のたわみの関係を示す特性図と、許容押付け力 F_t 及びその特性図上において許容押付け力 F_t に対応するビーム 1 1 の許容たわみ v_t と、ローラ 1 3 による押付け力 F を許容押付け力 F_t 以上に維持するためにその特性図上から設定された目標押付け力 F_m 及びその目標押付け力 F_m に対応するたわみ v の制御目標値 v_m とが記憶されている (後述の図 14 参照)。

【 0 0 9 9 】

演算部 3 3 は、ひずみセンサ 14 a、14 b の検出信号を取り込み、ひずみセンサ 14 a、14 b の検出信号と記憶部 3 2 に記憶した図 8 に示す特性図とに基づくローラ 1 3 による押付け力 F を演算し、その演算結果を記憶部 3 2 及び表示部 6 へ出力する。また、後述するように、演算した押付け力 F と記憶部 3 2 に記憶した目標押付け力 F_m とに基づき、押付け力 F が目標押付け力 F_m となるようなビーム 1 1 のたわみ v のたわみ補正量 v を逐次演算し、アーム 2 5 の変位 u をたわみ補正量 v 分移動させるための補正変位指令をツール制御部 4 へ逐次出力する。

【 0 1 0 0 】

次に、加工中にアーム 2 5 の変位 u を逐次補正するための補正量を演算する具体的方法を図 14 を用いて説明する。

図 14 は本発明のバニシング装置の第 2 の実施の形態におけるバニシング実行時の押付け力とビームのたわみの関係を示す特性図であり、縦軸はローラ 1 3 による押付け力 F 、横軸はビーム 1 1 のたわみ v を示している。図中の実線 A は、図 8 における F / W 値が最小となる条件を選定した場合の押付け力とビームのたわみの関係を示す特性曲線である。

【 0 1 0 1 】

図中、許容押付け力 F_t 及びそれに対応した許容たわみ v は所定の圧縮残留応力を得るための設定値である。

【 0 1 0 2 】

また、ビーム 1 1 のたわみ v を制御する際にたわみ v の目標値からの最大のずれ分を

10

20

30

40

50

v_{max} と想定した場合に、ローラ13による押付け力Fが許容押付け力F_t以上を維持できるように、目標押付け力F_m及びその目標押付け力F_mに対応するたわみvの制御目標値v_mが設定されている。

【0103】

これらの許容押付け力F_t、許容たわみv_t、目標押付け力F_m及び制御目標値v_mは、この特性図と共に記憶部32に記憶されている。

【0104】

アーム25の変位uの補正量を演算するために、まず、ひずみセンサ14a、14bの検出信号と図8に示す特性図とに基づいて演算された押付け力Fから目標押付け力F_mを減じることにより差分F(=F-F_m)が求められる。次に、図14において、差分Fに対応するビーム11のたわみvのたわみ補正量vが求められる。このたわみ補正量vがアーム25の変位uの補正量である。

【0105】

図14から明らかのように、アーム25の変位uをたわみ補正量v分だけ移動させるとビーム11のたわみvが制御目標値v_mになる。

【0106】

なお、図14に示す特性曲線Aは、図8に示す特性図においてF/Wが最小となる条件を選定した場合の押付け力Fとたわみvの関係を示すものであり、Wはvと比例関係にあるからF/vも最小となる。そのため、この特性線Aから求められる押付け力Fは安全側に低くなるように配慮されている。

【0107】

次に、本発明のバニシング装置の第2の実施の形態を用いたバニシング方法を図3、図8、図14乃至図16を用いて説明する。

図15は本発明のバニシング装置の第2の実施の形態におけるバニシング方法を示すフローチャート図、図16は本発明のバニシング装置の第2の実施の形態におけるバニシング実行時のビームのせん断力とビームのたわみの関係を示す特性図である。図15及び図16において、図1乃至図14に示す符号と同符合のものは、同一部分であるので、その詳細な説明は省略する。図15において、バニシングツールの挿入方向をX軸方向、ロータ植込み部の溝底部の溝方向をY軸方向、バニシングツールのロータ植込み部への押付け方向をZ軸方向とする。

【0108】

図15に示すように、バニシング加工をする前に、加工時に想定されるビーム11の最大せん断力W_{max}よりも大きなせん断力W₀をビーム11に予めかける(ステップS21)。

【0109】

ここで、ビーム11の最大せん断力W_{max}の決定方法を図16を用いて説明する。

図16は本発明のバニシング装置の第2の実施の形態におけるバニシング実行時のビームのせん断力とビームのたわみとの関係を示す特性図であり、縦軸はビームのせん断力W、横軸はビーム11のたわみvを示している。図中の実線Aは、図8におけるF/Wが最小となるB/W=0時の条件を想定した場合のビームのせん断力とビームのたわみの関係を示す特性曲線である。

【0110】

最大せん断力W_{max}は、ビーム11のたわみvが上述した制御目標値v_mに対して最大v_{max}分だけずれると想定したときに、ビーム11に生じるせん断力として決定される。

【0111】

なお、図16に示す特性曲線Aは、図8におけるF/Wが最小となるB/W=0時の条件を想定した場合のビームのせん断力とビームのたわみの関係を示すものであるため、この特性曲線Aから求められるビームの最大せん断力W_{max}は安全側に高くなるように配慮されている。

10

20

30

40

50

【0112】

図15に戻り、第1の実施の形態と同様に、図3に示すビーム11をX軸方向へ移動させ、ビーム11の先端部をロータ植込み部105間に挿入し、ローラ13をロータ植込み部105の溝底部107のX軸方向の加工開始位置にセットする(ステップS22)。さらに、ビーム11をZ軸方向(押付け方向)へ移動させ、ローラ13を溝底部107に押圧させる(ステップS23)。ローラ13が溝底部107を押圧すると、ビーム11がたわみ、ひずみセンサ14a、14bがそのひずみ量を検出し、そのひずみ量を演算部33に出力する。

【0113】

演算部33は、第1の実施の形態と同様に、ひずみセンサ14a、14bで検出されたひずみ量を取り込み、そのひずみ量及び記憶部32に記憶された図8に示す特性図に基づいて押付け力Fを演算し、押付け力Fの演算結果を表示部6に出力する(ステップS24)。これにより、押付け力Fが表示部6に表示される。

【0114】

ローラ13による押付け力Fが所定の目標押付け力Fmとなるようにアーム25のZ軸方向の変位uをセットする(ステップS25)。目標押付け力Fmは、上述したように、ビーム11のたわみvが制御目標値vmから最大vma×分ずれた場合においても、ローラ13による押付け力Fが許容押付け力Ft以上を維持できるように設定されている。

【0115】

ローラ13を溝底部107のY軸方向(溝方向)に移動させ、加工する(ステップS26)。この加工中、ビーム11のたわみv及びローラ13による押付け力Fが基準変位u0の変動に伴い変化する。

【0116】

演算部33は、第1の実施の形態と同様に、ひずみセンサ14a、14bで検出されたひずみ量を取り込み、このひずみ量及び記憶部32に記憶された図8に示す特性図に基づいて押付け力Fを演算し、押付け力Fの演算結果を記憶部32及び表示部6へ出力する(ステップS27)。これにより、押付け力Fが記憶部32に記録され、表示部6に表示される。

【0117】

演算部33は、この加工中に、押付け力Fと図14に示す特性図とからビーム11のたわみvのたわみ補正量vを演算する(ステップS28)。具体的には、演算部33は、演算した押付け力Fと記憶部32に記憶された目標押付け力Fmとの差分F(=F-Fm)を演算し、この差分Fと記憶部32に記憶されたビームのたわみの関係を示す特性図とに基づいてビーム11のたわみvのたわみ補正量vを演算する(図14参照)。

【0118】

補正量vを演算した後、演算部33は、アーム25の変位uがu+vになるようにツール駆動装置2を制御する(ステップS29)。具体的には、演算部33は、演算結果のたわみ補正量vに基づいてアーム25の変位uをたわみ補正量v分移動させるための補正変位指令をツール制御部4へ出力し、ツール制御部4を介してアーム25の変位uがu+vとなるようにZ軸駆動装置28を駆動させる。

【0119】

次に、ローラ13がY軸方向の加工端部に到達したか否かが判断される(ステップS30)。ローラ13がY軸方向の加工端部に到達していない場合には、ステップ27へ戻り、それ以外の場合には、ステップS31へ進む。

【0120】

ステップS30において、ローラ13がY軸方向の加工端部に到達していない場合(No)には、ステップS27へ戻り上述した手順を繰り返すことで、Y軸方向への加工がY軸方向の加工端部に到達するまで継続される。

【0121】

このように、演算部33は、1ライン加工中に、ひずみセンサ14a、14bで検出さ

10

20

30

40

50

れたひずみ量に基づいて押付け力 F を逐次演算し、押付け力 F の演算結果に基づいてアーム 1 1 のたわみ v のたわみ補正量 $-v$ を演算し、たわみ補正量 $-v$ に基づいてアーム 2 5 の変位 u を $u + -v$ となるよう逐次制御する。これにより、アーム 2 5 の変位 u は、ローラ 1 3 による押付け力 F が目標押付け力 F_m に保つように逐次補正される。すなわち、押付け力 F を目標押付け力 F_m に保つようにフィードバック制御が行われた状態で Y 軸方向の加工が進行する。

【 0 1 2 2 】

一方、ステップ S 3 0 において、ローラ 1 3 が Y 軸方向の加工端部に到達したら (YES)、ローラ 1 3 を所定ピッチ p だけ X 軸方向にずらし、加工方向を逆方向にセットする (ステップ S 3 1)。これは、次のラインの加工準備を行うものである。本実施の形態においては、Y 軸方向への 1 ライン加工終了ごとにローラ 1 3 をピッチ p だけ X 軸方向にずらし、Y 軸の逆方向へ向けて加工する工程を実行して、溝底部 1 0 7 全体のバニシングの加工処理を実行する。

10

【 0 1 2 3 】

次に、ローラ 1 3 が X 軸方向の加工終了位置に到達したか否かが判断される (ステップ S 3 2)。ローラ 1 3 が加工終了位置に到達していない場合 (NO) には、ステップ S 2 3 に戻り、上述した手順を繰り返すことで次のラインの加工が行われる。一方、ローラ 1 3 が加工終了位置に到達した場合 (YES) には、加工完了となる。

【 0 1 2 4 】

なお、上述の例では、ステップ S 2 1 ~ S 2 3 、 S 2 5 、 S 2 6 、 S 3 1 、 S 3 2 の作業は、手動操作としたが、コンピュータ制御で自動化することが可能である。

20

【 0 1 2 5 】

上述したように、本発明のバニシング装置及びそれを用いたバニシング方法の第 2 の実施の形態によれば、前述した第 1 の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【 0 1 2 6 】

また、本実施の形態によれば、1 ライン加工中にローラ 1 3 による押付け力 F を目標押付け力 F_m に保つようにアーム 2 5 の変位 u を逐次補正するため、ローラ 1 3 による押付け力 F が不足することによる再加工のステップが不要となり、加工時間を短縮することができる。さらに、ローラ 1 3 の加工対象物 1 0 5 への過度の押付けも同時に防止でき、加工による加工対象物 1 0 5 の損傷の発生も防ぐことができる。

30

【 0 1 2 7 】

【 第 3 の実施の形態 】

次に、本発明のバニシング装置の第 3 の実施の形態を図 1 7 乃至図 1 9 を用いて説明する。

図 1 7 は本発明のバニシング装置の第 3 の実施の形態を示すものであり、バニシング実行時の傾斜した加工面に生じた押付け力及び摩擦力と軸力シャフトに生じたせん断力及び軸力との関係を示す説明図、図 1 8 は本発明のバニシング装置の第 3 の実施の形態におけるターピン翼の翼植え込み部に対するバニシングを示す説明図、図 1 9 は本発明のバニシング装置の第 3 の実施の形態におけるバニシング実行時の押付け力、摩擦力、シャフトせん断力及びシャフト軸力の釣り合いの関係を示す特性図である。図 1 7 乃至図 1 9 において、図 1 乃至図 1 6 に示す符号と同符合のものは、同一部分であるので、その詳細な説明は省略する。

40

【 0 1 2 8 】

図 1 7 に示す本発明のバニシング装置の第 3 の実施の形態は、第 1 の実施の形態を構成するバニシングツール 1 がはりのたわみ反力をを利用してツール先端部を加工対象物に押し付ける構成であるのに対して、バニシングツール 5 0 は軸力をを利用してツール先端部を加工対象物に押し付ける構成である点が異なる。

【 0 1 2 9 】

バニシングツール 5 0 は、軸力シャフト 5 1 と、軸力シャフト 5 1 の長手方向の一端側に設けられた固定部 5 2 と、軸力シャフト 5 1 の長手方向の先端面に設けられ、加工対象

50

物の加工面を押圧する押圧部としてのローラ 5 3 と、軸力シャフト 5 1 に内蔵された変位吸収ばね機構 5 4 とを有する。バニシングツール 5 0 は、軸力シャフト 5 1 の軸力でローラ 5 3 を加工面に押し付ける構成となっている。

【 0 1 3 0 】

ローラ 5 3 は、軸力シャフト 5 1 の長手方向に直交する軸線方向の回りに回転可能になっている。

【 0 1 3 1 】

変位吸収ばね機構 5 4 は、加工中の加工面の高さの変動を変位吸収ばね機構 5 4 内部のばね 5 5 で吸収し、軸力シャフト 5 1 による押付け力 F が過度に変動するのを防ぎ、押付け力 F を安定化させる機能を有する。

10

【 0 1 3 2 】

軸力シャフト 5 1 の長手方向の中央部における上下面（軸力シャフト 5 1 のバニシング実行時のせん断方向における両端部）には、ひずみセンサ 5 6 a、5 6 b がそれぞれ設置されている。

【 0 1 3 3 】

本実施の形態においては、図 18 に示すように、タービン翼 1 0 3 の翼植込み部 1 0 6 等の押付け方向と同一方向にバニシングツール 5 0 が挿入可能な加工対象物に対してバニシングが可能である。

【 0 1 3 4 】

次に、ひずみセンサ 5 6 a、5 6 b による測定値からローラ 5 3 による押付け力 F を演算する具体的方法を図 17 及び図 19 を用いて説明する。

20

本実施の形態においては、第 1 の実施の形態を構成するビーム 1 1 のたわみ反力から、軸力シャフト 5 1 の軸力へと押付け方式が変わったため、ひずみセンサ 5 6 a、5 6 b の測定値から押付け力 F を求める関係式が、第 1 の実施の形態と以下のように異なる。

【 0 1 3 5 】

ひずみセンサ 5 6 a、5 6 b それぞれで測定されたひずみ a、b から、シャフト軸力 B_s 、シャフトせん断力 W_s が、次式 (8)、(9) で求められる。

【 0 1 3 6 】

$$B_s = (a + b) / 2 \cdot E_s \cdot A_s \quad \dots (8)$$

$$W_s = (a - b) / 2 \cdot E_s \cdot Z_s / L_s \quad \dots (9)$$

30

ここで、 E_s は軸力シャフト 5 1 のヤング率、 Z_s は軸力シャフト 5 1 の断面係数、 A_s は軸力シャフト 5 1 の横断面積、 L_s はローラ 5 3 の先端からひずみセンサ 5 6 a、5 6 b までの距離をそれぞれ示している。

【 0 1 3 7 】

軸力シャフト 5 1 の先端部では、ローラ 5 3 による加工面の法線方向の押付け力 F 、加工面の接線方向の摩擦力 f 、シャフト軸力 B_s 、シャフトせん断力 W_s が釣り合っている。加工面の傾斜角を θ （絶対値）とすると、上下、左右の釣合いから、次式 (10) ~ (12) が成り立つ。

【 0 1 3 8 】

$$F \cos \theta + f \sin \theta = B_s \quad \dots (10)$$

40

$$F \sin \theta - f \cos \theta = W_s \quad \dots (11)$$

$$f = \min \{ \mu F, F \tan \theta \} \quad \dots (12)$$

ここで、 μ は摩擦係数を示している。

【 0 1 3 9 】

加工面の傾斜角 θ が小さい場合、押付け力 F と摩擦力 f とで上下方向の力成分が釣り合い、シャフトせん断力 W_s は 0 である。このとき、ローラ 5 3 が加工面上を滑らず、力が釣り合う状態であるから、 $\mu F > F \tan \theta$ であり、摩擦力 f は $F \tan \theta$ となる。

【 0 1 4 0 】

一方、加工面の傾斜角 θ が大きい場合、押付け力 F と摩擦力 f とで上下方向の力の釣合が取れず、ローラ 5 3 が加工面上を滑ろうとするため、シャフトせん断力 W_s が発生す

50

る。このとき、ローラ 5 3 が加工面上を滑ろうとする状態であるため、 $\mu F < F \tan \alpha$ であり、摩擦力 f は μF となる。

【 0 1 4 1 】

式 (1 0) 乃至 (1 2) の関係は、図 1 9 に示す特性図として示すことができる。図 1 9 は、縦軸がローラ 5 3 による押付け力とシャフト軸力との比 F / B_s 、横軸がシャフトせん断力とシャフト軸力との比 W_s / B_s を示している。図 1 9 中の実線 A は摩擦係数 μ が 0.15 の場合、破線 B は摩擦係数 μ が 0.3 の場合、点線 C は摩擦係数 μ が 0.6 の場合の特性曲線を示している。ここで、摩擦係数 μ は別途試験により測定した結果に応じて適切なものを選択する。

【 0 1 4 2 】

ひずみセンサ 5 6 a、5 6 b の測定値から、式 (8) 及び式 (9) を用いて、シャフト軸力 B_s 及びシャフトせん断力 W_s が求まるので、図 8 の特性曲線 A、B、C のうち図 1 9 に示す特性図のうち摩擦係数 μ の試験結果に応じて選択した特性図を用いて、求めたシャフト軸力 B_s 及びシャフトせん断力 W_s で定まる横軸の W_s / B_s の値から該当する縦軸の F / B_s の値を求める。この F / B_s の値から押付け力 F を求めることができる。

【 0 1 4 3 】

ただし、シャフトせん断力 W_s が 0 の場合には、縦軸の F / B_s の値が一意に定まらないため、安全側に低めに見積もるものとして曲線ライン上の値 (図 1 9 のプロット) を採用する。このときの縦軸の F / B_s の値の誤差は、摩擦係数 μ が 0.6 の場合でも、最大 14 % である。

【 0 1 4 4 】

本実施の形態においては、翼植込み部 1 0 6 等の加工面の傾斜角 α が変化する加工対象物に対するバニシングにおいて、この傾斜角 α を予め測定せずに押付け力 F を求めることができるとなる。

【 0 1 4 5 】

本実施の形態のバニシング方法の手順については、第 1 及び第 2 の実施の形態を用いたバニシング方法を流用することができる。この場合、本実施の形態は、第 1 及び第 2 の実施の形態がはりのたわみ反力をを利用して押し付ける構成であるのに対して、軸力シャフト 5 1 の軸力をを利用して押し付ける構成であるため、バニシングツールの押付け方向の変化に対応して、ビーム 1 1 のせん断力 W をシャフト軸力 B_s に置き換えるべき。

【 0 1 4 6 】

上述したように、本発明のバニシング装置の第 3 の実施の形態によれば、軸力シャフト 5 1 の軸力による押付け方式を採用しているので、タービン翼 1 0 3 の翼植込み部 1 0 6 等の押付け方向と同一方向にバニシングツールが挿入可能な加工対象物における高さ及び傾斜角が変化する加工面に対して、バニシングの加工処理を確実に実行することができる。

【 0 1 4 7 】

[その他]

なお、第 1 の実施の形態においては、加工対象物としてロータディスク 1 0 2 の植込み部 1 0 5 を例に示したが、タービン翼 1 0 3 の翼植込み部 1 0 6 にも適用することができる。

【 0 1 4 8 】

また、第 1 の実施の形態乃至第 3 の実施の形態においては、ロータディスク 1 0 2 の植込み部 1 0 5 とタービン翼 1 0 3 の翼植込み部 1 0 6 を例に示したが、加工面の高さ及び傾斜角が変化する加工対象物に適用することができる。例えば、自動車部品のペアリングハウジングのようなコーナ R 部を含む機器の強度改善を意図した加工などにも有効である。

【 0 1 4 9 】

なお、第 1 の実施の形態乃至第 3 の実施の形態においては、押圧部としてローラを例に示したが、押圧部は加工対象物に対して圧縮残留応力層を形成できればよく、例えば、ボ

10

20

30

40

50

ールを用いることができる。

【0150】

また、第1の実施の形態乃至第3の実施の形態におけるツール駆動装置2は、少なくともX Y Z軸の3軸制御可能な構成であればよい。

【0151】

なお、本発明は上述した実施の形態に限られるものではなく、様々な変形例が含まれる。上述した実施の形態は本発明をわかり易く説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。例えば、ある実施形態の構成の一部を他の実施の形態の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施形態の構成に他の実施の形態の構成を加えることも可能である。また、各実施形態の構成の一部について、他の構成の追加、削除、置換をすることも可能である。 10

【0152】

また、上記の各構成、機能、処理部、処理手段等は、それらの一部または全部を、例えば集積回路で設計することによりハードウェアで実現してもよい。また、上記の各構成、機能等は、プロセッサがそれぞれの機能を実現するプログラムを解釈し、実行することによりソフトウェアで実現してもよい。各機能を実現するプログラム、テーブル、ファイル等の情報は、記憶部やハードディスク、SSD (Solid State Drive) 等の記録装置、または、I Cカード、SDカード、DVD等の記録媒体に置くことができる。

【0153】

なお、制御線や情報線は説明上必要と考えられるものを示しており、製品上必ずしも全ての制御線や情報線を示しているとは限らない。実際には、殆ど全ての構成が相互に接続されていると考えてもよい。 20

【符号の説明】

【0154】

1 バニシングツール

2 ツール駆動装置

3 コンピュータ

1 1 ビーム

1 3 ローラ (押圧部)

1 4 a、1 4 b ひずみセンサ

3 2 記憶部

3 3 演算部

5 0 バニシングツール

5 1 軸力シャフト

5 3 ローラ (押圧部)

5 6 a、5 6 b ひずみセンサ

1 0 5 ロータ植込み部 (加工対象物)

1 0 6 翼植込み部 (加工対象物)

1 0 7 溝底部

1 0 8 溝底部

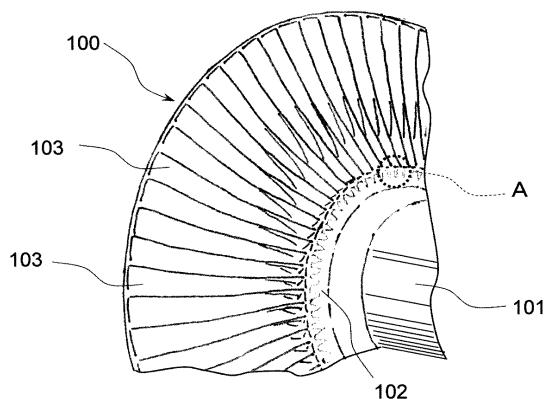
10

20

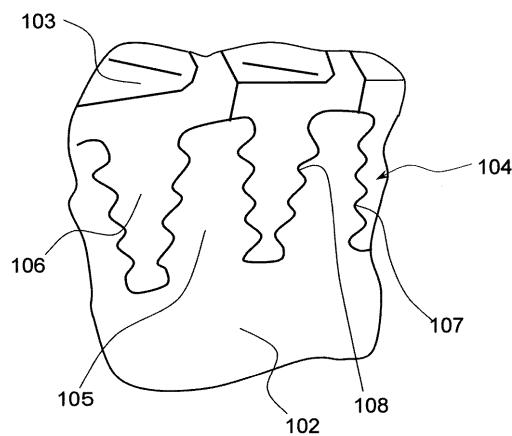
30

40

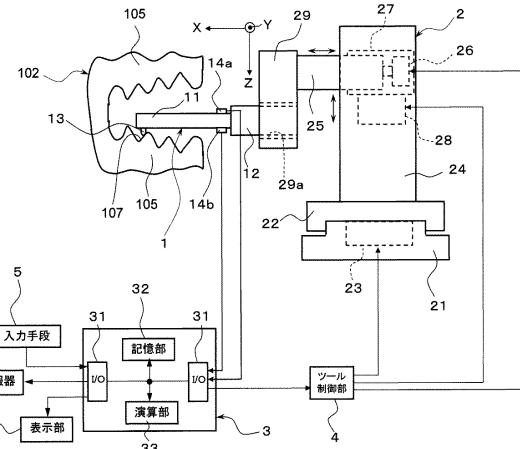
【図1】



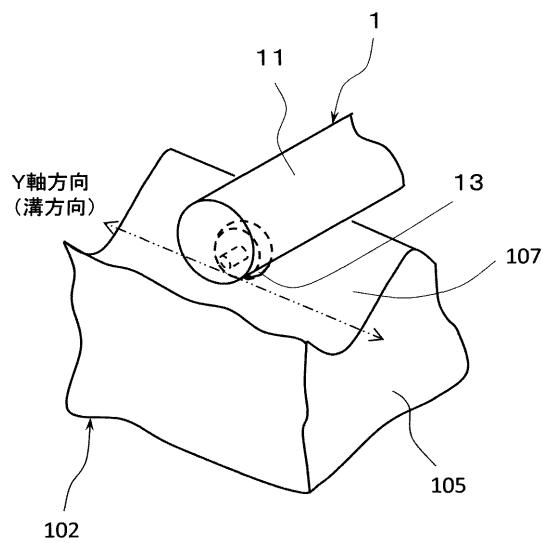
【図2】



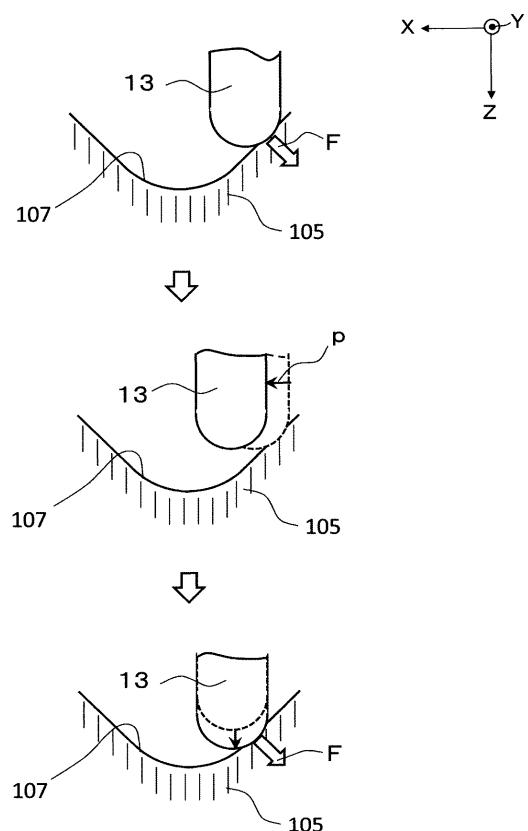
【図3】



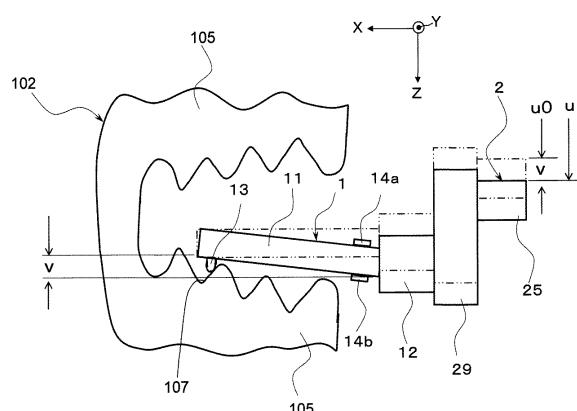
【図4】



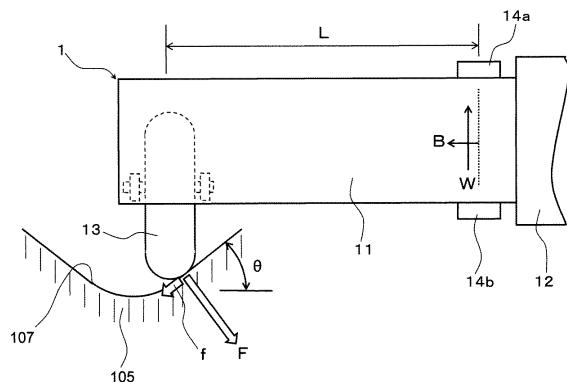
【図5】



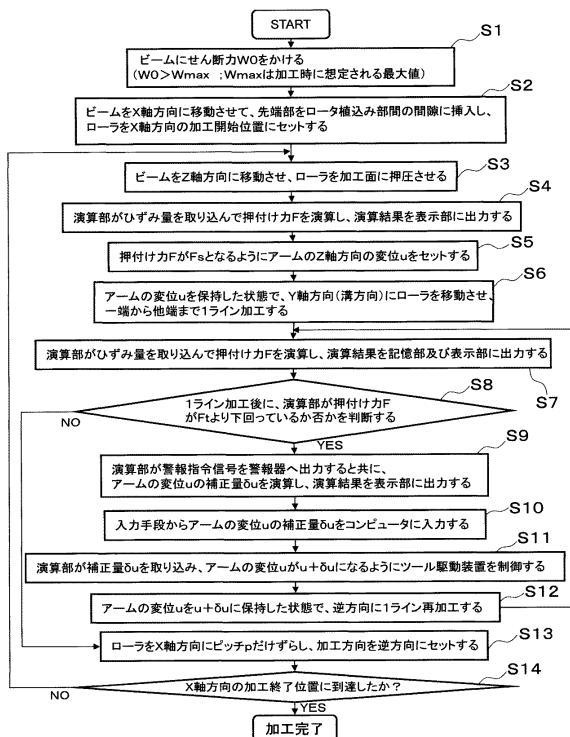
【図6】



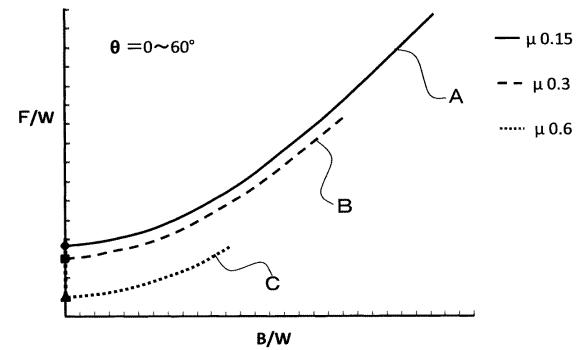
【図7】



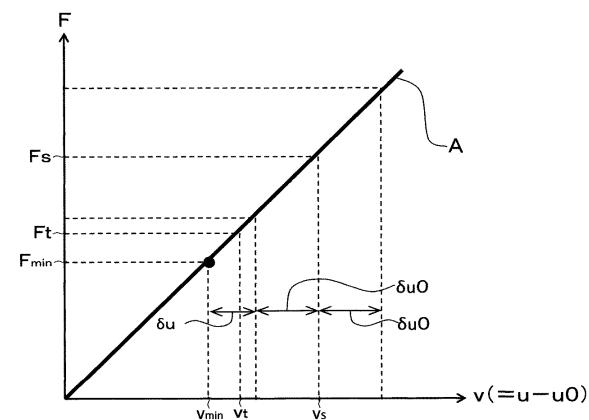
【図10】



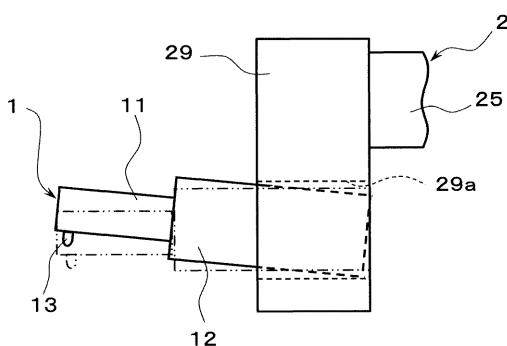
【図8】



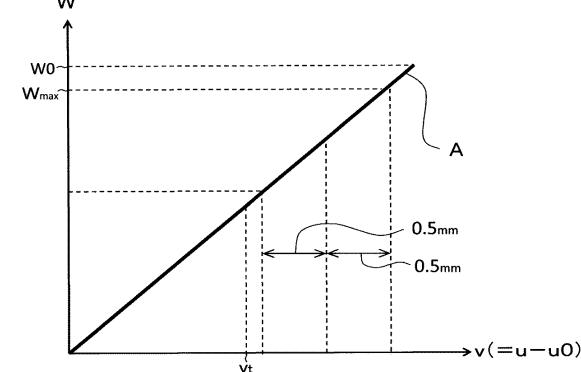
【図9】



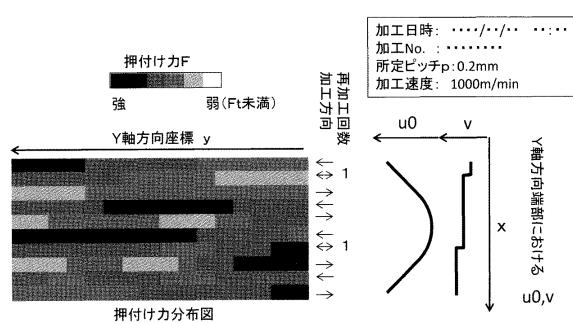
【図11】



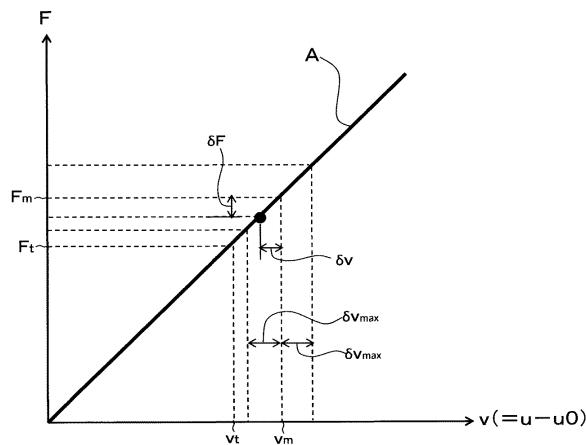
【図12】



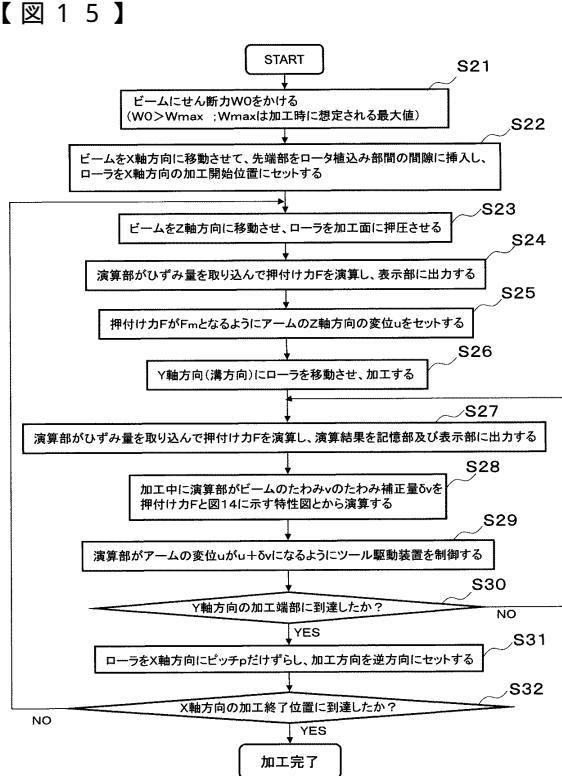
【図13】



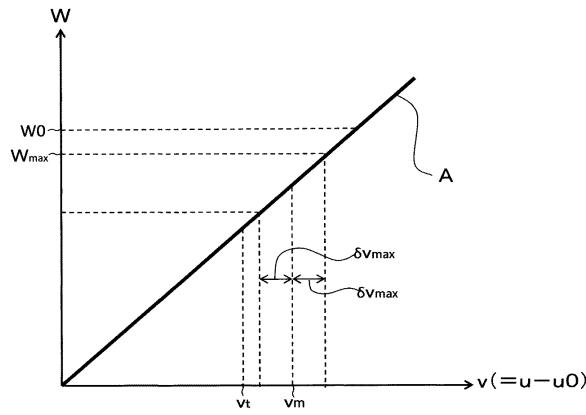
【図14】



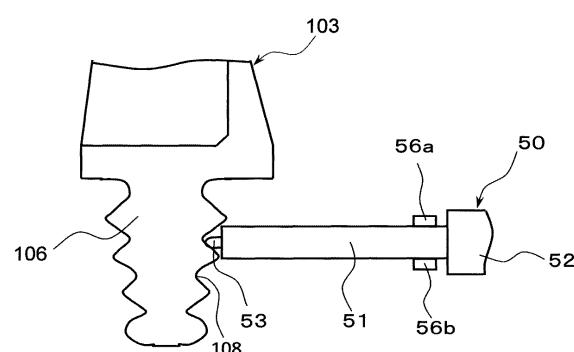
【図15】



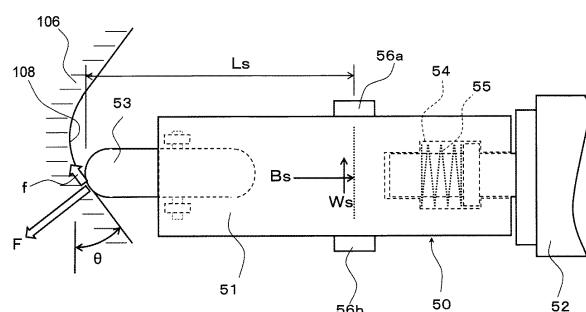
【図16】



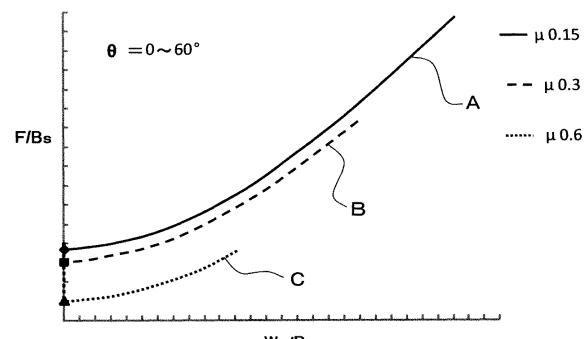
【図18】



【図17】



【図19】



フロントページの続き

(72)発明者 志々目 佳子
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
内
株式会社日立製作所 日立研究所

(72)発明者 工藤 健
茨城県日立市幸町三丁目1番1号
内
株式会社日立製作所 日立事業所

(72)発明者 三ヶ月 和人
茨城県日立市幸町三丁目1番1号
内
株式会社日立製作所 日立事業所

(72)発明者 佐藤 広樹
茨城県日立市幸町三丁目1番1号
内
株式会社日立製作所 日立事業所

(72)発明者 依田 秀夫
茨城県日立市幸町三丁目1番1号
内
株式会社日立製作所 日立事業所

審査官 大山 健

(56)参考文献 特開2005-305604 (JP, A)
特開2003-039315 (JP, A)
欧州特許出願公開第00330734 (EP, A1)
特開2008-290173 (JP, A)
米国特許出願公開第2009/0106961 (US, A1)
特開2005-288557 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B24B 39/00 - 39/06
B24B 49/16