

論文

(14) ゼロパワー磁気浮上を利用した除振装置の開発 (第1報, 基本原理と基礎実験)



水野 毅^{*1}
(1956.3生)



吉富 亮一^{*2}
(1976.9生)

近年, 先端の半導体製造システムや極微小領域計測システムでは, 振動などの外乱を除去する除振装置の重要性がますます増大している。除振装置で除去すべき外乱は, 設置床の振動に起因する地動外乱と装置のばね上に入力される直動外乱とに大別でき, 前者には低剛性, 後者には高剛性の支持機構が適している。従来のパッシブな除振装置では, これらの相反する要求を十分に満足することが原理的に困難である。

本研究では, 従来の除振装置とは全く異なるアプローチによって, 地動外乱に対する振動絶縁と直動外乱に対する制振との両立を図ることを提案している。具体的には, 正のばね剛性を持つばねと負のばね剛性を持つゼロパワー磁気浮上系とを中間台を介して直列に接続し, それぞれの剛性は低くすることによって振動絶縁特性を確保し, 両者の大きさ(絶対値)を一致させることによって直動外乱に対する剛性を無限大とするというものである。また, ゼロパワー磁気浮上を実現するには, 浮上対象物の電磁石からの相対変位を検出すれば十分なので, 従来のアクティブ除振装置のように絶対加速度を検出する必要がないことも提案する除振装置の特徴の一つである。

本論文では, まず, 浮上対象物に作用する外力に対して, ゼロパワー磁気浮上系があたかも負のばね特性を持っているかのように動作することを説明している。つぎに, ばね定数 k_1 , k_2 , を持つ二つのばねを直列に連結した場合, 全体のばね定数は $k_c = k_1 k_2 / (k_1 + k_2)$ となり, $k_1 = -k_2$ とすれば $|k_c| = \infty$, すなわち, 無限大の剛性が得られることを指摘している。つぎに, 通常のばねとゼロパワー磁気浮上系とを中間台を介して直列に結合する方式の除振装置を提案し, 基本モデルに基づいた解析によって, 中間台を支持するばねのばね定数と電磁石の特性係数(=力/変位)の大きさを等しくすれば, 直動外乱に対する剛性を無限大にできることを示している。さらに, 提案する除振方法の有効性を実証するために試作した1自由度アクティブ除振装置の概要を述べ, この装置を用いて, 実際に直動外乱に対して高い剛性を持つ除振装置が実現できることを実験的に確認している。

^{*} 本論文は, 日本機械学会論文集, 68-673, C編(2002-9), 2599ページに掲載。

^{*1} 正員, 埼玉大学工学部(〒338-8570) さいたま市桜区下大久保255)

^{*2} (株) 本田技術研究所(〒321-3393) 栃木県芳賀郡芳賀町下高根沢4630)

論文

(15) Manufacture of Overhanging Sharp Corner by Means of 6-Axis Control Machining with the Application of Ultrasonic Vibrations



Feliciano H. JAPTANA^{*1}
(1969.3生)



森重 功一^{*2}
(1969.5生)



安田 修吾^{*3}
(1978.6生)



竹内 芳美^{*4}
(1948.8生)

工作物に対する工具の位置関係は, X, Y, Zの3軸の直進運動で決まる位置と各軸回りのA, B, Cの三つの回転運動で決まる姿勢を指定することによって一意に定まる。フライスやエンドミルのような回転工具は, Z軸にあたる主軸に取り付けて, これを高速回転させながら加工を行うのでC軸を制御軸としては使用しない。そのため, 回転工具を使用する場合は5軸制御加工がもっとも自由度の高い加工となり, 複雑な形状も取付け直しをすることなく加工でき, 最近, 導入が盛んになっている。

回転工具は効率的な加工ができる反面, 刃先近傍には回転工具の切残しのR部が残る。これを取り除くには放電加工が手仕上げで対処するしかなく, 工程の増加を抑えるためにも一度の取付けでR部を除去できることが望まし

い。そこで, 手首のような運動によってR部を取り除くために, 非回転工具を6軸制御することを提案してきた。本研究は, マシニングセンタの直進3軸, 回転3軸の6軸を同時に作動させ, 非回転工具の位置と姿勢を制御しながら, 特にオーバーハングした面の稜線をシャープに加工できるCAMシステムを研究開発したものである。

非回転工具は非常に特徴のある加工を可能にする一方で, その切削速度は送り速度と等しく, 低切削速度になる。そのため, 硬質金属はともかく, 軟質金属ではむしろ生じて面精度の悪化が避けられない。これを解消するために工具を送り方向に超音波振動させ, 見かけの切削速度を上げる振動切削法を導入し, 振動方向と送り方向を一致させながら加工できるように工夫している。

この6軸制御振動切削加工法は, 回転工具を用いる5軸制御と併用することで, R部を除いた加工を回転工具で能率よく実施し, R部の処理は工具交換をした非回転工具によって仕上げるのが可能になり, 工作物をテーブルに取り付けるだけで複雑形状を全面的に加工できるという特徴的なものになる。これからの高付加価値加工に大きく寄与する新規性のある加工システムを研究開発したことは機械加工に新しい道を拓くものである。

^{*} 本論文は, JSME International Journal, 46-1, Series C (2003-3), 306ページに掲載。

^{*1} 電気通信大学大学院・院(〒182-8585) 調布市調布ヶ丘1-5-1)

^{*2} 正員, 電気通信大学(〒182-8585) 調布市調布ヶ丘1-5-1)

^{*3} 電気通信大学大学院・院(現)富士ゼロックス(株)

^{*4} フェロー, 大阪大学大学院(〒565-0871) 吹田市山田丘2-1)

論文

(16) 分子気体潤滑特性に及ぼす境界面の適応係数の影響 (せん断応力の解析手法とDSMC法による結果との比較)



山根 清美^{*1}
(1965.7生)



福井 茂寿^{*2}
(1952.3生)

すきまを形成する二面間の気体の圧力を高めて物体を非接触支持する気体潤滑において, すきま量 h が $0.5 \mu\text{m}$ (分子平均自由行程 $\lambda = 64\text{nm}$ (空気)の約10倍)程度以下の超微小すきま(あるいは低密度気体)を対象としたものは, 特に分子気体潤滑(MGL: Molecular Gas film Lubrication)と呼ばれている。分子気体潤滑では, 潤滑領域内の気体を連続体と見なせず, 粒子性を考慮した解析を行う。代表的な応用分野としては, コンピュータの磁気ディスク装置(HDD)があり, ここでは数十m/sで走行するディスク面上に浮動ヘッドスライダが20nm程度以下の超微小すきまで浮上し, 記録・読出しが行われている。さらに, 性能向上のための浮上量の微小化および回転の高速化も急速に進展している。

本論文では, このような磁気ディスク装置に代表される情報機器などのメカニズムの小型化・高性能化に伴って要求される分子気体レベルの気体潤滑, とりわけ, すきま量10nm程度以下での気体潤滑特性の把握を目指して, 気体分子の境界面における反射特性(適応係数 α)を考慮した圧力およびせん断応力の解析手法を確立するとともに, その妥当性を粒子シミュレーション結果との比較により厳密に検証した。

より具体的には, まず, 分子気体潤滑(MGL)理論に基づき, 分子気体効果を考慮した流量係数 Q_r およびせん断応力係数 W_c を広範な反射特性(適応係数 α)について算出して示した。この両係数は, 分子気体効果の指標となるクヌッセン数 $Kn (= \lambda/h)$ をパラメータとして示されておりはん用的に利用できる。次に, 妥当性を検証するため逆ステップ形スライダに生じる圧力・せん断応力の解析を行い, これをモンテカルロ直接シミュレーション(DSMC: Direct Simulation Monte Carlo)法による結果と精緻に比較し, 適応係数を考慮した分子気体潤滑理論, および算出した流量係数 Q_r , せん断応力係数 W_c の妥当性を明らかにした。

本論文の結果により, MGL方程式による適応係数を考慮した高精度の分子気体潤滑問題の解析手法が確立され, 連続体領域からすきま量10nm程度以下の超微小すきま領域までははん用的に使用可能であり, せん断応力を含めた潤滑特性を高精度に理論予測する方法が確立された。

^{*} 本論文は, 日本機械学会論文集, 67-663, C編(2001-11), 3618ページに掲載。

^{*1} 正員, 鳥取大学工学部(〒680-0945) 鳥取市湖山町南4-101)

^{*2} フェロー, 鳥取大学工学部(〒680-0945) 鳥取市湖山町南4-101)