

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5252392号
(P5252392)

(45) 発行日 平成25年7月31日(2013.7.31)

(24) 登録日 平成25年4月26日(2013.4.26)

(51) Int.Cl.	F I
B 2 3 Q 1/01 (2006.01)	B 2 3 Q 1/01 H
	B 2 3 Q 1/01 G
	B 2 3 Q 1/01 F

請求項の数 5 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2008-64564 (P2008-64564)
(22) 出願日	平成20年3月13日 (2008.3.13)
(65) 公開番号	特開2009-220193 (P2009-220193A)
(43) 公開日	平成21年10月1日 (2009.10.1)
審査請求日	平成23年3月7日 (2011.3.7)

(73) 特許権者	502350504 学校法人上智学院 東京都千代田区紀尾井町7番1号
(74) 代理人	110001081 特許業務法人クシブチ国際特許事務所
(74) 代理人	100091823 弁理士 榑淵 昌之
(74) 代理人	100101775 弁理士 榑淵 一江
(72) 発明者	清水 伸二 東京都千代田区紀尾井町7番1号 学校法人 上智学院 上智大学 理工学部 機械工学科内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 精密機械

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

空気流の生じる環境下に設置されたときに、該空気流の影響により、時間の経過と共に発生するであろう熱変位をきらう精密機械であり、精密機械本体の外表面における、床面に対向する面ではなく、該空気流の影響を受ける面に所定の深さの窪み部を多列多行に亘って、一体的に設けたことを特徴とする精密機械。

【請求項 2】

空気流の生じる環境下に設置され、該空気流の影響により、時間の経過と共に発生するであろう熱変位をきらう精密機械であり、精密機械本体の外表面における、床面に対向する面ではなく、該空気流の影響を受ける面に所定の深さの窪み部を多列多行に亘って、一体的に設け、前記精密機械本体を設置した環境下で発生する空気流の速度、或いは、前記精密機械本体の駆動によって発生する空気流の速度を上記窪み部で減じ、前記精密機械本体の外表面を断熱可能としたことを特徴とする精密機械。

【請求項 3】

前記窪み部の深さが、前記窪み部の底部での空気流の速度を、所定の値まで減じることが可能な深さに設定されていることを特徴とする請求項 2 に記載の精密機械。

【請求項 4】

前記外表面に縦横に延びるリブを設けて前記窪み部を形成し、前記リブの先端部を、基端部よりも吸熱し難い材質としたことを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の精密機械。

【請求項 5】

10

20

隣り合う前記窪み部同士の間隔を当該窪み部の開口幅以内としたことを特徴とする請求項2乃至4のいずれかに記載の精密機械。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、熱変位を抑制するための技術に関する。

【背景技術】

【0002】

科学技術の急速な進歩に伴い、自動車工業、航空機工業、電子工業、及び宇宙工業等では、複雑かつ高精度な機械加工部品が要求されている。この要求に応えるべく、機械加工部品を作り出すための「マザーマシン」である工作機械は、高精度、高能率、及び多機能化を目指して発展を遂げてきた。工作機械の加工精度は、静剛性、動剛性、及び熱特性等の影響を受ける。特に熱特性には、工作機械本体の経時的な熱変形に伴って主軸と工作物との間の相対距離が変位する熱変位も含まれ、この熱変位を抑制することは、長時間に亘り高い精度を維持すべき工作機械にとって重要な事である。

10

【0003】

熱変位の要因となる熱源には大別して2つある。すなわち、内部熱源及び外部熱源である。内部熱源は、工作機械の内部で発生して工作機械自身の温度を上昇させるものであり、工作機械の稼働中に発生する主軸や送り軸の熱に代表される。内部熱源による発熱は、その発生箇所や発熱量、この発熱に伴う熱変位が予想し易いため、対策が講じやすい。

20

一方、外部熱源は、工作機械の周囲の空気に熱を与える熱源であり、工作機械が設置された作業室の照明や暖房、日照等が一例として挙げられる。外部熱源によって工作機械の周囲の空気が加熱されると、この加熱された空気の熱が工作機械に移動し、工作機械の温度を上昇させ、熱変位を誘起する。

【0004】

外部熱源の一要因である照明や暖房、日照等は、その発生熱量が一日の中で大きく変化し、また天候や季節によっても変化するため、工作機械の周囲の空気の時間的な温度変化を予測することは困難である。また、工作機械の周囲には、空気の温度勾配による自然対流の他に、送風機等の送風による強制対流、或いは、工作機械の運動要素の運動によって生じる対流が生じ、これらの空気の対流によって工作機械と周囲の空気との間で複雑な熱輸送が行われる。

30

以上の事から外部熱源の発熱に伴う工作機械の熱変位を予測して制御することは非常に困難となる。

しかしながら、工作機械においては外部熱源による熱変位は到底無視することはできない。例えば1日の間に周囲の空気の温度(環境温度)が8 ~ 14 変化すると、内部熱源の影響が無い場合(内部熱源に対する対策を完璧に講じた場合)であっても、コラム(工作機械のフレーム部分)に $\pm 20 \mu\text{m}$ の熱変位が生じるとの報告例があり、ナノオーダーの加工精度に近づく今日の工作機械においては、そのオーダーの熱変位は加工精度を大きく阻害する。

【0005】

40

そこで、従来、工作機械においては、熱変位に対する特別な制御を必要とせずに、この熱変位を抑制する技術が従来から提案されている。このような従来技術には、例えば、工作機械本体を構成するフレームであり、主軸頭を支持するコラムを中空に形成し、コラムの面板のうち、上記主軸頭を支持する側の面板の内面に凹凸部を設け、この凹凸部に対向する面板の間で、熱コンダクタンスの比率と熱容量の比率とを共に同じ値に設定したものである。これにより、コラムの全体に対して均一に変化するコラム周囲の環境温度に対し、各々の面板の温度追従速度が等しくなり各面板での熱膨張の度合いが等しくなるため、コラムの熱変位が抑制される(例えば、特許文献1参照)。

【特許文献1】特開2004-142021号公報

【発明の開示】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、従来の技術では、通常、コラムの全体に対して不均一に環境温度が変化した場合、工作機械本体の外部熱源が各面板に対して与える熱量が異なるため、各面板の上記熱コンダクタンス及び熱容量を設計する際には、外部熱源が各面板に与える熱量の差異を考慮して設計する必要があり、非常に複雑である。

環境温度変化による熱変位の問題は、工作機械の他に、例えば3次元測定器や半導体製造装置等の他の装置を含む精密機械においても同様に言える事である。

【0007】

本発明は、上述した事情に鑑みてなされたものであり、簡単に熱変位を抑制することができる精密機械を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するために、本発明は、空気流の生じる環境下に設置されたときに、該空気流の影響により、時間の経過と共に発生するであろう熱変位をきらう精密機械であり、精密機械本体の外表面における、床面に対向する面ではなく、該空気流の影響を受ける面に所定の深さの窪み部を多列多行に亘って、一体的に設けたことを特徴とする。

【0009】

また上記目的を達成するために、本発明は、空気流の生じる環境下に設置され、該空気流の影響により、時間の経過と共に発生するであろう熱変位をきらう精密機械であり、精密機械本体の外表面における、床面に対向する面ではなく、該空気流の影響を受ける面に所定の深さの窪み部を多列多行に亘って、一体的に設け、前記精密機械本体を設置した環境下で発生する空気流の速度、或いは、前記精密機械本体の駆動によって発生する空気流の速度を上記窪み部で減じ、前記精密機械本体の外表面を断熱可能としたことを特徴とする。

20

【0010】

また本発明は、上記の精密機械において、前記窪み部の深さが、前記窪み部の底部での空気流の速度を、所定の値まで減じることが可能な深さに設定されていることを特徴とする。

また本発明は、上記の精密機械において、前記外表面に縦横に延びるリブを設けて前記窪み部を形成し、前記リブの先端部を、基端部よりも吸熱し難い材質としたことを特徴とする。

30

また本発明は、上記の精密機械において、隣り合う前記窪み部同士の間隔を当該窪み部の開口幅以内としたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、床面に対向する面ではなく、前記空気流の影響を受ける精密機械本体の外表面に所定の深さの窪み部を多列多行に亘って、一体的に設けたため、この外表面近傍での空気流の速度が窪み部によって減じられ、空気流と外表面との間の熱の移動が抑制され外表面が断熱可能となる。

40

このように断熱されることで、空気流の生じる環境下に設置されても、この空気流の影響による熱変位が抑制される。

前記窪み部の深さが、前記窪み部の底部での空気流の速度を、所定の値まで減じることが可能な深さに設定された構成とすることで、前記窪み部の底部での空気流による流入熱流束を減らし、空気流から外表面への熱の流入を抑制することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

50

以下、図面を参照して本発明の実施形態について説明する。

< 第 1 実施形態 >

図 1 は、本実施形態に係る工作機械の一例たる立形シングルコラムタイプのマシニングセンタ 1 の構成を示す斜視図である。

マシニングセンタ 1 は、架台となる固定されたベッド 2 の後部に、垂直にコラム 4 を立設して構成された工作機械本体 6 を備える。コラム 4 にはスピンドルヘッド 8 が Z 軸（正面から見て上下軸）方向に運動可能に配置され、また、ベッド 2 の前部に設けた Y 軸ガイド 9 にはサドル 10 が Y 軸（正面から見て前後軸）方向に運動可能に配置され、このサドル 10 の上面に、工作物 17 を保持するテーブル 12 が X 軸（正面から見て左右軸）方向に運動可能に配置されている。

10

【 0 0 1 3 】

コラム 4 は略直方体形状を成し、スピンドルヘッド 8 が配置される前壁 4 A には Z 軸ガイド 15 が設けられ、この Z 軸ガイド 15 に上記スピンドルヘッド 8 が Z 軸方向にスライド可能に配設されている。スピンドルヘッド 8 内には主軸 18 が回転自在に装着されており、この主軸 18 の下端には工具 19 が着脱可能に装着されている。この主軸 18 に装着可能な工具 19 には、例えばフライスやエンドミル、ドリル、タップ等があり、これらの工具 19 の中から加工・工作の目的に応じた工具 19 が選択されて主軸 18 に装着される。

なお、マシニングセンタ 1 の稼働中に発生する切粉やクーラント、ミストの周囲への飛散を防止するために、マシニングセンタ 1 の周囲、或いは、テーブル 12 の周辺には適宜にカバー材が設けられる。

20

【 0 0 1 4 】

ここで、マシニングセンタ 1 が設置された工場等では、照明や空調、日照等が変化して、マシニングセンタ 1 の周囲の空気の温度（環境温度）が変化する。そして例えば、空調等の送風によってマシニングセンタ 1 の周囲に空気流が生じたり、空調等で工場の内外で温度差が生じている状態で工場の扉が開閉された場合に、温度差のある空気が工場内外で扉を介して流通しマシニングセンタ 1 の周囲に空気流を生じたりする。さらに、マシニングセンタ 1 の稼働時には、工具が装着された主軸 18 が高速駆動され、また、テーブル 12 やサドル 10 等も駆動され、このようなマシニングセンタ 1 の運動要素の運動によっても工作機械本体 6 の周囲に空気流が発生する。

30

【 0 0 1 5 】

そして、何ら対策を施さなければ、工作機械本体 6 の周囲の空気流に伴って、空気流の熱が工作機械本体 6 の外表面に移動し、工作機械本体 6 に熱変形を生じさせることになる。

このような環境温度によって工作機械本体 6 の例えばコラム 4 の左右の側壁 4 B、4 C、前壁 4 A、及び後壁 4 D の各々に熱変形が生じると、その熱変形に起因して、コラム 4 に支持された主軸 18 及びテーブル 12 の相対距離、すなわち、主軸 18 に取り付けられた工具 19 とテーブル 12 上の工作物 17 との間の相対距離が変わる、いわゆる熱変位が発生することとなる。

【 0 0 1 6 】

40

そこで本実施形態では、コラム 4 の熱変形を抑制すべく、図 1 に示すように、コラム 4 の左右の側壁 4 B、4 C、後壁 4 D、及び天面 4 E の各々の外表面の略全領域に、矩形に開口した断面矩形形状の窪み部 30 を、多列多行に亘って間隔 W_a 、 W_b をあけて規則的に一体的に設けた構成としている。各窪み部 30 は、縦に延びる縦リブ 32 A 及び横に延びる横リブ 32 B が互いに直交して格子形状の有底の窪み部 30 を形成するリブ構造によって構成されている。このようなコラム 4 の窪み部 30 は、リブ構造を形成する鋳型に、溶けた鉄を流し込んで鋳造によりコラム 4 の左右の側壁 4 B、4 C、後壁 4 D、及び天面 4 E に一体に成型される。このとき、隣接する窪み部 30 の間隔 W_a 、 W_b は共に、窪み部 30 の開口径以内とされている。

【 0 0 1 7 】

50

このようにコラム 4 の外表面 5 に窪み部 30 を設けることで、コラム 4 の周囲で発生している空気流の速度がコラム 4 の外表面 5 の近傍で窪み部 30 により減じられることとなり、この結果として、コラム 4 の外表面 5 が空気流から断熱されることとなる。

なお、ベッド 2 の熱変形によっても熱変位が生じるため、当該ベッド 2 の外表面にも多数の上記窪み部 30 を設けることが望ましい。

ただし、スピンドルヘッド 8 等のモータが収納されている箇所といった、駆動中に発熱が発生し周囲への放熱が必要な箇所を避けて、上記窪み部 30 は設けることが望ましい。

【0018】

以下、窪み部 30 による断熱作用について詳細に説明する。

先ず、ある構造物の外表面の周囲に温度差のある空気が流動する状態を考える。

10

図 2 は、構造物の外表面 S の法線方向を y 軸方向と定義して、構造物の外表面 S に沿った空気流の速度分布と温度分布とを共に示した図である。詳細には、図 2 (a) は、構造物の外表面 S から十分に遠方 ($y = \infty$) での空気速度 U が略ゼロの場合、すなわち、構造物の外表面 S 近傍での空気流の空気速度がほぼ無い場合を示し、図 2 (b) は、構造物の外表面 S から十分に遠方 ($y = \infty$) での空気速度 U が速度 U_0 であり、法線方向に空気流の速度勾配が生じている場合を示している。

【0019】

構造物の外表面 S に空気流から流入する熱の流入熱流束を q 、空気の熱伝導率を λ 、空気の温度を T とすると、この流入熱流束 q は、構造物の外表面 S での空気の温度勾配によって決まるので、次式のフーリエの式が成立する。

20

$$q = - \lambda \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right) \Big|_{y=0} \quad (1)$$

また一般に、速度場と温度場との間にはコルバーンのアナログによって相似則が成り立つ事が知られており、次式が成り立つ。

$$\left(\frac{\partial U}{\partial y} \right) \Big|_{y=0} \sim \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right) \Big|_{y=0} \quad (2)$$

つまり、(1) 及び (2) 式より、次式が成り立つ。

$$q = - A \left(\frac{\partial U}{\partial y} \right) \Big|_{y=0} \quad (\text{ただし、} A \text{ は定数}) \quad (3)$$

【0020】

上記 (2)、(3) 式に示されるように、速度勾配 ($\partial U / \partial y$) が大きくなると温度勾配 ($\partial T / \partial y$) も大きくなり、温度勾配に比例する流入熱流束 q も大きくなる。換言すれば、構造物の外表面 S への流入熱流束 q を抑えるためには、外表面 S の近傍 ($y = 0$) での空気流の速度勾配を小さくする構造とすれば良いことになる。

30

【0021】

すなわち、前掲図 1 に示すように、コラム 4 の外表面 5 に多数の窪み部 30 を設けることで、その窪み部 30 が窪みの内部に空気の壁を形成するため、窪み部 30 の内部への空気流の進入が遮断され、窪み部 30 の内部での空気速度 U ($= \left(\partial U / \partial y \right) \Big|_{y=0}$) が低減される。これにより、上記 (3) 式により、コラム 4 への流入熱流束 q が抑えられるため、コラム 4 の熱変形が抑制され、結果として、熱変位が抑えられることとなる。

【0022】

発明者らは、窪み部 30 が空気流の空気速度 U を減じている事を視覚的に確かめるために、空気流の可視化システムを構築し、その現象を確かめた。

40

図 3 は、可視化システム 40 の概略構成を示す図である。

可視化システム 40 は、窪み部 30 を断面で切った平面内での空気流を観察するためのものであり、この可視化システム 40 では、図 3 に示すように、コラム 4 の側壁 4 B、4 C 等を模すために、厚み 12 mm、高さ 12 mm、及び長さ 400 mm の鉄鋼 (例えば S 45 C) の基材 4 1 の上面に、35 mm の一定の間隔で、高さ 40 mm 厚さ 5 mm の板状のリブ 4 2 を垂直に立設して、コラム 4 の窪み部 30 を再現したリブモデル 4 3 を用いて空気流を観察する。

【0023】

すなわち、可視化システム 40 においては、断熱作用を有する透明な平板である 2 枚の断熱板カバー 4 4、4 5 の間に上記リブモデル 4 3 を挟持し、さらに、一定間隔で噴射口

50

46Aが形成された管状の空気噴射ノズル46を、断熱板カバー44、45の隙間に、リブモデル43と略420mm離れた位置に対向して延在させ、この空気噴射ノズル46から空気を噴射させることで、1対の断熱板カバー44、45の間に、上記リブモデル43に向う空気流54を発生させている。

【0024】

さらに可視化システム40は、ミスト状の着色粒子を生成するミストジェネレータ48と、このミストジェネレータ48が生成するミスト状の着色粒子を、1対の断熱板カバー44、45の上縁開口47から内部に向けて霧状に拡散噴霧し、空気噴射ノズル46から噴射された空気と混合するミストディフューザ49とを備え、また、1対の断熱板カバー44、45の間に面状のレーザ光52を照射して照明を行うレーザ発生器50と、リブモデル43の近傍に対向配置され、レーザ光52によって照明された断熱板カバー44、45の内部を高速に撮像する高速度カメラ51とを備えている。

このような構成により、可視化システム40においては、高速度カメラ51により每秒125フレーム程度の撮像を行うことで、1対の断熱板カバー44、45内での着色粒子の挙動が撮像され、これにより空気流が観察可能となる。

また、このように撮像された各撮像画像に基づいて、PIV計測(PIV:Particle Image Velocimetry(粒子画像流速測定))を行うことで空気速度Uも測定可能となる。

さらに、上記空気噴射ノズル46から噴射する空気をヒータ53を設け、このヒータ53で噴射空気を加熱することで、所定の環境温度を再現し、この環境温度の空気流によるリブモデル43の各部の熱膨張を測定することで、コラム4の熱変形を推察することもできる。

【0025】

図4は、上記可視化システム40で得られた空気流の撮像画像を示す図であり、図4(a)は上記リブモデル43の近傍での空気流の観察画像を示し、図4(b)は基材41の上面がフラットな構造体(リブ42が無い構造体)の近傍での空気流の観察画像を示す。なお、この図4において、白色の雲状部分が空気流を示す。

図4(a)と図4(b)とを比較して分かるように、窪み部30がある場合、隣り合うリブ42の間を繋ぐように空気流が生じ、リブ42の間の谷底、すなわち、窪み部30の底部分の基材41には空気流が届いていない。すなわち、窪み部30がコラム4の外表面5の近傍での空気流動を抑制し、その流速を減じさせることが確認できる。れにより、上記(3)に基づいて、コラム4への流入熱流束qが抑えられていることが実証される。なお、図示は省略するが、上記PIV計測により、リブモデル43の外表面近傍での空気速度Uが求められ、これによっても、窪み部30の内部で空気速度Uが小さくなっている事が確認されている。

【0026】

図5は、窪み部30を構成するリブ42の先端部42A、内側面、及び窪み部30の底部分の各部での空気流の速度勾配の分布を示す図である。詳細には、図5(a)は、基材41に窪み部30が無いフラットモデルの場合を示し、図5(b)~図5(e)の各々は窪み部30を構成するリブ42の高さ、厚さ、及びピッチ(立設間隔)のいずれか1つを変えた場合を示す。

なお、これらの図において、空気流の速度勾配は、対象部位の表面と垂直な方向の速度勾配を示し、1は基材41の外表面の速度勾配を、2はリブ42の先端部42Aでの速度勾配を、3はリブ42の内側面での速度勾配を、4は窪み部30の底部分での速度勾配を示す。これらの空気流の速度勾配は、上記PIV計測、或いは、数値計算により求められた空気速度Uに基づいて計算される。

【0027】

図5(a)に示すように、基材41の外表面Sにリブ42による窪み部30が無い場合、その外表面Sの全体に空気流の速度勾配1が生じている。速度勾配1は、温度勾配と相似であるとみなせるため、速度勾配1の分布を面積分した値、すなわち、温度勾配を面積分した値が、その面積への流入熱量の大きさを示すことになる。

すなわち、図5(a)に示すように、基材41の外表面Sにリブ42による窪み部30が無い場合には、外表面Sの全体に空気流の速度勾配1が生じていることから、その外表面Sの近傍の空気流によって、速度勾配1に比例した大きさの熱流入が発生していることが分かる。

【0028】

一方、図5(b)～図5(e)に示すように、基材41の外表面Sにリブ42による窪み部30が設けられている場合、リブ42の先端部42Aが空気流に曝されることから、この近傍に比較的大きな空気流の速度勾配2、3が現れ、この先端部42Aへの空気流による熱流入が発生する。これに対して、窪み部30の底部分では空気流の速度勾配4が非常に小さいため、空気流による熱流入が抑えられていることが分かる。

10

このように、空気流からの熱移動は、概ねリブ42の先端部42Aの方で生じ、リブ42の基材41の方では小さくなり、リブモデル43の全体でみても、周囲の空気からの熱の移動が抑えられ、断熱効果が生じていることが分かる。

なお、各リブ42の先端部42Aと、基材41側の基端部42Bとに熱特性の異なる材質を用いて窪み部30を構成しても良い。このとき、先端部42Aの方を吸熱し難い材質とすることで、空気流からリブ42への熱流入を少なくすることができる。

【0029】

図6は、リブモデル43、及びリブ42が無いフラットモデルへの流入熱流束qの時間変化を示す図である。なお、流入熱流束qの測定は、上記可視化システム40を用いて行われたものであり、リブモデル43及びフラットモデルの温度を室温22.3程度とした後、温度37.5の一定温度に維持した流量12NL/minの空気流を噴射し、空気流の流速及び温度を一定に保ったまま3600秒間に亘り、基材41の表面の熱流束(リブモデル43においては窪み部30の底部)を測定して得られた結果である。

20

この図に示されるように、流入熱流束qは、リブモデル43及びフラットモデルのいずれも時間の経過と共に飽和して一定となる。この飽和域での値をリブモデル43及びフラットモデルと比較すると、リブモデル43の流入熱流束qは、フラットモデルの約13%にまで抑えられていることが分かる。

すなわち、リブモデル43とフラットモデルとは、基材41の表面近傍での空気流の速度勾配の違いに起因して、流入熱流束も相当に異なることが示される。

【0030】

30

図7は、リブモデル43、及びリブ42が無いフラットモデルの環境温度に対する追従性の測定結果を示す図である。なお、この測定条件は、図6の測定条件と同様であり、基材41の表面温度(リブモデル43においては窪み部30の底部)を測定して得られた結果である。

この図に示されるように、空気流の影響によるリブモデル43の温度変化は、フラットモデルに対して時間的に緩やかになり、時間的な遅れが生じていることが分かる。測定終了時での温度を比較した場合、リブモデル43の温度はフラットモデルの温度の70%に抑えられているものの、図6に示した流入熱流束qの違いからみれば、温度の差が小さい。これは、図5を参照して説明したように、リブ42の先端部42Aからの熱伝導によって基材41に熱が流入するためと考えられる。

40

【0031】

図8は、リブモデル43、及びリブ42が無いフラットモデルの外表面の温度分布の測定結果を示す図である。なお、図8の測定条件は上記図6の測定条件と同様であり、一定時間経過時の基材41の長手方向の温度分布を測定して得られたものである。

この図に示されるように、リブモデル43の場合、フラットモデルと同様に、基材41の温度分布が均一となり良好な均熱性が維持されていることが分かる。さらに、リブモデル43にあっては、流入熱流束が抑制されている結果、その基材41の温度が同時刻と比較した場合、フラットモデルよりも低く抑えられていることが分かる。

【0032】

図9は、リブモデル43、及びリブ42が無いフラットモデルの熱膨張による熱変位量

50

の測定結果を示す図である。なお、図9の測定条件は上記図6の測定条件と同様であり、基材41の長手方向の変位量を測定して得られたものである。

この図に示されるように、リップモデル43においては、フラットモデルよりも基材41の温度変化が遅いため、基材41の熱変位量の変化も同様に遅くなる。さらに、その最大の熱変位量は、リップモデル43が約1.8 μmであるのに対してフラットモデルが約2.8 μmとなり、リップモデル43の最大熱変位量がフラットモデルの約78%まで減少しているとの測定結果が得られており、これにより、窪み部30によって熱変位の抑制効果が得られていることが分かる。

【0033】

以上の測定の結果から、基材41の外表面にリップ42を立設して複数の窪み部30を連設し、外表面近傍（より正確にはリップ42の谷部である窪み部30の底部分）での空気流を減じることで、基材41の温度分布を均一に維持しつつ、環境温度の変化に対して基材41の温度変化の応答を遅くし、また、熱変形による熱変位の最大値を抑えられる事が示された。

【0034】

ここで、図9の測定結果で得られた熱変位量の曲線は、次式に示す1次遅れ系の同定式で同定することができる。

$$\text{熱変位量} = B (1 - \exp\{-(t-d)/\tau\}) \quad (4)$$

ただし、tは時間、Bは最大熱変位、dは遅れ、 τ は時定数である。

【0035】

上記(4)式による同定によれば、時定数 τ が大きいほど、熱変位量の時間的变化が緩やかになり最大熱変位Bに達するまでの時間が大きくなる。

すなわち、マシニングセンタ1のコラム4の外表面5に窪み部30を設けた場合に、このコラム4の熱変位量の時定数 τ を十分に大きくすることができれば、マシニングセンタ1の稼働時間の間に、熱変位量が最大熱変位に到達しないようにすることが可能となる。

【0036】

次いで、発明者らは、リップモデル43の形状と、上記時定数 τ との関係についての知見を得るべく、数値解析を行った。

この数値解析においては、リップ42が有する熱容量の条件を同じにするために、図10に示すように、リップモデル43のリップ42の厚みを仮想的にゼロと想定して解析を行っている。さらに、リップ42で区画された隣接する窪み部30の間は断熱されて互いに熱の移動は無いものと仮定して解析を行っている。

なお、この数値解析に用いたリップモデル43は、図10に示すように、基材41の高さが12mmであり、この基材41の上面に高さa = 40mmのリップ42がピッチb = 40mmで立設されたものを基準とし、b/aによりアスペクト比を定義して、このアスペクト比を0.4 ~ 2.5の間で可変して解析を行った。

【0037】

図11は、窪み部30のアスペクト比と時定数 τ との関係の解析結果を示す図である。

この解析では、高さaを固定しつつピッチbを可変してアスペクト比を可変した場合と、これとは逆に、ピッチbを固定しつつ高さaを可変してアスペクト比を可変した場合とを解析している。この結果、図10に示すように、いずれかの場合でも、アスペクト比が同じであれば、時定数 τ は略同じとなり、また、アスペクト比が大きいほど、時定数 τ が大きくなることが求められた。

【0038】

以上説明したように、本実施形態によれば、マシニングセンタ1のコラム4の外表面5に窪み部30を多行多列に亘って設ける構成としたため、コラム4を含む工作機械本体6と、この工作機械本体6を覆う全体カバー20との間に空気流が生じたとしても、コラム4の外表面5での速度勾配が窪み部30によって減じられるため、空気流の熱がコラム4に移動することが抑制されて断熱される。

これにより、コラム 4 の周囲の環境温度が変化しても、その温度変化に伴ってコラム 4 が熱変形するのが抑制され、結果として、熱変位を抑えることができる。

【 0 0 3 9 】

特に、上記窪み部 3 0 の深さを、その底部における法線方向の空気流の速度勾配を略ゼロとするように上記縦リブ 3 2 A、横リブ 3 2 B の高さを設定することで、空気流からコラム 4 の外表面 5 への熱の移動を、縦リブ 3 2 A 及び横リブ 3 2 B による熱伝導によるものを支配的とし、窪み部 3 0 の底部から直接的にコラム 4 に熱が移動するのを抑制し、高い断熱効果を得ることができる。

また、このように断熱効果を有する窪み部 3 0 を、その窪み部 3 0 の開口径よりも短い間隔 $W a$ 、 $W b$ でコラム 4 の外表面 5 に設けることで、窪み部 3 0 の間のリブの部分での熱の吸収を抑制し、コラム 4 の全体として、高い断熱効果を得ることができる。

10

【 0 0 4 0 】

< 第 2 実施形態 >

図 1 2 は、本発明の第 2 実施形態に係るマシニングセンタ 1 0 0 の構成を示す斜視図である。このマシニングセンタ 1 0 0 は、門形構造のコラムを有する門形マシニングセンタであって、架台となる固定されたベッド 1 0 2 を挟んだ両側にコラム 1 0 4 A、1 0 4 B を垂直に立設し、各コラム 1 0 4 A、1 0 4 B の上端を横はり (トップビーム) 1 0 3 で連結して構成された工作機械本体 1 0 6 を備える。

2 本のコラム 1 0 4 A、1 0 4 B には、横けた (クロスレール) 1 0 7 が横架され、この横けた 1 0 7 には、立フライスヘッド 1 0 8 が横方向に運動可能に支持され、この立フライスヘッド 1 0 8 に、主軸及び工具が取り付けられる。立フライスヘッド 1 0 8 の直下には、ベッド 1 0 2 上に載置されたテーブル 1 1 2 が配置され、立フライスヘッド 1 0 8 に取り付けられた工具によって、テーブル 1 1 2 上に保持された加工物を工作・加工可能に構成されている。

20

【 0 0 4 1 】

また、立フライスヘッド 1 0 8 及びベッド 1 0 2 (テーブル 1 1 2) を連結するフレームとしての上記コラム 1 0 4 A、1 0 4 B の外表面に加え、ベッド 1 0 2、及び横はり 1 0 3 の外表面には、第 1 実施形態で説明した窪み部 3 0 が多列多行に亘って間隔をあけて規則的に設けられており、空気流との間で断熱されている。

これにより、門形構造のコラムを構成するコラム 1 0 4 A、1 0 4 B、及び横けた 1 0 7、さらには、ベッド 1 0 2 の熱変形が抑制され、結果として、工具とテーブル 1 1 2 との間の熱変位が抑制される。

30

【 0 0 4 2 】

なお、上述した実施の形態は、あくまでも本発明の一態様を示すものであり、本発明の範囲内で任意に変形および応用が可能である。

【 0 0 4 3 】

例えば、上述した実施形態では、窪み部 3 0 をコラム 4 やベッド 2 の外表面 5 に規則的に配列する構成を例示したが、これに限らず、外表面の断熱効果が得られる限りにおいて、各列間、或いは、各行間の相互の窪み部 3 0 を、列又は行を規定する線上からずれた位置に配置し、或いは、個数を間引いて不規則としても良い。ただし、隣接する窪み部 3 0 同士の離間距離は、当該窪み部 3 0 の開口径以内とすることが望ましい。

40

また、窪み部 3 0 をコラム 4 にのみ設ける構成を例示したが、これに限らず、環境温度との断熱を図るべき箇所に適宜に設けても良い。

【 0 0 4 4 】

また例えば、上述した実施形態では、コラム 4 の外表面 5 に窪み部 3 0 を一体に構成したが、これに限らない。すなわち、上記縦リブ 3 2 A 及び横リブ 3 2 B からなる格子状のリブ構造体を別途に形成し、コラム 4 の外表面 5 に固着する構成としても良い。

【 0 0 4 5 】

また例えば、上述した実施形態では、工作機械の一例として、主軸 1 8 が垂直のマシニングセンタ 1、1 0 0 を例示したが、これに限らず、主軸 1 8 が水平の横形のマシニング

50

センタであっても良い。

【0046】

また例えば、上述した実施形態では、工作機械を説明したが、この工作機械の他に、例えば3次元測定装置や半導体製造装置を含む精密機械に対し、本発明を適用することができる。

すなわち、工作物、加工物、或いは測定物等の対象物を載置するテーブルと、この対象物を工作、加工するための工具や光照射器、或いは測定するための探査針等を保持する保持機構（工作機械にあってはヘッド）と、これらテーブル及び保持機構を連結するフレーム（工作機械にあってはコラム）とを備える精密機械であって、このフレームの外表面に、所定の深さの窪み部30を多列多行に亘って、間隔をあけて、規則的或いは不規則に一体的に設ける構成としても良い。

10

これにより、環境温度とフレームとが断熱されるため、フレームの熱変形が防止され、以って、テーブルと保持機構との間の熱変位が抑制可能となる。なお、フレームだけでなく、テーブルと保持機構との間の熱変位を抑制可能とする箇所であれば、他の部位にも窪み部30を設けることができる。

【0047】

また、空気流の生じる環境下に設置され、該空気流の影響により、時間の経過と共に発生するであろう熱変位をきらう構造体であれば、任意の構造体に本発明を適用することができる。

【図面の簡単な説明】

20

【0048】

【図1】本発明の第1実施形態に係るマシニングセンタの構成を示す図である。

【図2】窪み部が設けられた面の空気速度と温度との関係を示す図であり、(a)は遠方での空気速度が略ゼロの場合を示し、(b)は遠方での空気速度が U_0 の場合を示す。

【図3】窪み部での空気流を可視化する可視化システムの概略構成を示す図である。

【図4】可視化システムで得られた空気流の撮像画像を示す図であり、(a)は基材がリブ構造による窪み部を有する場合を示し、(b)は基材がフラットな場合を示す。

【図5】窪み部を構成するリブの先端部、内側面、及び窪み部30の底部分の各部分での空気流の速度勾配の分布を示す図であり、(a)は、基材に窪み部が無い場合を示し、(b)~(e)の各々は窪み部を構成するリブの高さ、厚さ、及びピッチのいずれかが異なる場合を示す。

30

【図6】リブモデル、及びリブが無いフラットモデルへの流入熱流束の時間変化を示す図である。

【図7】リブモデル、及びリブが無いフラットモデルの環境温度に対する追従性の測定結果を示す図である。

【図8】リブモデル、及びリブが無いフラットモデルの外表面の温度分布の測定結果を示す図である。

【図9】リブモデル、及びリブが無いフラットモデルの熱膨張による熱変位量の測定結果を示す図である。

【図10】数値解析に用いたリブモデルの構成を示す図である。

40

【図11】窪み部のアスペクト比と時定数との関係の解析結果を示す図である。

【図12】本発明の第2実施形態に係るマシニングセンタの構成を示す図である。

【符号の説明】

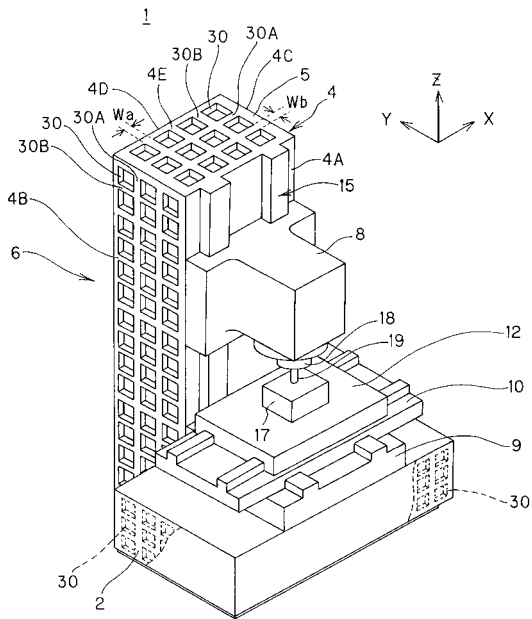
【0049】

- 1、100 マシニングセンタ（工作機械）
- 2、102 ベッド
- 4、104A、104B コラム
- 5、S 外表面
- 6、106 工作機械本体
- 18 主軸

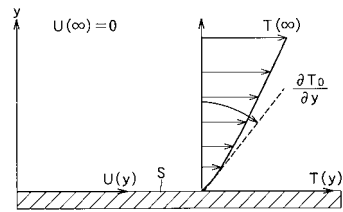
50

- 3 2 A 縦リブ
- 3 2 B 横リブ
- 4 0 可視化システム
- 4 1 基材
- 4 2 リブ
- 4 2 A 先端部
- 4 3 リブモデル
- 、 1 ~ 4 速度勾配

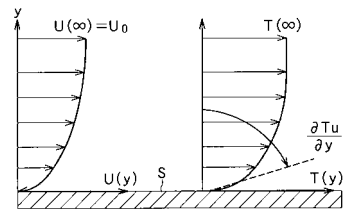
【 図 1 】



【 図 2 】

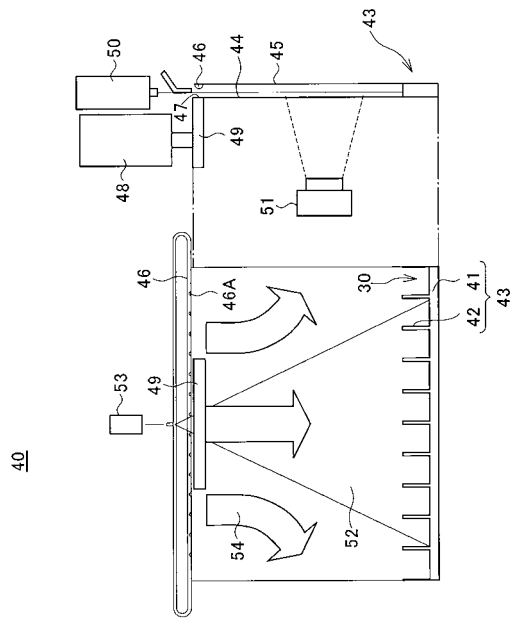


(a)

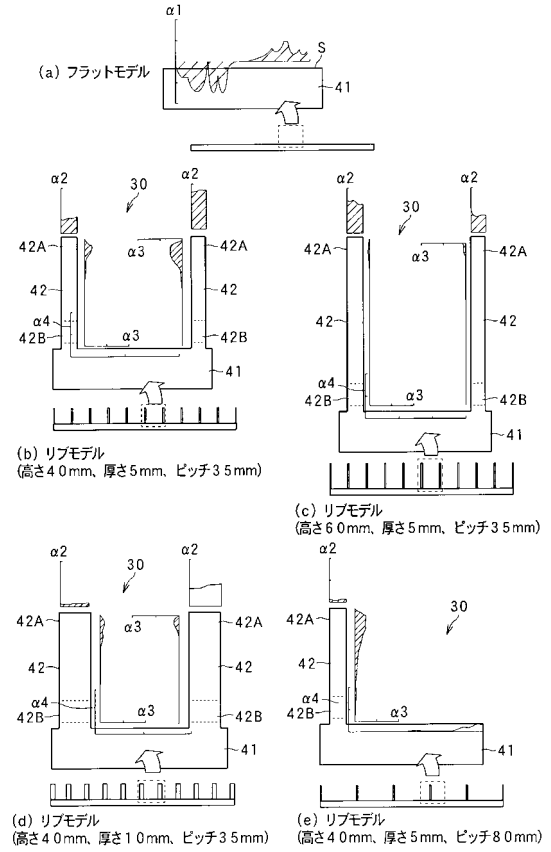


(b)

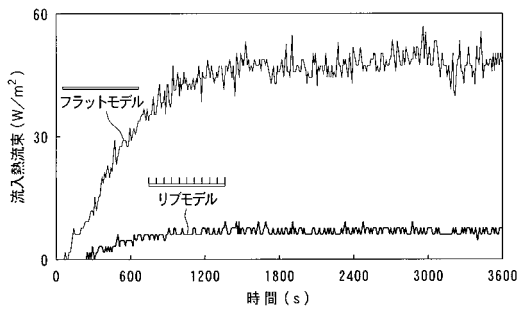
【図3】



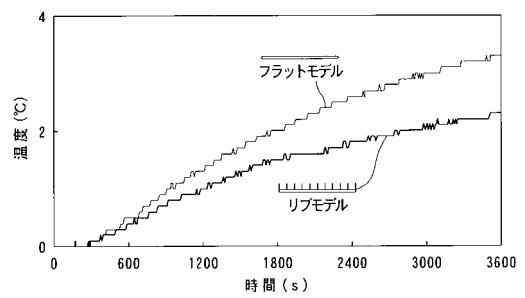
【図5】



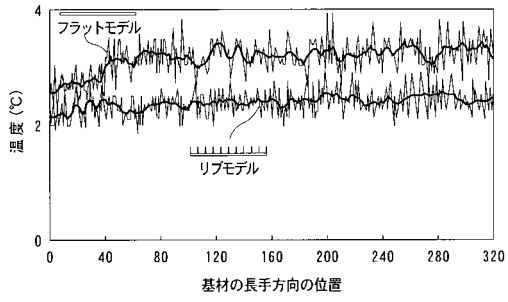
【図6】



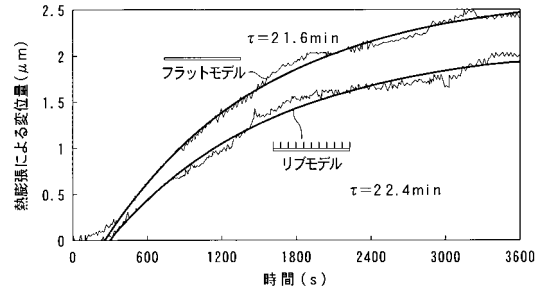
【図7】



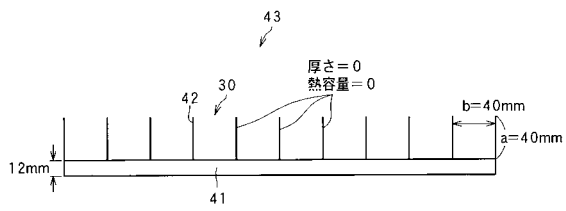
【図 8】



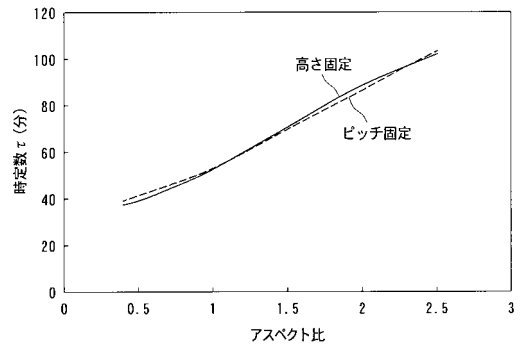
【図 9】



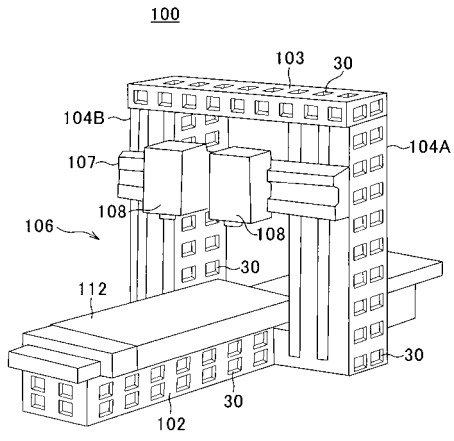
【図 10】



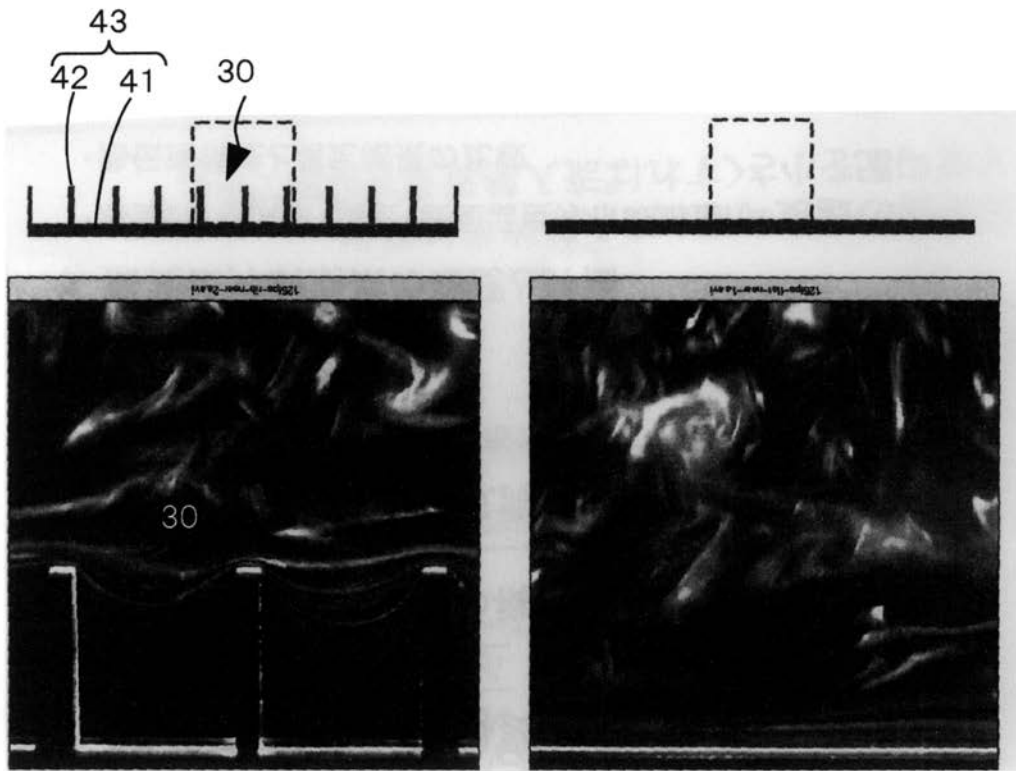
【図 11】



【 図 1 2 】



【図4】



(a) リブ構造

(b) フラット

フロントページの続き

(72)発明者 矢生 晋介

東京都千代田区紀尾井町7番1号 学校法人 上智学院 上智大学 理工学部 機械工学科内

審査官 足立 俊彦

(56)参考文献 特開2007-296602(JP,A)

特開平11-300556(JP,A)

特開2007-160498(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23Q 1/01