

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4433422号  
(P4433422)

(45) 発行日 平成22年3月17日(2010.3.17)

(24) 登録日 平成22年1月8日(2010.1.8)

(51) Int.Cl. F 1  
**B 2 3 Q 15/12 (2006.01)** B 2 3 Q 15/12 A

請求項の数 3 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2007-138166 (P2007-138166)	(73) 特許権者	000149066 オークマ株式会社
(22) 出願日	平成19年5月24日(2007.5.24)		愛知県丹羽郡大口町下小口五丁目2番地の1
(65) 公開番号	特開2008-290188 (P2008-290188A)	(73) 特許権者	504139662 国立大学法人名古屋大学
(43) 公開日	平成20年12月4日(2008.12.4)		愛知県名古屋市千種区不老町1番
審査請求日	平成21年5月12日(2009.5.12)	(74) 代理人	100078721 弁理士 石田 喜樹
		(72) 発明者	鈴木 教和 名古屋市千種区不老町1番 国立大学法人 名古屋大学内
		(72) 発明者	社本 英二 名古屋市千種区不老町1番 国立大学法人 名古屋大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動抑制装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

工具又はワークを回転させるための回転軸を備えた工作機械において、前記回転軸を回転させた際に生じるびびり振動を抑制するための振動抑制装置であって、

回転中の前記回転軸による時間領域の振動を検出するための検出手段と、該検出手段により検出された時間領域の振動にもとづいて、びびり振動数及び該びびり振動数における周波数領域の振動を算出し、算出した前記周波数領域の振動が所定の閾値を超えた場合、びびり振動数を60倍して工具刃数及び所定の整数で除した安定回転速度を求めるとともに、少なくとも後述の式(1)~(3)により算出されるk値及び位相情報にもとづいて係数を定め、当該係数と前記安定回転速度とからびびり振動を抑制可能な前記回転軸の最適回転速度を算出するための演算手段と、該演算手段により算出された最適回転速度にて前記回転軸を回転させるための回転速度制御手段とを備えていることを特徴とする振動抑制装置。

$$k' \text{ 値} = 60 \times \text{びびり振動数} / (\text{工具刃数} \times \text{回転軸回転速度}) \cdots (1)$$

$$k \text{ 値} = k' \text{ 値の整数部} \cdots (2)$$

$$\text{位相情報} = k' \text{ 値} - k \text{ 値} \cdots (3)$$

【請求項2】

演算手段は、上記式(1)~(3)にて算出されるk値及び位相情報を用いた演算式により、使用する係数を算出して定めることを特徴とする請求項1に記載の振動抑制装置。

【請求項3】

演算手段に、上記式(1)~(3)にて算出されるk値及び位相情報に対応づけて複数の係数を予め記憶させておき、前記演算手段は、算出されたk値及び位相情報にもとづき、使用する係数を選択して定めることを特徴とする請求項1に記載の振動抑制装置。

【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、加工中に発生する振動、特に再生型びびり振動を抑制するための振動抑制装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来より、たとえば回転可能な主軸にワークを支持させ、ワークに対して工具を送りながら、ワークに加工を施すといった工作機械がある。該工作機械においては、切削加工における切り込み量を必要以上に大きくすると、加工中に所謂「びびり振動」が発生して、加工面の仕上げ精度を悪化させてしまうという問題がある。このとき、特に問題となるのは自励振動である「再生型びびり振動」であり、該「再生型びびり振動」を抑制するためには、特許文献1、2に記載されているように、加工を行うにあたって、工具やワーク等の「びびり振動」が生じる系の固有振動数や加工中におけるびびり振動数を求め、固有振動数又はびびり振動数を60倍して工具刃数及び所定の整数で除した値を回転速度(以下、該方法にて算出された回転速度を安定回転速度とする)とすればよいことが知られている。

【0003】

そして、「びびり振動」が生じる系の固有振動数を求めるためには、特許文献1に記載されているように、工具やワークをインパルス加振して振動数を測定することにより「固有振動数」を求めるといった方法が知られている。また、加工中におけるびびり振動数を求めるためには、特許文献2に記載されているように、回転中の工具やワークの近傍に音センサを配置して、加工中に音センサにて検出された振動周波数にもとづいて「びびり振動数」を求めるといった方法がある。

【0004】

【特許文献1】特開2003-340627号公報

【特許文献2】特表2001-517557号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上記特許文献1の方法で「固有振動数」を求めるとなると、高価なインパルス装置を必要とするため、コスト高になるという問題がある。また、特許文献1の加振方法は、高度な技術を要するにも拘わらず、加工前に測定した「固有振動数」と加工中の「固有振動数」とは必ずしも一致しないため正確な最適回転速度を得にくいといったように、実用性に劣るという問題もある。

一方、上記特許文献2の方法では、音センサによる回転音等を分析して「びびり振動数」を得ようとしているものの、回転音等の分析により算出した「びびり振動数」と最適回転速度における「びびり振動数」との間には差異があるため、上記特許文献1の方法同様、正確な最適回転速度を得ることは難しい。すなわち、回転音等から「びびり振動数」を算出する場合、「びびり振動」に相当する振動周波数が検出された後、さらに数回の加工や測定を実施した上で漸近的に「びびり振動数」を求めることになるため、「びびり振動」が検出されてから最適回転速度を算出するまでに時間を要してしまい、結果的に加工面にびびりによるマークが残ってしまうという問題がある。

【0006】

そこで、本発明は、上記問題に鑑みなされたものであって、正確な最適回転速度を求めることができる上、びびり振動が生じてから最適回転速度を算出するまでの時間を短縮可能な振動抑制装置を提供しようとするものである。

10

20

30

40

50

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

上記目的を達成するために、本発明のうち請求項1に記載の発明は、工具又はワークを回転させるための回転軸を備えた工作機械において、前記回転軸を回転させた際に生じるびびり振動を抑制するための振動抑制装置であって、

回転中の前記回転軸による時間領域の振動を検出するための検出手段と、該検出手段により検出された時間領域の振動にもとづいて、びびり振動数及び該びびり振動数における周波数領域の振動を算出し、算出した前記周波数領域の振動が所定の閾値を超えた場合、びびり振動数を60倍して工具刃数及び所定の整数で除した安定回転速度を求めるとともに、少なくとも後述の式(1)～(3)により算出されるk値及び位相情報にもとづいて 10

$$k' \text{ 値} = 60 \times \text{びびり振動数} / (\text{工具刃数} \times \text{回転軸回転速度}) \cdots (1)$$

$$k \text{ 値} = k' \text{ 値の整数部} \cdots (2)$$

$$\text{位相情報} = k' \text{ 値} - k \text{ 値} \cdots (3)$$

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、演算手段は、上記式(1)～(3)にて算出されるk値及び位相情報を用いた演算式により、使用する係数を算出して定めることを特徴とする。

請求項3に記載の発明は、請求項2に記載の発明において、演算手段に、上記式(1)～(3)にて算出されるk値及び位相情報に対応づけて複数の係数を予め記憶させておき、前記演算手段は、演算手段に、上記式(1)～(3)にて算出されるk値及び位相情報に対応づけて複数の係数を予め記憶させておき、前記演算手段は、算出されたk値及び位相情報にもとづき、使用する係数を選択して定めることを特徴とする。 20

尚、請求項1に記載の「振動」とは、振動加速度、振動による変位、及び振動による音圧等を含むものである。

## 【発明の効果】

## 【0008】

本発明によれば、回転中の回転軸による時間領域の振動を検出するための検出手段と、該検出手段により検出された時間領域の振動にもとづいて、びびり振動数及び該びびり振動数における周波数領域の振動加速度を算出するとともに、算出した周波数領域の振動が所定の閾値を超えた場合、びびり振動数を60倍して工具刃数及び所定の整数で除した安定回転速度を求めるとともに、少なくとも後述の式(1)～(3)により算出されるk値及び位相情報にもとづいて係数を定め、当該係数と安定回転速度とからびびり振動を抑制可能な回転軸の最適回転速度を算出するための演算手段と、該演算手段により算出された最適回転速度にて回転軸を回転させるための回転速度制御手段とを備えており、実際に回転している回転軸に生じる「びびり振動」にもとづいて最適回転速度を算出するため、より正確な最適回転速度を直ちに算出することができるとともに、算出した最適回転速度を直ちに回転軸の回転にいかすことができる。したがって、回転軸に生じる「びびり振動」を効果的に抑制することができ、加工面の仕上げ精度を高品位に保つことができる、工具 30

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0009】

以下、本発明の一実施形態となる振動抑制装置について、図面をもとに説明する。

## 【0010】

図1は、振動抑制装置10のブロック構成を示した説明図である。図2は、振動抑制の対象となる回転軸ハウジング1を側面から示した説明図であり、図3は、回転軸ハウジング1を軸方向から示した説明図である。

振動抑制装置10は、回転軸ハウジング1にC軸周りで回転可能に備えられた回転軸3に生じる「びびり振動」を抑制するためのものであって、回転中の回転軸3に生じる時間 40

領域の振動加速度を検出するための振動センサ（検出手段）2 a ~ 2 c と、該振動センサ 2 a ~ 2 c による検出値をもとにして回転軸 3 の回転速度を制御する制御装置（演算手段、及び回転速度制御手段）5 とを備えてなる。

【0011】

振動センサ 2 a ~ 2 c は、図 2 及び 3 に示す如く回転軸ハウジング 1 に取り付けられており、一の振動センサは、他の振動センサに対して直角方向への時間領域の振動加速度（時間軸上の振動加速度を意味する）を検出ようになっていて（たとえば、振動センサ 2 a ~ 2 c にて、それぞれ直交する X 軸、Y 軸、Z 軸方向での時間領域の振動加速度を検出するようにする）。

【0012】

一方、制御装置 5 は、振動センサ 2 a ~ 2 c から検出される時間領域の振動加速度をもとにした解析を行う FFT 演算装置 6 と、該 FFT 演算装置 6 にて算出された値にもとづいて最適回転速度の算出等を行うパラメータ演算装置 7 と、回転軸ハウジング 1 における加工を制御する NC 装置 8 とを備えており、FFT 演算装置 6 における後述の如き解析、及び回転軸 3 の回転速度のモニタリングを行っている。

【0013】

ここで、制御装置 5 における「びびり振動」の抑制制御について、図 4 ~ 図 6 をもとに説明する。図 4 は、時間領域の振動加速度のフーリエ解析結果の一例を示した説明図であり、図 5 は、最適回転速度の演算に必要な係数と k 値、位相の関係の一例を示した説明図である。また、図 6 は、「びびり振動」の抑制制御について示したフローチャート図である。

まず、FFT 演算装置 6 では、回転中に常時検出される振動センサ 2 a ~ 2 c における時間領域の振動加速度のフーリエ解析を行い（S1）、図 4 に示されるような、回転軸 3 の周波数（びびり振動数）と、該周波数における回転軸 3 の周波数領域の振動加速度（周波数軸上の振動加速度を意味する）とを算出する（S2）。尚、上記時間領域の振動加速度のフーリエ解析を行うと、周波数と周波数領域の振動加速度との関係を示した図 4 のような波形が複数パターン取得される。そのため、本実施形態では、周波数領域の振動加速度の値が最大となる波形を用いて、以下の制御を行う。

次に、パラメータ演算装置 7 では、上記 FFT 演算装置 6 において算出された周波数領域の振動加速度と予め設定されている所定の閾値との比較を行い（S3）、算出された周波数領域の振動加速度が所定の閾値を超えた場合（たとえば、図 4 における周波数領域の振動加速度値 4 が検出された場合）には、回転軸 3 に抑制すべき「びびり振動」が生じているとして、以下の演算式（1）~（5）により最適回転速度の演算を行う（S4）。そして、算出された最適回転速度となるように、NC 装置 8 にて回転軸 3 の回転速度を制御して（S5）、「びびり振動」の増幅の防止、すなわち抑制を行う。

以上のようにして、制御装置 5 における「びびり振動」の抑制制御は行われる。

$$k' \text{ 値} = 60 \times \text{びびり振動数} / (\text{工具刃数} \times \text{回転軸回転速度}) \quad \dots \quad (1)$$

$$k \text{ 値} = k' \text{ 値の整数部} \quad \dots \quad (2)$$

$$\text{位相情報} = k' \text{ 値} - k \text{ 値} \quad \dots \quad (3)$$

$$\text{係数} = a - b \times k \text{ 値} + c \times \text{位相情報} \quad \dots \quad (4)$$

$$\text{最適回転速度} = \text{係数} \times \text{安定回転速度} \quad \dots \quad (5)$$

ここで、式（1）における「工具刃数」は、予めパラメータ演算装置 7 に設定されているものとする。また、式（1）における回転軸回転速度とは、現在（最適回転速度とする前）の回転速度である。さらに、式（5）における安定回転速度とは、上記背景技術に記載の方法にて算出された回転速度であり、該算出に際して「びびり振動数」はフーリエ解析により得られた値を用いるものとする。

【0014】

また、式（4）における定数 a、b、c の決定について説明する。

該定数 a、b、c は、回転軸 3 の回転速度と「びびり振動数」との関係等といった種々

10

20

30

40

50

の条件にもとづいて作成される安定限界線図から決定される。たとえば、種々の回転速度にてテスト加工を実施し、加工中に検出される時間領域の振動加速度のフーリエ解析を行って回転軸の周波数（びびり振動数）と該周波数における周波数領域の振動加速度とを算出する。ここで、加工中における周波数領域の振動加速度は、回転速度の変化に応じて周期的に増減するものであり、該周波数領域の振動加速度が最小値となる回転速度が求めるべき最適回転速度となる。そこで、各回転速度における位相情報、k値、及び安定回転速度等を上記演算式にて求め、各要素（位相情報やk値）と、周波数領域の振動加速度が最小値となる回転速度を安定回転速度にて除した値（すなわち、係数）との関係を、図5に示す如く、求める。そして、図5に示す関係から、種々の解析手法を用いて上述の係数演算式（式（4））の定数a、b、cを決定する（たとえば、 $a = 0.971$ 、 $b = 0.003$ 、 $c = 0.045$ 等）。

10

## 【0015】

以上のような振動抑制に係る制御を行う振動制御装置10によれば、振動センサ2a～2c、FFT演算装置6、及びパラメータ演算装置7により回転軸3の回転中に生じる「びびり振動」をリアルタイムでモニタリングしており、「びびり振動」の発生が検出されると、上記演算式（1）～（5）により直ちに最適回転速度を算出して、回転軸3の回転速度を該最適回転速度として「びびり振動」の増幅を抑制する。すなわち、実際に回転している回転軸3に生じた「びびり振動」にもとづいて最適回転速度を算出するため、より正確な最適回転速度を直ちに算出することができる。したがって、「びびり振動」を効果的に抑制することができ、加工面の仕上げ精度を高品位に保つことができる、工具摩耗の抑制、工具欠損の防止等といった効果を奏することができる。

20

## 【0016】

なお、本発明の振動抑制装置に係る構成は、上記実施の形態に記載した態様に何ら限定されるものではなく、検出手段、制御装置、及び制御装置における振動抑制の制御等に係る構成を、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。

## 【0017】

たとえば、式（4）及び図5に示すような、位相情報、k値、及び係数の関係は、工作機械の種類に応じて適宜調査し、決定するようにすることで精度をさらに向上することができる。つまり、係数を算出するにあたっては、上記実施形態に記載の式（4）に何ら限定されることはない。

30

また、上記実施形態では、係数を式（4）により算出して求める構成としているが、予め複数の係数値を、k値及び位相情報に対応させた状態で制御装置に記憶させておき、算出されたk値及び位相情報に応じて係数を選択し決定するような構成とする（式（4）を省略する）ことも可能である。

さらに、検出手段にて検出される時間領域の振動加速度のフーリエ解析を行った際、上記実施形態では、周波数領域の振動加速度が最大値を示す波形を使用して、「びびり振動」の抑制に係る制御を行うようにしているが、周波数領域の振動加速度の値が上位の複数（たとえば、3つ）の波形を用いて最適回転速度を算出するようにして、「びびり振動」の抑制効果の更なる向上を図ってもよい。

## 【0018】

40

さらにまた、上記実施形態では、検出手段により回転軸の振動加速度を検出し、検出された振動加速度にもとづいて最適回転速度を算出するといった構成としているが、検出手段によって振動による変位や音圧を検出し、検出された変位や音圧に基づいて最適回転速度を算出するように構成してもよい。

加えて、上記実施形態では、工具を回転させる所謂マシニングセンタ等の工作機械の回転軸における振動を検出する構成としているが、回転しない側（固定側）であるワーク又はその近傍の振動を検出するようにしても良い。更には、旋盤などワークを回転させる工作機械にも適用可能であり、その場合には回転軸であるワークを保持する主軸側の振動を検出したり、固定側である工具の振動を検出したりすることができる。尚、検出手段の設置位置や設置数等を、工作機械の種類、大きさ等に応じて適宜変更してもよいことは言う

50

までもない。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】 振動抑制装置のブロック構成を示した説明図である。

【図2】 振動抑制の対象となる回転軸ハウジングを側面から示した説明図である。

【図3】 回転軸ハウジングを軸方向から示した説明図である。

【図4】 時間領域の振動加速度のフーリエ解析結果の一例を示した説明図である。

【図5】 最適回転速度の演算に必要な係数とk値、位相の関係の一例を示した説明図である。

【図6】 「びびり振動」の抑制制御について示したフローチャート図である。

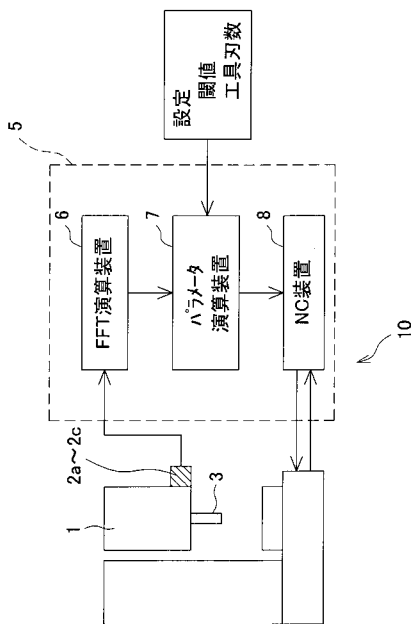
10

【符号の説明】

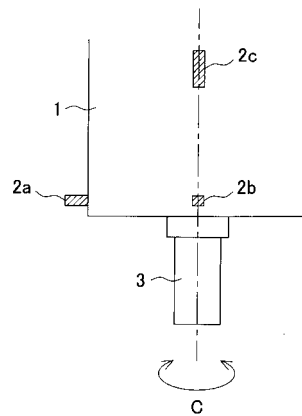
【0020】

1・・・回転軸ハウジング、2a、2b、2c・・・振動センサ、3・・・回転軸、5・・・制御装置、6・・・FFT演算装置、7・・・パラメータ演算装置、8・・・NC装置、10・・・振動抑制装置。

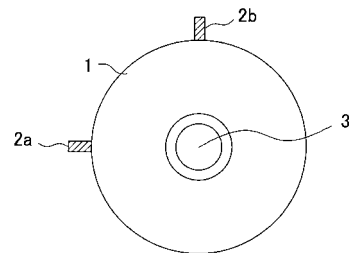
【図1】



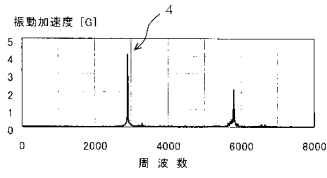
【図2】



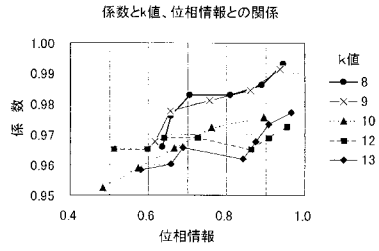
【図3】



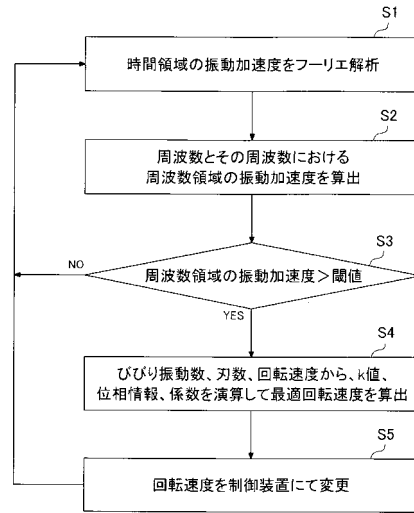
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 稲垣 浩

愛知県丹羽郡大口町下小口5丁目25番地の1 オークマ株式会社内

審査官 所村 美和

(56)参考文献 特開2007-044852(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23Q 15/12