

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-97085

(P2015-97085A)

(43) 公開日 平成27年5月21日(2015.5.21)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
G05B 19/404 (2006.01)	G05B 19/404	K
G05B 19/4093 (2006.01)	G05B 19/4093	D
G05B 19/4065 (2006.01)	G05B 19/4065	
B23Q 15/00 (2006.01)	B23Q 15/00	301J
B23Q 15/12 (2006.01)	B23Q 15/12	A

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L 外国語出願 (全 20 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2014-208669 (P2014-208669)	(71) 出願人	500520743 ザ・ボーイング・カンパニー The Boeing Company アメリカ合衆国、60606-2016 イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
(22) 出願日	平成26年10月10日 (2014.10.10)	(74) 代理人	100109726 弁理士 園田 吉隆
(31) 優先権主張番号	61/901,014	(74) 代理人	100101199 弁理士 小林 義教
(32) 優先日	平成25年11月7日 (2013.11.7)	(72) 発明者	ボーリン、ジャレッド エル. アメリカ合衆国 イリノイ 60606-2016, シカゴ、ノース リバーサイド プラザ 100, メール コード 2ティー-42
(33) 優先権主張国	米国(US)		
(31) 優先権主張番号	14/176,492		
(32) 優先日	平成26年2月10日 (2014.2.10)		
(33) 優先権主張国	米国(US)		

最終頁に続く

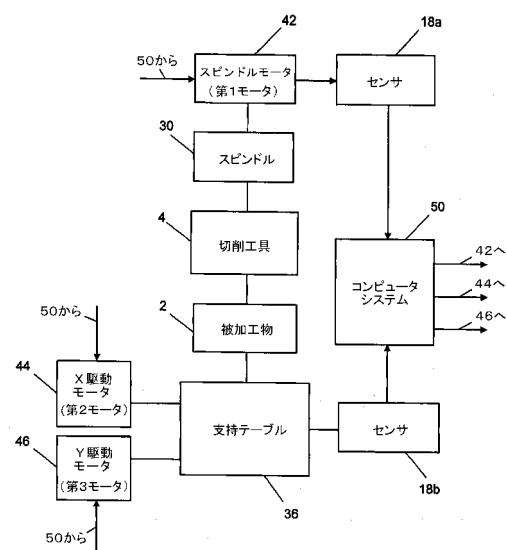
(54) 【発明の名称】力フィードバックを使用するリアルタイムの数値制御工具経路適応

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】機械加工条件を機械加工プロセス制約の範囲内に維持するように切削工具経路を算出する方法を提供する。

【解決手段】スピンドル30に取り付けられた切削工具4を使用して被加工物2を機械加工するための方法は、(a)部品定義データを使用して、被加工物2に対する切削工具4の初期工具経路を定義することと、(b)切削工具4が、被加工物2に対する定義された初期工具経路に沿って、切削するようにすることと、(c)定義された初期工具経路に沿った前記切削の間の機械加工プロセス条件を表す、センサデータを受信することと、(d)機械加工プロセス力パラメータの値を決定するために、センサデータを処理すること、及び、(e)径方向切削深度が変更され、かつ、機械加工プロセス力パラメータの値が機械加工プロセス力制約を超過しないように、切削工具4が、被加工物2に対する修正された工具経路に沿って、切削するようにすること、を含む。

【選択図】図8



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

スピンドル(30)に取り付けられた切削工具(4)を使用して被加工物(2)を機械加工するための方法であって、

(a) 部品定義データを使用して、被加工物(2)に対する前記切削工具(4)の初期工具経路を定義することと、

(b) 前記切削工具(4)が、前記被加工物(2)に対する前記定義された初期工具経路に沿って、切削するようにすることと、

(c) 前記定義された初期工具経路に沿った前記切削の間の機械加工プロセス条件を表す、センサ(18)データを受信することと、

(d) 機械加工プロセスパラメータの値を決定するために、前記センサ(18)データを処理すること、及び、

(e) 径方向切削深度が変更され、かつ、前記機械加工プロセスパラメータの値が機械加工プロセス力制約を超過しないように、前記切削工具(4)が、前記被加工物(2)に対する修正された工具経路に沿って、切削するようにすること、を含み、

作業(b)から(e)までは、コンピュータシステム(50)によって実行される、方法。

【請求項 2】

前記機械加工プロセスパラメータは、前記切削工具(4)の切削力及びスピンドルパワーのうちのいずれか又は両方である、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

作業(e)は、前記切削工具(4)又は前記被加工物(2)が現行の移動方向に対して垂直な一方向に移動するように、前記切削工具(4)又は前記被加工物(2)を互いに対し移動させることを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 4】

びびりのレベルを検出し、次いで、前記検出されたびびりレベルが特定の安定性制約を超過しているか否かを判断することを更に含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 5】

前記切削工具(4)は、前記特定の安定性制約を超過しているびびりレベルの検出に応答して前記切削の径方向深度が低減するように、前記被加工物(2)に対する修正された工具経路に沿って切削する、請求項4に記載の方法。

【請求項 6】

前記特定の安定性制約を超過しているびびりレベルの検出に応答して、前記切削工具(4)を置換することを更に含む、請求項4に記載の方法。

【請求項 7】

フライス加工機であって、
回転可能なスピンドル(30)と、
前記スピンドル(30)の回転を駆動するための第1モータ(42)と、
前記スピンドル(30)に取り付けられた切削工具(4)と、
支持テーブル(36)であって、前記スピンドル(30)と前記支持テーブル(36)は互いに対し可動式である、支持テーブル(36)と、

前記スピンドル(30)と前記支持テーブル(36)を、それぞれ第1及び第2の軸に沿って、互いに対し移動させるための第2及び第3のモータ(44及び46)と、

一又は複数の機械加工プロセスパラメータの値を表すフィードバック信号を生成するための一又は複数のセンサ(18)と、

前記一又は複数のセンサ(18)から前記フィードバック信号を受信し、かつ、前記第1から第3までのモータ(42、44及び46)にコマンド信号を送信するよう動作可能に連結されたコンピュータシステム(50)と、を備え、前記コンピュータシステム(50)は、以下の動作であって、

(a) 前記切削工具(4)が、前記被加工物(2)に対する定義された初期工具経路に

10

20

30

40

50

沿って切削するように、前記第2及び第3のモータ(44と46)を制御することと、

(b) 前記定義された初期工具経路に沿った切削の間に、前記一又は複数のセンサ(18)からフィードバック信号を受信することと、

(c) 機械加工プロセスカパラメータの値を決定するために、前記フィードバック信号を処理すること、及び、

(d) 前記切削工具(4)が、前記被加工物(2)に対する修正された工具経路に沿って切削するように、前記第2及び第3のモータ(44及び46)を制御すること、という動作を、前記支持テーブル(36)に取り付けられている被加工物(2)の機械加工中に実行するようプログラムされ、前記修正された工具経路の結果、前記径方向切削深度の変化、及び、機械加工プロセス力制約を超過していない前記機械加工プロセスカパラメータの値が実現する、フライス加工機。

10

【請求項8】

前記機械加工プロセスカパラメータは、前記切削工具(4)の切削力及びスピンドルパワーのうちのいずれか又は両方である、請求項7に記載のフライス加工機。

【請求項9】

前記機械加工プロセスカパラメータはスピンドルパワーである、請求項7に記載のフライス加工機。

【請求項10】

作業(e)は、前記切削工具(4)又は前記被加工物(2)が現行の移動方向に対して垂直な一方向に移動するように、前記切削工具(4)又は前記被加工物(2)を互いに対して移動させることを含む、請求項7に記載のフライス加工機。

20

【請求項11】

びびりのレベルを検出し、次いで、前記検出されたびびりレベルが特定の安定性制約を超過しているか否かを判断するように更に構成されている、請求項7に記載のフライス加工機。

【請求項12】

前記切削工具(4)は、前記特定の安定性制約を超過しているびびりレベルの検出に応答して前記切削の径方向深度が低減するように、前記被加工物(2)に対する修正された工具経路に沿って切削する、請求項11に記載のフライス加工機。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この開示は概して、数値制御システムによって制御されるフライス加工機に関する。具体的には、この開示は、機械加工条件を機械加工プロセス制約の範囲内に維持するよう算出された切削工具経路を利用する、フライス加工機制御システムに関する。

【背景技術】

【0002】

多数の部品が、被加工物を機械加工して材料を除去することによって作製される。具体的には、多数の特定部品を有する業界は、鋳型を使用しての部品の鋳造などにより、機械加工以外の方法を使用し、設備投資を負担して部品を作製するというよりはむしろ、部品を機械加工することにより部品を作製することが多い。他の状況においては、特定の仕様に従って表面仕上げを行うために、部品(本書では以後「被加工物」)の機械加工が必要なことがある。例えば、航空宇宙業界では、機械加工された部品は一般的に、変動範囲が小さな設計公差を固守する必要があるゆえに精密な製造を要し、精密な製造は、部品が金属から形成される際に機械加工プロセスを含むことが多い。被加工物は、実質的には、様々な木、金属及び複合材を含む、機械加工可能な任意の材料で形成されうる。

40

【0003】

ある特定の機械加工作業は、フライス工具を使用して材料を除去することを含み、フライス工具は、フライス工具の係合方向に垂直な軸に沿ってフライス工具が回転する際に被加工物上の係合領域で切り取りを行うことによって、材料を除去する。フライス工具(又

50

は刃部)は、原材料の塊(すなわち被加工物)に所望の形状を切り込む(すなわちフライス加工する)ために、被加工物の表面から不必要な材料を効率的に除去する。

【0004】

フライス加工機は一般的に、被加工物が固着される可動テーブルを備える。テーブルは、2つの垂直方向に(例えばX軸とY軸に沿って)移動可能である。テーブルは、一又は複数のサーボモータのシャフト回転をテーブルの直線移動に変換することが可能な、一又は複数のデバイス(例えば親ねじ)に連結する。従って、テーブルの移動は一般的に、サーボモータのシャフト回転を制御することによって制御される。各サーボモータに供給される電力は、一般的に、対応するサーボアンプによって調節される。

【0005】

テーブルは、従って被加工物も、切削工具が被加工物から材料を除去して所望の最終製品を作製できるよう、制御された様態で切削工具に対して移動する。切削工具は一般的に、通常スピンドルと称される、回転軸受に支持された回転シャフトに結合している。スピンドルの回転は、対応するスピンドルアンプによって調節される、スピンドルモータへの電力を用いて、スピンドルモータによって駆動される。スピンドルはまた、切削工具と共に、材料の被加工物からの除去を更に制御するために、被加工物に対して移動しうる。例えばスピンドルは、工作機械が据置されている平面に対して上下に移動しうる。被加工物に対するスピンドルの移動を可能にするために、スピンドルは、サーボモータに接続している親ねじに接続されることがある。この上下方向はZ軸である。サーボモータ及び親ねじを使用する一般的な三軸(すなわちX、Y及びZ)フライス加工機が上述されているが、他の構成のフライス加工機も多数存在する。例えば、フライス加工機は5つ以上の被制御軸を有することがある。加えて、フライス加工機は、テーブル及び被加工物を移動させるために、サーボモータと親ねじというよりはむしろ、電磁波リニア駆動装置を使用しうる。

10

20

30

40

50

【0006】

あらゆるサーボモータの回転は、所望の仕上がり形状を作製するために、切削工具に対して被加工物を所望通りに移動させるよう、精密に制御され、整合される。加えて、スピンドルの、従って切削工具の回転スピードも、スピンドルモータの回転スピードを制御することによって制御されうる。サーボ及びスピンドルのモータ並びにアンプは、一般的に、コンピュータ数値制御(CNC)を実行するようプログラムされた専用コンピュータによって制御される。切削工具に対する被加工物の軌道を制御することに加えて、CNCコントローラは、被加工物が切削工具に対して移動するスピード(本書では以後「送り速度」)も制御する。CNCコントローラは一般的に、切削工具又はスピンドルを損傷することなく、或いは、被加工物の精度要求を超過することなく、機械能力を利用するために選択された特定の送り速度で工作機械を作動させるようプログラムされる。

【0007】

被加工物がフライス加工されている間の、切削工具に対する被加工物の移動は、切削工具に、接線力と径方向力の両方をもたらす。切削工具の半径によって増幅された接線力により、トルクが生成され、切削工具の長さによって増幅された径方向力により、曲げモーメント(半径方向荷重と称される)が生成される。トルク及び半径方向荷重は、好ましくは、切削工具及び/又はスピンドルへの損傷を防止するために、所定の最大値を下回るように保たれる。トルクは一般的に、スピンドルアンプの出力電力又は出力電流を監視することによって監視される。半径方向荷重は一般的に、スピンドル構造物上のひずみゲージを使用して監視される。

【0008】

被加工物がフライス加工されている間の、プログラムされた送り速度での切削工具に対する被加工物の移動により、超過トルク及び/又は超過半径方向荷重が生じるという状況がありうる。かかる状況の発生に対応するために、適応型制御システムが既に開発されている。適応型制御システムは一般的に、被加工物がフライス加工されている間に、スピンドルパワーと半径方向荷重を繰り返し監視する。電力及び/又は半径方向荷重がそれぞれ

の所定の最大値を超過すると、適応型制御システムは一般的に、送り速度を落とし、それに応じてスピンドルパワー及び／又は半径方向荷重も減少させることになる。適応型制御システムは、CNCと通信することが可能な独立したデバイスであるか、或いは、CNC内部の機能要素（例えばハードウェア及び／又はソフトウェア）でありうる。

【0009】

現行では、切削工具経路は、予想される原材料の位置及びサイズを備えたコンピュータ支援製造（CAM）ソフトウェアを用いて作成される。しかし、被加工物には、位置及び寸法が不整合なものもある。例えば、装置上の鍛造表面がCAD/CAM環境に合致しない。鍛造品の表面公差は一般的に、±0.25インチである。また、鍛造品質は、成形型の摩耗により時間の経過と共に下落する。鍛造品のゆがみは、鍛造プロセス応力から生じる。機械加工センタテーブルの位置合わせ不良も、問題となりえる。

10

【0010】

原材料条件が不整合な被加工物（サイズのばらつきが大きな鍛造品など）に関して、定義された切削工具経路は、切削工具に最適ではなく、ばらつきが大きな原材料深度を対象とすることがある。この原材料のばらつきの結果、機械加工制約を超過する予想外の切削深度、及び／又は工具の破損が生じうる。広く使用されているいくつかの機械加工制約は、径方向切削深度（本書では「切削の径方向深度」とも称される）、切削力、スピンドルパワー、及びスピンドルトルクを含む。プロセス制約（切削工具の摩耗を含む）の制御は、幾つかの状況においては、機械加工プロセス中の送り速度の修正によって可能である。切削プロセスの送り速度は、プロセスパラメータを特定の制約の範囲内に維持するために、切削力を増大／減少させるよう修正しうるが、送り速度の修正の結果、非効率的な切屑厚が選択されることがある。

20

【0011】

ある送り速度最適化方法により、CNCプログラムの送り速度最適化は、CAMシステム内のCNCプログラミング処理中に実行されうる。この方法を用いることで、切削条件及び切削の深度は、材料除去モデリングを含む機械加工シミュレーションを使用して特定されうる。送り速度の変更は、シミュレーションに基づく。この方法は、CNCプログラムの各変更と共に完遂される必要がある。またこの方法では、正確な原材料モデルがCAMシステム内で利用可能であることが必要になる。この方法は、不整合な鍛造品に関しては十分に機能しない。

30

【0012】

別の送り速度最適化方法により、CNCプログラムの送り速度最適化は、制御ループ内の機械加工プロセス中に実行されうる。この方法により、切削条件を特定するためにセンサが使用され、送り速度はCNC動作中にプロセス制約を維持するよう調整される。この方法を使用することで、送り速度は、工具の摩耗及び鍛造品の不整合を補償するよう調整されうる。市場で取得可能なあるシステムは、CNCプログラムから設定を受領し、スピンドル荷重を監視する。スピンドル荷重が設定値を下回るまで減少すると、システムはCNCの切削送り速度を上げる。スピンドル荷重が設定値を上回るまで増大すると、システムはCNCの切削送り速度を落とす。市場で取得可能な別のシステムは、工具経路の各区分についての現行の切削条件（除去される材料の容積、切削の深度、幅、及び角度）に基づいて、送り速度を調整する。

40

【0013】

送り速度最適化方法の主たる欠点は、工具経路が特定されていることから、切削送り速度のみが変更可能であり、工具経路位置は、（径方向切削深度を増減するための）変更ができないことである。硬質材料を機械加工する時に、有効な切屑厚は約0.003から0.006インチである。この範囲を上回る、及び下回る切削は、非効率的であると考えられる。効率的な範囲を下回る切削の場合、金属除去速度が減少すると共に、切削工具の寿命の伸びは最小に留まる。これは主として、切屑厚が切削端半径に接近するに従って発生し始める、摺擦効果のためである。この摺擦効果は、切削工具の不均一かつ時期尚早な摩耗をもたらす。効率的な範囲を上回る切削の場合、切削工具にかかる接線切削力は切削工

50

具材料の機械的限界に接近し、その結果、欠損や破損が発生する。

【0014】

不整合な又は未知の原材料位置向けに調整を行うための代替的な方法は、原材料を測定すること、その結果をデジタル化すること、及び、原材料位置情報を、工具経路を算出するCAD/CAMシステムに読み込むことを含む。CAMソフトウェアは、算出された工具経路を辿るよう切削工具に命令するための、CNCプログラムを作成することになる。一実施形態では、径方向切削深度は、デジタル鍛造定義に基づいて制御される。鍛造は、カフィードバック探査システム、又は、走査用リバースエンジニアリング装置を使用して定義されうる。

【0015】

あらゆる鍛造表面上に特定（例えば1インチ）のオフセット幅を想定することは既知である。切削器はこのオフセットを材料として認識し、その結果、空気切削が行われる。空気切削は、材料を切削することなく、「切削」送り速度で切削工具を移動させることを表す。これは一般的にかなり遅く、例えば毎分2から8インチである。他の位置合わせ移動は、衝突又は切削の可能性がないため、速く、例えば毎分300から800インチで行われる。安全オフセット幅は、未知の材料が配置されている可能性がある場所を表すと想定され、材料がそこにありうるとの想定にもかかわらず、材料はないという状況になる。空気切削が発生するこれらの領域では、切削送り速度が使用されるが、材料は切削されない。一般的なチタン荒加工の送り速度は、直径3インチの切削工具を用いて、毎分2.5インチである。ゆえに、200インチの鍛造品の周囲を通過する、ある「空気切削」には190分かかる可能性があり、その結果、実行時間が大幅に増大する。

10

【0016】

CAD/CAMの算出プロセスによって、適応型送り速度方法による以上に工具寿命及び金属除去効率が改善されても、CAD/CAMの算出は、製造作業に工程時間を作り加し、一般的には、限定された数量の部品にのみ使用される。

20

【0017】

上述の方法の改善版であるフライス加工方法を提供することが望ましいと言える。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0018】

この出願は、米国特許法第119条(e)の定めにより、2013年11月7日に出願された米国仮特許出願第61/901,014号の利益を主張するものである。

30

【発明の概要】

【0019】

本書で開示される主題は、機械加工プロセス制約を維持するよう、機械加工プロセス中にリアルタイムで径方向切削深度を制御するために、切削工具経路を修正する能力を有するシステムを対象とする。プロセスはCNC装置の制御ループ内で実行されることから、工具の摩耗の進行に伴い、切削力の増大は、装置上のセンサによって捕捉されることが可能であり、適切な措置を誘起する。適切な措置の例としては、径方向切削深度の増加或いは削減、及び/又は切削工具の置換があり、その後切削プロセスが再開される。開示されている方法により、機械加工作業中に整合性のある加工力が生じると共に、切屑厚を有効値の範囲内に維持し、その結果、最適な切削工具寿命と最小コストが実現する。

40

【0020】

下記に詳細が開示されているCNC切削工具経路適応の方法は、機械加工条件を機械加工プロセス制約の範囲内に維持するために、CNCコントローラ及びカフィードバックループを使用する。部品情報、初期経路及び軌道を使用することで、工具経路は初期化され、切削プロセスが開始される。プロセスの中で、径方向切削深度を変更し、機械加工プロセス力制約を維持するよう、機械加工条件を特定し、切削工具経路を修正するために、装置のセンサが利用される。この方法により、鍛造品のような不整合な寸法を有する原材料に対する効率的な機械加工作業が可能になる。具体的には、切削力に基づいて工具経路を

50

適応させることにより、あらゆる鍛造表面にオフセット幅を想定する必要がなくなり、それによって、実行時間が減少する。この機械加工方法には、硬質金属（チタン及びステンレス鋼など）製の大型構成要素（航空機構成要素など）を機械加工するコストを削減する可能性がある。

【0021】

本書で開示されている主題の一態様は、スピンドルに取り付けられた切削工具を使用して被加工物を機械加工するための方法である。方法は、(a)部品定義データを使用して、被加工物に対する切削工具の初期工具経路を定義することと、(b)切削工具が、被加工物に対する定義された初期工具経路に沿って、切削するようにすることと、(c)定義された初期工具経路に沿った切削の間の機械加工プロセス条件を表す、センサデータを受信することと、(d)機械加工プロセスカパラメータの値を決定するために、センサデータを処理すること、及び、(e)径方向切削深度が変更され、かつ、機械加工プロセスカパラメータの値が機械加工プロセス力制約を超過しないように、切削工具が、被加工物に対する修正された工具経路に沿って、切削するようにすること、を含む。作業(b)から(e)までは、コンピュータシステムによって実行される。代替的な実行形態では、機械加工プロセスカパラメータは、切削工具の切削力又はスピンドルパワーである。作業(e)は、切削工具又は被加工物が現行の移動方向に対して垂直な一方向に移動するように、切削工具又は被加工物を互いに対して移動させることを含むことがある。

10

【0022】

前段落に記載された方法は、びびりのレベルを検出し、次いで、検出されたびびりレベルが特定の安定性制約を超過しているか否かを判断することを更に含みうる。一実施形態により、切削工具は、特定の安定性制約を超過しているびびりレベルの検出に応答して切削の径方向深度が低減するように、被加工物に対する修正された工具経路に沿って切削する。別の実施形態では、方法は、特定の安定性制約を超過しているびびりレベルの検出に応答して切削工具を置換することを更に含む。

20

【0023】

本書で開示されている主題の別の態様は、フライス加工機であって、回転可能なスピンドルと、スピンドルの回転を駆動するための第1モータと、スピンドルに取り付けられた切削工具と、支持テーブルであって、スピンドルと支持テーブルは互いに対して可動式である、支持テーブルと、スピンドルと支持テーブルを、それぞれ第1及び第2の軸に沿って、互いに対して移動させるための第2及び第3のモータと、一又は複数の機械加工プロセスパラメータの値を表すフィードバック信号を生成するための一又は複数のセンサ、及び、一又は複数のセンサからフィードバック信号を受信し、かつ、第1から第3までのモータにコマンド信号を送信するよう動作可能に連結されたコンピュータシステムを備える、フライス加工機である。コンピュータシステムは、以下の動作であって、(a)切削工具が、被加工物に対する定義された初期工具経路に沿って切削するように、第2及び第3のモータを制御することと、(b)定義された初期工具経路に沿った切削の間に、一又は複数のセンサからフィードバック信号を受信することと、(c)機械加工プロセスカパラメータの値を決定するために、フィードバック信号を処理すること、及び、(d)切削工具が、被加工物に対する修正された工具経路に沿って切削するように、第2及び第3のモータを制御すること、という動作を、支持テーブルに取り付けられている被加工物の機械加工中に実行するようプログラムされ、修正された工具経路の結果、径方向切削深度の変化、及び、機械加工プロセス力制約を超過していない機械加工プロセスカパラメータの値が実現する。

30

【0024】

更なる態様は、不整合な材料プリフォームのCNC切削のための方法であって、(a)部品定義データを使用して、プリフォームに対する初期工具開始位置及び初期工具軌道を定義することと、(b)切削工具を初期工具開始位置に配置することと、(c)切削工具を回転させることと、(d)切削工具が回転している間に、切削工具が初期工具軌道に沿って切削するように、切削工具とプリフォームのうちの1つを他方に対して移動させるこ

40

50

とと、(e) 切削工具と被加工物のうちの1つが他方に対して移動している間に、機械加工条件を感知すること、及び、(f) 機械加工条件が感知されている間に、切削工具が初期工具軌道と異なる軌道を辿り、かつ、径方向切削深度が変化するように、工具経路を調整すること、を含み、調整は、機械加工条件を機械加工プロセス力制約の範囲内に維持するよう算出される、方法である。

【0025】

他の態様は下記に詳細に開示され、請求される。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】鍛造品のCADモデル公称表面を表す図解である。 10

【図2】切削工具を担持しているCNCフライス加工機のスピンドルの等角図を示す図解であり、切削工具は、被加工物に空洞部を形成するよう作動している。

【図3】一般的なフライス加工作業中の、被加工物と切削工具との間の接触領域（斜線部参照）の幾何学的形状を示す図解である。

【図4】50%をずっと下回る切削の径方向深度で被加工物と係合する切削工具にかかる力を表す図解である。

【図5A】切削工具が一直線に移動する際に、回転する切削工具が被加工物と係合している状況を表す図解である。

【図5B】切削工具が角部で方向を90度変更する際に、回転する切削工具が被加工物と係合している状況を表す図解である。 20

【図6】被加工物の機械加工中に条件に応じて変化しつつ機械加工プロセス力制約を維持する工具経路を辿っている、回転する切削工具を表す図解である。

【図7】一実施形態により被加工物をフライス加工する適応型工具経路のためのシステムの、いくつかのハードウェア及びソフトウェア構成要素を表すブロック図である。

【図8】別の実施形態により被加工物をフライス加工する適応型工具経路のためのシステムの、いくつかのハードウェア構成要素を表すブロック図である。

【図9】航空機の製造及び保守方法のフロー図である。

【図10】航空機のシステムを示すブロック図である。以下で図面を参照するが、異なる図面の類似の要素には同一の参照番号が付されている。

【発明を実施するための形態】

【0027】

底フライスは、被加工物を機械加工するための切削工具であり、一般的には、フライス加工機のような回転式の旋削装置と係合する。フライス加工機は、被加工物を成形するために、底フライスを回転可能な状態で駆動する。底フライスは一般的に、細長い円柱形状の要素として提供され、底フライスの外周上に形成されている2から20の任意の数の、或いはそれを上回る数の、歯部又は溝を含むことがある。一般的に軸方向に孔部を形成するために使用されるドリル刃と区別して、底フライスは、限定する訳ではないが、軸方向（例えば垂直方向）、横断方向（例えば横方向）及び角度方向を含むあらゆる方向に、被加工物を成形するために使用される。

【0028】

底フライスの各溝は、底フライスが被加工物に対して回転可能な状態で駆動される際に、少量の材料（本書では「切屑」と称される）を除去するよう構成される。「切屑厚」という用語は、ある一定の位置において切削工具上の各溝が除去する材料の厚みを表す。底フライスは、フライス加工機の性能（フライス加工機は二軸、三軸、五軸等であるかどうか）に応じて、垂直方向、横断方向及び/又は角度方向に可動式のスピンドルのチャック又はコレットと、一端部で係合することがある。底フライスは一般的に、撓みに対する抵抗力を与え、また、負荷の下で切削工具の完全性を維持するために、高速度鋼又はタングステンカーバイトなどの比較的硬質な材料で作られる。底フライスが高温、高圧の機械加工条件の下で作動することを可能にし、かつ、底フライスの寿命を延長するために、切削歯部には硬度が極めて高いコーティングが形成されうる。 40

10

20

30

40

50

【0029】

図1は、チタンなどの金属製の鍛造品32のCADモデル公称表面34の画像を示す図解である。切削工具(又は刃部)は、図1に示す所望の形状を切削する(すなわちフライス加工する)ために、被加工物から不必要的材料を効率的に除去しうる。多種多様な工具刃部によって、多種多様なグループ、スロット及び空洞部が被加工物に生成されうる。

【0030】

図2は、切削工具4を持持し、かつ、被加工物2の材料層に空洞部40を形成するよう操作されている、CNCフライス加工機(図示せず)のスピンドル30を示している。スピンドル30は、切削工具4が回転するようにその細長い軸を中心として回転し、スピンドル30は、回転する切削工具4が材料と係合し、材料に切り込む(すなわち材料の中へと径方向に移動する)ように、被加工物2の材料層と同一平面上にある工具経路に沿って駆動される。換言すると、被加工物2の材料は、工具経路に沿ったスピンドル30の移動により、切削工具4の中へと送り込まれる。代替的には、スピンドル30は静止していることも可能であり、被加工物2がスピンドル30に対して移動する。

10

【0031】

フライス加工作業中の任意の時点において被加工物2の材料と係合する(すなわち接触する)切削工具4上の溝が、所謂「接触領域」を決定する。図3は、一直線の相対運動中の、被加工物2と切削工具4の間の一般的な接触領域26(斜線部参照)の幾何学的形状を示す。径方向の、及び/又は軸方向の切削の深度が深まるにつれ、より多くの溝(図3には図示せず)が係合することになり、それによって、接触領域26は増大し、必要な切削力も増す。

20

【0032】

図4は、50%よりもずっと浅い切削の径方向深度で被加工物2と係合している切削工具4を示す。接触領域26は、切削工具4を表す円の一部を形成する、太線の円弧部によって示されている。角度 θ は、工具係合角度(TEA)と称され、各切削端が被加工物2の材料と係合し、離れる際に各切削端が相対する、スイープの総量として定義される。工具の円周と被加工物の端部の交点28において、切削工具4にかかる接線力及び送り分力が、それぞれの矢印によって示されている。接線力はスピンドル荷重に等しい。切削工具4にかかる径方向力は、送り分力と接線力のベクトル和である。切削の径方向深度 $R_{D\circ c}$ が増大するにつれ、接触領域26は増大し、前記の力も増す。

30

【0033】

図5A及び図5Bは、切削工具4が一直線に進む(進行方向を図5Aの矢印Aにより示す)際に、及び、切削工具4が被加工物2の角部で方向を90度変更する(進行方向を図5Bの矢印Bにより示す。)際に、被加工物2と係合している、回転する切削工具4の画像を示す図解である。各々の場合における通過された工具経路Pは、図5A及び図5Bのそれぞれの点線により示される。

【0034】

図5A及び図5Bを更に参照するに、切削の径方向深度 $R_{D\circ c}$ は、被加工物2の材料と係合した工具の直径の、下記の割合となる。:

$$R_{D\circ c} = (r / D) \times 100\%$$

40

ここでDは切削工具4の直径であり、rは、切削工具4が切削を行う際の、切削工具4の(その半径に沿った)被加工物2内の深度である。切削の径方向深度 $R_{D\circ c}$ は、材料除去率(MRR)を決定し、切削力を反映するが、それは一直線の運動に関してのみである。工具係合角度 θ は、工具経路の形状にかかわらず、切削力をよりはっきりと反映する。一直線の運動に関しては、工具係合角度 θ と切削の径方向深度 $R_{D\circ c}$ の間に、直接的かつ非直線的な関連性が存在する。図5Aと図5Bによって明らかであるように、切削の径方向深度 $R_{D\circ c}$ は、2つの異なる工具係合角度について同一でありうる。

【0035】

切削の径方向深度 $R_{D\circ c}$ が100%未満である場合、工具は部分的にのみ係合して、周辺部の切削を行っている。切削の径方向深度 $R_{D\circ c}$ が100%である場合、切削工具

50

は完全に係合して、スロット切削を行っている。旋削作業及び穿孔作業において、單一点工具は、被加工物の半径に対してある深度で切削する。切削の径方向深度が大きいと、送り速度を遅くする必要があり、さもないとその結果、大きな負荷が工具にかかり、工具の寿命が短縮する。

【0036】

フライス加工プロセス条件を勘案しないフライス工具経路を自動的に生成するための方法は既知である。既知の一方法により、CNCコントローラは、切削工具に、工具係合角度を均一に維持するよう構成されている前処理済みの工具経路を辿らせる、ソフトウェアプログラムを実行する。この既知の方法は、不整合な鍛造品（すなわち不整合なサイズ及び／又は形状を有する鍛造品）に関しては十分に機能しない。

10

【0037】

対照的に、本書で開示されている適応型工具経路フライス加工プロセスは、感知されたフライス加工プロセス条件に基づき、フライス加工作業中に工具経路をリアルタイムで修正することが可能である。CNCコントローラは、工具経路を「臨機応変に」算出する。切削の径方向深度は、装置のセンサからの力フィードバックに基づいて修正される。この方法は、不整合な鍛造品に関して十分に機能する。

【0038】

図6は、被加工物2の機械加工中に条件に応じて変化する工具経路Pを辿っている、回転する切削工具4を表す図解である。点線の矢印C_{t1}は、工具経路調整に先立つt1時点における工具の進行方向を表す一方、実線の矢印C_{t2}は、工具経路調整に後続するt2時点における工具の進行方向を表す。本書の教示により、切削の径方向深度を変化させつつ、機械加工プロセスカパラメータ（切削力又はスピンドルパワーなど）の値は機械加工プロセス力制約を下回るよう維持される様態で、工具経路は修正される。このプロセスは以後、「適応型工具経路フライス加工」と称される。

20

【0039】

図7は、一実施形態により、被加工物をフライス加工する適応型工具経路のためのシステムの、様々なハードウェア及びソフトウェア構成要素を特定している。ハードウェア構成要素6は、機械加工センタ16（切削工具4を保持するためのスピンドル、及び被加工物2を支持するための支持テーブルを含む）、切削工具4が被加工物2に対する工具経路を辿ることになるように、機械加工センタ16に命令するようプログラムされたCNCコントローラ12、及び、機械加工条件に関してCNCコントローラ12にフィードバックを与えるための様々なセンサ18を備える。

30

【0040】

機械加工作業のための初期工具経路は、CNCコントローラ12が実行するCNCプログラムによって定義される。初期工具経路のためのCNCプログラムは、ユーザインターフェース8を介して受信されたコマンドに従ってソフトウェアプログラム20を実行できる、コンピュータ10によって生成される。ソフトウェアプログラム20は、初期工具経路を算出するCAD/CAMシステム22を含む。後処理プロセッサ24は、初期工具経路のためのCNCプログラムを作成することになり、そのCNCプログラムはCNCコントローラ12に読み込まれる。

40

【0041】

本書の教示により、CNCコントローラ12は、適応型工具経路生成器14としての役割を果たすソフトウェアで、更にプログラムされる。適応型工具経路生成器14は、センサ18からフィードバックを受信し、次いで、切削の径方向深度を変更し、かつ、機械加工プロセスカパラメータ（切削工具の切削力、又はスピンドルパワーなど）の値が特定の機械加工プロセス力制約を下回るよう維持する様態で、工具経路を調整する。

【0042】

CNCコントローラ12のCNCプログラムの読み込み、切削工具4の機械加工センタ16のスピンドル（図7には図示せず）への装着、及び、被加工物2の支持テーブル（図7には図示せず）への固定的な取付けの後に、機械加工作業が開始されうる。CNCコントローラ12は、機械加工センタ16のスピンドルを起動する。

50

トローラ 1 2 は、切削工具 4 が、被加工物 2 に対する定義された初期工具経路に沿って、切削するようとする。適応型工具経路生成器 1 4 は、センサ 1 8 から、定義された初期工具経路に沿った切削中の機械加工プロセス条件を表すセンサデータを受信する。適応型工具経路生成器 1 4 は、センサデータを処理して、切削工具 4 の切削力、又はスピンドルパワーのような、機械加工プロセスカパラメータの値を決定する適応型工具経路生成器 1 4 は、径方向切削深度が変更され、かつ、機械加工プロセスカパラメータの値が機械加工プロセス力制約を超過しないように、切削工具 4 が、被加工物 2 に対する修正された工具経路に沿って、切削するようとする。

【 0 0 4 3 】

一実行形態により、CNCコントローラ 1 2 及び適応型工具経路生成器 1 4 は、ネットワーク又はバスを通じて通信する、それぞれのコンピュータ或いはプロセッサとして具現化されることがある。代替的な実行形態では、CNC機能及び適応型工具経路生成機能は、同一のコンピュータ又はプロセッサ上で稼働する、それぞれのソフトウェアモジュールでありうる。「コンピュータシステム」という総称（下記に定義する）は、上記の、及び他の構成を包含する。

10

【 0 0 4 4 】

図 8 は、別の実施形態により、被加工物をフライス加工する適応型工具経路のためのシステムの、いくつかのハードウェア構成要素を特定している。図 8 に特定されたハードウェア構成要素は、CNC及び適応型工具経路生成機能を実行するようプログラムされたコンピュータシステム 5 0 を含む。ハードウェア構成要素は、コンピュータシステム 5 0 から受信されたコマンドに従って、スピンドルモータ 4 2 によって回転するよう駆動されるスピンドル 3 0 に装着された切削工具 4 、及び、やはりコンピュータシステム 5 0 から受信されたコマンドに従って作動する、X 及び Y 駆動モータ 4 4 と 4 6 によって X 及び Y 方向に変位するよう駆動される支持テーブル 3 6 を更に含む。被加工物 2 は、支持テーブル 3 6 上に確実に載置され、テーブルと一体となって移動する。図 8 には図示されていないが、ハードウェア構成要素は、スピンドル 3 0 を Z 方向に変位させ、コンピュータシステムが切削の軸方向深度を適切に調整することを可能にするための手段を更に含みうる。

20

【 0 0 4 5 】

スピンドル 3 0 が使用している電力はセンサ 1 8 a によって測定される一方で、支持テーブル 3 6 の X と Y の座標位置は、センサ b によって測定される。これらの測定をデジタル的に表すセンサデータは、コンピュータシステム 5 0 に（有線又は無線の通信チャネルを介して）フィードバックされる。センサ 1 8 a は、スピンドルモータ 4 2 のトルク及び回転スピードを測定し、次いでスピンドルパワーを算出する、動力計という形態をとることがある。センサ 1 8 b は、被加工物 2 上で X 及び Y 方向に切削工具 4 にかかる切削力を計測するために支持テーブル 3 6 と連結可能な、それぞれの力量計という形態をとることがある。

30

【 0 0 4 6 】

コンピュータシステム 5 0 は、以下の動作であって、（a）切削工具 4 が、被加工物 2 に対する定義された初期工具経路に沿って切削するように、X 及び Y の駆動モータ 4 4 / 4 6 を制御することと、（b）定義された初期工具経路に沿った切削の間に、センサ 1 8 a と 1 8 b からフィードバック信号を受信することと、（c）フィードバック信号を処理して、機械加工プロセスカパラメータ（スピンドルパワー、又は X 及び Y 方向の切削力など）の値を決定すること、及び、（d）切削工具 4 が、被加工物 2 に対する修正された工具経路に沿って切削するように、X 及び Y の駆動モータ 4 4 / 4 6 を制御すること、という動作を実行するようプログラムされる。修正された工具経路は、切削の径方向深度を変更し、かつ、機械加工プロセス力制約を超過していない機械加工プロセスカパラメータの値を生成するよう算出される。

40

【 0 0 4 7 】

本書で開示されている適応型工具経路フライス加工プロセスにより、鍛造品のような不整合な原材料条件に対する効率的な機械加工作業が可能になる。切削プロセス中に機械加

50

工条件を維持することに加え、本書で開示されている適応型工具経路フライス加工プロセスは、プロセス制約を監視して、硬質材料を機械加工する際の切削工具端の摩耗を特定する。切削工具端の摩耗をリアルタイムに検出することに応答して、フライス加工プロセスを継続しつつ、切削の径方向深度が修正されうる。より具体的には、切削の径方向深度は、整合性のある加工力が生じる様態で修正される。代替的には、切削工具端の摩耗の度合いが特定の閾値を上回る場合、切削工具は置換されうる。

【0048】

上述のシステム及びプロセスにより、機械加工作業中に切屑厚を有効値に維持することが可能になり、その結果、最適な切削工具寿命と最小コストが実現する。別の利点により、機械加工プロセスが、安定性制約を維持することが可能になる。機械加工プロセスにおける一般的な問題は、工作機械の構造及び切削工具の安定性に関するものである。ある一定の安定性閾値が超過されると、機械加工びびりが起こり、その結果、粗悪な表面仕上げ、工具の短寿命、及び、工作機械又は部品への損傷可能性が発生する。このことは、自励的かつプロセス依存型のびびりによって引き起こされる。閾値は、機械加工動力モデリング、及び、切削工具の剛性の実証試験を使用して特定されうる。閾値は、安定的な（びびりのない）切削を実現しうる切削深度を限定する。この閾値が超過されると、送り速度の緩和や、機械加工びびりを校正して、安定的なプロセスを維持することはできない。閾値は切削の深度の関数であり、切削の径方向深度を低減することにより、単軸深度に関して増加しうる。従って、本書で開示されているシステム及びプロセスを使用することにより、切削工具の摩耗が不安定でがたつく切削をもたらす場合には、径方向深度が低減されうる。あるいは、この閾値が見出されるまで、切削の径方向深度は増大されることが可能であり、その結果、採算効率の良い機械加工プロセスが実現する。不安定でびびりのある切削は、機械構造物の振動、切削力の振動数、又は、オーディオデバイスを監視することによって特定されうる。監視は、機械の振動を表す電気信号を取得すること、次いで切削振動数（切削工具の歯部近接通過頻度と等しいことがある）、及びその調波をフィルタリングすることを包含する。フィルタリングされた信号におけるびびり振動数は、振幅を振動数領域に転換するアルゴリズム（高速フーリエ変換など）を使用して特定されうる。このアルゴリズムは、コンピュータシステムによって実行される適応型工具経路生成ソフトウェアモジュールに組み込むことが可能である。

【0049】

上記で開示されているフライス加工装置及び方法は、図10に示す航空機202の組立のための、図9に示す航空機の製造及び保守方法200において用いることができる。製造前の段階では、例示的な方法200は、航空機202の仕様及び設計204と、材料調達206を含むことがある。製造段階では、航空機202の構成要素及びサブアセンブリの製造208と、システム統合210が行われる。構成要素の製造には、限定する訳ではないが、本書で開示されている種類のフライス加工作業が含まれる。システム統合210の後、航空機202は、認可及び納品212を経て運航214に供される。顧客により運航される期間に、航空機202は、定期的な整備及び保守216（改造、再構成、改修なども含みうる）を受けることが予定される。

【0050】

方法200の各プロセスは、システムインテグレータ、第三者、及び／又はオペレータ（例えば顧客）によって実行又は実施されうる。本明細書においては、システムインテグレータは、限定しないが任意の数の航空機製造者及び主要システム下請業者を含み、第三者は、限定しないが任意の数のベンダー、下請業者、及び供給業者を含み、オペレータは、航空会社、リース会社、軍事団体、サービス機関などありうる。

【0051】

図10に示すように、例示的な方法200によって製造された航空機202は、複数のシステム220と内装222を備えた機体218を含みうる。高次のシステム220の例には、以下のうち一又は複数が含まれる。推進システム224、電気システム226、油圧システム228、及び環境システム230。任意の数の他のシステムが含まれることも

10

20

30

40

50

ある。システム 220 のうち少なくともいくつかは、本書で開示されている種類のフライス加工作業を使用して機械加工された構成要素を備える。

【0052】

一又は複数の装置、方法実施形態、又はそれらの組み合わせは、構成要素の製造段階 208において利用されうる。適応型工具経路フライス加工の使用は、航空機構成要素の製造のためのコストを削減できる可能性があるため、有益である。最も有意義なコスト削減は、チタン又はステンレス鋼製の構成要素のような、大型の硬質金属製構成要素をフライス加工するための実行時間の短縮によるものだと言える。

【0053】

本発明を、様々な実施形態を参照して説明してきたが、当業者であれば、本発明の範囲から逸脱することなく様々な変更が可能であること、及び、その要素を同等物に置換することが可能であることが理解されよう。加えて、本書の教示の範囲から逸脱することなく、本書の教示を特定の状況に適用するために、多くの変更が行われうる。従って、特許請求の範囲は特定の実施形態に限定されないことが意図されている。

10

【0054】

請求項において使用されるように、「コンピュータシステム」とは、少なくとも 1 つのコンピュータ又はプロセッサを有するシステムを包含するよう、広義に解釈されるべきであり、当該システムは、ネットワーク又はバスを通じて通信する複数のコンピュータ又はプロセッサを有しうる。前文に使用されているように、「コンピュータ」及び「プロセッサ」という用語はどちらも、処理ユニット（中央処理装置など）、及び、処理ユニットによって読み取可能なプログラムを保存するための何らかの形態のメモリ（すなわちコンピュータ可読媒体）を有するデバイスを表す。

20

【0055】

さらに、本開示は、以下の条項による実施形態を含む。

【0056】

条項 1 スピンドルに取り付けられた切削工具を使用して被加工物を機械加工するための方法であって、

(a) 部品定義データを使用して、被加工物に対する切削工具の初期工具経路を定義することと、

(b) 切削工具が、被加工物に対する定義された初期工具経路に沿って、切削することと、

30

(c) 定義された初期工具経路に沿った前記切削の間の機械加工プロセス条件を表す、センサデータを受信することと、

(d) 機械加工プロセスパラメータの値を決定するために、センサデータを処理すること、及び、

(e) 径方向切削深度が変更され、かつ、機械加工プロセスパラメータの値が機械加工プロセス力制約を超過しないように、切削工具が、被加工物に対する修正された工具経路に沿って、切削することと、を含み、

作業 (b) から (e) までは、コンピュータシステムによって実行される、方法。

【0057】

条項 2 機械加工プロセスパラメータは切削工具の切削力である、条項 1 に記載の方法。

40

【0058】

条項 3 機械加工プロセスパラメータはスピンドルパワーである、条項 1 に記載の方法。

【0059】

条項 4 作業 (e) は、切削工具又は被加工物が現行の移動方向に対して垂直な一方向に移動するように、切削工具又は被加工物を互いに対し移動させることを含む、条項 1 に記載の方法。

【0060】

50

条項 5 びびりのレベルを検出し、次いで、検出されたびびりレベルが特定の安定性制約を超過しているか否かを判断することを更に含む、条項 1 に記載の方法。

【0061】

条項 6 切削工具は、前記特定の安定性制約を超過しているびびりレベルの検出に応答して切削の径方向深度が低減するように、被加工物に対する修正された工具経路に沿って切削する、条項 5 に記載の方法。

【0062】

条項 7 前記特定の安定性制約を超過しているびびりレベルの検出に応答して、切削工具を置換することを更に含む、条項 5 に記載の方法。

【0063】

条項 8 フライス加工機であって、
回転可能なスピンドルと、
前記スピンドルの回転を駆動するための第 1 モータと、
前記スピンドルに取り付けられた切削工具と、
支持テーブルであって、前記スピンドルと前記支持テーブルは互いに対し可動式である、支持テーブルと、

前記スピンドルと前記支持テーブルを、それぞれ第 1 及び第 2 の軸に沿って、互いに対して移動させるための第 2 及び第 3 のモータと、

一又は複数の機械加工プロセスパラメータの値を表すフィードバック信号を生成するための一又は複数のセンサ、及び、

前記一又は複数のセンサから前記フィードバック信号を受信し、かつ、前記第 1 から第 3 までのモータにコマンド信号を送信するよう動作可能に連結されたコンピュータシステムを備え、前記コンピュータシステムは、以下の動作であって、

(a) 前記切削工具が、被加工物に対する定義された初期工具経路に沿って切削するように、前記第 2 及び第 3 のモータを制御することと、

(b) 定義された初期工具経路に沿った切削の間に、前記一又は複数のセンサからフィードバック信号を受信することと、

(c) 機械加工プロセスカパラメータの値を決定するために、フィードバック信号を処理すること、及び、

(d) 前記切削工具が、被加工物に対する修正された工具経路に沿って切削するように、前記第 2 及び第 3 のモータを制御すること、という動作を、前記支持テーブルに取り付けられている被加工物の機械加工中に実行するようプログラムされ、修正された工具経路の結果、径方向切削深度の変化、及び、機械加工プロセスカパラメータの値が実現する。

【0064】

条項 9 機械加工プロセスカパラメータは切削工具の切削力である、条項 8 に記載のフライス加工機。

【0065】

条項 10 機械加工プロセスカパラメータはスピンドルパワーである、条項 8 に記載のフライス加工機。

【0066】

条項 11 作業 (e) は、切削工具又は被加工物が現行の移動方向に対して垂直な一方に移動するように、切削工具又は被加工物を互いに対し移動させることを含む、条項 8 に記載のフライス加工機。

【0067】

条項 12 びびりのレベルを検出し、次いで、検出されたびびりレベルが特定の安定性制約を超過しているか否かを判断することを更に含む、条項 8 に記載のフライス加工機。

【0068】

条項 13 切削工具は、前記特定の安定性制約を超過しているびびりレベルの検出に応答して切削の径方向深度が低減するように、被加工物に対する修正された工具経路に沿つ

10

20

30

40

50

て切削する、条項 1 2 に記載のフライス加工機。

【 0 0 6 9 】

- 条項 1 4 不整合な材料プリフォームの C N C 切削のための方法であって、
 (a) 部品定義データを使用して、プリフォームに対する初期工具開始位置及び初期工具軌道を定義することと、
 (b) 切削工具を初期工具開始位置に配置することと、
 (c) 切削工具を回転させることと、
 (d) 切削工具が回転している間に、切削工具が初期工具軌道に沿って切削するように、切削工具とプリフォームのうちの 1 つを他方に対して移動させることと、
 (e) 切削工具と被加工物のうちの 1 つが他方に対して移動している間に、機械加工条件を感じること、及び、

(f) 機械加工条件が感知されている間に、切削工具が初期工具軌道と異なる軌道を辿り、かつ、径方向切削深度が変化するように、工具経路を調整すること、を含み、調整は、機械加工条件を機械加工プロセス力制約の範囲内に維持するよう算出される、方法である。

【 0 0 7 0 】

条項 1 5 機械加工条件は切削工具の切削力である、条項 1 4 に記載の方法。

【 0 0 7 1 】

条項 1 6 機械加工条件はスピンドルパワーである、条項 1 4 に記載の方法。

【 0 0 7 2 】

以下に記述される方法請求項は、そこで列挙されるステップがアルファベット順（請求項内のアルファベット順序付けは既に列挙されたステップを参照する目的にのみ使用される）、又は、ステップが列挙される順に実施されると必要であると解釈されるべきではない。また、ステップは、2 つ以上のステップの任意の部分が同時に又は逆順に実施されることを排除すると解釈されるべきでもない。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 3 】

- 2 被加工物
 4 切削工具
 6 ハードウェア構成要素
 8 ユーザインターフェース
 10 コンピュータ
 12 C N C コントローラ
 14 適応型工具経路生成器
 16 機械加工センタ
 18 センサ
 20 ソフトウェアプログラム
 22 C A D / C A M システム
 24 後処理プロセッサ
 26 接触領域
 28 交点
 30 スピンドル
 32 鍛造品
 34 C A D モデル公称表面
 36 支持テーブル
 40 空洞部
 42 スピンドルモータ（第 1 モータ）
 44 X 駆動モータ（第 2 モータ）
 46 Y 駆動モータ（第 3 モータ）
 50 コンピュータシステム

10

20

30

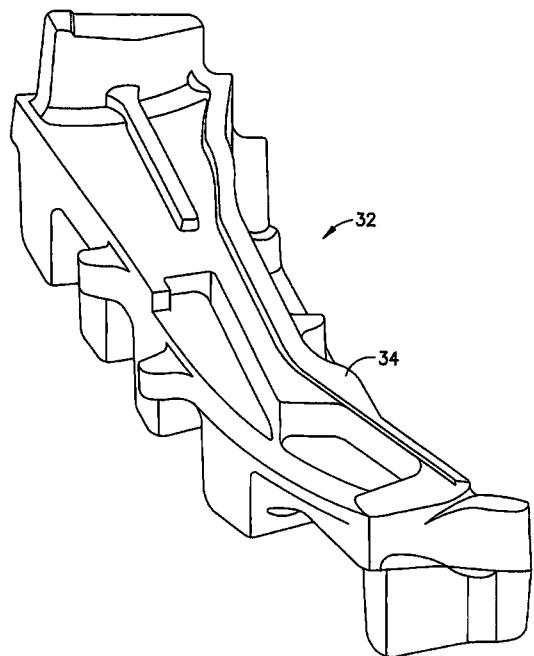
40

50

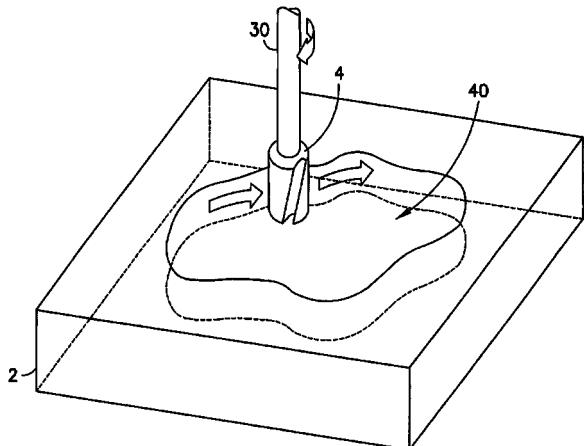
2 0 0 例示的な方法
2 0 2 航空機
2 0 4 仕様及び設計
2 0 6 材料調達
2 0 8 構成要素及びサブアセンブリの製造
2 1 0 システム統合
2 1 2 認可及び納品
2 1 4 運航
2 1 6 整備及び保守
2 1 8 機体
2 2 0 システム
2 2 2 内装
2 2 4 推進システム
2 2 6 電気システム
2 2 8 油圧システム
2 3 0 環境システム

10

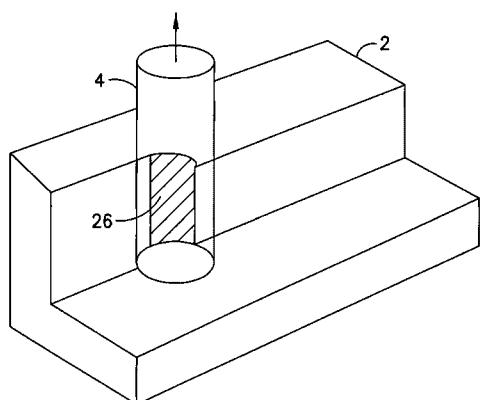
【図 1】



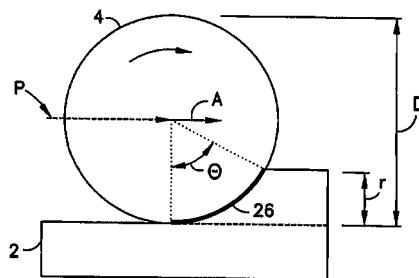
【図 2】



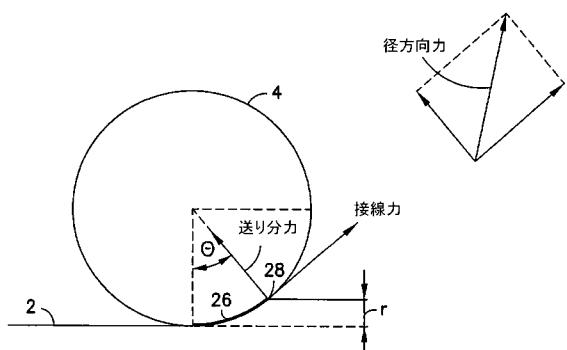
【図3】



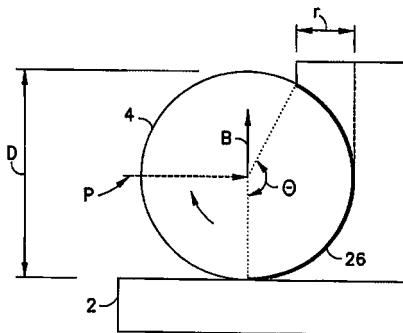
【図5A】



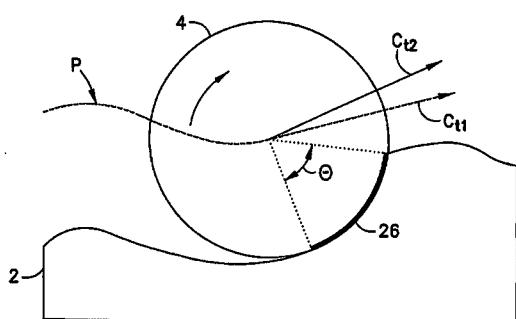
【図4】



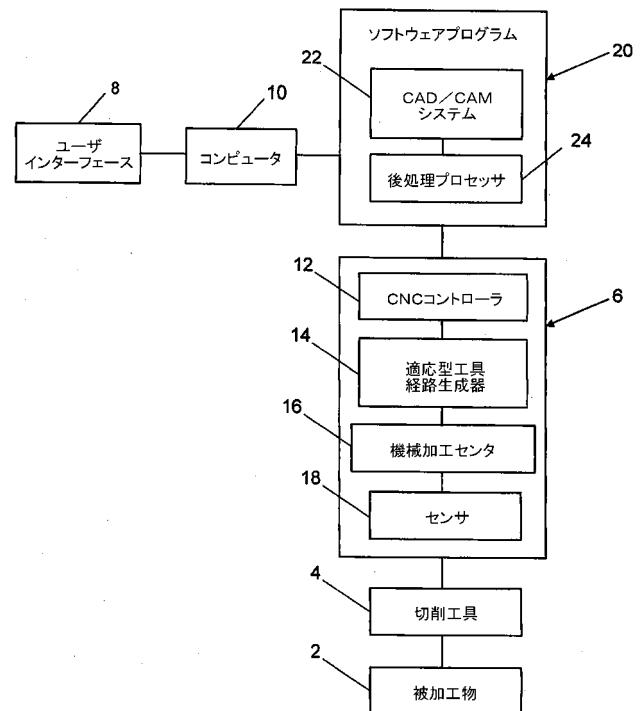
【図5B】



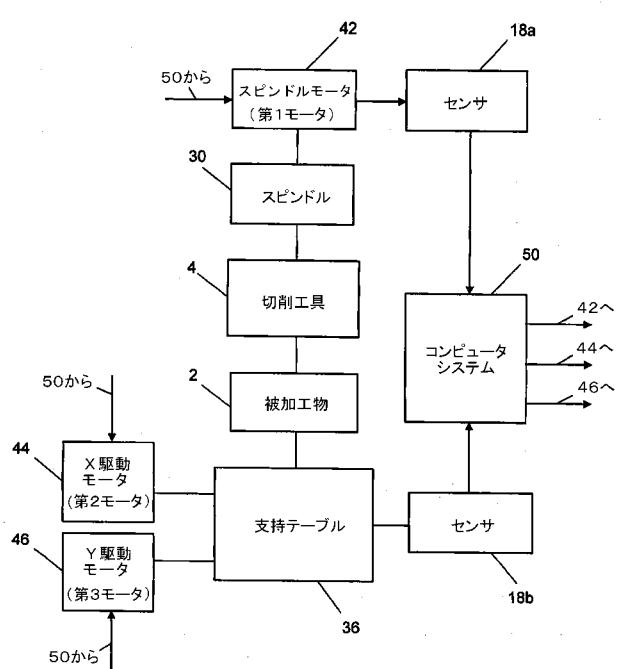
【図6】



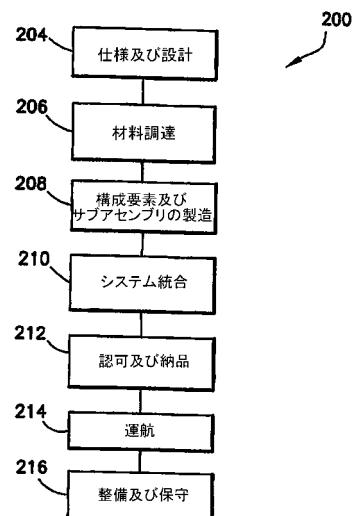
【図7】



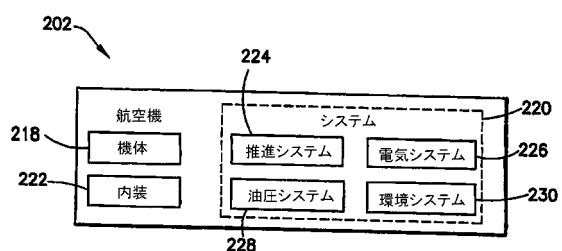
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(51) Int.CI.	F I	テーマコード(参考)
B 2 3 Q 17/09 (2006.01)	B 2 3 Q 17/09 B 2 3 Q 17/09	H A

(72)発明者 イーズリー， サミュエル ジェー。
アメリカ合衆国 イリノイ 60606-2016, シカゴ， ノース リバーサイド プラザ
100, メール コード 2ティー-42

(72)発明者 シュイ， リヤンチー¹
アメリカ合衆国 イリノイ 60606-2016, シカゴ， ノース リバーサイド プラザ
100, メール コード 2ティー-42

【 外国語明細書 】

2015097085000001.pdf

2015097085000002.pdf

2015097085000003.pdf

2015097085000004.pdf