

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5226484号
(P5226484)

(45) 発行日 平成25年7月3日 (2013.7.3)

(24) 登録日 平成25年3月22日 (2013.3.22)

(51) Int.Cl.	F 1
B 2 3 Q 15/14 (2006.01)	B 2 3 Q 15/14 A
G 0 5 B 19/404 (2006.01)	G 0 5 B 19/404 K

請求項の数 3 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2008-305059 (P2008-305059)	(73) 特許権者	000149066
(22) 出願日	平成20年11月28日 (2008.11.28)		オークマ株式会社
(65) 公開番号	特開2010-125570 (P2010-125570A)		愛知県丹羽郡大口町下小口五丁目2 5 番地の1
(43) 公開日	平成22年6月10日 (2010.6.10)	(74) 代理人	100078721
審査請求日	平成23年8月2日 (2011.8.2)		弁理士 石田 喜樹
		(74) 代理人	100121142
			弁理士 上田 恭一
		(72) 発明者	吉野 清
			愛知県丹羽郡大口町下小口5 丁目2 5 番地の1 オークマ株式会社内
		審査官	杉山 悟史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 びびり振動抑制方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

主軸に装着した工具を回転させて加工を行う工作機械において、加工時に発生したびびり振動を抑制するびびり振動抑制方法であって、

前記びびり振動の周波数及び加速度を取得する第 1 工程と、

取得した前記びびり振動の周波数及び加速度と、前記工具の刃数と、前記主軸の回転速度とから、前記主軸の回転速度を変更させる際の下限及び上限を求める第 2 工程と、

前記主軸の回転速度を下限から上限の間で段階的に変更するとともに、各段階において前記びびり振動の加速度を取得し、取得した前記びびり振動の加速度を取得した段階における回転速度に対応づけて記憶する第 3 工程と、

全段階における前記びびり振動の加速度の取得後、前記加速度が最も小さくなる前記回転速度にて前記主軸を回転させる第 4 工程と

を実行することを特徴とするびびり振動抑制方法。

【請求項 2】

前記第 2 工程において、前記下限 S_{p1} を下記式 (1) により、前記上限 S_{p2} を下記式 (2) により夫々求めることを特徴とする請求項 1 に記載のびびり振動抑制方法。

式 1 : $S_{p1} = 60 \times f_c / \{Z \times (k + 1)\}$

式 2 : $S_{p2} = 60 \times f_c / (Z \times k)$

尚、 f_c は、第 1 工程で取得されるびびり振動の周波数であり、 Z は、工具の刃数である。また、 k は、 $60 \times f_c / (Z \times S)$ の整数部分であり、 S は、主軸の 1 分あたりの

回転速度である。

【請求項 3】

前記第 4 工程の実行後、前記工具の切り込み量を減少させる第 5 工程を実行することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のびびり振動抑制方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、工具又はワークを回転させながら加工を行う工作機械において、加工中に発生するびびり振動を抑制する方法に関するものである。

【背景技術】

10

【0002】

工作機械により切削加工を行う場合に、工具または被加工物の剛性が低いとびびり振動が発生することがある。びびり振動が発生すると、工具が欠損してしまったり、被加工物の加工面精度が悪化するなどの問題が生じる。そこで、このびびり振動を抑制する方法として、特許文献 1 や特許文献 2 に記載されている対策が提案されている。

特許文献 1 に記載されている方法は、本加工の前に試験加工を行い、切削荷重にもとづきびびり振動を推定して加工条件を決定することで、本加工においてびびり振動を回避しようとするものである。また、特許文献 2 に記載の方法は、加工中のびびり振動周波数を求めるとともに、そのびびり振動周波数からびびり振動が発生しない主軸の回転速度を算出し、主軸の回転速度を当該回転速度に変更することで、びびり振動を抑制しようとするものである。

20

【0003】

【特許文献 1】特開 2006-102927 号公報

【特許文献 2】特開 2007-44852 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献 1 に記載の方法では、切削荷重にもとづいてびびり振動の発生を推定するため、主軸の回転速度によりびびり振動の発生の有無が決まる再生型びびり振動については考慮していない。したがって、このような再生型びびり振動を抑制することはできないという問題がある。また、特許文献 2 に記載の方法では、機械構造の伝達関数である動コンプライアンスピークが 1 つの場合は問題ないが、ピークが複数ある場合、算出したびびり振動を抑制できる回転速度で加工を行ったとしても、異なる周波数でびびり振動が発生し、結果として安定した加工を行えない場合がある。

30

【0005】

そこで、本発明は、上記問題に鑑みなされたものであって、より確実にびびり振動を抑制することができ、安定した加工を行うことができるびびり振動抑制方法を提供しようとするものである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

40

上記目的を達成するために、主軸に装着した工具を回転させて加工を行う工作機械において、加工時に発生したびびり振動を抑制するびびり振動抑制方法であって、前記びびり振動の周波数及び加速度を取得する第 1 工程と、取得した前記びびり振動の周波数及び加速度と、前記工具の刃数と、前記主軸の回転速度とから、前記主軸の回転速度を変更させる際の下限及び上限を求める第 2 工程と、前記主軸の回転速度を下限から上限の間で段階的に変更するとともに、各段階において前記びびり振動の加速度を取得し、取得した前記びびり振動の加速度を取得した段階における回転速度に対応づけて記憶する第 3 工程と、全段階における前記びびり振動の加速度の取得後、前記加速度が最も小さくなる前記回転速度にて前記主軸を回転させる第 4 工程とを実行することを特徴とする。

【0007】

50

請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 に記載の発明において、前記第 2 工程において、前記下限 $S_p 1$ を下記式 (1) により、前記上限 $S_p 2$ を下記式 (2) により夫々求めることを特徴とする。

$$\text{式 1 : } S_p 1 = 60 \times f_c / \{ Z \times (k + 1) \}$$

$$\text{式 2 : } S_p 2 = 60 \times f_c / (Z \times k)$$

尚、 f_c は、第 1 工程で取得されるびびり振動の周波数であり、 Z は、工具の刃数である。また、 k は、 $60 \times f_c / (Z \times S)$ の整数部分であり、 S は、主軸の 1 分あたりの回転速度である。

【0008】

請求項 3 に記載の発明は、請求項 1 又は 2 に記載の発明において、前記第 4 工程の実行後、前記工具の切り込み量を減少させる第 5 工程を実行することを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、取得したびびり振動の周波数及び加速度にもとづいて、主軸の回転速度を変更させる際の下限及び上限を求め、当該範囲内で回転速度を変化させながらびびり振動の抑制を図るため、動コンプライアンスピークが複数ある場合でも、びびり振動を抑制可能な回転速度を効率良く求めることができ、結果として安定した加工を効率良く実行することができる。

また、特に請求項 3 に記載の発明によれば、回転速度の変更に加えて、切り込み量をも変更しながらびびり振動の抑制を図るため、極めて確実にびびり振動を抑制することができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

以下、本発明の一実施形態となるびびり振動抑制方法及び装置について、図面をもとに説明する。

【0012】

図 1 は、工作機械（びびり振動抑制装置を含む）の構成を示した説明図である。

工作機械は、上方に設けた主軸頭 1 に回転自在な主軸 2 を設け、その主軸 2 に取り付けられた工具 3 によって、下方の加工テーブル上にセットされた被加工物 4 を加工する周知の構成からなる。

30

5 は、主軸頭 1 の送り動作と、主軸 2 の回転速度とを制御する数値制御装置、6 は、数値制御装置 5 と情報を送受信可能な演算装置で、演算装置 6 には、主軸頭 1 に設けられてびびり振動の振動加速度を計測する加速度センサ 7 と、メモリ装置 8 と、工具の刃数等を入力する外部入力装置 9 とが夫々接続されている。

【0013】

ここで、上述したような工作機械におけるびびり振動抑制方法の一例について説明する。

本発明では、本切削加工を行う前に、予め図 2 に示すようなフローチャート図にもとづく試験加工を実施する。まず、所定の設定回転速度（加工プログラム等にて設定されている回転速度）で工具 3 を回転させて試験加工を開始すると、その設定回転速度による加工においてびびり振動が発生しているか否かを判断する（S1）。この判断は、例えば加速度センサ 7 から得られる振動加速度が所定の閾値を超えた場合が複数回検出されたような際に、びびり振動の発生とするものである。そして、びびり振動の発生が確認されると、加速度センサ 7 から演算装置 6 へびびり振動波形を入力し、当該びびり振動波形をフーリエ変換する（S2）とともに、フーリエ変換した波形の最大値 G とその周波数 f_c とを取得する（S3）。

40

【0014】

次に、数値制御装置 5 から得られる主軸 2 の回転速度（ここでは設定回転速度） S の値と、 $S3$ で得られる周波数 f_c と、予め外部入力装置 9 から入力された工具の刃数 Z とにもとづき、主軸 2 の回転速度とびびり振動との周期的な関係を推定演算し、後述する回転

50

速度の下限 S_{p1} 及び上限 S_{p2} を求める (S4)。さらに、主軸 2 の回転速度 S を設定回転速度から下限 S_{p1} へ変更し (S5)、再び加速度センサ 7 から演算装置 6 へ振動波形を入力し、当該振動波形をフーリエ変換する (S6) とともに、フーリエ変換した波形の最大値 G を取得する (S7)。そして、得られた最大値 G が所定の閾値以下となったか否かを判断する (S8)。

【0015】

このとき最大値 G が所定の閾値以下になる (S8 で YES と判断する) と、びびり振動を抑制可能な主軸の回転速度 (以下、振動抑制回転速度と称す) として、この下限 S_{p1} をメモリ装置 8 に記憶して、試験加工を終了する。そして、本切削加工するにあたっては、主軸 2 の回転速度を下限 S_{p1} とする。

一方、振動加速度が所定の閾値を下回らない (S8 で NO と判断する) ときには、主軸 2 の回転速度 (ここでは、下限 S_{p1}) と S7 で取得した最大値 G とを関連づけてメモリ装置 8 に記憶 (S9) し、主軸 2 の回転速度が上限 S_{p2} に達しているか否かを確認 (S10) した後、主軸 2 の回転速度を所定の単位変更量 ΔS だけ増加させる (S11)。その後、単位変更量 ΔS だけ増加した回転速度において、振動波形をフーリエ変換 (S6) するとともに、フーリエ変換した波形の最大値 G を取得して (S7)、その最大値 G と閾値との比較 (S8) を再び行う。そして、回転速度及びその回転速度における波形の最大値 G の記憶 (S9)、主軸 2 の回転速度の単位変更量 ΔS 増加 (S11)、回転速度変更後のフーリエ変換 (S6)、その波形の最大値 G の取得 (S7)、及び最大値 G と閾値との比較 (S8) を、最大値 G が閾値以下となるまで、若しくは、主軸 2 の回転速度が上限 S_{p2} に達するまで繰り返す。尚、当該繰り返しの中で、最大値 G が所定の閾値以下になると、その時の回転速度を振動抑制回転速度としてメモリ装置 8 に記憶し、試験加工を終了して、当該振動抑制回転速度にて主軸 2 を回転させながら本切削加工を行う。

【0016】

また、主軸 2 の回転速度が上限 S_{p2} に達した (S10 で YES と判断した) にも拘わらず、振動加速度が所定の閾値を下回ることがなかった場合には、メモリ装置 8 に記憶されている回転速度のうち、波形の最大値 G が最も小さい時の回転速度を選択し (S12)、主軸 2 の回転速度を選択した回転速度に制御しながら、工具 3 の被加工物 4 への切り込み量を所定の単位量だけ減少させる (S13)。それから、当該切り込み量において、S6 や S7 同様に加速度センサ 7 から得られた振動波形をフーリエ変換し、その波形の最大値 G を取得するとともに、最大値 G と所定の閾値との比較 (S14) を行い、最大値 G が所定の閾値を下回るまで切り込み量を段階的に減少させる。そして、最大値 G が所定の閾値を下回ると、このときの切り込み量を振動抑制切り込み量として、S12 で選択した回転速度を振動抑制回転速度として夫々メモリ装置 8 に記憶し、試験加工を終了する。その後は、主軸 2 の回転速度を振動抑制回転速度に、工具 3 の切り込み量を振動抑制切り込み量に夫々制御しながら本切削加工を行う。

【0017】

次にここで、S4 について、すなわち回転速度の下限 S_{p1} 及び上限 S_{p2} の算出について詳述する。

主軸 2 の回転速度を変更してびびり振動の周波数と振動加速度との値を実測した場合、図 3 に示すように、周波数及び振動加速度は共に回転速度に対して周期性のある挙動を示すことが確認されている。したがって、現在の主軸 2 の回転速度が含まれる 1 周期内で最もびびり振動を抑制できる回転速度を選択することが、効率の良いびびり振動抑制といえる。そこで、S4 では、びびり振動が発生した回転速度を含む 1 周期に対応する回転速度の下限 S_{p1} 及び上限 S_{p2} を、下限 S_{p1} については下記数式 (1) により、上限 S_{p2} については下記数式 (2) により夫々求める。尚、この 1 周期に対応する回転速度の間隔は一定ではなく、回転速度そのものや種々の加工条件に依存して変化する (例えば、図 3 においては、回転速度が小さい方が 1 周期となる間隔も狭くなっている)。

【0018】

$$S_{p1} = 60 \times f_c / \{Z \times (k+1)\} \quad \cdots (1)$$

10

20

30

40

50

$$Sp2 = 60 \times fc / (Z \times k) \quad \dots (2)$$

尚、 fc は、 $S3$ で求められるびびり振動の周波数であり、 Z は、工具の刃数である。
また、 k は、 $60 \times fc / (Z \times S)$ の整数部分であり、 S は、主軸2の1分あたりの回転速度である。

【0019】

したがって、例えば主軸2の回転速度が 8150 min^{-1} においてびびり振動が発生した場合、そのびびり振動の周波数 7257 Hz から上記数式(1)及び(2)を用いて、下限 $Sp1 = 8083 \text{ min}^{-1}$ 、上限 $Sp2 = 9094 \text{ min}^{-1}$ を夫々求めることができる。

このようにして機械構造系のコンプライアンスピークが1つの場合には、下限 $Sp1$ 及び上限 $Sp2$ を求めることができ、求めた下限 $Sp1$ 及び上限 $Sp2$ を用いて $S5$ 以降を実行すればよい。

【0020】

一方、コンプライアンスピークが複数(ここでは2つ)ある場合は、以下のようにして下限 $Sp1$ 及び上限 $Sp2$ を求めればよい。

図4は、ピークが2つある場合の回転速度に対するびびり振動の周波数及び振動加速度の実測値の一例を示した図であり、周波数が 4900 Hz のびびり振動と周波数が 5300 Hz 付近のびびり振動とが混在し、2つの周期が重なり合っていることがわかる。この2つの周期に差はあるものの、回転速度の局所的な範囲で見える場合、その差は小さく問題にならない程度であり、どちらか一方の周波数を用い、上記数式(1)及び(2)により下限 $Sp1$ 及び上限 $Sp2$ を求めれば良い。すなわち、例えば回転速度 7050 min^{-1} における周波数 4900 Hz から下限 $Sp1 = 7000 \text{ min}^{-1}$ 、上限 $Sp2 = 8167 \text{ min}^{-1}$ を求めたとしても、これは周波数 5300 Hz の周期とも略一致しており、周波数 4900 Hz から求めた下限 $Sp1$ 及び上限 $Sp2$ を用いることで、十分に効果的な振動抑制を期待することができる。そして、このように求めた下限 $Sp1$ 及び上限 $Sp2$ を用いて $S5$ 以降を実行すればよい。尚、図4では、 5600 Hz の周波数も観測されているが、この時の振動加速度は十分に小さく、びびり振動が発生している状態ではないため、考慮する必要はない。

【0021】

上述したようなびびり振動抑制方法によれば、取得したびびり振動の周波数にもとづき、回転速度の下限 $Sp1$ 及び上限 $Sp2$ を求め、当該範囲内で回転速度を変化させながら振動波形をフーリエ変換して得た波形の最大値 G が所定の閾値を下回る回転速度、すなわち振動抑制回転速度を求めるため、効率良くびびり振動を抑制することができる。

また、コンプライアンスピークが1つの場合は勿論、複数ある場合にも振動抑制回転速度を求め、びびり振動を効果的に抑制することができ、加工面精度の高い安定した加工を行うことができる。

さらに、回転速度の変更のみでは対応できない場合、切り込み量をも変更しながらびびり振動の抑制を図るため、極めて確実にびびり振動を抑制することができる。

加えて、試験加工を行った上で本切削加工を行うため、びびり振動が十分に抑制された状態で本切削加工を行うことができ、びびり振動が十分に抑制できていない状態のまま加工し終えた製品等の無駄が生じない。

【0022】

なお、本発明のびびり振動抑制方法及び装置に係る構成は、上記実施形態に記載の態様に何ら限定されるものではなく、びびり振動の周波数の取得や振動抑制の制御に係る構成を、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、必要に応じて適宜変更することができる。

【0023】

たとえば、上記実施形態では、回転速度を変更するにあたって単位変更量 ΔS を用いるようにしているが、これに代えて、求めた下限 $Sp1$ 及び上限 $Sp2$ を等分割(たとえば10等分)し、その分割量にしたがって回転速度を段階的に変更するようにしてもよい。さらに、回転速度そのものを等分割するのではなく、数式(1)や(2)で用いている k

を等分割し、等分割した値 k_s を下記数式 (3) に代入して試験切削する回転速度 S_{p3} を求めるようにしてもよい。

$$\text{回転速度 } S_{p3} = 60 \times f_c / (Z \times k_s) \quad \dots (3)$$

また、必ずしも等分割したり単位変更量 ΔS を用いたりするのではなく、任意の間隔で段階的に回転速度を変更させても良いことは言うまでもない。

【0024】

さらに、上記実施形態では加速度センサを用いてびびり振動を検出するようにしているが、速度センサや変位センサ、音響センサ等、びびり振動の周波数や最大値を求めることができるものであれば他の検出手段を用いることは当然可能であるし、びびり振動の検出手段を加速度センサから他の検出手段に代えることで、 S_6 や S_{12} にて用いる閾値の値そのもの、及び比較対象も検出手段に対応する別のものに代わる（たとえば、振動加速度ではなく変位量等に代わる）ことになる。また、検出手段の取付位置についても主軸頭に何ら限定されることはないし、検出手段を複数個設けても当然良い。

10

さらにまた、上記実施形態では、主軸の回転速度を下限から上限までの間で変更中に、一度でも振動波形の最大値 G が閾値を下回ると、そのときの回転速度を振動抑制回転速度として記憶するように構成しているが、たとえ振動波形の最大値 G が閾値を下回ったとしても全段階において振動波形の最大値 G の取得を行い、その中から振動波形の最大値 G が最小となる回転速度を選択するように構成してもよい。

加えて、上記実施形態では、びびり振動は機械構造の固有振動数付近で発生するとしているが、被加工物の固有振動数付近で発生する場合もあり、その場合においても本方法が有効である。

20

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】 工作機械の構成を示した説明図である。

【図2】 びびり振動抑制方法を示したフローチャート図である。

【図3】 回転速度に対するびびり振動の周波数及び振動加速度の実測値を示した説明図である。

【図4】 コンプライアンスのピークが複数ある場合の回転速度に対するびびり振動の周波数及び振動加速度の実測値を示した説明図である。

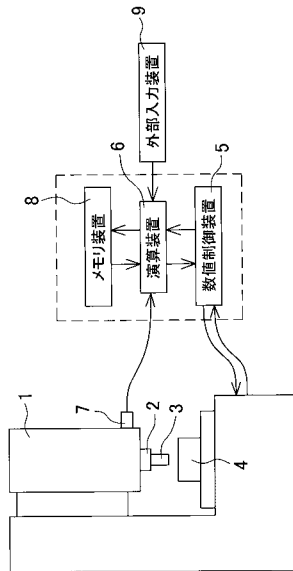
【符号の説明】

30

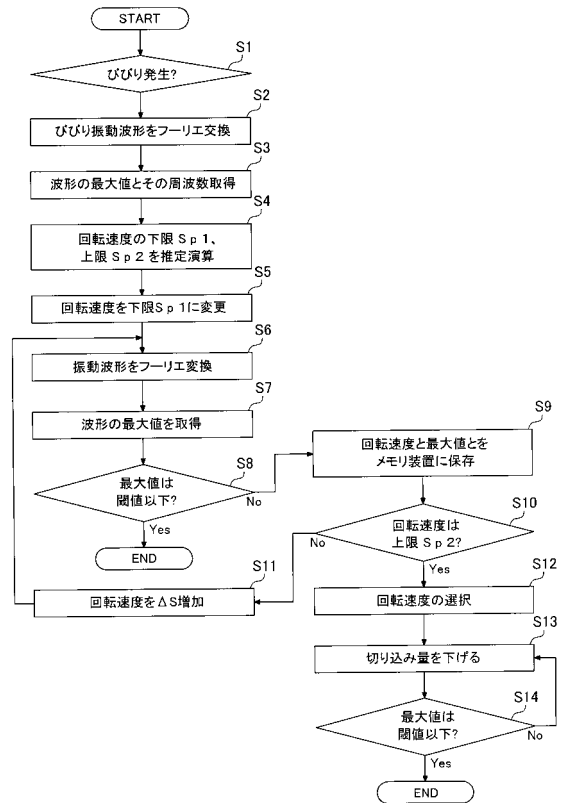
【0026】

1・・・主軸頭、2・・・主軸、3・・・工具、4・・・被加工物、5・・・数値制御装置（回転速度制御手段）、6・・・演算装置（取得手段、演算手段）、7・・・加速度センサ（演算手段）、8・・・メモリ装置、9・・・外部入力装置。

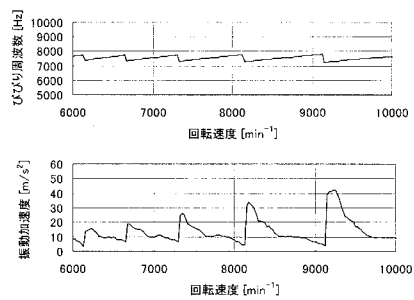
【図 1】



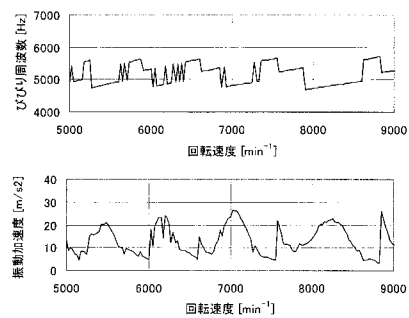
【図 2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2007-044852 (JP, A)
特開平04-053649 (JP, A)
特公平01-013989 (JP, B2)
特開2006-102927 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B23Q 15/14
G05B 19/404