

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6422660号
(P6422660)

(45) 発行日 平成30年11月14日(2018.11.14)

(24) 登録日 平成30年10月26日(2018.10.26)

(51) Int.Cl.

F 1

B23C 3/16 (2006.01)
G05B 19/4099 (2006.01)B23C 3/16
G05B 19/4099

請求項の数 29 外国語出願 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2014-51384 (P2014-51384)
 (22) 出願日 平成26年3月14日 (2014.3.14)
 (65) 公開番号 特開2014-180750 (P2014-180750A)
 (43) 公開日 平成26年9月29日 (2014.9.29)
 審査請求日 平成29年3月14日 (2017.3.14)
 (31) 優先権主張番号 61/786,925
 (32) 優先日 平成25年3月15日 (2013.3.15)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 14/202,378
 (32) 優先日 平成26年3月10日 (2014.3.10)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 507241735
 マキノ インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国、45040 オハイオ州
 、メイシン、イノベーション ウェイ 7
 680
 (74) 代理人 100088605
 弁理士 加藤 公延
 (74) 代理人 100130384
 弁理士 大島 孝文
 (72) 発明者 中島 省吾
 アメリカ合衆国、45040 オハイオ州
 、メイソン、ウォーター・スプリング・ウ
 エイ 5634

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】曲面の正面削りにおいて工具の向きおよびステップオーバー距離を制御する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

フライス削り動作を行う方法であって、
 ミリングカッター、および機械加工されていないワークピース表面を有するワークピースを準備することと、
 1組のミリングカッター形状パラメータを受信することと、
 前記ワークピース表面から曲線的プロファイルを作り出すことと、
 前記曲線的プロファイルから半径パラメータを抽出することと、
 前記1組のミリングカッター形状パラメータに応じて初期ステップオーバー値を決定することと、
 前記1組のミリングカッター形状パラメータ、前記ワークピース表面の前記曲線的プロファイル、前記半径パラメータ、およびカッター傾斜角度の初期値に応じて表面粗度値を決定することと、

10

前記カッター傾斜角度値に応じて最小表面粗度値を決定することと、
 前記最小表面粗度値に応じて、前記カッター傾斜角度値を調節することと、

前記最小表面粗度値に応じて、計算されたステップオーバー値を調節することと、
 を含み、

前記計算されたステップオーバー値および前記調節されたカッター傾斜角度値は、前記ミリングカッターを動作させるために適用される、方法。

【請求項 2】

20

請求項 1 に記載の方法において、
前記表面粗度値を決定することは、

【数 1】

$$\begin{cases} x = r \cos \varphi \\ y = r \sin \varphi \end{cases}$$

に従って、前記 1 組のミリングカッター形状パラメータ、前記ワークピース表面の前記曲線的プロファイル、および前記半径パラメータに応じて表面位置を決定することをさらに含み、

前記 1 組のミリングカッター形状パラメータは、半径として r を含み、カッター角度位置として φ を含む、方法。 10

【請求項 3】

請求項 2 に記載の方法において、
前記表面粗度値を決定することは、

【数 2】

$$OE = \sqrt{BE^2 + OB^2}$$

に従って、前記 1 組のミリングカッター形状パラメータ、前記ワークピース表面の前記曲線的プロファイル、および前記半径パラメータに応じて、値 OE を決定することをさらに含み、

式中、 20

$OB = R \cos \varphi$ であり、

BE は、 $BE = AE - AB$ に従って決定され、

$AE = y$ であり、

$AB = R \sin \varphi$ であり、

R は、前記半径パラメータであり、

は、前記調節されたカッター傾斜角度値である、方法。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の方法において、

前記表面粗度値を決定することは、

$DE = R - OE$ に従って、前記 1 組のミリングカッター形状パラメータ、前記ワークピース表面の前記曲線的プロファイル、および前記半径パラメータに応じて、機械加工誤差値 DE を決定することをさらに含み、 30

式中、

R は、前記半径パラメータであり、

OE は、

【数 3】

$$OE = \sqrt{(AE - AB)^2 + OB^2}$$

に従って決定され、

$AB = R \sin \varphi$ であり、 40

$OB = R \cos \varphi$ であり、

は、前記調節されたカッター傾斜角度値であり、

$AE = r \sin \varphi$ であり、

前記 1 組のミリングカッター形状パラメータは、半径として r を含み、カッター角度位置として φ を含み、

前記機械加工誤差値は、計算された表面粗度を示す、方法。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の方法において、

【数 4】

$$\beta < 2\beta_0, \text{ 式中 } \beta_0 = \tan(r/2R), 50$$

に従って、前記調節されたカッター傾斜角度値を評価することをさらに含み、前記1組のミリングカッター形状パラメータは、半径としてrを含み、前記ワークピース表面の前記曲線的プロファイルは、半径としてRを含み、

調節された表面粗度は、前記計算された傾斜角度値が2°未満の場合に、前記調節されたカッター傾斜角度値で決定される、方法。

【請求項6】

請求項1に記載の方法において、

前記ミリングカッター形状パラメータのうちの選択された1つに基づき、前記初期ステップオーバー値を確立することをさらに含む、方法。

【請求項7】

請求項6に記載の方法において、

前記ミリングカッター形状パラメータのうちの前記選択された1つは、前記ミリングカッターの一部の直径である、方法。

【請求項8】

請求項1に記載の方法において、

前記カッター傾斜角度の初期値を0°として確立することをさらに含む、方法。

【請求項9】

請求項1に記載の方法において、

前記ミリングカッターは、正面フライスカッターである、方法。

【請求項10】

フライス削り動作を実行する方法において、

曲線状ワークピースを位置付けることと、

前記曲線状ワークピースに関連してフライス削り工具を位置付けることと、

前記曲線状ワークピースの機械加工表面プロファイルを作り出すことと、

前記曲線状ワークピースの前記機械加工表面プロファイル、および前記フライス削り工具の1組のパラメータに応じて、動的傾斜角度値を決定することと、

前記動的傾斜角度値、前記曲線状ワークピースの前記機械加工表面プロファイル、および前記フライス削り工具の1組のパラメータに応じて、最小表面粗度プロファイルを決定することと、

前記最小表面粗度プロファイルおよび前記動的傾斜角度値の状態に応じて、前記曲線状ワークピースに沿って移動する前記フライス削り工具の位置を変えることと、
を含み、

前記最小表面粗度プロファイルを決定することは、

【数5】

$$\begin{cases} x = r \cos \varphi \\ y = r \sin \varphi \end{cases}$$

に従って、前記フライス削り工具の前記1組のパラメータ、前記曲線状ワークピースの前記機械加工表面プロファイル、および前記曲線状ワークピースの半径パラメータに応じて、表面位置を決定することをさらに含み、

前記フライス削り工具の前記1組のパラメータは、半径としてrを含み、カッター角度位置としてを含む、方法。

【請求項11】

請求項10に記載の方法において、

前記動的傾斜角度値の状態は、90°未満である、方法。

【請求項12】

請求項10に記載の方法において、

前記最小表面粗度プロファイルを決定することは、

【数6】

$$OE = \sqrt{BE^2 + OB^2}$$

10

20

30

40

50

に従って、前記フライス削り工具の前記1組のパラメータ、前記曲線状ワークピースの前記機械加工表面プロファイル、および前記曲線状ワークピースの前記半径パラメータに応じて、値OEを決定することをさらに含み、

式中、

OB = R cos であり、

BEは、BE = AE - ABに従って決定され、

AE = y であり、

AB = R sin であり、

Rは、前記半径パラメータであり、

は、前記動的傾斜角度値である、方法。

10

【請求項13】

請求項12に記載の方法において、

前記最小表面粗度プロファイルを決定することは、

DE = R - OEに従って、前記フライス削り工具の前記1組のパラメータ、前記曲線状ワークピースの前記機械加工表面プロファイル、および前記曲線状ワークピースの前記半径パラメータに応じて、機械加工誤差値DEを決定することをさらに含み、

前記機械加工誤差値は、計算された表面粗度を示す、方法。

【請求項14】

請求項10に記載の方法において、

前記フライス削り工具を位置付けることは、前記動的傾斜角度値に応じて前記フライス削り工具の長さ方向軸に実質的に垂直な軸を中心として前記フライス削り工具を回転させることをさらに含む、方法。

20

【請求項15】

フライス削り動作を実行する方法において、

曲線状ワークピースを位置付けることと、

前記曲線状ワークピースに関連してフライス削り工具を位置付けることと、

前記曲線状ワークピースの機械加工表面プロファイルを作り出すことと、

前記曲線状ワークピースの前記機械加工表面プロファイル、および前記フライス削り工具の1組のパラメータに応じて、動的傾斜角度値を決定することと、

前記動的傾斜角度値、前記曲線状ワークピースの前記機械加工表面プロファイル、および前記フライス削り工具の1組のパラメータに応じて、最小表面粗度プロファイルを決定することと、

前記最小表面粗度プロファイルおよび前記動的傾斜角度値の状態に応じて、前記曲線状ワークピースに沿って移動する前記フライス削り工具の位置を変えることと、

を含み、

前記ワークピースを位置付けることは、前記動的傾斜角度値に応じて前記工具の回転軸に実質的に垂直な軸を中心として前記曲線状ワークピースを回転させることをさらに含む、方法。

【請求項16】

マルチパス4軸加工又はマルチパス5軸加工の方法において、

40

ミリングカッターについて1組のカッターパラメータを受信することと、

機械加工表面の曲線的プロファイルを評価することと、

前記曲線的プロファイルの評価工程において第1の応答を受信したら、前記曲線的プロファイルに応じて傾斜角度値を計算することと、

送り速度コマンド曲線を生成することと、

機械加工表面プロファイルおよびピークから谷までの表面粗度値を推定することであつて、この推定は、

【数7】

$$\begin{cases} x = r \cos \varphi \\ y = r \sin \varphi \end{cases}$$

50

に従って、前記 1 組のカッターパラメータ、前記機械加工表面の前記曲線的プロファイル、および前記機械加工表面の半径パラメータに応じて、表面位置を決定することであって、

前記 1 組のカッターパラメータは、半径として r を含み、カッター角度位置としてを含む、こと、

【数 8】

$$OE = \sqrt{BE^2 + OB^2}$$

に従って、前記 1 組のカッターパラメータ、前記機械加工表面の前記曲線的プロファイル、および前記機械加工表面の前記半径パラメータに応じて、値 OE を決定することであって、

式中、

$OB = R \cos$ であり、

BE は、 $BE = AE - AB$ に従って決定され、

$AE = y$ であり、

$AB = R \sin$ であり、

R は、前記半径パラメータであり、

は、前記計算された傾斜角度値である、こと、ならびに、

$DE = R - OE$ に従って、前記 1 組のカッターパラメータ、前記機械加工表面の前記曲線的プロファイル、および前記機械加工表面の前記半径パラメータに応じて、機械加工誤差値 DE を決定することであって、

前記機械加工誤差値は、計算された表面粗度を示す、こと、

により行う、ことと、

前記計算された表面粗度を評価することと、

前記計算された表面粗度に応じてステップオーバー値を調節することと、

を含む、方法。

【請求項 17】

請求項 16 に記載の方法において、

前記機械加工表面の前記曲線的プロファイルを評価することは、前記曲線的プロファイルの評価において第 2 の応答が受信されると、前記ミリングカッターの最適な送り値および最適な送り速度を決定することをさらに含む、方法。

【請求項 18】

請求項 16 に記載の方法において、

前記計算された表面粗度を評価することは、前記計算された表面粗度の評価において第 3 の応答が受信されると、ステップオーバー値を低減することをさらに含む、方法。

【請求項 19】

請求項 18 に記載の方法において、

前記ステップオーバー値を調節することは、前記機械加工表面の前記曲線的プロファイルを評価することに戻ることをさらに含む、方法。

【請求項 20】

請求項 1 に記載の方法において、

前記ミリングカッターを位置付ける工程を実行する前に、最小表面粗度値を決定する工程と、カッター傾斜角度値を調節する工程と、計算されたステップオーバー値を調節する工程とを、少なくとも 1 回反復することを含む、方法。

【請求項 21】

機械システムにおいて、

a. ミリングカッターを含む工作機械であって、ワークピースのワークピース表面に沿って移動するよう、前記ミリングカッターを動かすように動作可能である、工作機械と、
b. コンピュータと、

を含み、前記コンピュータは、

10

20

30

40

50

i . 1 組のミリングカッター形状パラメータを受信し、
 i i . 前記ワークピース表面から曲線的プロファイルを作り出し、
 i i i . 前記 1 組のミリングカッター形状パラメータに応じて初期ステップオーバー値を決定し、
 i v . 前記 1 組のミリングカッター形状パラメータ、前記ワークピース表面の前記曲線的プロファイル、前記半径パラメータ、およびカッター傾斜角度の初期値に応じて表面粗度値を決定し、
 v . 前記カッター傾斜角度値に応じて最小表面粗度値を決定し、
 v i . 前記最小表面粗度値に応じて、前記カッター傾斜角度値を調節し、
 v i i . 前記最小表面粗度値に応じて、計算されたステップオーバー値を調節し、
 v i i i . 前記計算されたステップオーバー値および前記調節されたカッター傾斜角度値に応じて前記ワークピースに沿って前記ミリングカッターを位置付けるよう前記工作機械に指示する、
 ように構成されている、機械システム。

【請求項 2 2】

請求項 2 1 に記載の機械システムにおいて、
 前記コンピュータは、前記ミリングカッター形状パラメータのうちの選択された 1 つに基づき、前記初期ステップオーバー値を確立するように構成されている、機械システム。

【請求項 2 3】

請求項 2 2 に記載の機械システムにおいて、
 前記ミリングカッター形状パラメータのうちの前記選択された 1 つは、前記ミリングカッターの一部の直径である、機械システム。

【請求項 2 4】

請求項 2 1 に記載の機械システムにおいて、
 前記コンピュータは、前記カッター傾斜角度の初期値を 0° として確立するように構成されている、機械システム。

【請求項 2 5】

請求項 2 1 に記載の機械システムにおいて、
 前記ミリングカッターは、正面フライスカッターである、機械システム。

【請求項 2 6】

請求項 2 1 に記載の機械システムにおいて、
 前記コンピュータが表面粗度値を決定するように構成されていることは、前記コンピュータが、

【数 9】

$$\begin{cases} x = r\cos\varphi \\ y = r\sin\varphi \end{cases}$$

に従って、前記 1 組のミリングカッター形状パラメータ、前記ワークピース表面の前記曲線的プロファイル、および前記半径パラメータに応じて表面位置を決定するように構成されていることをさらに含み、

前記 1 組のミリングカッター形状パラメータは、半径として r を含み、カッター角度位置として φ を含む、機械システム。

【請求項 2 7】

請求項 2 6 に記載の機械システムにおいて、
 前記コンピュータが表面粗度値を決定するように構成されていることは、前記コンピュータが、

【数 1 0】

$$OE = \sqrt{BE^2 + OB^2}$$

に従って、前記 1 組のミリングカッター形状パラメータ、前記ワークピース表面の前記曲線的プロファイル、および前記半径パラメータに応じて、値 OE を決定するように構成

10

20

30

40

50

されていることをさらに含み、

式中、

$OB = R \cos$ であり、

BE は、 $BE = AE - AB$ に従って決定され、

$AE = y$ であり、

$AB = R \sin$ であり、

R は、前記半径パラメータであり、

は、前記調節されたカッター傾斜角度値である、機械システム。

【請求項 28】

請求項 21 に記載の機械システムにおいて、

10

前記コンピュータが表面粗度値を決定するように構成されていることは、前記コンピュータが、

$DE = R - OE$ に従って、前記 1 組のミリングカッター形状パラメータ、前記ワークピース表面の前記曲線的プロファイル、および前記半径パラメータに応じて、機械加工誤差値 DE を決定するように構成されていることをさらに含み、

式中、

R は、前記半径パラメータであり、

OE は、

【数 11】

$$OE = \sqrt{(AE - AB)^2 + OB^2}$$

20

に従って決定され、

$AB = R \sin$ であり、

$OB = R \cos$ であり、

は、前記調節されたカッター傾斜角度値であり、

$AE = r \sin$ であり、

前記 1 組のミリングカッター形状パラメータは、半径として r を含み、カッター角度位置として r を含み、

前記機械加工誤差値は、計算された表面粗度を示す、機械システム。

【請求項 29】

30

請求項 21 に記載の機械システムにおいて、

前記コンピュータは、

【数 12】

$$\beta < 2\beta_0, \text{ 式中 } \beta_0 = \tan(r/2R),$$

に従って、前記調節されたカッター傾斜角度値を評価するように構成され、

前記 1 組のミリングカッター形状パラメータは、半径として r を含み、前記ワークピース表面の前記曲線的プロファイルは、半径として R を含み、

調節された表面粗度は、前記計算された傾斜角度値が $2\beta_0$ 未満の場合に、前記調節されたカッター傾斜角度値で決定される、機械システム。

【発明の詳細な説明】

40

【開示の内容】

【0001】

【背景】

CNC 工作機械は、部品を正確に機械加工して生産することができる。最近では、4/5 軸加工が、ダイ、金型、タービン翼、船用プロペラ、航空宇宙部品などといった、複雑な形状にますます使用されている。3 軸機械加工と比べて、CNC 工作機械が提供する工作機械の動きの追加的な自由度は、安定性の増大、良好なアクセス性、妥当な工作機械利用、および必要な部品設定の減少などの、多くの可能性および利点をもたらす。さらに、ミリングカッターの向きの動的適応 / 最適化の実行は、スカラップ高さ (scalloped height) の低下、可能なステップオーバー距離 / 値 (「ステップオーバー」) の増大、および良好

50

な表面品質ももたらし得る。

【0002】

場合によっては、機械加工時間を減少させ、これにより生産性を最大化するために、ミリングカッターのステップオーバー距離を最大化することが望ましい場合がある。機械加工された製品の表面粗度を最小化することが望ましい場合もある。これらの要因は、互いに調和しない場合がある。従来技術を使用すると、高いステップオーバー距離（高い生産性をもたらす）は、受け入れがたいほど粗い機械加工表面を産出し得るが、滑らかな機械加工表面は、低いステップオーバー距離（受け入れがたいほど低い生産性を生じる）を必要とする。よって、ステップオーバー距離と表面粗度との間には矛盾があり、明らかに矛盾するこれら2つのパラメータ間において最適なバランスをとることは困難となり得る。

10

【0003】

ミリングカッターの向きおよびステップオーバーを制御するさまざまな方法が使用されてきたが、発明者らより前に、本明細書に記載するような発明を行うかまたは使用した者はいないと考えられる。

【0004】

本発明は、添付図面と共に理解される、特定の実施例に関する以下の説明から、よりよく理解されると考えられる。添付図面では、同様の参照符号が、同じ要素を特定している。

【0005】

図面は、決して限定的とすることを意図しておらず、本発明のさまざまな実施形態が、図面に必ずしも描かれていらないものを含め、さまざまな他の方法で実行され得ることが、企図されている。本明細書に組み込まれ、その一部を形成する添付図面は、本発明の幾つかの態様を示しており、説明と共に、本発明の原理を説明するのに役立つものであるが、本発明は、図示する厳密な構成に限定されるものではないことを、理解されたい。

20

【0006】

〔詳細な説明〕

本発明の特定の実施例についての以下の説明は、本発明の範囲を制限するために使用されるべきではない。本発明の他の実施例、特徴、態様、実施形態、および利点が、以下の説明から当業者には明らかとなるであろう。以下の説明は、例として、本発明を実施するのに企図される最良のモードのうちの1つである。認識されるように、本発明は、本発明から逸脱しない、他の異なる明白な態様が可能である。したがって、図面および説明は、例示的な性質のものとみなされるべきであり、制限的なものではない。

30

【0007】

図1は、典型的な5軸CNC工作機械100と、それに対応する軸構成101を描いている。CNC工作機械100は、基部102と、カラム103と、ワークピース台104と、を備えて図示されている。

【0008】

図1に示すように、CNC工作機械100は、直交するx軸およびy軸に沿ってミリングカッターまたはミルを位置付けるように動作可能である。配列は変化してよいが、x軸スライド103が、基部102に沿って配列され、y軸スライド140がカラム103に沿って配列されている。図示する実施形態では、ワークピースが、直交するz軸に沿って位置付けられてよく、ワークピース台104が、z軸スライド150に沿って配列される。各方向における並進運動は、指向性スライド130、140、150における基部102、カラム103、およびワークピース台104の移動によりもたらされる。

40

【0009】

この実施形態の工作機械100は、AおよびCの回転軸に沿ってミリングカッター120を方向付けるように動作可能である。工作機械100は、カッター120の長さ方向軸を中心としたカッター120の回転運動をもたらすために、アクチュエータをさらに含む。A方向の動きは、A軸アクチュエータ160により図1で提供されている。C方向の動きは、C軸アクチュエータ170により図1で提供されている。

50

【0010】

ミリングカッター120および/またはワークピース(不図示)の前進は、連続的または同時に、運動軸に沿って達成され得る。CNC工作機械100の制御は、機械加工前はワークピースプロファイルに基づいて、機械加工後は機械加工プロファイルに基づいて、ワークピースに関連してカッターの位置付けおよび前進を決定するプログラムされたコードに由来する。複数軸のフライス削りにより、ミリングカッター120またはワークピースを再び搭載することなく、ワークピースに関連したカッター120のさまざまな範囲の位置が可能となり、複雑な表面を達成することのできる、さまざまな範囲の位置が提供される。

【0011】

CNC工作機械100がカッター120の長さ方向軸を中心としてミリングカッター120を回転させるように動作可能であることも、理解されたい。さらに、または代わりに、ブランクワークピースまたは他の種類のワークピースは、ブランク/ワークピースがミリングカッター120により係合されている間に、回転し、かつ/または別様に移動することができる。一部の場合では、ブランク/ワークピースは、ミリングカッター120が静止して保持される間に、回転する(また、軌道に乗る(orbit)、旋回する、かつ/または別様に移動することもできる)。一部の他の場合では、ブランク/ワークピースが回転し(また、別様に移動することができ)、カッター120が同時に回転する(例えば、反対方向に)。工作機械100構成のミリングカッター120側には運動軸のうち4つが、また、ワークピース台側には1つの運動軸が示されているが、運動軸の配分は、設備、ワークピースの形状、および製品プロファイルに応じて異なっていてよい。追加の運動軸が適用されてもよい。さらに、カッター120およびワークピースは双方、同じ運動軸上で移動する能力を有し得る。

10

【0012】

図2は、ワークピースの外側プロファイルのフライス削り中の、ワークピース110およびミリングカッター120の相対的な配列、ならびに、それらの転置方向を示す。図2は、図1の従来の5軸CNC工作機械100のミリングカッター120およびワークピース110の配列の実施例を描く。工作機械100は、A軸アクチュエータ160およびC軸アクチュエータ170を有する。ミリングカッター120は、スピンドル125または等価な取付デザインを通じて、工作機械100に取り付けられ、その長さ方向軸を中心に回転する。

20

【0013】

ワークピース110に対するミリングカッター120の位置は、フライス削りプロセスの表面品質および生産性に寄与する。運動の程度の組み合わせにより得られる位置付け能力により、カッターは、湾曲表面または複雑な表面をたどると共に、表面品質および生産性を保つことができる。図2では湾曲表面として示されているが、機械加工されるワークピース表面111の形状は、幾何学的デザインと特徴の寄せ集めであってよい。機械加工されるワークピース表面111は、さまざまな幾何学的プロファイルを含み得る。ワークピース表面111はまた、機械加工プロセスを受けているが、最終機械加工表面に達する上で依然として機械加工を必要としている、表面も含み得る。

30

【0014】

CNC工作機械100は、ブランクワークピース110が前進する間に軸方向に回転するミリングカッター120を操作する。ミリングカッター120は、カッター120のブレードが通過するたびに材料チップを削ることができるように、ワークピース110に沿って動く。

40

【0015】

ミリングカッター120は、回転するたびに、ある量の材料を除去する。除去される材料の量は、カッターの形状、カッターの回転速度、およびカッターの前進距離を含む、要因に基づく。ステップオーバーは、ミリングカッター120がワークピース110に沿って通過する間に切断部に係合されるカッター120の直径の部分を反映するパラメータで

50

ある。ステップオーバーの量は、表面粗度および生産性に影響し得る。ステップオーバーが小さいほど、滑らかな表面が可能となり、表面仕上げが改善される。ステップオーバーが大きいほど、通過1回当たりに除去される材料の量が多くなり、生産性が改善される。本出願の実施形態は、矛盾するパラメータの最適化を提供する。カッター120がワークピース110に沿って前進する速度は、送り速度(feed rate)であり、カッターの形状およびカッターの前進距離に関係している。送り速度は、カッター120の1回転当たりの材料前進距離として表わされ得る。

【0016】

ミリングカッター120の回転および前進は、非連続的切断動作を生じる。フライス盤100による表面切断部は、概して、完全に滑らかではない。一部の送り速度およびステップオーバー距離では、粗度は微小であり得るが、依然として、規則的な隆起部またはスカラップを含有し得る。微小な粗度を生じることは、通常、遅い送り速度および短いステップオーバー距離が使用されることにより機械加工時間がより長くなることから、生産性を犠牲に成り立つ。表面粗度のパラメータおよび発生は、カッター形状および送り速度から計算され得る。

【0017】

図3Aおよび図3Bは、曲面を機械加工する2つの異なる方法を描いている。図3Aに示すようにエンドミルカッター310で曲線状表面321を有するワークピース320をフライス削りすることは、低い動的剛性を有し、これは、機械加工においてチャタリングを結果として生じる可能性が高い。いったんチャタリングが起こると、生産性を低減し得るだけでなく、工作機械の摩耗も生じる場合があり、製造コストを増大させ得る。さらに、曲線状表面321が、ボールエンドミルを用いて機械加工される場合、許容可能な機械加工表面品質を得るために申し分のないステップオーバー距離および送り速度が必要とされる。その結果、これにより生産性が低減し得る。しかしながら、図3Bに示すように、曲線状表面341を有するワークピース340を、正面フライスカッター330で、4/5軸正面削りすることにより、カッター ワークピース 機械システムに、より高い剛性を与えることができ、システムの機械加工安定性を改善することができ、これにより、より高い切断性能パラメータが確実となり、本明細書に記載する機械加工方法の生産性が改善されると共に、機械加工される高品質の表面を入手することができる。したがって、合計の製造時間は、4/5軸正面削りを用いて、減少させることができる。

【0018】

本明細書に記載する4/5軸加工によりワークピースの複雑な表面を機械加工する方法の実施形態は、表面の各プロファイル地点で機械加工する間に生じる切断力がワークピースの最大横方向剛性の方向に実質的に作用するような、ワークピースとミリングカッターとの相対的な転置、および、それらの相対的な位置付けを伴う。

【0019】

本明細書に記載する方法の実施形態はまた、最適化されたステップオーバー距離および送り速度で高い表面仕上げを生じることにより、高い表面仕上げと共に高い生産性を示す。

【0020】

本明細書に記載する方法の実施形態は、1つまたは複数の工程を含み、ワークピースおよびミリングカッターの相対的な回転中、相対的な動きが、ワークピースの回転軸に沿って工具システムに与えられ、ワークピースの回転軸およびプロファイル生成方向に対する方向において、プロファイル生成の動きも与えられる。さらに、ミリングカッターは、ミリングカッターの軸と表面の各プロファイル地点に垂直な線との間の角度が実質的に直角より小さくなるように機械加工されている表面に対して位置付けられ、これにより、ワークピースのプロファイルは、ミリングカッターの端面により生成される。ワークピースとミリングカッターとの前述した相対的位置付け、および、それらの相対的転置は、機械加工されているワークピースの曲線状表面の近くにカッターの端面を位置付けることに寄与する。よって、切断力は、ワークピースの最大横方向剛性の方向に実質的に作用する。

10

20

30

40

50

【0021】

本明細書に記載する方法の実施形態は、ワークピースを曲げる力の減少を生じることができ、これにより、ステップオーバー距離および送り速度が増大され、生産性を改善することができる。同時に、機械加工されている曲線状表面の近くにミリングカッターの端面を前述したように位置付けることは、機械加工表面上の櫛状部（combs）のより低い高さまたはスカラップ形の粗さに寄与することができ、かなりのステップオーバー距離および送り速度で、スカラップは、プリセット表面仕上げ公差の範囲内にとどまる。したがって、本明細書に記載する方法の実施形態は、高い生産性、および高品質の表面仕上げの双方を同時に生じ得る。

【0022】

10

本明細書に記載する方法の実施形態では、ワークピースとミリングカッターとの相対的な位置付けは、好ましくは、ワークピースまたはミリングカッターの回転軸に実質的に垂直な軸を中心としてそれぞれまたは双方を回すことにより変更される。ワークピースおよび／またはミリングカッターの回転は、独立なものであるか、または、時間および／または空間において連動されてよい。このような回す動作により、ミリングカッターの端面と、機械加工されている表面とが、近接した関係にうまく位置付けられることができ、これにより、線幅が増大され、生産性が改善されると共に、高品質表面が機械加工されることができる。

【0023】

20

実施形態は、最適なステップオーバーおよびカッター中心線の傾斜角度、または、機械の回転軸に対してコンピュータ数値制御（CNC）工作機械上で機械加工されるべき被削材（work material）を自動的に選択する方法を含む。この方法は、CNC工作機械により実行されるべきコンピュータプログラムにおいて具体化され得る。

【0024】

4/5軸正面削りでは、カッターの向きにより、プロセスの柔軟性が与えられ、これは、3軸フライス削りでは得られない。カッターの向きは、一般的に、各機械加工地点で機械加工路に沿ってミリングカッターが前進する間、面法線に対するミリングカッター長さ方向軸のその起点において、傾斜角度によって局所座標系（LCS）で定められる。図4では、線401が、ミリングカッター420の長さ方向軸に沿って示されている。線401は、ミリングカッター420の切断表面の平面にある線MNに垂直である。線402は、機械加工路に沿って機械加工地点でワークピース410の表面と交差するワークピース410の表面特徴部の半径に沿っている。線401と線402との間の交差角度は、と呼ばれる傾斜角度403をもたらす。

30

【0025】

前述した利点により、4/5軸加工は、広範な産業において複雑な形状の表面を機械加工するのに使用される。4/5軸正面削りでは、所望の機械加工条件に適応するように、例えば高い材料除去をもたらし、かつ／または、凹状表面のガウジングを回避するために、傾斜角度を調節することができる。適切な傾斜角度を選択することは、さまざまな表面湾曲を有する複雑な部品で特に困難となり得る。図3Bに示すものなどの、挿入された正面フライスは、カッターの有効外径上に切断エッジ331を有する。したがって、0などの小さい傾斜角度で円筒形状を機械加工する場合、機械加工された形状は、図4のチャートに示すように凸状となり、ミリングカッター中心線に沿った幾何学的機械加工誤差が大きくなる。図4のチャートの反対側の端では、大きな傾斜角度で機械加工する場合、機械加工された形状は、凹状となり、ミリングカッター中心線に沿った幾何学的機械加工誤差が大きくなる。しかしながら、中程度の傾斜角度では、機械加工表面の3つのエリアが、図3に示すように、切断エッジ331と接触しており、これにより、小さなスカラップ高さが生じる。一方、凹状表面内のいくつかの領域は、ガウジングを回避するため、他の部分と比べて、はるかに大きい最小傾斜角度を必要とする場合がある。これに対する調整（trade-off）は、実際には、カッター経路に沿ってさまざまな最小（これが最適と考えられる）の傾斜角度を有することであり、これにより、機械加工中、カッタ

40

50

ーは、ガウジングなしで表面にできるだけ近接するように動的に構成される。しかしながら、幾らかの距離にわたり傾斜角度 の変更を施すことは、機械加工表面の品質に影響を及ぼす。本明細書に記載する方法の実施形態は、部品精度を改善するためにこのような傾斜角度 の変形を制御するのに使用され得る。

【 0 0 2 6 】

図5に示すように、カッター経路軌道に沿った地点 E' では、その位置は、以下の式により得られ：

【数1】

$$(1) \quad \begin{cases} x = r \cos \varphi \\ y = r \sin \varphi \end{cases}$$

式中、r は、カッター直徑の半径である。

【 0 0 2 7 】

よって、地点 E と曲線的な特徴部の中心との間の距離は、以下のとおり推定され得：

【数2】

$$(2) \quad OE = \sqrt{BE^2 + OB^2} = \sqrt{(AE - AB)^2 + OB^2}$$

式中、

【数3】

$$\overline{AB} = R \sin \beta, \overline{OB} = R \cos \beta$$

であり、R は、ワークピースプロファイルの表面特徴部の半径であり、 は、機械加工表面上の任意の位置 (E) における傾斜角度である。

【 0 0 2 8 】

したがって、局所座標系では、 $r \cos \beta$ の位置において、幾何学的機械加工誤差 $DE = a_o$ は、以下のように計算され得る：

【数4】

$$(3) \quad \overline{DE} = a_o = R - OE = R - \sqrt{(AE - AB)^2 + OB^2}.$$

【 0 0 2 9 】

式 (3) から、機械加工表面プロファイルが推定され得、これは、3つの重要なパラメータ：特徴部の半径、カッターの直徑および傾斜角度 によって決まる。式 (1) ~ (3) に基づいて、3つの異なる傾斜角度 のもとで線 M C N およびカッター中心線に沿った断面の機械加工表面プロファイルが、図6に示すように推定され得る。図6に描かれた結果は、正面フライス 330 の直徑が 100 mm であり、ワークピース表面 341 の特徴部の半径が 200 mm である、図3に示す実施形態に基づいている。傾斜角度 が約 0 である場合、最大機械加工誤差は、約 0.625 mm であり、傾斜角度 が中程度の傾斜角度 の約 2 倍といった高い値に設定されると、最大機械加工誤差は、約 -0.625 mm である。これら 2 つのケースと比較して、中程度の傾斜角度 での最大機械加工誤差は比較的小さい。しかしながら、機械加工表面は、1回通過した後は、依然として比較的粗い。

【 0 0 3 0 】

実践的な適用では、マルチパス 4 / 5 軸加工が大部分の部品に必要である。マルチパス 4 / 5 軸正面削りプロセスでは、生産性は、ステップオーバーが増大するにつれて増大する。しかしながら、大きなステップオーバー距離は、最終的な機械加工表面品質にも影響する。シングルパスフライス削りと異なり、マルチパスフライス削りでは、最適な傾斜角度 は、特徴部の半径およびカッターの直徑だけでなく、ステップオーバーのサイズによっても決まる。よって、高い材料除去率ならびに可能な最良の表面仕上げを達成するために、最適なカッター形状およびステップオーバー値の双方を選択することが有益であろう。

【 0 0 3 1 】

与えられた幾何学的情報に基づいて、異なる傾斜角度 で 5 回通過した後の表面プロフ

10

20

30

40

50

アイルが、100mmの直径および40mmのステップオーバーの正面フライスを用いた、2000mmの半径の円筒形表面について、図7に描かれている。図6は、3つの傾斜角度で単回通過の表面プロファイルを示し、図7は、9つの異なる傾斜角度(A~I)での各実行について5回通過した表面プロファイルを示す。1回目の通過の表面プロファイルは、セクション701に示される。40mmのステップオーバー距離をたどる2回目の通過の表面プロファイルは、セクション702に示される。40mmのステップオーバー距離をたどる3回目の通過の表面プロファイルは、セクション703に示される。40mmのステップオーバー距離をたどる4回目の通過の表面プロファイルは、セクション704に示される。40mmのステップオーバー距離をたどる5回目の通過の表面プロファイルは、セクション705に示される。プロファイルより上のエリアは、機械加工後に除去される領域である。それらの重なった領域を除去した後、異なる傾斜角度での機械加工表面プロファイル(A'~I')が図8に描かれる。最初は、傾斜角度が増大すると、機械加工表面プロファイルは、平らになる傾向がある(例えば、図8の線A'で示される表面プロファイルから、図8の線G'で表わされる表面プロファイルへの経過を参照)。しかしながら、傾斜角度がさらに増大すると、表面粗度の点では、それ以上明らかな改善がない(例えば、図8の線G'で表わされる表面プロファイルから、図8の線I'で示される表面プロファイルへの経過を参照)。

【0032】

これらすべてのケースについて、ピークから谷までの表面粗度が図9に描かれている。図9によれば、最初は、ピークから谷までの表面粗度は、傾斜角度が増大するにつれて減少し、表面粗度は、約1.43°(A'からG')の傾斜角度で、その最小値に達する。しかしながら、傾斜角度が増大し続けると、ピークから谷までの表面粗度は、増大し始める(G'からI')。この実施形態では、最適な傾斜角度は、図8および図9のG'から、=1.33として決定され得る。

【0033】

その一方で、ステップオーバーが増大するにつれて合計機械加工時間が減少し得る、ステップオーバー距離に関して、検討が行われ得る。しかしながら、ステップオーバーが増大すると、最小表面粗度も増大し、最小表面粗度を達成するための最適な傾斜角度が減少する。この影響は、40mmのステップオーバーを用いて生成された図8の表面プロファイルを、60mmのステップオーバーを用いて生成された図10の表面プロファイルと比べた場合に、明らかである。60mmのステップオーバーの図10から判断すれば、傾斜角度は、=1.2278として、0で最適化される。図11に描くように、ステップオーバーが80mmまで増大する(SからAA)と、機械加工表面プロファイルは、異なる傾斜角度の下であっても、スカラップ形状の表面プロファイルを示す。言い換えれば、傾斜角度の調節は、ステップオーバー距離があるレベルに達すると、滑らかな機械加工表面を生じない。したがって、前述のとおり、ステップオーバー距離(すなわち生産性)と表面粗度との間には矛盾がある。よって、特徴部の半径およびカッターの直径の所与の値で、オペレーターが高い材料除去率および許容可能な機械加工表面品質を達成することができるような、ステップオーバー距離および傾斜角度の最適値がある。

【0034】

図12に示すフローチャートは、4/5軸正面削りの操作において高い生産性および高い表面仕上げ品質の双方を達成するために最適なステップオーバー値および最適な傾斜角度を自動的に選択するように採用され得る、方法1200を描く。方法1200は、4/5軸CNC工作機械などの工作機械内部で1つもしくは複数のプロセッサまたは他のハードウェアにより実行されるコンピュータプログラムの一部であってよい。例示された方法1200では、手順1201、1202、1203、1204が寄せ集まって、最適な傾斜角度およびステップオーバーを最終的に決定するためにその後の手順で使用されるさまざまな初期パラメータを確立する。特に、図示のとおり、方法1200の手順1201は、カッター/工作機械の形状およびサイズなどの、カッター/工作機械の幾何学的情報を受信することを含む。例えば、カッターが円形切断エッジを備えた正面フライスを含

10

20

30

40

50

む場合、手順 1201 は、円形切断エッジの直径を受信することを含み得る。カッター形状は、カッターで識別される、事前にプログラムされるか事前に確立されたパラメータから受信され得る。CNC 工作機械は、どのカッターが使用されているかを決定し、光符号スキャン、RFID チップ、ラック位置などであるがこれらに限定されないさまざまな方法を通じてカッター形状を検索することができる。手順 1202 は、機械加工される前にワークピースの曲面を分析し、異なる領域について半径情報を抽出し、ワークピースプロファイルを作り出すことを含む。例示された方法 1200 の手順 1203 および手順 1204 では、ステップオーバー値および傾斜角度 がそれぞれ設定される。カッター / 工作機械の直径の 100 % の初期ステップオーバー値（例えば、正面フライスの円形切断エッジの直径）が確立され、初期傾斜角度 は、1 回目の反復のために 0 ° に設定される。 10

【0035】

次に、手順 1205、1206、1207、1208、1209 では、初期パラメータ は、それらのパラメータに基づいて最小表面粗度を決定するために適切な式に当てはめられて、それが許容可能な最小表面粗度であるかどうかを評価する。特に、手順 1205 では、機械加工表面プロファイルおよび表面粗度は、前述した式 (1)、(2)、(3) により手順 1201、1202、1203、1204 で提供されるパラメータを用いて推定される。いったん最小表面粗度 (a₀) が計算されると、手順 1206 で、その値が、傾斜角度 と相関させて記憶される。前述のとおり、角度 の値は、1 回目の反復において最初は 0 に設定される。条件節 (Conditional) 1207 では、手順 1206 で記憶された角度 の値は、以下の式に従って評価され得る： θ_0、式中 $\theta_0 = \text{atan} (r / 2R)$ であり、r は、ミリングカッターの半径であり、R は、ワークピース特徴部の半径である。 の値が 2 ° 未満である場合、 の値は、手順 1208 で増大され、手順 1205 の計算が、 の新たな値で反復される。例示された方法では、 の値は、 $\theta_0 + 0.2$ に等しくなるまで増大する。あるいは、 の値は、任意の適切な増加により増大され得る。手順 1205、1206、1207 は、 の増大した値が 2 ° 以上になるまで、 を反復のたびにさらに 0.2 ずつ増やして、反復されてよい。 の増大した値が 2 ° 以上になると、方法 1200 は手順 1209 に進み、ここで最小表面粗度が設定される。 20

【0036】

いったん最小表面粗度が得られたら、その値は、条件節 1210 で評価されて、それが許容可能であるかどうか判断する（すなわち、条件節 1210 は、最小表面粗度がプリセット表面粗度公差の範囲内にあるかどうかを判断する）。最小表面粗度が許容可能な値でない場合、手順 1211 で、ステップオーバーが調整され、手順 1205 ~ 1210 の計算および評価が、新たなステップオーバーを使用して反復される。方法 1200 の手順 1211 の一実施形態では、最小表面粗度が許容可能でない場合、ステップオーバーは、5 % ずつ減少される。あるいは、ステップオーバーは、任意の他の適切なインクリメントで減少され得る。 30

【0037】

最小表面粗度が許容可能である場合、方法は、手順 1212 に進み、手順 1206 からの最適な傾斜角度 および手順 1203 または手順 1211 からのステップオーバー距離が出力され、これらは、カッター / 工作機械および / またはワークピースを制御し割出するために工作機械により使用され得る。最適な傾斜角度 およびステップオーバーの使用により、ミリングカッターは、高い生産性で、高い機械加工表面品質の製品を製造することができる。 40

【0038】

図 13 では、フライス削りプロセス 1300 が、最適な工作機械形状およびステップオーバー値を選択するために、マルチパス 4 / 5 軸加工について、示される。前述のとおり、ステップオーバー距離（すなわち生産性）と表面粗度（すなわち構成要素の品質）との間に矛盾がある。表面特徴部半径およびミリングカッター直径の所与の値について、高い材料除去率および高い機械加工表面品質を達成するための、ステップオーバーおよび傾斜角度 の最適な値がある。フライス削りプロセス 1300 の手順 1310 は、フライス削 50

リパラメータを取り出す。フライス削りパラメータは、例えば、機械パラメータ、例えば各軸に沿った運動範囲、回転運動、並進運動範囲、および運動度の数 (number of degrees of motion) ; カッターパラメータ、例えば、タイプ、直径、ステップオーバー距離、ならびにカッターの回転および並進速度；ならびに、ワークピースパラメータ、例えば、サイズ、表面特徴部の領域、および表面上の地点における半径の値、を含み得るが、これらに限定されない。

【0039】

手順1320は、ワークピースの機械加工表面のプロファイルを評価する。機械加工表面の評価は、表面上の地点における表面特徴部を判断することと、表面積および半径などであるがそれらに限定されない、曲線状特徴部を、特徴部形状と共に識別することと、を含む。一実施形態では、曲線状特徴部は、表面特徴部の半径の変化を比較することにより判断され得る。評価される機械加工表面の部分が、曲線状プロファイルまたは曲線的プロファイルを含まない場合、プロセス1300は、手順1340を続け、この手順で、送り速度およびステップオーバー距離を含む、非曲線的プロファイルの機械加工パラメータを最適化する。曲線状プロファイルを有するワークピースでは、フライス削りプロセス1300は、手順1330を続けて、ワークピース表面上の機械加工路に沿ってカッターが前進する間に、曲線的プロファイルの特徴部の起点、および表面に対するカッターの長さ方向軸から傾斜角度 β を計算する。カッターが機械加工表面に沿って前進し、曲線的プロファイルの特性が変化すると、計算された傾斜角度も変化し、動的な傾斜角度値を生じる。

【0040】

傾斜角度 β は、生産性（高い材料除去率）および表面品質（ガウジングの回避）に取り組むため、さまざまな機械加工条件のために調節され得る。さまざまな機械加工条件に適応するため、さまざまな最小傾斜角度 β_{min} が、カッター通路に沿って決定され得る。カッターは、ガウジングなしで、ワークピースの表面をたどるように動的に構成され得る。

【0041】

傾斜角度 β の決定後、フライス削りプロセス1300は、手順1350で、傾斜角度 β およびフライス削りパラメータを、送り速度コマンド曲線に適用する。送り速度は、カッターがワークピースの機械加工表面に沿って移動すると、動的傾斜角度値を組み込むであろう。送り速度は、カッターが機械加工表面に沿って動く速度を表わす、生産性の表示である。

【0042】

フライス削りパラメータ、傾斜角度 β 、送り速度コマンド曲線、および機械加工表面から、最小表面粗度プロファイルが、手順1360で推定される。最小表面粗度は、フライス削りパラメータ、機械加工表面特徴、および傾斜角度 β を用いて計算されて、以下の式から切断部の軸方向深さを決定することができる：

【数5】

$$(1) \begin{cases} x = r\cos\varphi \\ y = r\sin\varphi \end{cases}$$

$$(2) \quad OE = \sqrt{BE^2 + OB^2} = \sqrt{(AE - AB)^2 + OB^2}, \text{ および}$$

$$(3) \quad DE = a_o = R - OE = R - \sqrt{(AE - AB)^2 + OB^2}$$

式中、

【数6】

$$\overline{AB} = R\sin\beta \quad \text{および} \quad \overline{OB} = R\cos\beta$$

であり、 r はカッター半径であり、 R は、表面特徴部半径であり、 β は傾斜角度である。

【0043】

10

20

30

40

50

最小表面粗度プロファイルは、手順 1370 で評価される。品質管理範囲外の表面粗度値については、フライス削りプロセス 1300 は、手順 1380 を含み得、ここで、ステップオーバー値が、表面粗度および生産性を最適化するよう調節される。フライス削りプロセス 1300 は、手順 1380 の後で、機械加工表面プロファイルを評価するように、手順 1320 に戻ることができる。品質管理範囲内の最小表面粗度プロファイルについては、機械加工表面の動的傾斜角度値、ステップオーバー値、および曲線的プロファイルを含むパラメータが、工作機械制御に適用される。一実施形態では、フライス削りプロセス 1300 は、最小表面粗度を改善するための連続プロセスであってよい。別の実施形態では、フライス削りプロセス 1300 は、ミリングカッターがワークピースの機械加工表面に沿って移動する際の連続プロセスであってよい。

10

【0044】

本発明のさまざまな実施形態を図示および説明してきたが、本明細書に記載する方法およびシステムのさらなる改作が、本発明の範囲を逸脱せずに、当業者による適切な改変により達成され得る。このような潜在的な改変のうちのいくつかには言及したが、その他については、当業者に明らかとなるであろう。例えば、前述した実施例、実施形態、幾何学的特徴、材料、寸法、比率、工程などは、例示的なものであり、必須ではない。したがって、本発明の範囲は、提示され得る請求項の観点で検討されるべきであり、明細書及び図面に示し説明した構造および動作の詳細に限定されないことが、理解される。

【0045】

〔実施の態様〕

20

(1) フライス削り動作を行う方法であって、

ミリングカッター、および機械加工されていないワークピース表面を有するワークピースを準備することと、

1組のミリングカッター形状パラメータを受信することと、

前記ワークピース表面から曲線的プロファイルを作り出すことと、

前記曲線的プロファイルから半径パラメータを抽出することと、

前記1組のミリングカッター形状パラメータに応じて初期ステップオーバー値を決定することと、

前記1組のミリングカッター形状パラメータ、前記ワークピース表面の前記曲線的プロファイル、前記半径パラメータ、および初期工作機械カッター傾斜角度に応じて表面粗度値を決定することと、

30

前記カッター傾斜角度値に応じて最小表面粗度値を決定することと、

前記最小表面粗度値に応じて、計算されたステップオーバー値を調節することと、
を含み、

前記計算されたステップオーバー値および前記計算された傾斜角度値は、前記ミリングカッターを動作させるために適用される、方法。

(2) 実施態様1に記載の方法において、

前記表面粗度値を決定することは、

【数7】

$$\begin{cases} x = r \cos \varphi \\ y = r \sin \varphi \end{cases}$$

40

に従って、前記1組のミリングカッター形状パラメータ、前記ワークピース表面の前記曲線的プロファイル、および前記半径パラメータに応じて表面位置を決定することをさらに含み、

前記1組のミリングカッター形状パラメータは、半径としてrを含み、カッター角度位置として を含む、方法。

(3) 実施態様2に記載の方法において、

前記表面粗度値を決定することは、

【数8】

$$OE = \sqrt{BE^2 + OB^2} = \sqrt{(AE - AB)^2 + OB^2}$$

に従って、前記1組のミリングカッター形状パラメータ、前記ワークピース表面の前記曲線的プロファイル、および前記半径パラメータに応じて前記表面位置と前記曲線的プロファイルの中心点との間の距離を決定することをさらに含み、

式中、

【数9】

$$\overline{AB} = R\sin\beta \text{ および } \overline{OB} = R\cos\beta$$

であり、

10

前記ワークピース表面の前記曲線的プロファイルは、半径としてRを含み、カッター傾斜角度として β を含む、方法。

(4) 実施態様1に記載の方法において、

前記表面粗度値を決定することは、

【数10】

$$\overline{DE} = a_o = R - OE = R - \sqrt{(AE - AB)^2 + OB^2}$$

に従って、前記1組のミリングカッター形状パラメータ、前記ワークピース表面の前記曲線的プロファイル、および前記半径パラメータに応じて、機械加工誤差値を決定することをさらに含み、

20

前記機械加工誤差値は、計算された表面粗度を示す、方法。

(5) 実施態様1に記載の方法において、

【数11】

$$\beta < 2\beta_0, \text{ 式中 } \beta_0 = \tan(r/2R),$$

に従って、前記計算された傾斜角度値を評価することをさらに含み、

前記1組のミリングカッター形状パラメータは、半径としてrを含み、前記ワークピース表面の前記曲線的プロファイルは、半径としてRを含み、

調節された表面粗度は、前記計算された傾斜角度値が $2\beta_0$ 未満の場合に、調節された傾斜角度値で決定される、方法。

【0046】

30

(6) 実施態様1に記載の方法において、

前記ミリングカッター形状パラメータのうちの選択された1つの100%として、前記初期ステップオーバー値を確立することをさらに含む、方法。

(7) 実施態様6に記載の方法において、

前記ミリングカッター形状パラメータのうちの前記選択された1つは、前記ミリングカッターの一部の直径である、方法。

(8) 実施態様1に記載の方法において、

前記初期傾斜角度値を0°として確立することをさらに含む、方法。

(9) 実施態様1に記載の方法において、

前記ミリングカッターは、正面フライスカッターである、方法。

40

(10) フライス削り動作を実行する方法において、

曲線状ワークピースを位置付けることと、

前記曲線状ワークピースに関連してフライス削り工具を位置付けることと、

前記曲線状ワークピースの機械加工表面プロファイルを作り出すことと、

前記曲線状ワークピースの前記機械加工表面プロファイル、および前記フライス削り工具の1組のパラメータに応じて、動的傾斜角度値を決定することと、

前記動的傾斜角度値、前記曲線状ワークピースの前記機械加工表面プロファイル、および前記フライス削り工具の1組のパラメータに応じて、最小表面粗度プロファイルを決定することと、

前記最小表面粗度プロファイルおよび前記動的傾斜角度値の状態に応じて、前記曲線状

50

ワークピースに沿って移動する前記フライス削り工具の位置を変えることと、
を含む、方法。

【0047】

- (11) 実施態様10に記載の方法において、
前記動的傾斜角度値の状態は、実質的に90°未満である、方法。
(12) 実施態様10に記載の方法において、
前記最小表面粗度プロファイルを決定することは、

【数12】

$$\begin{cases} x = r\cos\varphi \\ y = r\sin\varphi \end{cases}$$

10

に従って、1組のフライス削り工具パラメータ、前記曲線状ワークピースの前記機械加工表面プロファイル、および前記曲線状ワークピースの半径パラメータに応じて、表面位置を決定することをさらに含み、

前記1組のフライス削り工具パラメータは、半径としてrを含み、カッター角度位置として を含む、方法。

- (13) 実施態様12に記載の方法において、
前記最小表面粗度プロファイルを決定することは、

【数13】

$$OE = \sqrt{BE^2 + OB^2} = \sqrt{(AE - AB)^2 + OB^2}$$

20

に従って、前記1組のフライス削り工具パラメータ、前記曲線状ワークピースの前記機械加工表面プロファイル、および前記曲線状ワークピースの前記半径パラメータに応じて、前記表面位置と前記機械加工表面プロファイルの中心点との間の距離を決定することをさらに含み、

式中、

【数14】

$$\overline{AB} = R\sin\beta \text{ および } \overline{OB} = R\cos\beta$$

であり、

前記機械加工表面プロファイルは、半径としてRを含み、傾斜角度として を含む、方法。

- (14) 実施態様13に記載の方法において、
前記最小表面粗度プロファイルを決定することは、

【数15】

$$\overline{DE} = a_o = R - OE = R - \sqrt{(AE - AB)^2 + OB^2}$$

30

に従って、前記1組のフライス削り工具パラメータ、前記曲線状ワークピースの前記機械加工表面プロファイル、および前記曲線状ワークピースの前記半径パラメータに応じて、機械加工誤差値を決定することをさらに含み、

前記機械加工誤差値は、計算された表面粗度を示す、方法。

- (15) 実施態様10に記載の方法において、

前記フライス削り工具を位置付けることは、前記動的傾斜角度値に応じて前記フライス削り工具の長さ方向軸に実質的に垂直な軸を中心として前記フライス削り工具を回転させることをさらに含む、方法。

【0048】

- (16) 実施態様10に記載の方法において、

前記ワークピースを位置付けることは、前記動的傾斜角度値に応じて前記工具の回転軸に実質的に垂直な軸を中心として前記曲線状ワークピースを回転させることをさらに含む、方法。

- (17) マルチパス4/5軸加工の方法において、

ミリングカッターについて1組のカッターパラメータを受信することと、

40

50

機械加工表面の曲線的プロファイルを評価することと、
前記曲線的プロファイルの評価において第1の応答を受信したら、前記曲線的プロファイルに応じて傾斜角度値を計算することと、
送り速度コマンド曲線を生成することと、
機械加工表面プロファイルおよびピークから谷までの表面粗度値を推定することであつて、この推定は、
【数16】

$$\begin{cases} x = r\cos\varphi \\ y = r\sin\varphi \end{cases}$$

に従つて、前記1組のカッターパラメータ、前記機械加工表面の前記曲線的プロファイル、および前記機械加工表面の半径パラメータに応じて、表面位置を決定することであつて、

前記1組のミリングカッター形状パラメータは、半径として r を含み、カッター角度位置として φ を含む、こと、

【数17】

$$OE = \sqrt{BE^2 + OB^2} = \sqrt{(AE - AB)^2 + OB^2}$$

に従つて、前記1組のカッターパラメータ、前記機械加工表面の前記曲線的プロファイル、および前記機械加工表面の前記半径パラメータに応じて、前記表面位置と前記曲線的プロファイルの中心点との間の距離を決定することであつて、

式中、

【数18】

$$AB = R\sin\beta \text{ および } OB = R\cos\beta$$

であり、

前記ワークピース表面の前記曲線的プロファイルは、半径として R を含み、傾斜角度として β を含む、こと、ならびに、

【数19】

$$DE = a_o = R - OE = R - \sqrt{(AE - AB)^2 + OB^2}$$

に従つて、前記1組のカッターパラメータ、前記機械加工表面の前記曲線的プロファイル、および前記機械加工表面の前記半径パラメータに応じて、機械加工誤差値を決定することであつて、

前記機械加工誤差値は、計算された表面粗度を示す、こと、

により行う、ことと、

前記計算された表面粗度を評価することと、

前記計算された表面粗度に応じてステップオーバー値を調節することと、

を含む、方法。

(18) 実施態様17に記載の方法において、

前記機械加工表面の前記曲線的プロファイルを評価することは、前記曲線的プロファイルの評価において第2の応答が受信されると、前記ミリングカッターの最適な送り値および最適な送り速度を決定することをさらに含む、方法。

(19) 実施態様17に記載の方法において、

前記計算された表面粗度を評価することは、前記計算された表面粗度の評価において第3の応答が受信されると、ステップオーバー値を低減することをさらに含む、方法。

(20) 実施態様19に記載の方法において、

前記ステップオーバー値を調節することは、前記機械加工表面の前記曲線的プロファイルを評価することに戻ることをさらに含む、方法。

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図1】従来の5軸CNC工作機械の典型的な軸構成の斜視図を描いている。

10

20

30

40

50

【図2】図1の従来の5軸CNC工作機械のミリングカッターとワークピースとの代表的な配置の斜視図を描いている。

【図3A】曲面を機械加工するエンドミルカッターの斜視図を描いている。

【図3B】曲面を機械加工する正面フライスカッターの斜視図を描いている。

【図4】機械加工表面上のミリングカッターの傾斜角度の影響を描くチャートである。

【図5】4／5軸加工におけるミリングカッター傾斜角度を描いた図である。

【図6】対応する傾斜角度でミリングカッターを1回通過した後で製造されたさまざまな機械加工表面プロファイルを描いたチャートである。

【図7】ミリングカッターが40mmのステップオーバーで対応する傾斜角度にある状態で、合計5回通過したうちのそれぞれの通過で製造されたさまざまな機械加工表面プロファイルを描いたチャートである。

【図8】図7のデータを生成するのに使用されたプロセスで製造されたさまざまな最終機械加工表面プロファイルを描いたチャートである。

【図9】図7および図8のデータを生成するのに使用されたプロセスで製造されたピークから谷までの表面粗度を描いたチャートである。

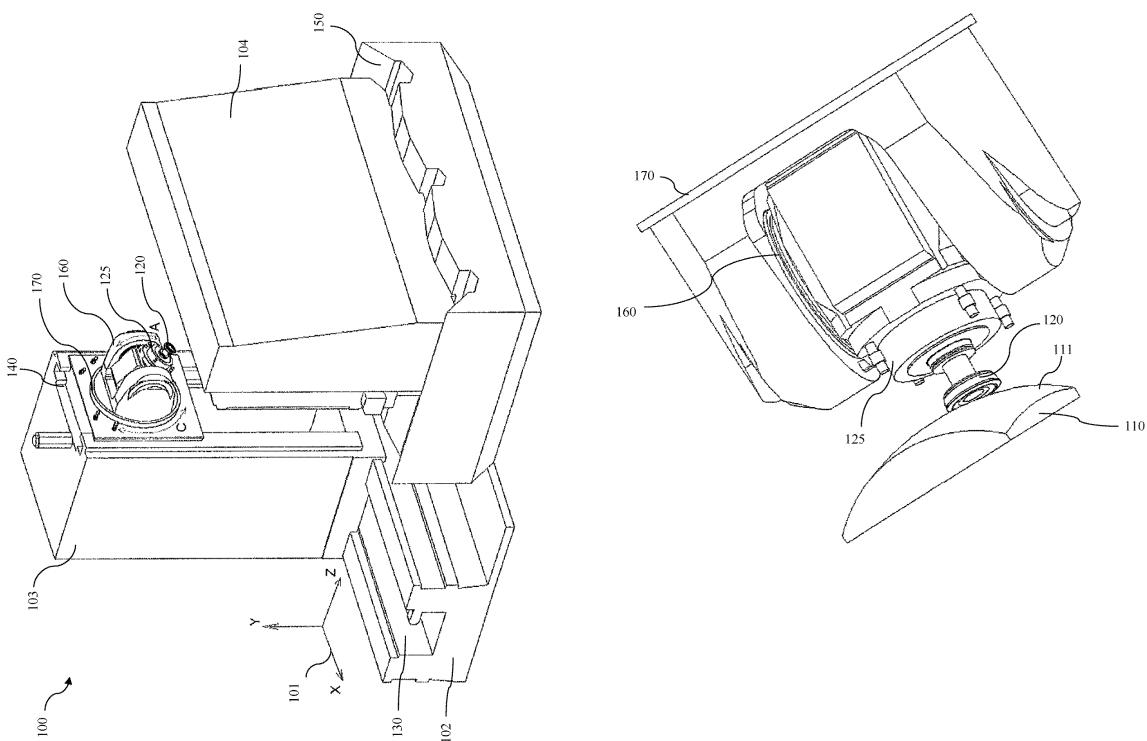
【図10】ミリングカッターが60mmのステップオーバーで対応する傾斜角度にある状態で、5回通過したことにより製造されたさまざまな最終機械加工表面プロファイルを描いたチャートである。

【図11】ミリングカッターが80mmのステップオーバーで対応する傾斜角度にある状態で、5回通過したことにより製造されたさまざまな最終機械加工表面プロファイルを描いたチャートである。

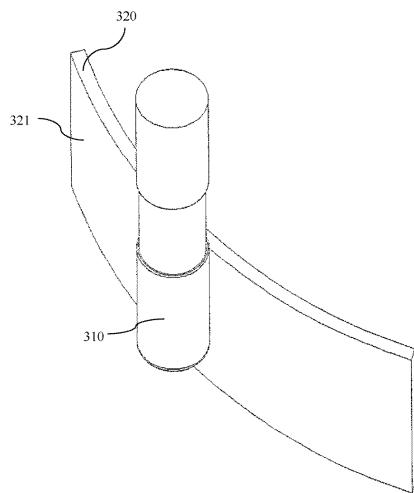
【図12】正面フライスカッターで曲面を機械加工するための傾斜角度およびステップオーバーの最適値を決定する方法を描いたフロー・チャートである。

【図13】正面フライスカッターで曲面を機械加工するための傾斜角度およびステップオーバーの最適値を決定する別の方針を描いたフローチャートである。

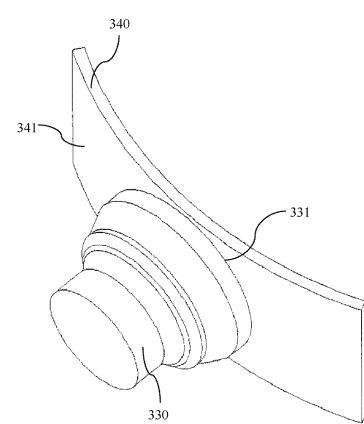
〔 図 2 〕



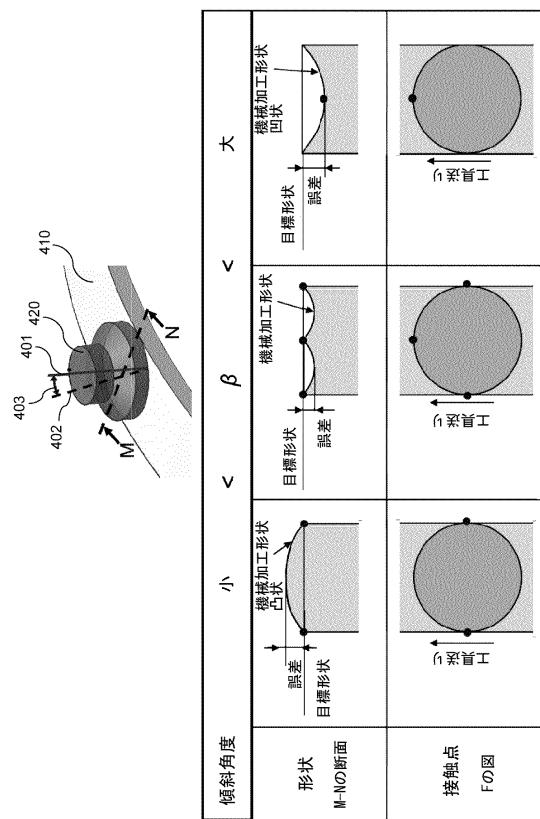
【図3A】



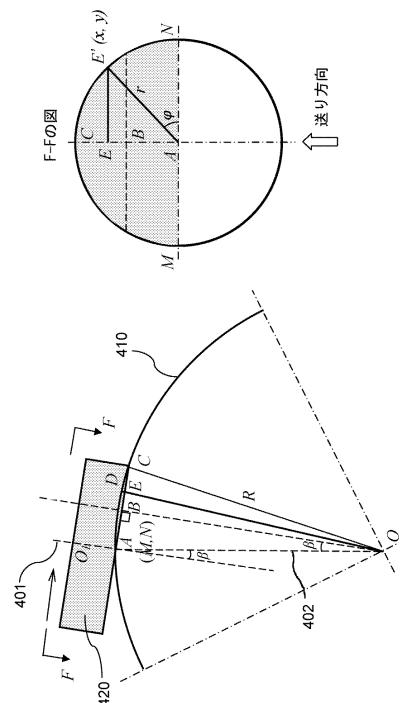
【図3B】



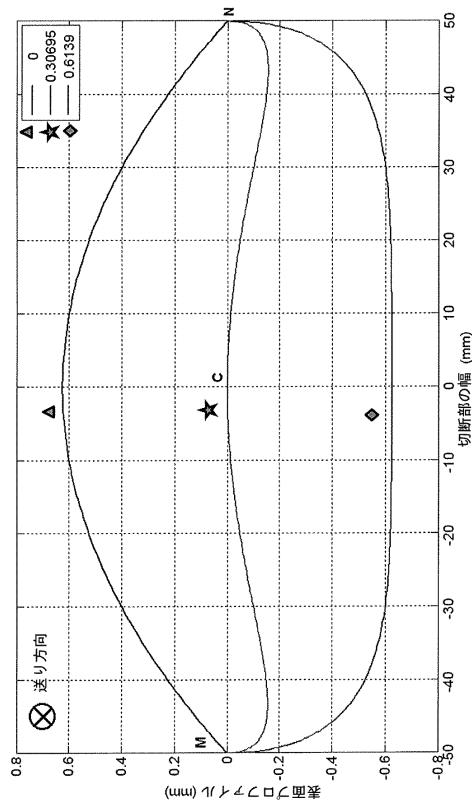
【図4】



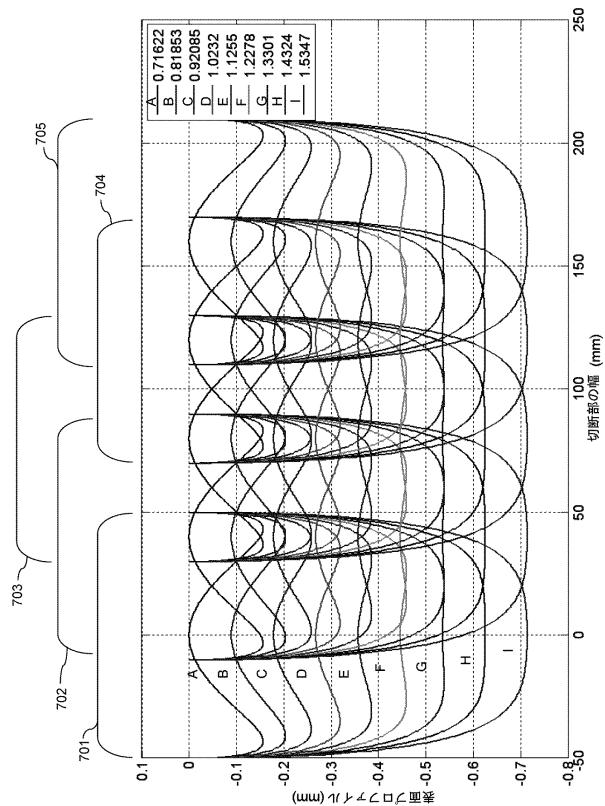
【図5】



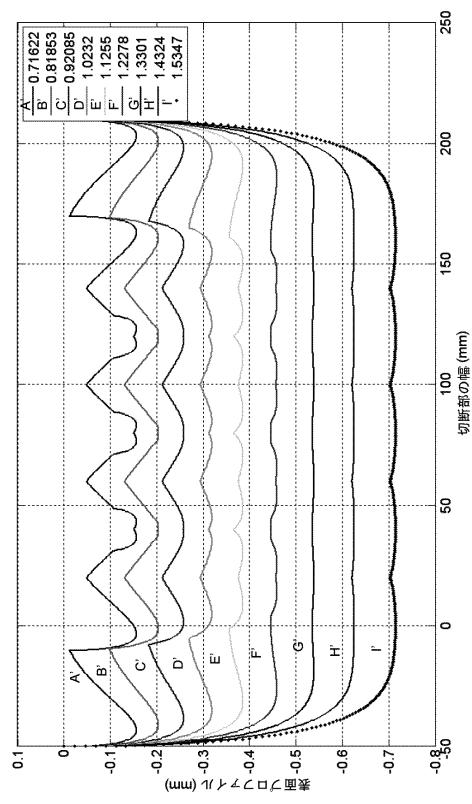
【 义 6 】



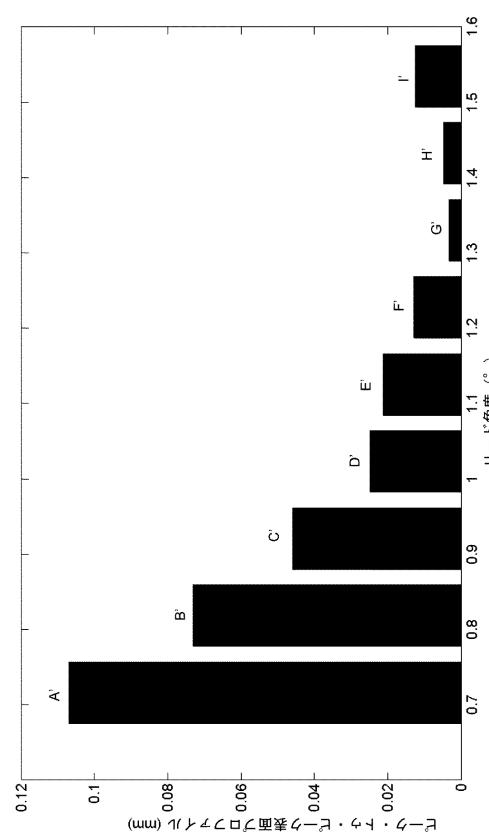
【 义 7 】



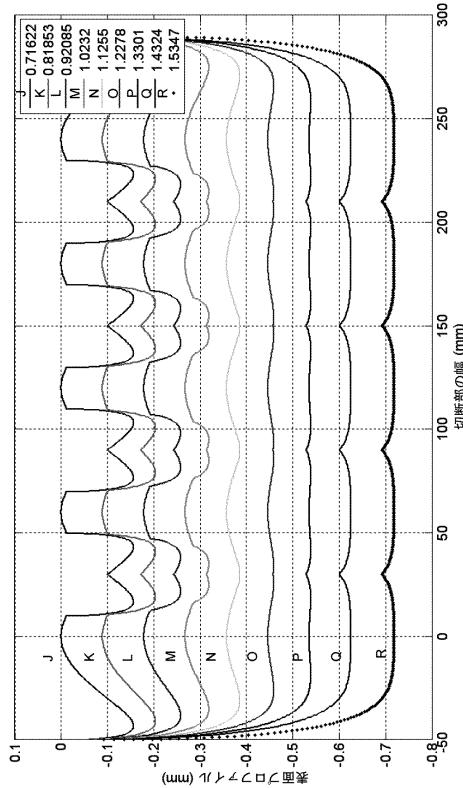
【 四 8 】



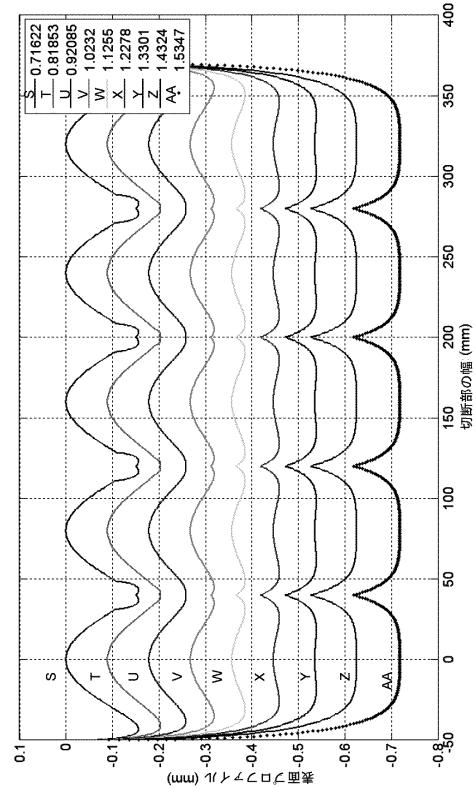
【図9】



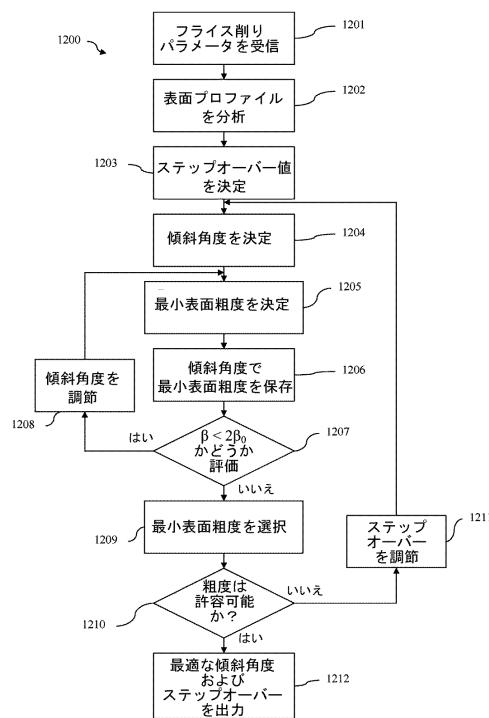
【図10】



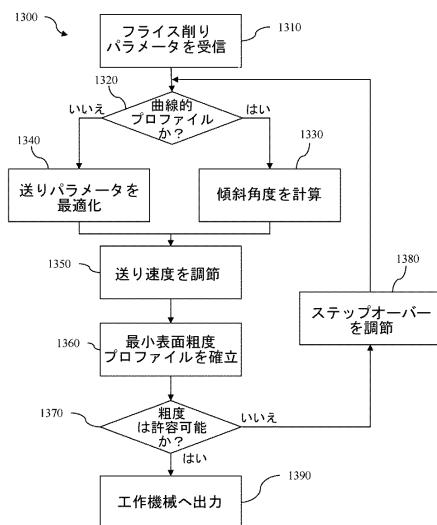
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(72)発明者 ワン・ジガン

アメリカ合衆国、45040 オハイオ州、メーソン、エッジブルック・コート 6448

(72)発明者 ラーソン・マーク

アメリカ合衆国、45011 オハイオ州、ハミルトン、チエスナット・オーク・コート 696

2

審査官 津田 健嗣

(56)参考文献 特開2002-157007(JP, A)

特開2006-263904(JP, A)

特開2003-145334(JP, A)

特開2008-44025(JP, A)

特開昭63-64105(JP, A)

特開昭63-64106(JP, A)

米国特許第4789931(US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23C 1/00 - 9/00

G05B 19/18 - 19/416

G05B 19/42 - 19/46