

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6700061号  
(P6700061)

(45) 発行日 令和2年5月27日(2020.5.27)

(24) 登録日 令和2年5月7日(2020.5.7)

(51) Int.Cl.			F I		
<b>B 2 3 B</b>	<b>1/00</b>	<b>(2006.01)</b>	B 2 3 B	1/00	Z
<b>B 2 3 Q</b>	<b>15/12</b>	<b>(2006.01)</b>	B 2 3 Q	15/12	A
<b>G 0 5 B</b>	<b>19/404</b>	<b>(2006.01)</b>	G 0 5 B	19/404	K
<b>B 2 3 B</b>	<b>21/00</b>	<b>(2006.01)</b>	B 2 3 B	21/00	C

請求項の数 4 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2016-31216 (P2016-31216)	(73) 特許権者	000212566
(22) 出願日	平成28年2月22日 (2016. 2. 22)		中村留精密工業株式会社
(65) 公開番号	特開2017-127960 (P2017-127960A)		石川県白山市熱野町口15番地
(43) 公開日	平成29年7月27日 (2017. 7. 27)	(73) 特許権者	899000079
審査請求日	平成31年2月7日 (2019. 2. 7)		学校法人慶應義塾
(31) 優先権主張番号	特願2016-9268 (P2016-9268)		東京都港区三田2丁目15番45号
(32) 優先日	平成28年1月20日 (2016. 1. 20)	(73) 特許権者	504139662
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)		国立大学法人東海国立大学機構
			愛知県名古屋市千種区不老町1番
		(74) 代理人	100114074
			弁理士 大谷 嘉一
		(72) 発明者	中西 賢一
			石川県白山市熱野町口15番地 中村留精密工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 旋削加工方法及びそれを用いた工作機械

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

1つ又は2つの主軸と、2つ以上の刃物台を備えた旋削加工装置を用いたワークの旋削加工方法であって、  
回転可能な主軸にワークを保持し、第1刃具の刃先と第2刃具の刃先との回転中心軸線まわり配置を、対向180°バランス配置に対して所定のオフセット角  $\alpha_1$  だけオフセットした状態に配置した状態で旋削加工するものであり、前記所定のオフセット角  $\alpha_1$  はびり振動の周波数を算出する演算手段にて得られたびり振動周波数に基づいて決定されたものであることを特徴とする旋削加工方法。

【請求項2】

1つ又は2つの主軸と、2つ以上の刃物台を備えた旋削加工装置を用いたワークの旋削加工方法であって、  
回転可能な主軸にワークを保持し、第1刃具の刃先と第2刃具の刃先とを回転中心軸線まわりに対向配置し、前記第1刃具と第2刃具との刃先のうち、一方又は両方を前記回転中心軸線まわりにオフセット角  $\alpha_2$  と  $\alpha_3$  との範囲(揺動角  $\theta$ )にて揺動運動させながら旋削するものであり、前記オフセット角  $\alpha_2$  と  $\alpha_3$  はびり振動の周波数を算出する演算手段にて得られたびり振動周波数に基づいて決定されたものであることを特徴とする旋削加工方法。

【請求項3】

主軸と、前記主軸の回転中心軸線まわりに対向配置した第1刃具をセットする第1セッ

ト手段と、第2 刃具をセットする第2 セット手段とを備え、  
 前記主軸にワークを保持し、旋削加工する際のびびり振動の検出手段と、  
 前記びびり振動の有無を判別する判別手段と、  
 前記判別手段にてびびり振動有りと判別された際にそのびびり振動の周波数を算出する演算手段と、  
 前記演算手段にて得られたびびり振動の周波数に基づいて前記第1 刃具の刃先と第2 刃具の刃先との回転中心軸線まわり配置を、対向180° バランス配置に対して前記第1 セット手段と第2 セット手段とのうち、一方又は両方に所定のオフセット角  $\theta_1$  となるように移動制御手段を有することを特徴とする工作機械。

【請求項4】

10

主軸と、前記主軸の回転中心軸線まわりに第1 刃具をセットする第1 セット手段のみあるいは対向配置した第1 刃具をセットする第1 セット手段と、第2 刃具をセットする第2 セット手段とを備え、  
 前記主軸にワークを保持し旋削加工する際のびびり振動の検出手段と、  
 前記びびり振動の有無を判別する判別手段と、  
 前記判別手段にてびびり振動有りと判別された際にそのびびり振動の周波数を算出する演算手段と、  
 前記演算手段にて得られたびびり振動の周波数に基づいて前記第1 セット手段又は第2 セット手段の一方又は両方を回転中心軸線まわりにオフセット角  $\theta_2$  と  $\theta_3$  との範囲に揺動制御する揺動制御手段とを有することを特徴とする工作機械。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、びびり振動の発生を抑えた旋削加工方法及びそれを用いた工作機械に関する

【背景技術】

【0002】

旋盤等の主軸にワークの一端側を保持させ旋削加工する場合に、被旋削物が長尺部材になると半径方向の剛性が低下するために加工精度が低下したり、びびり振動が発生してしまう問題があった。

30

従来は、びびり振動の発生を抑えるために心押し手段にてワーク先端のセンター部を支持したり、ローラガイド等のサポート手段にてワークの側部を振れ止め支持する方法が採用されていた。

しかし、これらの従来技術はワークの加工形状に制約を与えたり、特別なセンター支持機構や側部のガイド機構を必要とする等の課題があった。

【0003】

特許文献1には、慣性モーメント等により、回転速度を変動させる際の変動幅及び変動周期を算出し、それに基づいて回転速度の変動を制御することで、びびり振動を抑制する方法を開示する。

したがって、同公報に開示する旋削方法は、ワークの回転速度変化を制御するためのものである。

40

特許文献2には、粗加工チップと仕上加工チップとを刃先が180° ずれた位置になるように配置し、旋削加工する技術を開示する。

しかし、同公報に開示する加工方法はでは旋削の安定性が低下してしまい、ワークの剛性の低い場合は利用できない問題があった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2014 - 79867号公報

【特許文献2】特開2014 - 195856号公報

50

【特許文献3】特開2010-271880号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明は、旋削加工時におけるびびり振動の発生を容易に抑制することができ、生産性の高い旋削加工方法及びそれを用いた工作機械の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明に係る旋削加工方法は、1つ又は2つの主軸と、2つ以上の刃物台を備えた旋削加工装置を用いたワークの旋削加工方法であって、回転可能な主軸にワークを保持し、第10  
1 刃具の刃先と第2 刃具の刃先との回転中心軸線まわり配置を、対向180°バランス配置に対して所定のオフセット角 $\theta_1$ だけオフセットした状態に配置した状態で旋削加工することを特徴とする。

ここで、第1 刃具の刃先と第2 刃具の刃先との回転中心軸線まわり配置を、対向180°バランス配置に対して相対的にずらすことにより、各刃先(切れ刃)で生じる再生びびり振動をキャンセルすることにより、このびびりの発生を抑えることができると推定される。

回転可能な主軸には、回転数が制御されたものやオープンループ制御されたもの等が含まれ、特に限定はない。

【0007】

本発明は、1つ又は2つの主軸と、2つ以上の刃物台を備えた旋削加工装置を用いたワークの旋削加工方法であって、回転可能な主軸にワークを保持し、第1 刃具のみあるいは第1 刃具の刃先と第2 刃具の刃先とを回転中心軸線まわりに対向配置し、前記第1 刃具と第2 刃具との刃先のうち、一方又は両方を前記回転中心軸線まわりにオフセット角 $\theta_2$ と $\theta_3$ との範囲(揺動角)にて揺動運動させながら旋削加工してもよい。

また、上記2つの旋削加工方法を組み合わせてもよい。

この場合に、刃先のオフセットは刃先の逃げ角が所定の角度を下回らないようにオフセットするものであるのが好ましい。

ここで所定の角度とは、異常な工具損耗や刃先力を生じさせずに、すくい角を大きくとることができるギリギリの角度であって、0~7°の範囲である。

好ましくは、0~3°の範囲である。

【0008】

また、本発明に係る工作機械は、回転制御された主軸と、前記主軸の回転中心軸線まわりに対向配置した第1 刃具をセットする第1 セット手段と、第2 刃具をセットする第2 セット手段とを備え、前記主軸にワークを保持し、旋削加工する際のびびり振動の検出手段と、前記びびり振動の有無を判別する判別手段と、前記判別手段にてびびり振動有りと判別された際にそのびびり振動の周波数を算出する演算手段と、前記演算手段にて得られたびびり振動の周波数に基づいて前記第1 刃具の刃先と第2 刃具の刃先との回転中心軸線まわり配置を、対向180°バランス配置に対して前記第1 セット手段と第2 セット手段とのうち、一方又は両方に所定のオフセット角 $\theta_1$ となるように移動制御手段を有することを特徴とする。

また、回転制御された主軸と、前記主軸の回転中心軸線まわりに第1 刃具をセットする第1 セット手段のみあるいは対向配置した第1 刃具をセットする第1 セット手段と、第2 刃具をセットする第2 セット手段とを備え、前記主軸にワークを保持し旋削加工する際のびびり振動の検出手段と、前記びびり振動の有無を判別する判別手段と、前記判別手段にてびびり振動有りと判別された際にそのびびり振動の周波数を算出する演算手段と、前記演算手段にて得られたびびり振動の周波数に基づいて前記第1 セット手段又は第2 セット手段の一方又は両方を回転中心軸線まわりにオフセット角 $\theta_2$ と $\theta_3$ との範囲に揺動制御する揺動制御手段とを有するようにしてもよい。

さらには、上記移動制御手段と揺動制御手段の両方を備えてもよい。

10

20

30

40

50

ここで刃具のセット手段とは、刃先のワークに対する切り込み量、送り方向の送り量及び回転中心軸線まわりに所定の角度範囲移動制御できれば、その構成に制限はない。

例えば、タレット旋盤や多軸制御された刃物台を有する旋削加工装置が例として挙げられる。

対向タレットを用いる場合には、2つのタレットの送り方向の位置を完全に一致させる場合のみならず、送り位置に相対的な差がある場合も本発明に含まれる。

また、刃物台に取り付けた刃具の角度を調整することで、対向する2つの刃先が不等ピッチに配置される場合等も本発明に含まれる。

本発明は、ワークの一端側を主軸で保持し、反対側をテールストックやセンターサポートにて支持されるものも含まれる。

10

【発明の効果】

【0009】

従来、単に2つのバイト等の刃具の刃先を回転中心軸線まわり上下180°ずらして配置したバランスカットでは、上下の刃具にて同時に旋削加工を行うために2倍の加工能率が得られるだけでなく、上下の加工点で生じる旋削力が釣り合うためにワークの静的たわみを抑えることが理論的には可能であるものの、びびり振動に対する安定性が低い問題があった。

これに対して本発明は、対向配置した2つの刃具の刃先を対向180°の等ピッチに対して、一方の刃具の刃先を最適なピッチ角差 $\theta_1$ が得られるように所定のオフセット角 $\theta_2$ だけずらした位置に配置した状態で旋削加工を行う不等ピッチターニングあるいは刃具の刃先を回転中心軸線まわりに所定の振動角 $\theta_3$ だけ、揺動運動させながら旋削加工を行うスイングターニングを行うことで、容易にびびり振動の発生を抑えることができる。

20

なお、不等ピッチターニングとスイングターニングとでは、びびり振動を抑える機序が異なるものの、安定した旋削性が得られる点で同様の効果が認められる。

本明細書で用いるピッチ角差及びオフセット角の内容を図11に示す。

【0010】

また、このような旋削加工の実施に適した工作機械として本発明は、びびり振動の検出手段と、びびり振動の有無の判別手段と、そのびびり振動の周波数に基づいて最適なピッチ角差 $\theta_1$ の演算手段、あるいは最適な揺動角 $\theta_3$ の演算手段を備えたので、びびり振動の発生を抑えた生産性の高い工作機械が得られる。

30

【0011】

本発明は、旋削加工における被旋削物にびびり振動が発生するのを抑える点で、各種形状の製品の旋削に適用できる。

特にワークの直径D、ワークの長さLとすると、 $L/D \geq 6$ 以上の長尺ワークの旋削に好適である。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】不等ピッチターニングの模式図を示す。

【図2】(a)はスイングターニングの模式図を示し、(b)はスイングターニングに不等ピッチターニングを組み合わせた例、(c)は上下の刃先を揺動させた例を示す。

40

【図3】本発明に係る工作機械の制御フローチャートの例を示す。

【図4】第1の実験条件を示す。

【図5】 $\theta_1 = 0^\circ$ の時の旋削表面の凹凸の計測結果を示す。

【図6】 $\theta_1 = 15^\circ$ の時の旋削表面の凹凸の計測結果を示す。

【図7】 $\theta_1 = 30^\circ$ の時の旋削表面の凹凸の計測結果を示す。

【図8】第2の実験条件を示す。

【図9】第2の実験結果(加工結果)を示す。

【図10】スイングターニングの実験条件を示す。

【図11】本明細書におけるピッチ角差 $\theta_1$ とオフセット角 $\theta_2$ との定義を示す。

【図12】切り込みと送りの関係を(a)、(b)に示す。

50

【図 1 3】 不等ピッチターニングの変形例を示す。

【発明を実施するための形態】

【0013】

本発明に係る旋削加工方法の例を以下、説明する。

図 1 は、不等ピッチターニングの模式図を示す。

ワーク W の一端側を主軸 10 側にチャックし、回転制御する。

第 1 刃具（バイト）11 の刃先 11a と第 2 刃具（バイト）12 の刃先 12a との配置を対向 180° バランス配置に対して回転中心軸線まわりに、オフセット角  $\theta_1$  だけずらした状態でワークを両側から同時に旋削する。

ここで、最適なオフセット角  $\theta_1$  は下記の数式（1）で求めたピッチ角差  $\Delta\theta$  を参考にすることができる。

【数 1】

$$\Delta\theta = 2\pi \left( m + \frac{1}{2} \right) \frac{n}{60f_c} \quad \dots(1)$$

ここで、n は主軸の回転数、 $f_c$  はびびり振動の周波数を示し、m は 0, 1, 2, 3, … の値をとる。

ここで、m は 0 が好ましい。

最適なオフセット角  $\theta_1$  の値は、ワークの剛性や旋削条件にて異なり、 $\theta_1$  は上記式（1）にて求めた  $\Delta\theta$  に対して  $1/4 \Delta\theta \sim 3/4 \Delta\theta$  の範囲が好ましい。

図 1 は、ワークの外周旋削の例を示したが、ワークの端面加工やテーパ加工等、加工方法に制限はない。

【0014】

図 2（a）は、スイングターニングの模式図を示す。

ワーク W の端側を主軸 10 側にチャックし、回転制御する。

第 1 の刃具 11 の刃先 11a を所定のオフセット角  $\theta_2$  と  $\theta_3$  との範囲の揺動角  $\theta$ 、所定の周期、例えば 20 Hz 等にて、揺動させながら旋削加工をする。

また、この周期を例えば 1 Hz 以下の極低周波数としてもよい。

オフセット角  $\theta_2$  は 0° も含まれる。

この場合も最適な揺動角  $\theta$  は旋削条件によっても異なる。

また、図 2（b）、（c）はスイングターニングに不等ピッチターニングを組み合わせた例である。

（b）は上側の刃先だけを揺動させたが、（c）は下側の刃先も揺動させた例である。

図 2 もワーク外周加工の例を示したが、ワークの端面加工やテーパ加工等各種加工に適用できる。

【0015】

図 3 に、本発明に係る工作機械の制御系のフローチャートの例を示す。

加工開始（ステップ  $S_1$ ）を出すと、加速度センサ等の外部センサあるいは外乱オブザーバ（オブザーバ）により、振動あるいは切削負荷を監視できる状態で、旋削加工が開始される（ステップ  $S_2$ ）。

ここで、外乱オブザーバとは支持したワークを回転させる駆動手段もしくは刃物台の駆動手段に入力する電流参照信号と前記駆動手段から出力する角度 / 位置検出信号とに基づき、前記駆動手段への外乱を推定することをいう。

具体的には、本発明者の一部によって提案された特許文献 3 の内容を取り込むことができる。

その際に、FFT などの周波数解析により加速度もしくは切削負荷等の周波数成分を解析し（ステップ  $S_3$ ）、びびり振動の有無の判別手段として、例えばその周波数成分が所定の閾値を超えると判定された場合（ステップ  $S_4$ ）には、びびり振動の検出手段にて、その信号を検出し、びびり振動数  $f_c$ （びびり振動の周波数）を特定する。

例えば、下記の数式（2）にて求めることができる。

10

20

30

40

50

【数 2】

$$f_c = \frac{\lambda^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{EI}{A\rho}} \quad \dots(2)$$

ここで、E：ヤング率，I：断面 2 次モーメント，A：断面積， $\rho$ ：密度， $\lambda$  は定数， $\ell$ ：長さである。

びびり振動の周波数が特定できると、他の旋削条件を基に前記数式(1)にて求められる  $\theta_1$  を参考にしてオフセット角  $\theta_1$  あるいは揺動角  $\theta_1$  を設定することができる。

不等ピッチターニングを実行するには、ステップ  $S_5 \sim S_{7-2}$  へと進み、スイングターニングを実行するには、ステップ  $S_8 \sim S_{10-2}$  へと進み、加工が終了(ステップ  $S_{11}$ )する。

【0016】

次に実験結果について説明する。

第 1 の実験は、不等ピッチターニングを行った。

加工ワークとして、直径 33 mm，長さ 200 mm のアルミニウム合金の丸棒を用いた。

アッパー側に配置したタレットとローア側に配置したタレットにそれぞれ超硬チップからなるバイトを取り付け、図 4 に示すような条件で旋削加工を行った。

2 つのチップの対向  $180^\circ$  からのオフセット角  $\theta_1$  を  $0^\circ$ ， $15^\circ$ ， $30^\circ$  の条件で旋削加工し、その後に旋削表面の凹凸を送り方向及び周まわりに測定した結果を図 5 ~ 図 6 に示す。

$\theta_1 = 0^\circ$  の場合には、びびり振動が大きく発生したが、 $\theta_1 = 15^\circ$  ではびびり振動の発生が認められなかった。

また、 $\theta_1 = 30^\circ$  のときは  $\theta_1 = 0^\circ$  よりも凹凸が減少していた。

なお、びびり振動の周波数は 516 Hz と計測された。

このことから本発明に係る旋削加工方法は、びびり振動を抑制するのに有効であることから明らかになった。

【0017】

第 2 の実験条件及び設定パラメータを図 8，9 に示す。

バイトにはタンガロイ社製の PCLNR2020 を用い、チップとしては CNMM を用いた。

また、その結果を図 9 の表に示す。

表中、バランスとは  $180^\circ$  対向配置を示す。

この結果から、旋削条件によっても最適なオフセット角  $\theta_1$  が相異し、本実験条件内では式(1)にて求めた ( $\theta_1 = \theta_1$ ) に対して  $1/4$  付近に最適条件が認められた。

また、ワーク径によっては最適なオフセット角  $\theta_1$  は  $1/2$ ， $3/4$  付近に表れた。

【0018】

次に第 3 の実験として、スイングターニングを行った。

図 10 に示した実験条件にて、オフセット角  $\theta_1$  及び揺動角  $\theta_1$  を比較検討した。

図中 S は主軸の回転数，F は送り速度，t は切込み量を示す。

まず始めに、第 1 の刀具と第 2 の刀具を  $180^\circ$  対向配置し、バランスカットしたところ、ワークの先端から約 50 mm までびびり振動が発生した。

それに対して、オフセット角  $\theta_1 = 3.3^\circ$ ，周波数 20 Hz で揺動角  $\theta_1 = 1.4^\circ$  揺動させたところ、びびり振動の発生が全くなかった。

【0019】

次に本発明の展開例を説明する。

不等ピッチターニングの場合に、図 12 (a) に示すように第 1 刀具 11 と第 2 刀具 12 との切り込み方向と送り方向(送り位置)とを同じ条件にする場合の他に、本発明は図

10

20

30

40

50

12 (b) に示すように第1刃具11と第2刃具12とで、ワークWに対する送りの位置を相対的にずらしてもよい。

この場合に、切り込み量を同じにするのみならず、第1刃具11と第2刃具12とで切り込み量に差を設けてもよい。

なお、第1刃具11と第2刃具12とは、刃具の形状が同一である場合のみならず、相互に異なってもよい。

また、不等ピッチターニングにおいて180°対向位置から、例えば第1刃具11の刃先11aを所定の角度だけオフセットさせる場合の他に、図13に示すように刃具の姿勢を変化させることで再生びり振動を抑えてもよい。

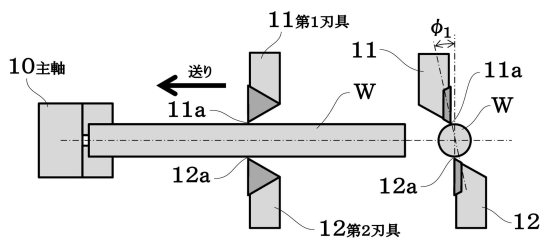
【符号の説明】

【0020】

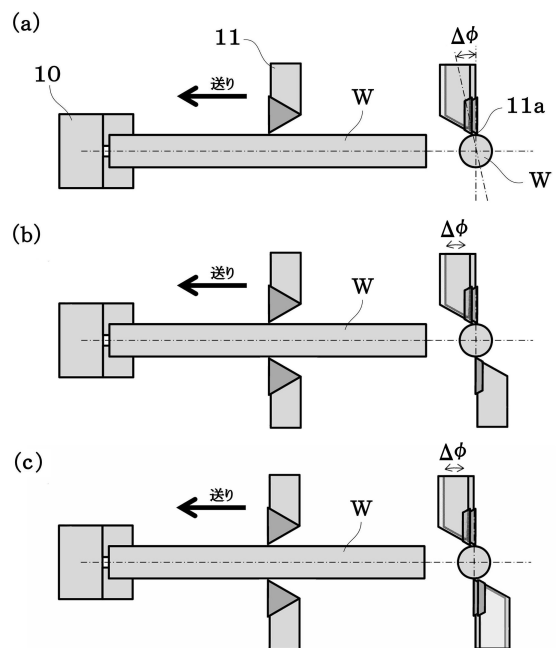
10 主軸  
11 第1刃具  
12 第2刃具

10

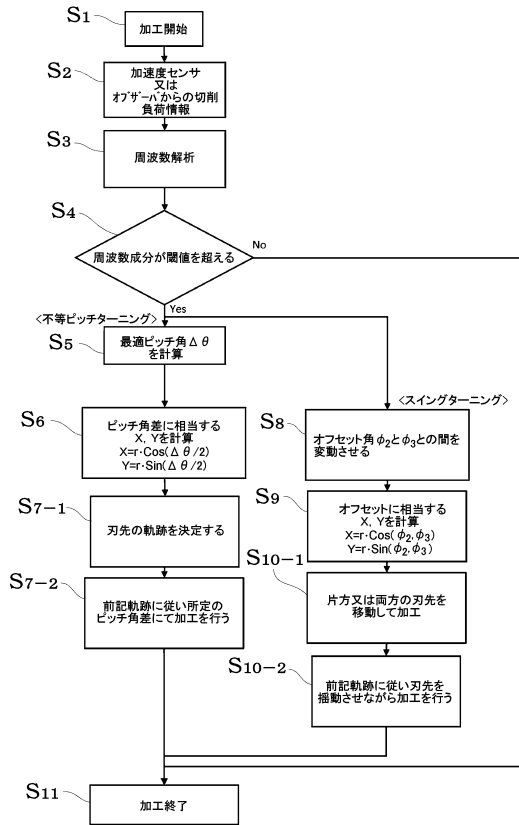
【図1】



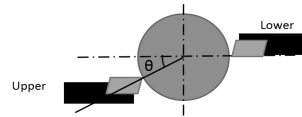
【図2】



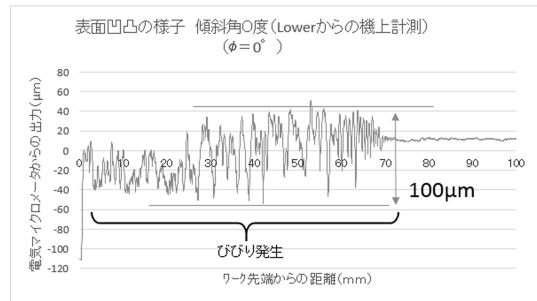
【 図 3 】



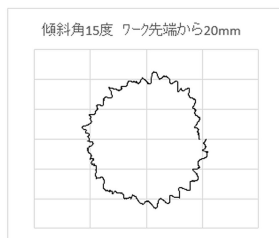
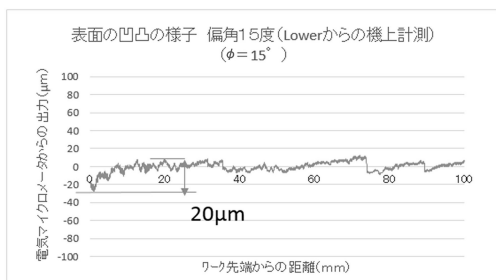
【 図 4 】



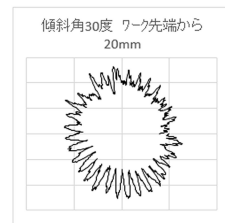
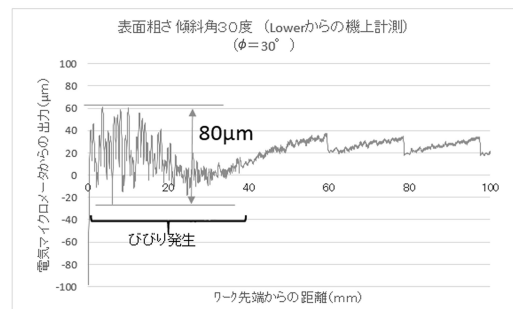
【 図 5 】



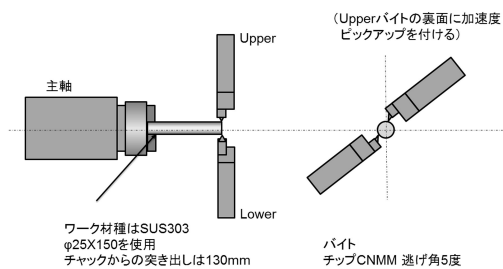
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



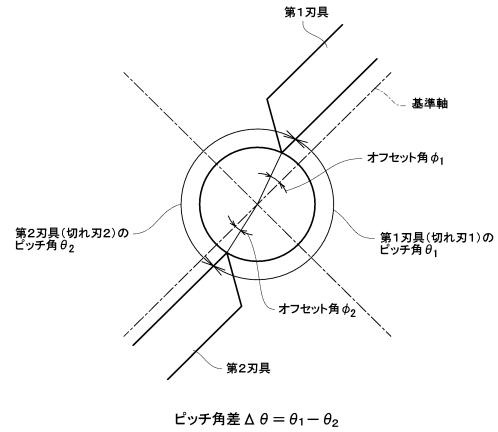


【図9】

加工結果

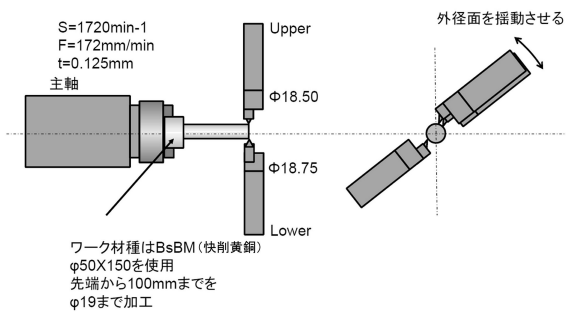
No.	ワーク径 (mm)	切込み (mm)	送り (mm/rev)	回転数 (min <sup>-1</sup> )	びびり周波数 (Hz)	ピッチ角差 (deg)	びびり目判定
1	18.2	0.3	0.1	1200	732	ハランス	× ×
2	17.6	0.3	0.1	1200	800	2.44(1/20)	△
3	17.0	0.3	0.1	1200	740	2.44(1/20)	×
4	24.2	0.3	0.2	1200	778	2.31(1/20)	△
5	24.2	0.3	0.2	1200	740	ハランス	△
6	24.2	0.3	0.15	1200	653	ハランス	× ×
7	23.9	0.3	0.15	1200	735	2.76(1/20)	△
8	24.2	0.3	0.15	1200	796	4.13(3/40)	○
9	24.2	0.3	0.15	1200	無し	1.38(1/40)	◎
10	24.0	0.1	0.15	1200	無し	1.38(1/40)	◎
11	23.8	0.1	0.15	1200	700~1000	ハランス	×
12	19.0	0.3	0.15	1200	603	1.38(1/40)	×
13	19.1	0.3	0.15	1200	598	1.49(1/40)	×
14	19.1	0.3	0.15	1200	593	4.47(3/40)	○
15	19.0	0.4	0.15	1200	603	4.47(3/40)	×
16	19.0	0.3	0.15	1200	607	ハランス	× ×

【図11】

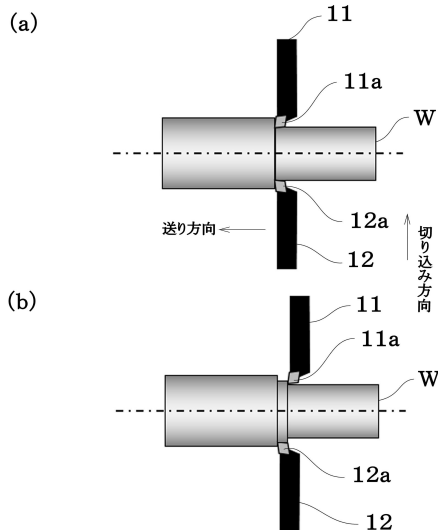


【図10】

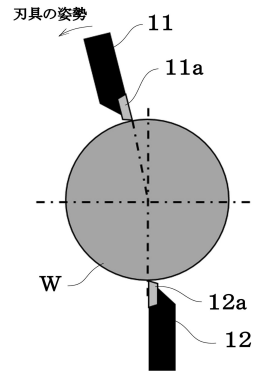
スイングターニング実験条件



【図12】



【図13】



## フロントページの続き

(出願人による申告)平成26年度国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 S I P (戦略的イノベーション創造プログラム) / 革新的設計生産技術 マルチタレット型複合加工機(ターニング・ミーリング)による複雑形状の簡易・確実・高精度な知的加工システムの研究開発、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(72)発明者 柿沼 康弘  
神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14番1号 慶應義塾大学理工学部内

(72)発明者 鈴木 教和  
愛知県名古屋市千種区不老町1番 国立大学法人名古屋大学内

審査官 久保田 信也

(56)参考文献 特開平02-124201(JP,A)  
特開2002-144101(JP,A)  
特開昭60-197304(JP,A)  
特公昭46-031591(JP,B1)  
特開平09-029502(JP,A)  
特開昭58-143901(JP,A)  
米国特許第04475421(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23B 1/00  
B23B 21/00  
B23Q 15/12  
G05B 19/404