

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

複数条の外周刃が形成されたエンドミルを回転させて前記外周刃でワークを切削加工する加工方法であって、
前記エンドミルを回転させて振れ測定手段により前記複数条の前記外周刃の各刃の形状データを取得し、前記形状データをもとに前記各刃の振れ量を算出し、
加工条件より決定される切削代に対し、前記各刃の前記振れ量を参照して前記各刃の加工代を求め、前記ワークに当たらない刃がある場合には、全ての刃が前記ワークに当接するように前記加工代の補正值を計算し、前記補正值により前記エンドミルの径方向の切込み量を補正することを特徴とするエンドミルによる加工方法。

10

【請求項 2】

複数条の外周刃が形成されたエンドミルを回転させて前記外周刃でワークを切削加工する加工方法であって、
工具寿命を考慮して予め前記エンドミルの寿命加工代を設定しておき、
前記エンドミルを回転させて振れ測定手段により前記複数条の前記外周刃の各刃の形状データを取得し、前記形状データをもとに前記各刃の振れ量を算出し、
加工条件より決定される切削代に対し、前記各刃の前記振れ量を参照して前記各刃の加工代を求め、前記各刃の前記加工代が全て前記寿命加工代より大きくなる場合は、前記各刃の前記加工代の最小値が前記寿命加工代となるように、前記エンドミルの径方向の切込み量を補正することを特徴とするエンドミルによる加工方法。

20

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載のエンドミルによる加工方法において、
前記エンドミルの前記形状データ、前記加工条件、前記振れ量から真直度を事前に予測し、
前記径方向の切込み量を補正しても所定の真直度が得られないと判断した場合には、前記エンドミルの装着状態を変更して再度前記エンドミルの前記各刃の振れ量の算出し、所定の真直度が得られれば加工を開始するようにしたことを特徴とするエンドミルによる加工方法。

【請求項 4】

請求項 1 または請求項 2 に記載のエンドミルによる加工方法において、
回転数と刃振れの関係のデータベース、および、回転数または切削速度と切削抵抗の関係のデータベースを備え、
前記エンドミルの前記形状データ、前記加工条件、前記振れ量から真直度を事前に予測し、
前記径方向の切込み量を補正しても所定の真直度が得られないと判断した場合には、前記回転数と刃振れの関係のデータベース、および、前記回転数または切削速度と切削抵抗の関係のデータベースを用いて、所定の真直度が得られるように回転数を変更することを特徴とするエンドミルによる加工方法。

30

【請求項 5】

請求項 1 に記載のエンドミルによる加工方法において、
前記エンドミルの前記形状データ、前記加工条件、前記振れ量から真直度を事前に予測し、
前記径方向の切込み量を補正しても所定の真直度が得られないと判断した場合には、真直度が最小になるような前記加工代の補正值を計算し、前記補正值を前記エンドミルの径方向の切込み量に適用して加工することを特徴とするエンドミルによる加工方法。

40

【請求項 6】

請求項 3 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載のエンドミルによる加工方法において、
前記ワークの情報および前記エンドミルの剛性の情報を有し、
前記真直度を事前に予測する段階において、前記エンドミルの前記形状データ、前記加工条件、前記振れ量に加え、前記ワークの情報および前記エンドミルの剛性の情報を加味し

50

て真直度を計算することを特徴とするエンドミルによる加工方法。

【請求項 7】

複数条の外周刃が形成されたエンドミルと、前記エンドミルを回転させる主軸と、前記複数条の前記外周刃の各刃の振れ量を取得する振れ測定手段と、前記振れ測定手段から得られた前記振れ量をもとに前記エンドミルの径方向の切込み量の補正量を演算して前記主軸の動きを制御する制御部とを備えていることを特徴とする加工装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の加工装置において。

更に、前記エンドミルを収納する工具マガジンと、前記エンドミルを前記主軸に自動的に着脱する工具交換装置を備えたことを特徴とする加工装置。

10

【請求項 9】

請求項 7 または請求項 8 に記載の加工装置において、

前記ワークの加工面に対して前記エンドミルの軸心を傾斜可能な傾斜手段を備え、前記制御部において加工時の傾斜成分が計算され、前記傾斜成分を打ち消すような方向に前記傾斜手段が制御されるように構成されていることを特徴とする加工装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、エンドミルの側面に設けられた外周刃を用いて切削加工する、エンドミルを用いた加工方法および加工装置に関するものである。

20

【背景技術】

【0002】

切削加工では、切削工具を被加工物に相対的に近づけ接触させて、被加工物の一部を除去し所定の形状を得ることを目的としている。切削工具の中でも側面と底面に刃を持つエンドミルは様々な加工形状に対応することができ、様々な部品の加工に用いられている。エンドミル加工で要求される精度は寸法精度、面粗さ、直角度、真直度などがある。

エンドミルによる加工は、エンドミルを回転させながらワークに接触させてワークの一部を切削除去し加工面を得るものであるが、このとき、例えば断続切削となること、切れ刃の位置により作用する切削抵抗とその作用方向が変動することから、エンドミルの回転中心軸が変形しながらワークを削ることになる。そのため加工面は直線ではなく、波状となり真直度が大きくなる。この加工面の形状を直線に近づけるには切削抵抗の変動を小さくする、もしくは切削抵抗そのものを小さくして変動量を相対的に小さくする等の対策が必要である。

30

【0003】

これらの課題に対し、例えば、被加工物の加工面にエンドミルを接触させて切削するとき、切削に関与する外周刃の接触長さの総和を一定に保つことによって切削抵抗の変動を抑制し、切削抵抗の変動による切削工具の倒れ量の変動を抑制して真直度を小さくするようなエンドミル加工方法が開示されている（例えば、特許文献 1 参照）。

また、エンドミルおよび加工機の回転振れを事前に計測し、そのデータから真直度が小さくなるエンドミルの取り付け方法を計算して取り付けることで真直度を小さくする加工方法も開示されている（例えば、特許文献 2 参照）。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2004-34171 号公報（第 2-3 頁、図 2）

【特許文献 2】特開 2010-240802 号公報（第 4-5 頁、図 10）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

50

特許文献 1 の加工方法では、工具の製作時に起因する工具の振れや、加工機へ取り付けに起因する工具の振れ、加工機の主軸の振れ等により、工具の刃が当たらない場合が生じ、外周刃の接触長さが変動することにより、切削抵抗が変動し、切削抵抗の変動により切削工具の倒れ量の変動が大きくなって真直度が大きくなるという問題があった。

特許文献 2 の加工方法では、計算したエンドミルの取り付け方法通りに加工機に取り付ける必要があるが、通常エンドミルはホルダを介して加工機に取り付けるため、実際にはホルダの精度に起因する振れ、およびホルダへのエンドミルの取り付けに起因する振れの影響を考慮する必要があること、ゴミなどの付着や錆などで振れが大きくなること、またこれらの取り付け作業は通常手作業で実施するため、取り付け・調整に時間を要するという問題があった。また、振れの大きい刃程、摩耗が大きいため、工具摩耗の進展と共に振れの状態が変わってしまい予測結果と加工結果が異なってしまうという問題があった。

10

【0006】

この発明は、上記のような問題を解決するためになされたもので、振れがある場合においても外周刃の接触長さの変動を抑制でき、またエンドミルの取り付け時の調整を容易にして真直度を小さくできる加工方法および加工装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

この発明に係るエンドミルによる加工方法は、複数条の外周刃が形成されたエンドミルを回転させて外周刃でワークを切削加工する加工方法であって、エンドミルを回転させて振れ測定手段により複数条の外周刃の各刃の形状データを取得し、形状データをもとに各刃の振れ量を算出し、加工条件より決定される切削代に対し、各刃の振れ量を参照して各刃の加工代を求め、ワークに当たらない刃がある場合には、全ての刃がワークに当接するように加工代の補正値を計算し、補正値によりエンドミルの径方向の切込み量を補正するものである。

20

【0008】

また、複数条の外周刃が形成されたエンドミルを回転させて外周刃でワークを切削加工する加工方法であって、工具寿命を考慮して予めエンドミルの寿命加工代を設定しておき、エンドミルを回転させて振れ測定手段により複数条の外周刃の各刃の形状データを取得し、形状データをもとに各刃の振れ量を算出し、加工条件より決定される切削代に対し、各刃の振れ量を参照して各刃の加工代を求め、各刃の加工代が全て寿命加工代より大きくなる場合は、各刃の加工代の最小値が寿命加工代となるように、エンドミルの径方向の切込み量を補正するものである。

30

【0009】

また、この発明に係る加工装置は、複数条の外周刃が形成されたエンドミルと、エンドミルを回転させる主軸と、複数条の外周刃の各刃の振れ量を取得する振れ測定手段と、振れ測定手段からの得られた振れ量をもとにエンドミルの径方向の切込み量の補正量を演算して主軸の動きを補正する制御部とを備えたものである。

【発明の効果】

【0010】

この発明のエンドミルによる加工方法によれば、加工条件より決定される切削代に対し、各刃の振れ量を参照して各刃の加工代を求め、ワークに当たらない刃がある場合には、全ての刃がワークに当接するように加工代の補正値を計算し、補正値によりエンドミルの径方向の切込み量を補正するので、振れが大きく同時切れ刃数が増える場合にも、補正により、径方向切込み量を調整して同時切れ刃数を安定させ、切削抵抗の変動を小さくできるので、真直度を小さくすることができる。

40

【0011】

また、予めエンドミルの寿命加工代を設定しておき、エンドミルを回転させて振れ測定手段により複数条の外周刃の各刃の形状データを取得し、形状データをもとに各刃の振れ量を算出し、加工条件より決定される切削代に対し、各刃の振れ量を参照して各刃の加工

50

代を求め、各刃の加工代が全て寿命加工代より大きくなる場合は、各刃の加工代の最小値が寿命加工代となるように、エンドミルの径方向の切込み量を補正するので、真直度を改善しながら、工具寿命も延ばすことができ、工具コストおよび工具交換のコストを低減できる。

【0012】

また、この発明の加工装置によれば、複数条の外周刃が形成されたエンドミルと、エンドミルを回転させる主軸と、複数条の外周刃の各刃の振れ量を取得する振れ測定手段と、振れ測定手段から得られた振れ量をもとにエンドミルの径方向の切込み量の補正量を演算して主軸の動きを補正する制御部とを備えているので、切削抵抗の変動を小さくできるため、加工面の真直度を小さくすることができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】この発明の実施の形態1の加工方法に用いるエンドミルの外観図である。

【図2】図1のエンドミルをホルダおよび主軸に取り付けた図である。

【図3】この発明の実施の形態1の加工方法におけるエンドミルの刃の振れの測定方法の説明図である。

【図4】図3の測定で得られた外周刃の形状データと、回転に伴う刃の位置の関連を示す説明図である。

【図5】形状データから得られるエッジ部まで距離Lと回転時間との関連を示す図である。

20

【図6】刃に振れがある場合の、図5に対応する図である。

【図7】エンドミルによりワークを肩削りする説明図である。

【図8】図7の平面拡大図とその側面断面図である。

【図9】外周刃に振れがある場合のエッジ部の変化を説明する説明図であり、(a)～(c)は図8(b)に相当する部分の側面断面図、(d)～(f)は直上の図に対応したC-C部の平面断面図である。

【図10】図8と同様の平面断面図において、各寸法の一例を示した図である。

【図11】図9の(a)～(c)に対応する、図10の側面断面図である。

【図12】図10において1つ前の刃が振れによりワークに当たらず切削できなかった場合の次の刃の切削代を説明する平面図である。

30

【図13】図12の場合の、図11の(a)～(c)に対応する側面図である。

【図14】S S 4 0 0材のワークに対するエンドミル加工において、1刃当たりの最大加工代と切削抵抗の関係を示す図である。

【図15】実施の形態1による補正方法を説明する切削部の側面図である。

【図16】図15の場合の、各刃の切削代と切削抵抗を示す図である。

【図17】エンドミルの振れ測定方法の他の例を説明する説明図である。

【図18】実施の形態2の加工方法を説明するためのエッジ部の側面断面図である。

【図19】実施の形態2により補正した1例を示す側面断面図である。

【図20】実施の形態5の加工方法を説明するためのエッジ部の側面断面図であり、比較のために補正無しの場合の各刃の加工代と切削抵抗を示す図である。

40

【図21】比較のために実施の形態1の加工方法で補正した場合の各刃の加工代と切削抵抗を示す図である。

【図22】実施の形態5により補正した、補正後の1例を示す側面断面図である。

【図23】図22の場合の、各刃の加工代と切削抵抗を示す図である。

【図24】実施の形態7による加工装置を示すブロック図である。

【図25】実施の形態8による加工装置の要部構成図である。

【図26】実施の形態8による加工装置の他の例の要部構成図である。

【図27】傾斜成分の改善による真直度改善についての説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

50

実施の形態 1.

図 1 は、この発明の実施の形態 1 の加工方法に用いるエンドミル 1 の外観図であり、(a) は側面図、(b) は底面図である。図 2 は、エンドミル 1 の取り付け状態を示す側面図であり、(a) はエンドミル 1 をホルダ 2 に取り付けた状態、(b) は (a) を加工装置の主軸 3 に取り付けた状態を示している。また、図 3 は、エンドミル 1 の刃の振れの測定方法を示した側面図である。

【0015】

図 1 に示すように、エンドミル 1 は、円筒形のシャンク部 1 a と刃部 1 b を有し、刃部 1 b は、外周部に形成された外周刃 1 c と底面部に形成された底刃 1 d とから成っている。外周刃 1 c は、エンドミル 1 の軸線を中心として所定のねじれ角で螺旋状に形成され、複数条が所定のピッチで周方向に等間隔に配列されている。

図 2 (a) のように、エンドミル 1 をホルダ 2 に装着する。ホルダ 2 は、コレット 2 a、テーパ面 2 b、押し当て面 2 c を有している。(a) の状態から、コレット 2 a を主軸 3 に引き込み、ホルダ 2 のテーパ面 2 b および押し当て面 2 c を主軸 3 の取り付け部に組み合わせることで、主軸 3 にホルダ 2 およびエンドミル 1 が取り付けられ、図 2 (b) のような状態になる。すなわち、エンドミル 1 はホルダ 2 を介して主軸 3 に取り付けられており、主軸 3 によりエンドミル 1 を回転させて外周刃 1 c または底刃 1 d で被加工物の側面または底面を加工する。

【0016】

図 3 は、実施の形態 1 におけるエンドミル 1 の刃の振れの測定方法を示す図である。主軸 3 に取り付けられたエンドミル 1 の外周刃 1 c の部位を挟むように、発光部 4 a とカメラ部 4 b を有する振れ測定手段 4 を配置する。

図 3 のよう状態で、エンドミル 1 を回転させ、発光部 4 a を発光させて、エンドミル 1 に光を当てることにより輪郭を明確にし、カメラ部 4 b でエンドミル 1 を連続的に撮影する。撮影された画像は、図示しない制御部で画像処理され、エンドミル 1 の外周刃 1 c のエッジ部 5 (図 5 参照) を検出する。なお、加工装置については後述する。

【0017】

実施の形態 1 のエンドミルによる加工方法は、上記の振れ測定手段 4 で得られた形状データをもとに補正量を演算して加工時のエンドミルの径方向の切込み量を補正する点に特徴を有するものであるが、その具体的補正方法については後述することにし、先ず、エンドミル 1 を回転させたときの外周刃 1 c と撮影画像との関係について説明する。

【0018】

図 4 は、エンドミル 1 を、ある回転速度、例えば 2.5 rpm で回転させ、エンドミル 1 の外周刃 1 c 部をカメラ部 4 b で撮影し、画像処理した画像の説明図である。刃数は 6 の場合を示し、各刃に符号 I から IV を付している。図 4 (a) は、画像処理した画像のうち、X 秒、X+1 秒、X+2 秒、X+3 秒、X+4 秒の画像を示している。(b) は、(a) の破線 A-A 断面におけるエンドミル 1 の平面形状とエンドミル 1 の回転方向 (矢印)、および回転に伴う刃 I~IV の位置の変化を示し、それぞれ図 4 の直上の (a) の画像と対応している。また、(a) において、A-A 線部における画像の左端からエンドミル 1 の画像処理で得たエッジ部 5 まで距離を L とし、この L を、X 秒では L_X 、X+1 秒では L_{X+1} のように表している。

【0019】

図 5 は、図 4 の時間毎の L の変化を示す図である。L が最も小さくなるのは、破線 A-A 上に刃 I~IV のいずれかが来たときである。X 秒の時、破線 A-A 上に刃 II が来た場合、回転中心と刃 I と刃 II の成す角が 60 度であり、かつ回転中心から刃 I と刃 II までの距離が同じであるとすると、エンドミル 1 は 2.5 rpm で回転しているため刃 I から刃 II へと回転する時間は 4 秒となる。つまり、X+4 秒後に破線 A-A 上に次の刃 I が来る。

図 4 において、破線 A-A を上下に動かし、L の変化を調べることで回転時のエンドミル 1 の軸方向の各位置の各刃の振れ量を把握することができる。

このように L の変化と回転数を把握することで各刃の回転時の振れ量を把握して、図示

10

20

30

40

50

しない制御部において画像処理してエッジ部 5 のデータを取得しておく。このエッジ部 5 が、請求項に記載の各刃の形状データである。

なお、図 5 では、回転中心と各刃の刃先までの距離が等しい場合を示している。

【0020】

図 6 は、刃 I と回転中心との距離が、刃 II と回転中心との距離より小さく、かつ回転中心と刃 I、刃 II の成す角が 60 度より大きい場合の時間毎の L の変化を示している。回転中心と刃 I、刃 II の成す角が 60 度より大きいため、刃 I に対応する L は L_{X+4} より大きくなる。このような場合、時間の範囲を決めてその中のピークの値を刃 II とする。例えば $(X+1)$ 秒から $(X+7)$ 秒の範囲とする。その時のピーク値が $L_{X+4+\alpha}$ の場合、振れ量の差は $(L_{X+4} - L_{X+4+\alpha})$ のような式で計算できる。

10

【0021】

図 7 は、エンドミル 1 による肩削り加工を示す図であり、(a) は斜視図、(b) は (a) の上面図である。ホルダ 2 および主軸 3 は記載を省略した。エンドミル 1 を回転させ、ワーク W に対してエンドミル 1 を移動することにより、エンドミル 1 の外周刃 1c および底刃 1d によりワーク W の加工面を切削している。

【0022】

図 8 は、図 7 (b) の部分の拡大図である。(a) は平面図であり、(b) は (a) の B-B における側面断面図である。なお、切削抵抗によるエンドミル 1 の倒れは記載を省略した。すなわち、外周刃 1c の中心から各刃の刃先までの寸法が同じで振れがなく、かつエンドミル 1 の中心軸と回転軸が一致している場合を示している。斜線部はエンドミル 1 の外周刃 1c による加工代を示しており、(a) に示すように、線 B-B は加工部の厚み T が最も厚くなる箇所を通っている。

20

図 8 の場合では、ワーク W に接触している外周刃 1c の全ての刃が加工代分を切削することとなる。しかし、実際には外周刃 1c には、エンドミル 1 の製作時のばらつき、エンドミル 1 の取り付け時やホルダ 2、主軸 3 そのものに起因する振れがある。次に、そのような振れがある場合について説明する。

【0023】

図 9 は、外周刃 1c に振れがある場合の輪郭線すなわちエッジ部 5 の変化を説明する説明図である。(a) ~ (c) は図 8 (b) に相当する部分の側面断面図であり、画像処理で得られたエッジ部 5 とワーク W の切削面とを合わせて表示したものである。(d) ~ (f) は、直上の (a) ~ (c) のそれぞれに対応した C-C 部の平面断面図である。

30

(a) (d) では、C-C 部においてワーク W に刃 I が当たっており切削に寄与しているが、1 刃分回転した (b) (e) では、C-C 断面の外周刃である刃 VI が、振れがありこの影響でワーク W に当たっておらず切削に寄与していない。次の (c) (f) では、ワーク W に刃 V が当たっており切削に寄与している。このとき刃 V は刃 VI による削り残しも含めて切削する必要がある、刃 I と刃 V の回転時の振れ量が同じ場合、刃 V による切削量は刃 I による切削量の 2 倍になる。つまり、振れが無いときに比べ切削抵抗の最大値が大きくなるうえ、切削抵抗が変動することとなる。

【0024】

また、(a) は切削箇所が 4 箇所、(b) は 3 箇所、(c) は 4 箇所と変化している。つまり、振れが無いときは切削箇所数（同時切れ刃数）の変動は無かったが、振れがある場合は振れにより切削箇所数の変動が生じ、切削抵抗の変動となる。

40

以下、図 9 の (a)、(b)、(c) における切削抵抗の大きさと変動量について、具体例により説明する。

図 10 は、図 9 の (d) ~ (f) と同様に見たときの平面図であり、各寸法の一例を示した図である。図 11 は、図 9 の (a) ~ (c) に対応する図 10 の側面図である。

【0025】

図 10 において、エンドミル 1 の回転中心から刃 I - V のそれぞれの外周刃先までの距離を 10 mm、ワーク W のエンドミル 1 による半径方向の削り代を 50 μ m、1 刃送り量を 0.05 mm/tooth、エンドミル 1 の回転方向を矢印の方向とすると、1 刃あた

50

りの加工代は図10の斜線部となる。これらは、加工条件より決定されるものである。

このとき、エンドミル1の回転中心から刃先までの距離が常に一定とすると、幾何学的関係から1刃当たりが切削する最大厚み T は約 $7\mu\text{m}$ となる。

【0026】

ここで、エンドミル1の回転中心から刃VIの刃先までの距離が、刃I～Vの回転中心から刃先までの距離に比べ $10\mu\text{m}$ 小さいとすると、図9(a)～(c)に対応する側面図は、図11の(a)～(c)のようになる。

図11(a)では、ワークWに当接する4つの刃の加工代は全て $7\mu\text{m}$ である。(b)では、線C-C上の刃VIはワークWから $3\mu\text{m}$ 離れている。この位置で、刃VIの軸方向上下の他の刃の加工代は全て $7\mu\text{m}$ である。次の(c)の位置では、線C-C上の刃Vおよびその軸方向上下の他の刃の加工代は全て $7\mu\text{m}$ となっている。しかし、実際には切り残しが発生している。

【0027】

図12は、図10において1つ前の刃が振れによりワークWに当たらず切削できなかった場合の次の刃の加工代を説明する平面図である。また、図13は、切り残しが発生した場合の、図11の(a)～(c)に対応する側面図である。

図12に示す例では、当たらなかった刃VIの次に来る刃Vが切削する最大厚みは、幾何学的関係より約 $13\mu\text{m}$ となり、この部分が刃Vの加工代である。

図13において、送り方向の(a)～(c)の各位置における各刃の加工代は、図13中の四角内の上段に記載した数値となる。図から分かるように、13(c)の位置では、刃Vの加工代は、切り残し分を含め $13\mu\text{m}$ となる。

【0028】

図14は、ワークWの材質がSS400の場合におけるエンドミル加工について、1刃当たりの加工代(1刃当たりが切削する最大厚み) $X(\text{mm/tooth})$ と切削抵抗 $Y(\text{MPa})$ の関係を示した図である。1刃当たりの加工代が小さくなればなるほど切削抵抗は小さくなるが、加工代が0の場合でも切削抵抗は0にならない。これは切削抵抗の中に摩擦成分が含まれるためである。

SS400の場合のエンドミル加工の切削抵抗 Y は1刃当たりの最大加工代 X に対して下記式(1)で表すことができる。

【0029】

$$Y = 1430X + 96.2 \dots (1)$$

【0030】

そこで、図13に示す各位置での各刃の加工代 X を上記式(1)に当てはめて切削抵抗 Y を算出し、各刃の切削抵抗 Y を図13中の四角内の下段に記載した(単位 MPa は省略している。以下同様)。

図13(a)、(b)、(c)それぞれについて、各刃の切削抵抗 Y の和を見ると、最大は(c)の433、最小は(b)318であり、最大と最小の差は115である。この差が大きいほどワークWの加工面の真直度が大きくなる。すなわち、真直度を改善するには切削抵抗のばらつきを小さくすることが望ましい。

【0031】

以上までの説明により、エンドミル1を、図3のような発光部4aとカメラ部4bから成る振れ測定手段4を用いて測定して得られる形状データと、エンドミル1の刃の振れ量と切削抵抗の関係を述べてきた。

実施の形態1の発明は、上述のような関係をふまえて、エンドミルの加工代を補正するところに特徴を有するので、次にこの補正方法について説明する。

【0032】

図15は、実施の形態1によるエンドミルによる加工方法を説明する説明図である。図3で説明したような振れ測定手段4を用いて測定した撮影画像から得られる形状データは、これまでに説明したように、例えば、図13に示すエッジ部5のような画像である。そこで、図15では、図13の形状データを使って、エンドミル1の切込み量を補正する方

10

20

30

40

50

法について説明する。

【0033】

実施の形態1の加工方法による補正のポイントは、全ての刃がワークWに当接するように補正する点である。

図13の場合では、(b)の位置において、刃VIがワークWに接触していなかった。そこで、図15のように、刃VIがワークWに当接するように、ワークWに対してエンドミル1を3 μ mだけワークW側に補正するものである。すなわち、エンドミル1の基準の回転軸に対して、オフセット量を3 μ mとし、この量だけワークW側へオフセットする。

なお、オフセット方向(回転軸の移動方向)の説明において、ワークW側またはワークWから離れる側と言うときは、加工面に垂直方向ではなく、図8のB-B線で示す方向を指すものとする。

【0034】

図16は、図15のように補正した後の、各刃の加工代と切削抵抗を示す図である。四角内の上段は加工代を示し、下段は切削抵抗を示している。切削抵抗は、加工代をもとに上記の式(1)から算出したものである。

図16において、(a)(b)(c)のそれぞれについて各刃の切削抵抗の和のうち、最大は452、最小は429、最大と最小の差は23である。補正前は、先に図13で説明したように差は115であった。切削抵抗値に関しては、補正後は補正前に比べ最大値が約4%増えるが、最大値と最小値の差は約80%減っている。切削抵抗は真直度に大きく影響するので、補正後の真直度は補正前に比べおよそ80%小さくなる。

【0035】

このように、回転時のエンドミル1の各刃の振れ量を計測し、全ての刃が当接するよう径方向の切込み量(加工代)を補正することにより、製作時に起因する工具の振れや、加工装置へ取り付けに起因する工具の振れ、加工装置の主軸による振れにより、工具の刃が当たらない場合においても全ての刃を当接させ、切削抵抗の変動を抑制し、真直度の増大を抑制できる。

更に、エンドミル1を加工装置の主軸に取り付けて回転させた状態で各刃の振れ量を計測するため、ホルダの精度に起因する振れ、およびホルダへのエンドミルの取り付けに起因する振れの影響やゴミなどの付着や錆などの影響を考慮する必要がない。

また、取り付け作業に大きな制約がないため、エンドミルの取り付け・調整に時間を要することもない。更に回転時のエンドミル1の各刃の振れ量を計測できるため、エンドミル1の摩耗により刃振れの状態が変化した場合においても補正量を変えることにより真直度の悪化を抑制することができる。

【0036】

なお、実施の形態1においては、図1のように外周刃1cと底刃1dを備えるエンドミル1を例に挙げたが、外周刃1cのみでもよい。また、図1はソリッドエンドミルと呼ばれるものであるが、これに限定するものではなく、ソリッド以外にろうづけや先端交換式、スローアウェイ式でもよい。また、ホルダ2については、図2(a)のホルダ形状に限るものではない。またホルダ2を介さずエンドミル1を主軸3に直接つける形でもよい。

【0037】

また、回転時のエンドミル1の刃振れの計測方法については、図3~6を用いて説明したが、これに限定するものではない。例えば、図17のように、左側のエッジ6と右側のエッジ7を検出し、2点の距離Lの変化とその中心位置8の位置の変化を検出することにより回転時のエンドミル1の刃振れを計測してもよい。

また、タッチセンサーなどの接触式のセンサーを用いて回転時のエンドミルの刃振れを計測してもよい。また、ダミーワークを用意し、ダミーワークをエンドミルで加工し、加工面を計測することにより回転時の刃振れを計測してもよい。更に、径方向の加工代の補正量については、過度の補正は許容精度を超過する恐れがあるため上限値を設けてもよい。

【0038】

10

20

30

40

50

以上のように、実施の形態 1 のエンドミルによる加工方法によれば、複数条の外周刃が形成されたエンドミルを回転させて外周刃でワークを切削加工する加工方法であって、エンドミルを回転させて振れ測定手段により複数条の各刃の形状データを取得し、形状データをもとに各刃の振れ量を算出し、加工条件より決定される切削代に対し、各刃の振れ量を参照して各刃の加工代を求め、ワークに当たらない刃がある場合には、全ての刃がワークに当接するような加工代の補正値を計算し、補正値によりエンドミルの径方向の切込み量を補正するので、振れが大きく同時切れ刃数に変動してしまう場合にも、補正により、径方向切込み量を調整して同時切れ刃数を安定させ、切削抵抗の変動を小さくできるので、真直度を小さくすることができる。

また、エンドミルを回転させて各刃の振れ量を計測するため、取り付けに起因する振れの影響を考慮する必要がなく、エンドミルの取り付け時の調整が容易になる。

【0039】

実施の形態 2.

実施の形態 2 の加工方法は、エンドミル 1 の工具寿命に着目したものである。

図 3 のような発光部 4 a とカメラ部 4 b を有する振れ測定手段 4 を用いてエンドミル 1 の輪郭部を測定し、画像処理によりエンドミル 1 の外周刃 1 c のエッジ部 5 を検出して各刃の形状データを取得し、形状データをもとに各刃の振れ量を算出するのは、実施の形態 1 と同様である。

【0040】

実施の形態 2 では、予め、使用するエンドミル 1 に対して適当な工具寿命が得られる加工代を「寿命加工代」として設定しておく。工具寿命はエンドミル 1 の材質、ワーク W の材質、加工条件等で変わってくるので、寿命加工代は蓄積データ等を参照しながら決定すれば良い。具体的には、加工代を既知の状態にして、様々な加工代で寿命試験を実施し、所望の寿命が得られる加工代を「寿命加工代」とする。

次に、加工対象のワーク W に対する加工条件から決定される切削代に対し、各刃の振れ量を参照してエンドミル 1 の各刃の加工代を求める。

各刃の加工代が全て寿命加工代より大きくなる場合は、各刃の加工代のうち、その最小値が寿命加工代となるように、径方向の切込み量を補正する。補正手段は加工装置の制御部に備えておくものとする。

【0041】

例えば、一例として適当な工具寿命が得られる寿命加工代を $3\ \mu\text{m}$ とする。補正前の切削代が図 18 のようになっているとすると、それぞれの加工代は $7\ \mu\text{m}$ 、 $6\ \mu\text{m}$ 、 $7\ \mu\text{m}$ 、となっており、加工代の最小値は $6\ \mu\text{m}$ である。

そこで、寿命加工代が $3\ \mu\text{m}$ であることから、エンドミル 1 の回転中心をワーク W から遠ざかる側へ $3\ \mu\text{m}$ オフセットするよう補正する。なお、全ての加工代が寿命加工代以内であれば補正の必要は無い。

【0042】

図 19 は、補正後の側面断面図である。図に示すように、線 C-C における (a) の加工代は $4\ \mu\text{m}$ 、(b) の加工代は $3\ \mu\text{m}$ 、(c) の加工代は $4\ \mu\text{m}$ となる。

このような加工方法によれば、寿命加工代に近づけることで、切削抵抗を従来に比べ小さくできるので真直度を改善しつつ、かつ工具寿命も伸ばすことができ、工具寿命が延びるため工具コストおよび工具交換のコストも低減できる。

【0043】

以上のように、実施の形態 2 のエンドミルによる加工方法によれば、複数条の外周刃が形成されたエンドミルを回転させて外周刃でワークを切削加工する加工方法であって、工具寿命を考慮して予めエンドミルの寿命加工代を設定しておき、エンドミルを回転させて振れ測定手段により複数条の外周刃の各刃の形状データを取得し、形状データをもとに各刃の振れ量を算出し、加工条件より決定される切削代に対し、各刃の振れ量を参照して各刃の加工代を求め、各刃の加工代が全て寿命加工代より大きくなる場合は、各刃の加工代の最小値が寿命加工代となるように、エンドミルの径方向の切込み量を補正するので、真

10

20

30

40

50

直度を改善しながら、工具寿命も延ばすことができ、工具コストおよび工具交換のコストも低減できる。

【0044】

実施の形態3.

実施の形態3による加工方法は、実施の形態1および2の加工方法に次の点を付加するものである。すなわち、エンドミル1の形状データ、加工条件、回転時のエンドミル1の振れ量から真直度を事前に予測する真直度予測手段を備え、実施の形態1または実施の形態2のエンドミルの加工方法を適用して補正しても所定の真直度に入らないと予測される場合は、エンドミル1の装着状態を変更して、実施の形態1のような振れ測定手段4により測定を実施して、再度、エンドミル1の各刃の振れ量を算出し、所定の真直度が得られると判定すれば加工を開始するものである。

10

装着状態の変更とは、以下のいずれかを実施するものである。

(1) 工具交換エリアに待機させておいた別のエンドミルに自動的に工具交換する。

(2) 主軸3からホルダ2を360度とは異なる一定角度回転させ向きを変えて、主軸3に再装着する。すなわち、径方向に回転させてこれまでとは違う位置に固定する。

【0045】

上記において、真直度予測手段は加工装置の制御部に備えておくものとする。真直度の予測は、例えば次のように行う。

先ず微小時間毎に切削現象を分ける。エンドミル1がワークWを削っている箇所に力が負荷するが、この力はエンドミル1の形状、具体的にはすくい角、ねじれ角、逃げ角、およびワークWの材質から計算することができる。負荷する箇所、その力およびエンドミル1の剛性が分かればエンドミルのたわみ量が分かる。たわみ量からエンドミル全体の変形が分かり、その形状が切削面となる。これを微小時間毎に繰り返して重ね合わせることでよりエンドミル切削後の切削面の形状を予測することが可能である。この切削面の形状から真直度を得ることができる。

20

また、所定の真直度とは、ユーザが所望するワーク加工面の真直度を指し、予めユーザにより決定されているものとする。

【0046】

以上のように、実施の形態3のエンドミルによる加工方法によれば、実施の形態1または2の方法に加えて、エンドミルの形状データ、加工条件、振れ量から真直度を事前に予測し、径方向の切込み量を補正しても所定の真直度が得られないと判断した場合には、エンドミルの装着状態を変更して再度エンドミルの各刃の振れ量を算出し、所定の真直度が得られれば加工を開始するようにしたので、加工不良を防ぐことができ、ラインの停止時間削減できコストダウンに寄与することができる。

30

【0047】

実施の形態4.

実施の形態4による加工方法は、エンドミル1の形状データ、加工条件、回転時のエンドミル1の振れ量から真直度を事前に予測する真直度予測手段を備える点はまでは実施の形態3と同様である。実施の形態4では、更に、回転数と刃振れの関係のデータベース、および、回転数または切削速度と切削抵抗の関係のデータベースを備え、径方向の切込み量を補正しても所定の真直度が得られないと判断した場合には、回転数と刃振れの関係のデータベース、および、回転数または切削速度と切削抵抗の関係のデータベースを用いて、所定の真直度が得られるよう回転数を変更するものである。

40

【0048】

回転数の変更は、例えば次のように行う。

(1) 回転数を小さくして回転振れを小さくする。

(2) 送り量はそのままに回転数を大きくして切削速度を大きくして切削抵抗を小さくする。

【0049】

以上のように、実施の形態4のエンドミルによる加工方法によれば、実施の形態1また

50

は2の方法に加えて、回転数と刃振れの関係のデータベース、および、回転数または切削速度と切削抵抗の関係のデータベースを備え、エンドミルの形状データ、加工条件、振れ量から真直度を事前に予測し、径方向の切込み量を補正しても所定の真直度が得られないと判断した場合には、回転数と刃振れの関係のデータベース、および、回転数または切削速度と切削抵抗の関係のデータベースを用いて、所定の真直度が得られるように回転数を変更するようにしたので、真直度が悪化するのを抑制して不良を防ぐことができ、ラインの停止時間が削減できコストダウンに寄与することができる。

【0050】

実施の形態5.

実施の形態5は、実施の形態1の加工方法に、エンドミル1の形状データ、加工条件、回転時のエンドミル1の振れ量から真直度を事前に予測する真直度予測手段を備え、実施の形態1の加工方法を適用しても予測した真直度を参照して真直度が悪化すると判断した場合に更に次のような補正を行うものである。

すなわち、真直度予測手段において真直度を予測した結果、真直度が悪化して所定の真直度が得られないと判断した場合、その振れ量において真直度が最小になるようなエンドミル径方向の加工代の補正値を計算し、補正値をエンドミルの径方向の切込み量に適用して加工するものである。以下、真直度が悪化するようなエッジ部の例を挙げて説明する。

【0051】

図20は、実施の形態1で説明した図13に対応する図であるが、(b)の位置での線C-C上の刃振れ量が $107\mu\text{m}$ の場合を示している。この形状で何も補正を行わない場合の、各刃の加工代を図中の四角の中の上段に示している。また、下段にはその加工代に対応する各刃の切削抵抗を示している。図のように、切削抵抗でみれば図13の場合と同じである。各部位位置での各刃の切削抵抗の和のうち、最大は433、最小は318、最大と最小の差は115である。

【0052】

図21は、図20のような各刃の刃形に対して、実施の形態1の加工方法により、全ての刃が当接するような補正値を求めて径方向の切込み量を補正したものである。具体的にはエンドミル1の回転中心がワークに対して $100\mu\text{m}$ 近づくよう補正している。このときの各刃の加工代を図中の四角の中の上段に示し、対応する切削抵抗を下段に示している。図から分かるように、各刃の切削抵抗の和のうち、最大は1001、最小は843、最大と最小の差は158である。

実施の形態1のような加工方法を適用した場合、径方向の切込み量(切削代)の補正後は切削抵抗の最大値は2.31倍($433 \rightarrow 1001$)、最大と最小の差は1.38倍($115 \rightarrow 158$)になるため、真直度が大きくなる。このように、全ての刃が当接するよう径方向の切込み量を補正した場合、真直度が悪化する場合がある。

【0053】

そこで、実施の形態5では、所定の真直度が得られないと判断した場合には、真直度が最小になるように計算し、エンドミル1の径方向の切込み量を補正する。すなわち、切削抵抗の和の内、その最大値と最小値との差が最も小さくなるような径方向の切込み量に補正するものである。

【0054】

図22は、実施の形態5の加工方法により補正した一例を示す図である。図20の刃形を図22に示すように補正するものである。具体的には、エンドミル1の回転中心をワークから離れる方向へ $7\mu\text{m}$ オフセットする。図23は、図22の場合の、各刃の加工代と切削抵抗を示す図で、各刃の加工代を図中の四角の中の上段に示し、それに対応する各刃の切削抵抗を下段に示している。図から分かるように、各位置での各刃の切削抵抗の和のうち、最大は393、最小は288、最大と最小の差は105である。補正前の図20と比較して、径方向の切込み量(切削代)の補正後は切削抵抗の最大値は0.91倍($433 \rightarrow 393$)、最大と最小の差は0.91倍($115 \rightarrow 105$)になるため、真直度が小さくなる。

【0055】

以上のように、実施の形態5のエンドミルによる加工方法によれば、エンドミルの形状データ、加工条件、振れ量から真直度を事前に予測し、径方向の切込み量を補正しても所定の真直度が得られないと判断した場合には、真直度が最小になるような加工代の補正値を計算し、補正値をエンドミルの径方向の切込み量に適用して加工するので、真直度が悪化すると判断した場合において、効果的に真直度を小さくすることができる。

【0056】

実施の形態6.

実施の形態6の加工方法は、実施の形態3から実施の形態5のいずれかの加工法において、真直度を予測する際、更に、ワークの情報およびエンドミルの剛性の情報を予め与え、加工負荷によるワークの変形、エンドミルの変形、および加工面形状を予測し、真直度を計算するものである。このような構成によれば、ワークやエンドミルに起因する真直度の悪化も含めて真直度予測することができるため、その分より補正でき、真直度を改善することができる。

【0057】

以上のように、実施の形態6のエンドミルによる加工方法によれば、ワークの情報およびエンドミルの剛性の情報を有し、真直度を事前に予測する段階において、エンドミルの形状データ、加工条件、振れ量に加え、ワークの情報およびエンドミルの剛性の情報を加味して真直度を計算するので、真直度の予測がより正確になり、より真直度を小さくすることが可能となる。

【0058】

実施の形態7.

実施の形態7は、実施の形態1から実施の形態6で説明したようなエンドミルによる加工方法を、自動で実施するための加工装置に関するものである。

図24は、実施の形態7の加工装置を示すブロック図である。エンドミル1、ホルダ2、主軸3、および、発光部4aとカメラ部4bを備えた振れ測定手段4は、図3で説明したものと同一である。自動で行うために、エンドミル1を自動装着するための工具交換装置11、予備のエンドミル1を収納するための工具マガジン12、および、内蔵した加工プログラムに従い主軸3やその他の軸を制御し、かつ振れ測定手段4からの情報をもとに真直度を予測し、振れ量を計算し、径方向の切込み量を補正する制御部13備えている。制御部13には、各種データを記憶する記憶部を備えている。

【0059】

振れ測定手段4を用いて、加工に先立ち、回転時のエンドミル1の各刃の振れ量を測定する。振れ測定手段4の測定結果は、制御部13に送られる。制御部13では加工プログラムから読み取った加工条件と振れ測定手段4の測定結果から、エンドミル1のエッジ部5の図形を抽出する。これをもとに、各刃の振れ量を算出し、径方向の切込みの補正量を変化させたときの真直度の予測演算を実施する。それらの結果をもとに、実施の形態1から6のいずれかの方法を用いて真直度が小さくなる径方向の切込みの補正量でエンドミル1の回転軸の位置を補正し加工する。

【0060】

制御部13での真直度の演算結果が所定の真直度より大きくなる場合、工具交換装置11を用いて、主軸3よりエンドミル1およびホルダ2を外し、工具マガジン12に格納する。主軸3にはエンコーダの回転位置の検出機構と、サーボモータを備えており、任意の角度に回転させることができる。エンドミル1およびホルダ2を外した主軸3を360度の倍数以外の角度分回転させ、再度、工具交換装置11を用いて主軸3にエンドミル1およびホルダ2を装着する。

【0061】

工具摩耗などの影響で振れの状態が変わることがあるので、一定数の加工毎に振れ測定手段4で再びエンドミル1の各刃の振れを測定し、制御部13で真直度の予測演算を再度実施し、径方向の切込みの補正量を更新するのが望ましい。

なお、主軸 3 以外の可動軸は記載していないが、主軸 3 やワーク W の側のそれぞれに、可動軸があってもよい。また図示は縦型であるが横型の加工装置でもよい。

【0062】

以上のように、実施の形態 7 の加工装置によれば、複数条の外周刃が形成されたエンドミルと、エンドミルを回転させる主軸と、エンドミルの各刃の振れ量を取得する振れ測定手段と、振れ測定手段から得られた振れ量をもとにエンドミルの径方向の切込み量の補正量を演算して主軸の動きを制御する制御部とを備えているので、切削抵抗の変動を小さくできるため、加工面の真直度を小さくすることができる。

【0063】

また、上記に加えて、更に、エンドミルを収納する工具マガジンと、エンドミルを主軸に自動的に着脱する工具交換装置を備えたので、エンドミルの着脱を容易に行うことができる。

【0064】

実施の形態 8.

実施の形態 8 は、実施の形態 7 において、更にエンドミルの傾きを変更する傾斜手段を備えたものである。図 25 は、エンドミル 1 の傾斜手段を示す図である。

具体的には、実施の形態 7 の構成に加え、図 25 のように、ワーク W を固定して回転制御できるターンテーブル 14 と、主軸 3 を取り付けた可動板 15 と、その可動板 15 を固定箇所 16 を介して固定している固定板 17 とを備え、固定板 17 には曲率を持ったガイドレール 18 を有し、可動板 15 にはガイドレール 18 に沿って動く可動部 19 を備えている。

【0065】

このような構成によれば、可動部 19 をガイドレール 18 に沿って動かすことで、固定板 17 に沿った平面上でエンドミル 1 の傾きを調整することができる。更に、ターンテーブル 14 を回転させ、主軸 3 とターンテーブル 14 を相対的に動かすことで、任意の位置においてエンドミル 1 を任意の角度に傾けることができる。

【0066】

図 26 は、傾斜手段の他の例を示す図である。この場合は、図 25 ように主軸 3 を傾けるのではなく、コラム 20 にターンテーブル 14 を載置して、そのコラム 20 に、更にもう 1 軸分の回転機構を設け、5 軸加工機としたものである。

加工面の真直度は、図 27 のように、傾斜成分とうねり成分に分けることができる。したがって、傾斜成分とは逆向きにエンドミル 1 を傾けることで真直度を改善することができる。

【0067】

以上のように、実施の形態 8 の加工装置によれば、ワークの加工面に対してエンドミルの軸心を傾斜可能な傾斜手段を備え、制御部において加工時の傾斜成分が計算され、傾斜成分を打ち消すような方向に傾斜手段が制御されるので、加工時の刃の振れの影響を抑制した加工装置を得ることができる。

【0068】

実施の形態 1 か 6 で説明した加工方法、および実施の形態 7 から 8 で説明した加工装置は、スクロールのインポリュート加工に適用すれば、特に大きな効果を期待できる。

なお、本願発明は、その発明の範囲内において、各実施の形態を自由に組み合わせたり、各実施の形態を適宜、変更、省略したりすることができる。

【符号の説明】

【0069】

- 1 エンドミル、1 a シャंक部、1 b 刃部、1 c 外周刃、1 d 底刃、
- 2 ホルダ、2 a コレット、2 b テーパ面、2 c 押し当て面、3 主軸、
- 4 振れ測定手段、4 a 発光部、4 b カメラ部、5 エッジ部、6 左側のエッジ、
- 7 右側のエッジ、8 中心位置、11 工具交換装置、12 工具マガジン、
- 13 制御部、14 ターンテーブル、15 可動板、16 固定箇所、

10

20

30

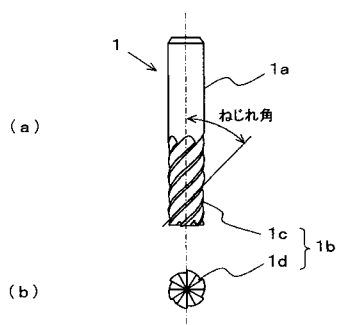
40

50

17 固定板、18 ガイドレール、19 可動部、20 コラム、W ワーク

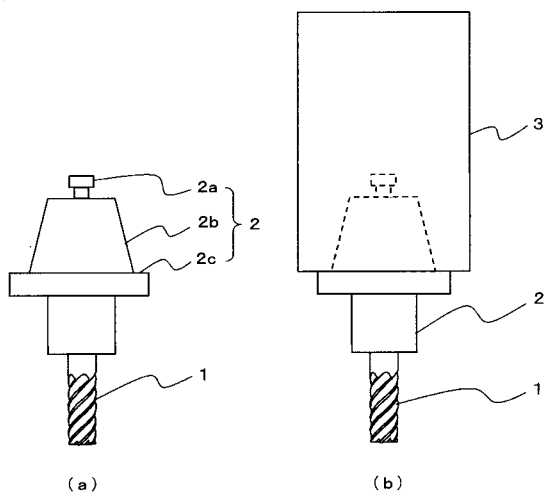
【図1】

図1



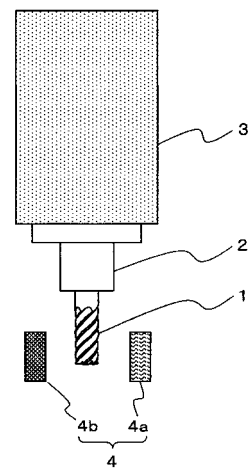
【図2】

図2



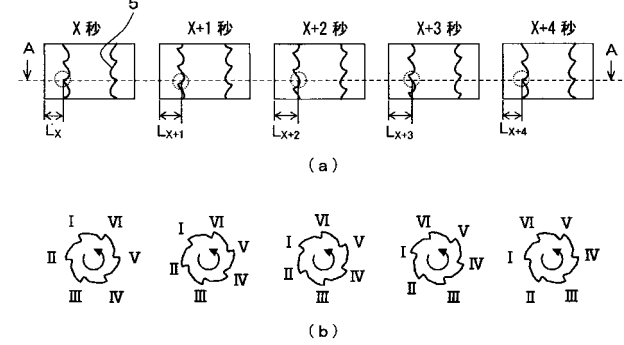
【図3】

図3



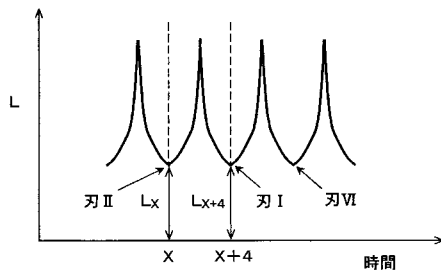
【図4】

図4



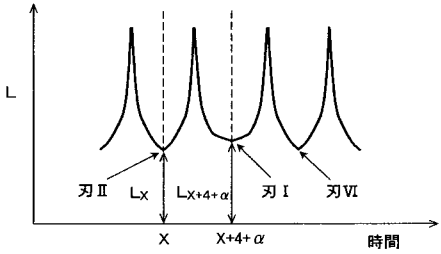
【図 5】

図 5



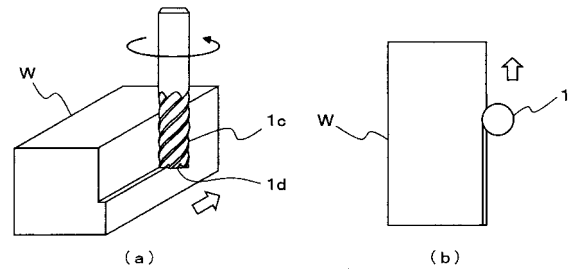
【図 6】

図 6



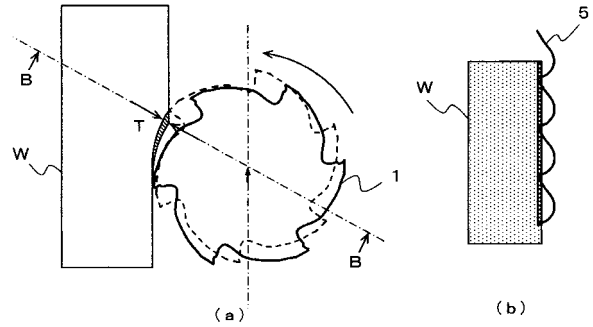
【図 7】

図 7



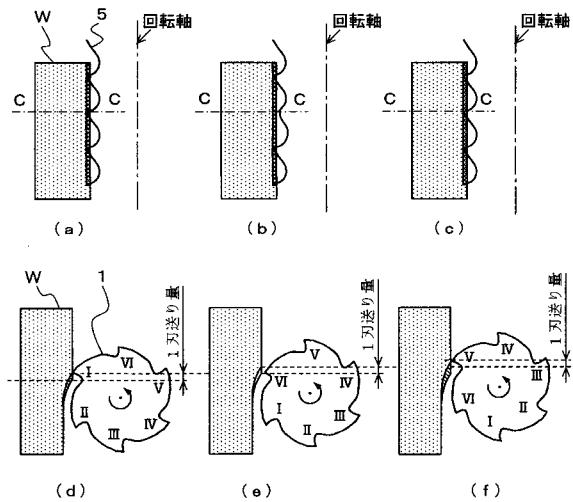
【図 8】

図 8



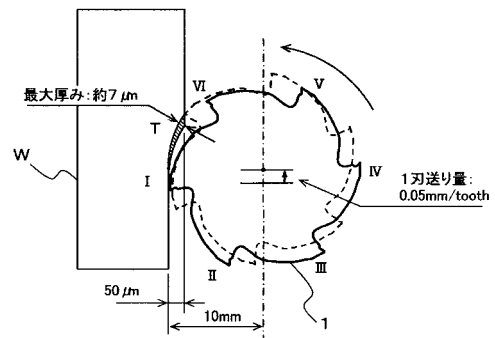
【図 9】

図 9



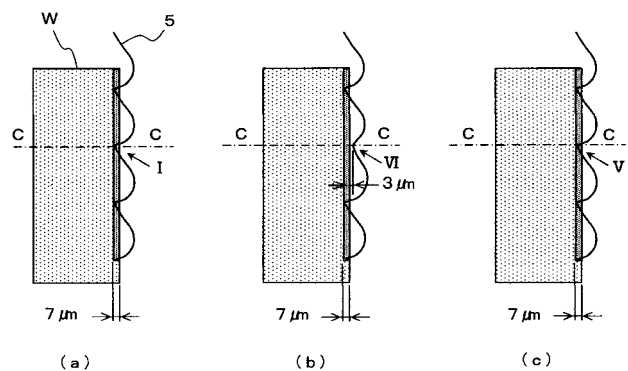
【図 10】

図 10



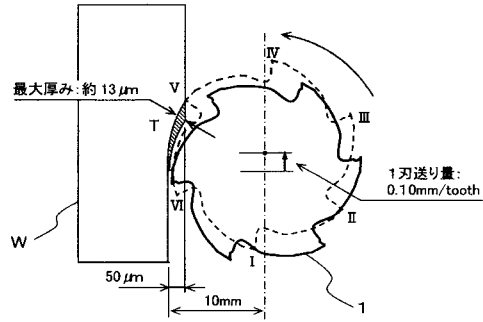
【図 11】

図 11



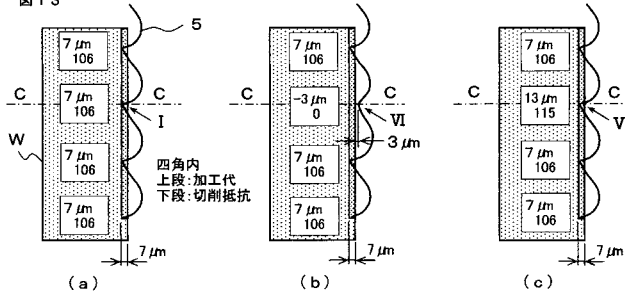
【図 12】

図 12



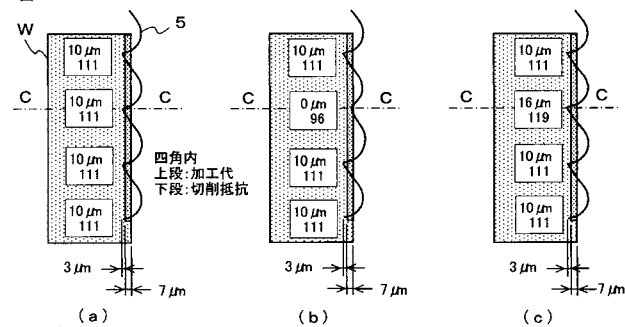
【図 13】

図 13



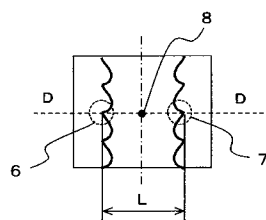
【図 16】

図 16



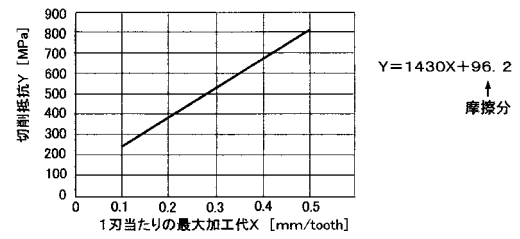
【図 17】

図 17



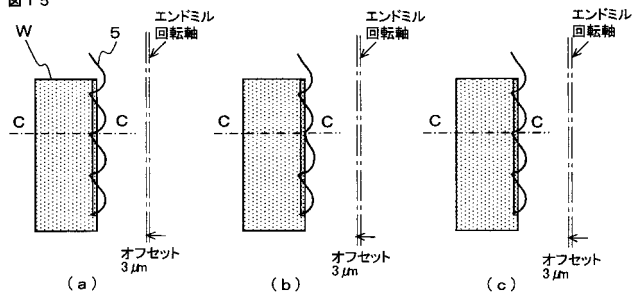
【図 14】

図 14



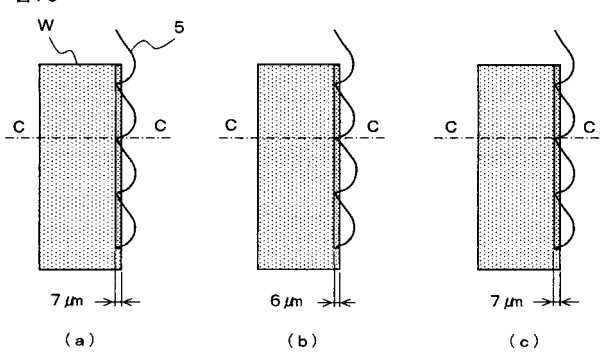
【図 15】

図 15



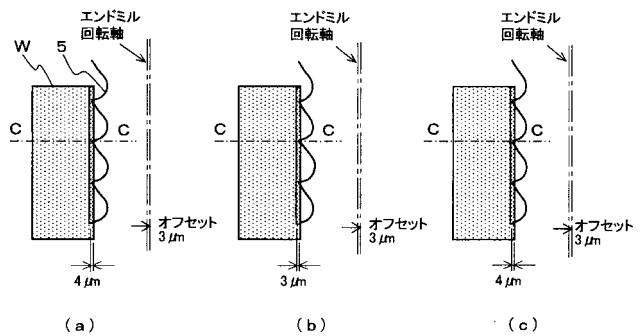
【図 18】

図 18



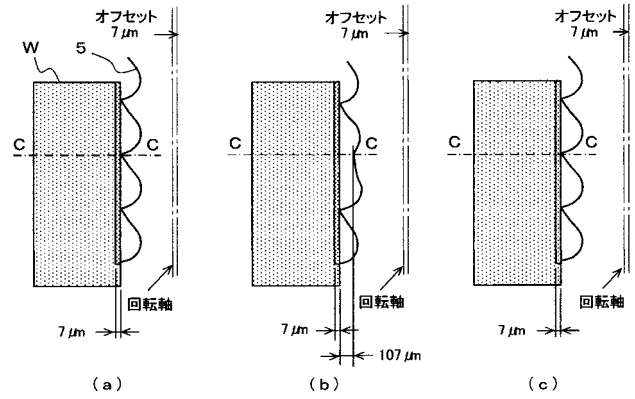
【図 19】

図 19



【図 2 2】

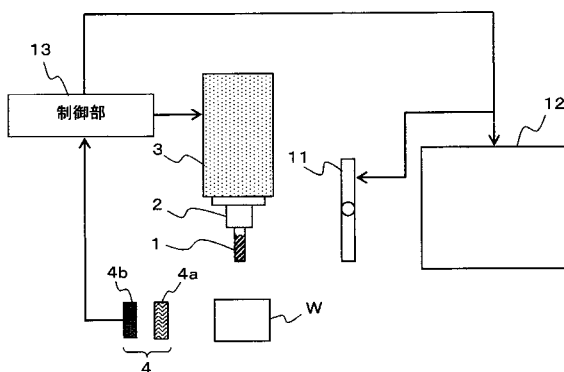
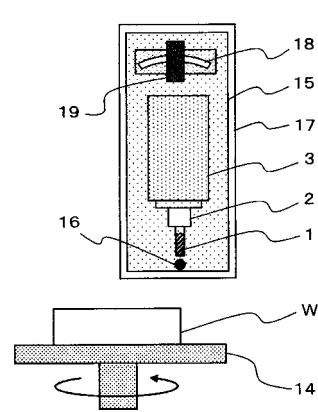
图 2 2



(5)

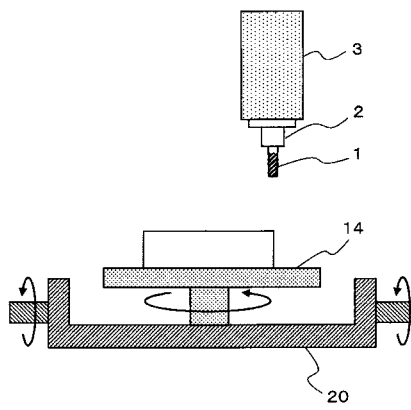
【图 25】

图 25



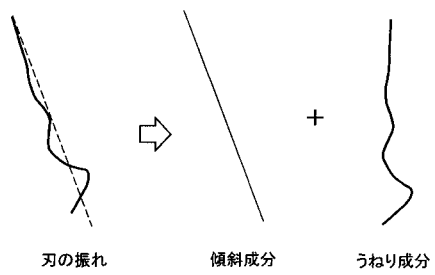
【図 26】

図 26



【図 27】

図 27



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード (参考)
B 2 3 Q 17/09 (2006.01) B 2 3 Q 17/09 Z

(72)発明者 平野 哲也

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

Fターム(参考) 3C001 KA01 KB04 TA03 TB02

3C022 AA09 AA10 KK03 KK06

3C029 EE02 EE20

3C269 AB05 BB03 EF10 JJ20 MN16 MN46 QA01