

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6619399号
(P6619399)

(45) 発行日 令和1年12月11日(2019.12.11)

(24) 登録日 令和1年11月22日(2019.11.22)

(51) Int.Cl.
B23Q 15/12 (2006.01)
G05B 19/404 (2006.01)
B23Q 17/00 (2006.01)
B23Q 17/22 (2006.01)
B23B 35/00 (2006.01)

F 1
 B 23 Q 15/12
 G 05 B 19/404
 B 23 Q 17/00
 B 23 Q 17/22
 B 23 B 35/00

Z
 K
 A
 Z
 35/00

請求項の数 13 外国語出願 (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2017-149869 (P2017-149869)
 (22) 出願日 平成29年8月2日 (2017.8.2)
 (65) 公開番号 特開2018-39107 (P2018-39107A)
 (43) 公開日 平成30年3月15日 (2018.3.15)
 審査請求日 平成29年12月21日 (2017.12.21)
 (31) 優先権主張番号 10 2016 214 699.8
 (32) 優先日 平成28年8月8日 (2016.8.8)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 ドイツ(DE)

(73) 特許権者 505385985
 ザウアー ゲーエムベーハー
 S A U E R G m b H
 ドイツ国 スティップシャウゼン ギルデマ
 イスター・シュトラーセ 1
 G i l d e m e i s t e r s t r . 1 S
 t i p s h a u s e n G e r m a n y
 (74) 代理人 100090022
 弁理士 長門 侃二
 (72) 発明者 イエンス, ケテラー
 ドイツ国 6 5 2 0 5 ヴィースバーデン
 , リンクシュトラーセ 9
 (72) 発明者 マヌエル, プレートリウス
 ドイツ国 5 5 6 2 4 ルハウネン, サ
 ルゼンガッセ 32

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 数値制御工作機械にてワークピースを加工する方法、装置、工作機械、及びコンピュータプログラム製品

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

数値制御工作機械にてワークピースを工具で加工する方法であって、
 ワークピースの加工のためにワークピースに対する工具の相対移動を制御し、
 超音波発生器によって工具に超音波振動を発生させ、
 前記超音波発生器から出力された少なくとも 1 つのセンサ信号を検出し、
 前記超音波発生器から出力された前記少なくとも 1 つのセンサ信号に基づき、ワークピースに対する工具の相対移動を制御しながら、前記ワークピースでの材料の変化を同定し、

ワークピースに対する工具の相対移動の制御は、所定の加工パラメータに基づいて実施され、

「ワークピースにて材料の変化を同定する」工程にて、前記超音波発生器におけるセンサ信号の 1 つ以上のパラメータの値の経時的な変化及び同時的な変化が付加的に検出され、

更に、前記超音波発生器における少なくとも 1 つのセンサ信号の値の前記経時的な変化及び前記同時的な変化が相応に所定の変更時間未満内にあり且つ同時に所定の変更値を超えるか否かを決定し、

前記超音波発生器における少なくとも 1 つのセンサ信号の値の前記経時的な変化及び前記同時的な変化が相応に所定の変更時間未満内にあり且つ同時に所定の変更値を超えるとき、予め決定された加工パラメータが調整される、方法。

10

20

【請求項 2】

ワークピースは少なくとも 2 つの異なる材料領域を含み、
ワークピースの 1 つの材料領域から別の材料領域へのワークピースの変わり目は、「ワークピースにて材料の変化を同定する」工程にて同定される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

ワークピースは、複合材料、特に炭素繊維強化複合材料及び／又はガラス及び／又はセラミック材料を含む、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記材料領域は異なる材料又は材料特性の層である、請求項 2 又は 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記材料領域はワークピース内の材料含有物である、請求項 2 又は 3 に記載の方法。

10

【請求項 6】

前記材料領域は前記ワークピース内のボア及び／又は凹所である、請求項 2 又は 3 に記載の方法。

【請求項 7】

ワークピースの表面に対する工具の接触は、「ワークピースにて材料の変化を同定する」工程で同定される、請求項 1 ~ 6 の何れかに記載の方法。

【請求項 8】

加工パラメータの調整は、少なくとも工具における相対移動速度及び／又は送りの調整を含む、請求項 1 ~ 7 の何れかに記載の方法。

20

【請求項 9】

加工パラメータの調整は、少なくとも前記超音波発生器の周波数及び／又はパワーの調整を含む、請求項 1 ~ 8 の何れかに記載の方法。

【請求項 10】

前記超音波発生器はピエゾアクチュエータシステムである、請求項 1 ~ 9 の何れかに記載の方法。

【請求項 11】

ワークピースを工具で加工するために、特に請求項 1 ~ 10 の何れかに記載の方法に従い工作機械にて使用される装置であって、

前記工作機械は、ワークピースを加工するために、ワークピースに対する工具の相対移動を制御する制御ユニットと、工具に超音波振動を発生させる超音波発生器と、該超音波発生器から出力された少なくとも 1 つのセンサ信号を検出する検出ユニットとを含み、

30

前記装置は、前記超音波発生器から出力された少なくとも 1 つのセンサ信号に基づき、ワークピースに対する工具の相対移動を制御しながらワークピースでの材料の変化を同定する評価ユニットを含む、装置。

【請求項 12】

ワークピースを工具で加工する工作機械であって、

ワークピースを加工するためにワークピースに対する工具の相対移動を制御する制御ユニットと、

超音波発生器によって工具に超音波振動を発生させる超音波発生器と、

40

前記超音波発生器から出力された少なくとも 1 つのセンサ信号を検出する検出ユニットと

を備えた工作機械において、

請求項 11 に記載の装置を具備する、工作機械。

【請求項 13】

コンピュータで読み出し可能なデータ記憶媒体に記憶されたコンピュータプログラムを含み、該コンピュータプログラムが数値制御工作機械の数値制御ユニット又は数値制御工作機械の制御ユニットに接続されたコンピュータで実行可能である、コンピュータプログラム製品であって、

前記コンピュータプログラムが前記工作機械にて請求項 1 ~ 10 の何れかに記載の方法

50

を実行すべく構成されている、コンピュータプログラム製品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、数値制御工作機械にてワークピースを工具で加工する方法に関する。また、本発明は、上記方法が実施可能な装置及び工作機械に関する。更にまた、本発明は上述の方法を実施可能にするコンピュータプログラム製品に関する。

【背景技術】

【0002】

従来技術にて、例えば、ワークピースが工具で加工されるとき、工具の回転運動に工具の超音波振動を重ね合わせ可能な工作機械がよく知られている。 10

【0003】

この点に関し、以下の特許文献1は工具ホルダを備えた工具を記載し、該工具ホルダは第1端に回転スピンドルノーズに適合した工具ホルダサポートと、第1端とは反対側の第2端に工具サポートと、該工具サポートに挿入可能な工具ヘッドとを有し、工具ホルダは振動モータを含む。

【0004】

このような工作機械の場合、工具に超音波振動を発生させる工具ホルダ内の超音波発生器、振動本体及び工具ホルダに挿入された工具は振動系を提供し、該振動系は機械的に振動すべく電気信号によって励振される。ここで、振動系がその共振周波数で励振されとき、可能な最大の機械振動の振幅が得られる。 20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】EP 1 763 416 B1

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

工具がワーク内に前進されるとき、振動系はワークピースの材料や、ワークピースと工具との間の摩擦によって減衰され、共振周波数が幾分低い共振周波数に変移される。ここで、共振周波数が減衰の増加と共に更に変移されることは公知である。 30

【0007】

このことは加工中、共振周波数の著しい変動をもたらす不具合を屡々伴う。しかしながら、このことは同時に、加工されている材料の減衰能力が変化したことを意味する。

【0008】

これは、ワークピースの材料が明らかに均質であるにも拘わらず、(結晶粒界や異物含有等の)不均一性が生じる故のワークピース内での材料変化に起因する。このような材料変化のために、所定の加工パラメータを調整する必要があり、該加工パラメータにより、工具は各々の材料及びその特性に対してワークピースを加工する。

【0009】

しかしながら、ワークピース内でのボア又は凹所等の幾何学的な変化もまた、ワークピース材料の不均一性の一種であり、該不均一性は所定の加工パラメータに影響する。

【0010】

ワークピースが加工されている間、材料変化が生じる時点を決定する測定システムが既に公知であり、該測定システムは物体伝播音(body-borne sound)の原理を利用する。機械フレームには通常、対応する物体伝播音センサがワークピースから大きく離れて取り付けられ、該センサは発生する振動を測定し、該振動から測定信号を発生する。これら測定信号は制御ユニットで評価され、該制御ユニットはその評価にて、測定信号の偏差が検出されたなら、加工中、所定の加工パラメータを変化させることができる。

【0011】

50

20

30

40

50

しかしながら、測定センサが遠く離れて置かれているために、発生した信号がワークピース内材料の変化に専ら起因したものでないという不具合がある。発生した信号は環境からの振動に影響されるか又は重畠されている。このことは、測定信号の不適切な評価を導き、この結果、加工パラメータの調整を誤る。

【0012】

この理由のため、ワークピースが加工されている間、可能な限り、外部の振動の重畠を回避するため、ワークピース自体に対して可能限り近くで材料の変化を検出することが重要である。

【0013】

それ故、本発明の目的は、上述の不具合を回避可能にし、数値制御工作機械にてワークピースを加工する方法を提供することにある。10

【0014】

本発明の別の目的は、本発明の方法が実施可能な装置、工作機械及びコンピュータプログラム製品を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0015】

上述の目的は、請求項1の方法、請求項16の装置、請求項17の工作機械及び請求項18のコンピュータプログラム製品によって達成される。従属請求項は本発明の方法の好適な実施形態に係わる。

【0016】

数値制御工作機械にてワークピースを工具で加工する本発明の方法は、ワークピースを加工するためにワークピースに対する工具の相対移動を制御する工程と、超音波発生器によって工具に超音波振動を発生させる工程と、超音波発生器から出力される少なくとも1つのセンサ信号を検出する工程と、ワークピースに対する工具の相対移動が制御されながら超音波発生器から出力された少なくとも1つのセンサ信号に基づき、ワークピースでの材料の変化を同定する工程とを含む。20

【0017】

超音波発生器は工具に振動を誘起するのに役立ち、また、振動系の共振周波数を検出するセンサとしても役立つ。本方法の利点は、超音波発生器が工具の直近で且つ工具及びワークピースと共に一列に配置されていることである。それ故、入手可能な材料の各自の共振周波数及び減衰能力がワークピースに非常に近接して検出可能となり、外部の振動源の影響が大幅に減少される。30

【0018】

付け加えて、ワークピース内の材料変化が1つの材料から次の材料の変わり目で正確に認識可能となり、この情報は工具のコントローラに適切に伝送可能となる。

【0019】

発明の有利な進展は、ワークピースに対する工具の相対移動の制御が所定の加工パラメータに基づいて実施されることであり、ここでは、好ましくは、方法は次の工程を更に含む。超音波発生器から出力された少なくとも1つのセンサ信号に基づき、ワークピースでの材料変化が認識されたとき、所定の加工パラメータを調整する工程及び／又は調整された加工パラメータに基づき、ワークピースに対する工具の相対移動を制御する工程。40

【0020】

所定の加工パラメータは、材料各自をその加工に必要なパラメータで適切に加工するために、超音波発生器のセンサ信号に依存して制御可能である。

【0021】

付加的な利点は、外部の振動源の影響が最大限に減少可能であるために、各材料にとつての一種の「指紋」（例えば、振動系の或る減衰共振周波数及び／又は材料の或る減衰能力）が生成され且つ記憶されることにある。

【0022】

このことは、1つのワークピースで、広範囲に異なる材料（炭素繊維強化プラスチック50

材料及びチタニウム／アルミニウム)が屢々互いに組み合わされるので、例えば複合材料の場合に大きな利点となる。これは、全ての材料のための加工パラメータを対応して調整する要求又は必要性をもたらす。加工の予備段階においては材料の各自の層厚が屢々、正確なクランプに基づいてプログラムされ、このため、加工中、加工パラメータが調整される。

【0023】

しかしながら、ワークピースのクランプでは層厚の変動や不揃いが機械的に存在するので、材料の幾つかは不適切な加工パラメータで常時加工される。今、発明によりワークピース内の材料変化を正確に同定し、そして、材料各自の加工パラメータを調整することが可能となる。

10

【0024】

発明における別の好都合な進展は、ワークピースが少なくとも2つの異なる材料領域を含み、ここでは、「ワークピースにて材料の変化を同定する」工程にて、ワークピースでの1つの材料領域から他の材料領域への工具の変わり目が同定されることである。

【0025】

ここで、上述の方法は、材料変化が制限された数に限定されず、不定数の材料変化を同定でき、このために工具の加工パラメータが調整され得る。

【0026】

付け加えて、方法は、ワークピースが複合材料、特に炭素繊維強化複合材料及び／又はガラス及び／又はセラミック材料を含むべく好都合に進展され得る。

20

【0027】

或る材料に対しての発明の制限は存在しない。また、複合材料、ガラス及びセラミックは好都合に「指紋」(共振周波数特性及び／又は減衰能力)を残し、該「指紋」は記憶され、そして、所定の加工パラメータを調整するのに使用可能である。

【0028】

発明は、材料領域が異なる材料又は材料特性の層をなし、又は、材料領域がワークピース内の含有材料又は材料領域がワークピース内のボア及び／又は凹所であるように好都合にて進展され得る。

【0029】

材料及び／又は材料領域の変化は、異なる材料特質によって識別可能で、また、ワークピース内での幾何学的な変化によって特徴付け可能である。

30

【0030】

例えば、加工中、工具がワークピースの材料からワークピースのボア内(多分、その一部のみ)で働くことも可能である。また、このことはその位置で、ワークピースの共振周波数及び／又は減衰能力の変化、つまり、材料の或る種の変化を導く。この場合にも同様に、所定の加工パラメータを調整することが望まれる。

【0031】

発明は、「ワークピースにて材料の変化を同定する」工程にて、ワークピースの表面との工具の接触(即ち、ワークピース内で材料変化に対比して、例えば空気からワークピースの表面への材料変化)が同定されるように好都合に進展され得る。

40

【0032】

特に大きな利点は、ワークピースに対する非常に迅速なアプローチが確保され、これにより、加工時間の短縮が可能となる。このことは特に、材料がガラス又はセラミック等の壊れ易い場合に利点となる。

【0033】

このような材料からなるワークピースに対し、工具はワークピースに出会うためだけに所定の安全距離まで高速でアプローチし、この後、加工が所定の加工パラメータで継続され、ここでの加工パラメータは比較的遅い。選択された安全距離が余りにも長ければ、加工時間が不必要に浪費される。

【0034】

50

材料変化(例えば、空気からワークピースの表面)の同定に起因し、対応した材料への所定の加工パラメータの調整が実施される前に、工具は空気からワークピースの実際の境界まで高速で移動可能である。

【0035】

付け加えて、方法は、「ワークピースにて材料の変化を同定する」工程にて、超音波発生器におけるセンサ信号の1つ以上の経時的な変化及び同時に値の変化が相応して検出されるように好都合に進展され得る。

【0036】

ここでの進展の利点は、振動系における共振周波数の変化が材料の変化以外の理由を有することである。加工操作は時には多量の熱を発生し、該熱は或る程度、工具又はワークピースを強く加熱する。10

【0037】

また、該加熱は振動系の共振周波数に相当影響する。しかしながら、これらの影響は材料の変化の理由から識別可能である。

【0038】

振動系の共振周波数は、工具及び／又はワークピースの加熱のために比較的長い期間に亘って連続的に変化する。このことは、共振周波数の急激な変化を示す材料変化の発生とは矛盾する。

【0039】

ここで、センサ信号の1つ以上の経時的な変化及びセンサ信号の相応のパラメータの値の変化の両方を検出するのが好ましい。各センサ信号はノイズを有し、該ノイズはパラメータにおいて、特に一時的に急であるもの低い変化を示す。20

【0040】

それ故、検出されるのは経時的な変化だけでなく、好ましくは、相応のパラメータの値の変化もまた検出される。この組み合わせは、材料変化の存在に関して、好都合且つ確実な供述の根拠を形成する。

【0041】

また、発明は次の工程によって好都合に進展され得る。超音波発生器における少なくとも1つのセンサ信号の経時的な変化及びその値の変化が所定の変化時間よりも相応して大きく下回り且つ同時に所定の変化値を超えたか決定する工程。30

【0042】

センサ信号におけるパラメータの経時的な変化及びその値の変化を決定することに加えて、センサ信号における各自の変化の制限値を決定することも必要である。

【0043】

この根拠に基づき、材料における変化の発生は、制限値を超えるか又は下回ることで決定可能となり、(ワークピース／工具の温度変化等の)他の要因から大きく識別可能となる。

【0044】

更にまた、発明は、超音波発生器における少なくとも1つのセンサ信号の経時的な変化及びその値の変化が所定の変化時間を相当に下回り且つ所定の変化値を超えたとき、所定の加工パラメータが調整されるべく好都合に進展され得る。40

【0045】

センサ信号における少なくとも1つのパラメータの経時的な変化及びその値の変化を附加的に確認することで、材料における変化の存在に関して、より確実な供述をなすことが可能となる。工具及びワークピースの温度変化に起因した材料変化の存在の申立が検出される虞は上述の附加的な確認によって著しく最少化される。

【0046】

本発明の更に好都合の進展は、加工パラメータの調整が工具における相対移動速度又は切削速度及び／又は送り速度の少なくとも1つの調整を含むことである。好ましくは、所定の加工パラメータは次のパラメータの1つ以上である。ワークピースの加工中の送り速50

度、工具の機械的な切削エッジ又はその一部の切削速度及び工具速度（例えば、工具を駆動する工作機械のワークスピンドルのスピンドル速度）。

【0047】

それ故、材料での検出された変化のために、或る所定の加工パラメータ、例えば、工具を回転する主駆動部（例えばスピンドル駆動部）及び／又は工具速度の駆動部のパラメータ）が調整可能である。

【0048】

また、加工パラメータの調整が少なくとも超音波発生器の周波数及び／又はパワーの調整を含むことも発明の好都合な進展である。

【0049】

材料の変化に対応して調整可能な工具回転及び工具の送り駆動部のみならず、超音波発生器自体もまた材料の要求に応じて調整可能である。これは例えば、超音波発生器の周波数、振幅及びパワーである。

10

【0050】

発明は、超音波発生器がピエゾアクチュエータシステムであるように好都合に進展され得る。

【0051】

ピエゾアクチュエータシステムの利点は、非常に高い周波数（超音波）が圧電結晶の非常に高い動的挙動によって発生可能であり、ここでは同時に、ピエゾ要素が非常に強健で良好な線形制御挙動を示す。

20

【0052】

発明は、工具が少なくとも1つの幾何学的に規定された切削エッジ又は少なくとも1つの幾何学的に規定されない切削エッジを有するべく好都合に進展され得る。

【0053】

発明は、或る材料／物質又は或る工具に限定されず、それ故、非常に広い適用範囲にて使用可能である。

【0054】

ワークピースを工具で加工する工作機械にて使用する発明の装置は以下の構成を備える。該構成は、ワークピースを加工するために、ワークピースに対して工具の相対移動を制御する制御ユニットと、工具に超音波振動を発生させる超音波発生器と、超音波発生器から出力された少なくとも1つのセンサ信号を検出する検出ユニットとを含み、装置は、超音波発生器から出力された少なくとも1つのセンサ信号に基づき、ワークピースに対する工具の相対移動を制御しながらワークピースでの材料変化を同定する評価ユニットを有する。

30

【0055】

ワークピースを工具で加工する発明の工作機械は以下の構成を備える。該構成は、ワークピースを加工するためにワークピースに対して工具の相対移動を制御する制御ユニットと、工具に超音波振動を発生させる超音波発生器と、該超音波発生器から出力された少なくとも1つのセンサ信号を検出する検出ユニットとを含む。

【0056】

40

従って、制御装置及び又は工作機械にて上述の方法を実施し、これにより、既存の工作機械での方法の使用が可能となる。このことは上述した発明の好適な局面と組み合わせ可能である。

【0057】

ここで、発明に係るコンピュータプログラム製品は以下の構成を備え、該構成はコンピュータ読み取り可能なデータ記憶媒体に記憶されたコンピュータプログラムを有し、該コンピュータプログラムは数値制御工作機械の数値制御ユニット又は数値制御工作機械の制御ユニットに接続されたコンピュータにて実行可能で且つ前述の方法を実施する。

【0058】

この結果、発明は工作機械の既存の制御ソフトウェア上に実現されて実行可能である。

50

このことは、上述の発明の好適な局面とも組み合わせ可能である。

【0059】

以下には他の複数の局面が記載され、これら局面は本発明の方法又はその例示的な構成を適用するうえで好都合に使用可能である。

【0060】

ワークを超音波加工するために工具に超音波振動を発生させ且つ工具における超音波振動の超音波振動パラメータを測定する、特に好ましくは、加工中、材料内及び／又はワークピースでの材料変化を同定する装置は、工具を受け取る工具ホルダと、該工具に超音波振動を発生させる超音波変換器（超音波発生器）と、工具の超音波振動に基づき、センサ信号を発生させる工具ホルダ内のセンサ装置と、センサ信号を評価するセンサ信号評価装置とを含む。評価装置は、センサ信号の評価に基づき、上述の如何なる局面での加工中、ワークピース内の材料変化を検出するように構成されている。10

【0061】

例えば、超音波変換器（超音波発生器）は1つ以上のピエゾ要素からなり、これらピエゾ要素はまたセンサ装置としても機能する。

【0062】

それ故、工具に超音波振動を発生し、且つ、これと並行して振動工具における超音波振動パラメータを直接的に測定する、特に好ましくは、加工中、材料内及び／又はワークピースでの材料変化を同定する装置が提供される。電気的なセンサ信号が発生され、該センサ信号は機械的な振動に関して、引き出されるべき直接的な結論を許容する。センサ信号は、加工中、1つ以上の時点又は或る期間内で発生され、従って、常時更新可能である。これに起因して、振動振幅の減少又は共振周波数の変化、特に好ましくは加工中、ワークピースでの材料内での変化を同定するものとして、振動の監視及び／又は振動パラメータの変化の検出が可能となる。20

【0063】

センサ装置は好ましくは、1つ以上の圧電センサ要素を含み、好ましくは、センサ信号は工具の超音波振動によって生成される電圧である。

【0064】

工具ホルダが回転でき、装置が工具ホルダ内のセンサ装置に接続された送信要素及び送信要素から離れた受信要素を有し、送信要素から受信要素へのセンサ信号の非接触な伝達をなすことは好適する。30

【0065】

受信要素は、発明の装置と共に工具ホルダの外部、例えば、工作機械の静止部分に配置可能である。センサ信号は評価目的で、回転工具ホルダから送信要素とは離れた工作機械側の受信要素によって導き出される。

【0066】

センサ装置が超音波変換器から電気的に絶縁する絶縁要素を有し、該装置が超音波変換器にエネルギーを供給するため、工具ホルダ内にエネルギーを転送するエネルギー転送装置を有し、該エネルギー転送装置が送信要素及び受信要素から電気的に絶縁されていることは好適する。40

【0067】

超音波振動装置及び該超音波振動装置のエネルギー供給源からの工具ホルダ内のセンサ装置及びセンサ信号経路の電気的な切り離しにより、工具の振動は工具の振動発生とは完全に無関係に検出され、センサ信号の偽造(falsification)を防止する。

【0068】

好ましくは、送信要素及び受信要素は、送信要素から受信要素にセンサ信号を誘導的に伝送するように構成されている。

【0069】

このような非接触の伝送形態は、誘導伝送が如何なる別のエネルギーを要求しないので、工具ホルダからセンサ信号を導き出すために、工具ホルダ内にエネルギー供給のための付加50

的な回路やパワーアダプタの何れもが不要となる利点を有する。

【0070】

好ましくは、送信要素及び受信要素は第1変圧器を形成し、ここで、送信要素は第1変圧器の第1鉄心及び一次巻線を有し、受信要素は第1変圧器の第2鉄心及び二次巻線を有する。エネルギー転送装置は第2変圧器として作られ、第2変圧器の一次巻線及び第2変圧器の二次巻線を有する。ここで、第1変圧器及び第2変圧器は、第2変圧器の一次巻線から第2変圧器の二次巻き線への超音波変換器のエネルギー供給のためのエネルギー伝送方向に対して実質的に垂直な方向に、センサ信号が第1変圧器の一次巻線から第1変圧器の二次巻線に伝送されるように配置されている。

【0071】

2つの変圧器の各自の磁場が互いに垂直にアライメントされ、エネルギー供給及び信号伝送は殆ど互いに影響しない。

【0072】

代替的には、送信要素及び受信要素は、送信要素から受信要素にセンサ信号を光学的に伝送するように構成される。

【0073】

ワークピースを加工する本発明の工作機械は、発明の装置と、第2変圧器の一次巻線及び第2変圧器の第1ポットコアを含むエネルギー転送装置の静止部分と、第2受信要素の両方を収容するハウジングとを備える。

【0074】

それ故、センサ信号は工作機械の静止部分内に案内され、ここで評価可能である。

【0075】

ワークピースを超音波加工するために工具の超音波振動パラメータを測定する方法、特に好ましくは、加工中、ワークピース内及び/又はワークピースでの材料変化を同定する方法は、好ましくは、工具ホルダに収容された工具を或る超音波振動の中に置く工程と、工具の超音波振動に基づくセンサ信号を工具ホルダ内のセンサ装置によって生成する工程と、センサ装置から工具ホルダ内のセンサ装置に接続された送信要素にセンサ信号を渡す工程と、送信要素から該送信要素とは離れた受信要素にセンサ信号を伝送する工程と、受信要素からセンサ信号評価装置にセンサ信号を渡す工程と、工具の超音波振動パラメータを決定するため、特に好ましくは加工中、ワークピース内及び/又はワークピースでの材料変化を同定するためにセンサ信号評価装置内でセンサ信号を評価する工程とを含む。

【0076】

それ故、電気的な信号は、機械的な振動に関して直接的な結論を引き出し可能にするため、特に好ましくは、加工中、ワークピース内及び/又はワークピースでの材料変化を同定するために生成される。センサ信号は、加工中、1つ以上の時点又は或る時間間隔で発生される。それ故、超音波パラメータは絶えず更新され、そして、振動の変化が連続的、特に好ましくは、加工中、ワークピース内及び/又はワークピースでの材料変化を同定するために検出可能である。

【0077】

好ましくは、センサ信号が評価されたとき、工具における超音波振動の周波数はセンサ信号の周波数及び/又はセンサ信号の振幅又は工具における超音波振動の振幅から決定される。

【0078】

このようにして、振動系内での共振周波数の変化及び/又は振幅の減少が特に好ましくは加工中、ワークピース内及び/又はワークピースでの材料変化を同定するために、センサ信号から簡単に決定できる。無線周波数(radiated frequency)と共振周波数との間の比較に基づき、加工操作に好都合であるなら、振動系は共振に調整される。

【0079】

その他の局面及びその利点が上述の局面及び特徴の利点や可能な特定の構成と共に添付図面を参照して以下に記載されるが、これらは決して制約するものではない。

10

20

30

40

50

【図面の簡単な説明】**【0080】**

【図1】本発明に係る方法の実施形態にて使用可能な工具ホルダの断面図である。

【図2A】本発明に係る多層ワークピースの加工を、超音波発生器の対応したセンサ信号と共に示す概略図であって、ここでは、工具が材料Aの領域でワークピースを加工している、概略図である。

【図2B】本発明に係る多層ワークピースの加工を、超音波発生器の対応したセンサ信号と共に示す概略図であって、ここでは、工具が材料BAの領域でワークピースを加工している、概略図である。

【図3】本発明に係る方法の一実施形態のフロー チャートを示す図である。 10

【図4】本発明に係る工作機械の概略的な実施形態を示す図である。

【発明を実施するための形態】**【0081】**

添付図面を参照し、以下に本発明の実施形態を詳細に説明する。同一又は同様な要素には同一の参照符号が付されているが、ときには異なる参照符号も付されている。

【0082】

しかしながら、本発明は以下の実施形態やその構成的な特徴に限定又は制約されず、実施形態の変形、特に、独立請求項の範囲内で以下の実施形態の特徴の変形や、その個々又は複数の特徴の組み合わせを含むことに留意すべきである。

【0083】

図1は工具ホルダ10の例示的な構造を示し、該工具ホルダ10は本発明の方法で使用可能である。 20

【0084】

工具ホルダ10の一端には、工具90(図1に示さず、図4を参照)を受け取る工具受け取り部11が配置されている。工具ホルダ10内には複数、例えば6つの第1ピエゾ要素21が積層体として配置され、各第1ピエゾ要素21はディスク形状をなし、そして、穿孔されている。これら第1ピエゾ要素21は例えば伝達部12を介して工具受け取り部11に接続され、例えば超音波変換器20(超音波発生器)を形成する。該超音波変換器20は電圧を機械振動(例えば、超音波の範囲の周波数)に変換する。

【0085】

一例として、第1ピエゾ要素21の機械振動は伝達部12を介して工具90に伝達される。第1ピエゾ要素21は例えば、ピエゾセラミックディスクとして構成でき、ディスク間に電極が設けられている。 30

【0086】

超音波変換器20のエネルギーは例えば変圧器(第1変圧器)によって供給され、該変圧器は例えば、工作機械側の第1ポットコア31及び一次巻線32(図1に示さず、図4参照)と、工具側の第2ポットコア33及び二次巻線34とからなり、これら第2ポットコア33及び二次巻線34は例えば、工具ホルダ10の外面に環状要素として配置されている。

【0087】

例えば、第1ピエゾ要素21からなる積層体の片側、つまり、工具受け取り部11とは反対の側にはピエゾ電気センサ要素40が配置され、該センサ要素40はディスク形状をなし、そして、穿孔されている。センサ要素40は例えばピエゾ要素41と、2つの接点42とからなる。センサ要素40は例えば、第1ピエゾ要素21に機械的に結合されているが、第1ピエゾ要素21に対しては絶縁要素43により電気的に絶縁されている。該絶縁要素43はセラミック製の穿孔ディスクからなる。例えば、ピエゾ電気センサ要素40は別の絶縁要素43によって、固定要素13、例えば固定ナットに対して電気的に絶縁されている。

【0088】

固定要素13は超音波変換器20にピエゾ電気センサ要素40を固定し、そして、動的 50

な負荷のため、第1ピエゾ要素21を偏奇させるうえで役立つ。

【0089】

第1ピエゾ要素21及びピエゾ電気センサ要素40は同一方向に向けられ、一方では振動の発生や検出を同一方向で可能にし、他方では工具ホルダ10内の要素の省スペースな配置を達成する。

【0090】

ピエゾ電気センサ要素40は、工具90、伝達部12、超音波変換器20及びピエゾ電気センサ要素40からなる振動系の機械振動をセンサ信号に変換する。該センサ信号は、ピエゾ電気センサ要素40からワイヤ接続50により工具ホルダ10内を通じて、工具ホルダ10の外面における送信要素61, 62に転送される。

10

【0091】

センサ信号は、送信要素61, 62から例えば非接触にして工作機械側の受信要素81, 82(図1に示さず、図4を参照)に伝送される。

【0092】

送信要素61, 62は別の変圧器(例えば、第2変圧器)の一部をなし、例えば、第1鉄心61及び一次巻線62からなっている。また、受信要素81, 82は第2変圧器の一部をなし、第2鉄心81及び二次巻線82からなっている。

【0093】

それ故、センサ信号は工具ホルダ10から工作機械側のセンサ信号評価装置に誘導的に転送される。

20

【0094】

代替的には、光学的な転送もまた可能である。ここでは、送信要素61, 62がLEDであり、受信要素81, 82がフォトダイオードである。送信要素61, 62は、DIN69893(独工業規格)に規定された工具データ用工具チップ用のボア70に嵌合する寸法をなし、ボア70内に位置付けられている。工具ホルダ10は、工作機械1000の静止部分(図1に示さず、図4を参照)に対して回転可能である。

【0095】

図2Aは、ワークピースWSを超音波加工する工具90の加工操作を概略的に示し、ワークピースWSは異なる材料(材料A及び材料B)の複数の層からなっている。

【0096】

30

図2Aの右側部分の図表は、ピエゾ要素21の対応したセンサ信号(振幅、周波数、強度)を示し、該図表は、自由に振動可能な(即ち、減衰無しの)振動系と材料A内への進入による減衰振動系との間の差異を既に示す。

【0097】

材料A内に進入するとき、振動系は一定の振幅を発生するために、より大きなパワーを備えていなければならない。しかしながら、振動系が材料Aで減衰されるために同時に、振動系の共振周波数は低周波数に向けて変化する。

【0098】

図2Bは、超音波加工のために第2材料B内に工具90が進入した後の加工操作を概略的に示す。該加工において、ピエゾ要素21のセンサ信号は、図2Bの右側部分の図表に示されるように変化する。

40

【0099】

センサ信号の変化に基づき、第1に、ワークピース内での材料の変化を同定でき、そして、好ましくは、検出されたセンサ信号及び/又は材料変化の同定に基づき、速度、切削速度及び/又は工具の送り等の加工パラメータを、ピエゾ要素21に対する駆動信号パラメータ等の振動パラメータと共に調整可能にする。

【0100】

図3は、本発明に係る方法の実施形態の流れ図を示す。ここでは、工程S2の初期にて、工具90が所定の加工パラメータに基づき操作される。次の工程(S3)にて、工具90の超音波振動がピエゾ要素21によって発生され、ここで、ピエゾ電気センサ要素40

50

における振幅、周波数及び強度等のセンサ信号が同時に検出される（工程 S 4）。

【0101】

次の工程 S 5において、検出されたセンサ信号が今、初めて評価される。ここでは、例えば、検出されたセンサ信号が（信号ノイズ領域にて）実質的に一定であるか否かが判別される。ここでの判別結果が否の場合、各センサ信号の経時的な変化tが工程 S 6にて検出される。即ち、センサ信号の変化の速さの程度やセンサ信号の値変化y、つまり、対応する信号の変化の程度又は量が同時に検出される。

【0102】

これらの検出された値は、次の 2 つの工程 S 7, S 8 にて所定の制限値 t_{grenz} , y_{grenz} と比較されて、ここで比較により、材料の変化の有無が決定可能となる。

10

【0103】

工程 S 7 にて、経時的な変化tが先ず、その目的のための所定の制限値 t_{grenz} と比較される。

【0104】

検出された経時的な変化tが所定の制限値 t_{grenz} よりも低いならば、次の工程 S 8 にて、値yの変化量に関して或る比較が実施される。この目的のため、検出された値変化yが所定の制限値 y_{grenz} と比較される。検出された値変化yが所定の制限値 y_{grenz} を超えるなら、検出されたセンサ信号はワークピース WS の材料の変化を示す。

【0105】

上述の記載は例えば、検出された値が工具ホルダに発生された振動の周波数及び / 又は検出された超音波変換器 20 のパワーを含むという事実を参照できる。

20

【0106】

該事実に基づき、工程 S 9 にて、所定の処理パラメータが調整される。ここでの調整には、工具における送り速度の調整又は変化、及び / 又は、ワークピースが加工される際の工具の切削速度又は回転速度を含むことができる。

【0107】

ここで、パラメータは次のようにして調整される。ピエゾ電気センサ要素 40 のセンサ信号を検出し、センサ信号は例えば、相応の既知の材料に関して、既に検出されたセンサ信号を含むデータセットと比較される。

【0108】

これらデータセットは例えば、工具と材料との組み合わせにおける共振周波数又は材料の減衰能力を含むことができ、（「指紋」の一種として）全ての既知の材料の特性である。ここで、適合が決定されたなら、現在の材料が同定されて、これに基づき、加工パラメータは対応の材料に順応可能である。

30

【0109】

しかしながら、既知でない材料があれば、その材料の種類及び / 又は材料の硬度の程度及び減衰能力は、検出されたセンサ信号に基づいて評価可能であり、そして、これに基づき、加工パラメータが調整可能である。それ故、一例として、材料の分類も可能となる。

【0110】

また、ワークピースが既知の材料組成を有する場合、ワークピースの種々の材料又は材料層のために、種々の加工パラメータ又は加工パラメータセットを予め決定することができ、そして、ワークピースの材料変化が工具の工具尖端位置で同定されたとき、加工パラメータは異なる所定の加工パラメータ又は加工パラメータセットに順応される。

40

【0111】

しかしながら、工程 S 8 にて、対応のセンサ信号の値変化yが所定の制限値 y_{grenz} を超えないならば、方法は加工パラメータを変更せずに続けられる。

【0112】

図 4 は本発明に係る装置を概略的に示し、該装置によって本発明の方法が実施可能である。

【0113】

50

装置は工作機械1000の一部である。図4は、ピエゾ電気センサ要素40を有した工具ホルダ10を示し、該工具ホルダ10の構成は図1に一例として示された工具ホルダ10の構成に相当する。工具ホルダ10にはワークピースを超音波加工する工具90が受け取られている。

【0114】

工具ホルダ10において、発生器120はピエゾ駆動部の駆動信号として、作業信号A1を出力する。作業信号A1は作業周波数f1を有し、回転する工具ホルダ10に向けて、エネルギー発生装置30を介してパワーP1と共に非接触に転送され、該エネルギー発生装置30は、第1ポットコア31を備えた一次巻線32及び第2ポットコア33を備えた二次巻線からなっている。更にまた、発生器120は、パワーPt<P1のテスト信号Atを出力し、該テスト信号Atは作業信号A1に重畠され、その周波数はf1の範囲内で変化する。10

【0115】

信号A1,Atのために、工具ホルダ10の振動系は振動すべく誘起され、該振動の周波数スペクトルは実質的に2つの周波数を有する。

【0116】

振動系の振動のために、ピエゾ電気センサ要素40もまた同様に振動し、電気的なセンサ信号A2を発生する。該センサ信号A2は振動の周波数スペクトルに関係した情報を含んでいる。

【0117】

センサ信号A2は例えば、他の変圧器を介して回転中の工具ホルダ10から読み出し装置130によって非接触にして読み出され、そして、解析装置140aに転送される。他の変圧器は第1鉄心61を備えた一次巻線62と第2鉄心81を備えた二次巻線82からなっている。20

【0118】

解析装置140aは、センサ信号A2の周波数スペクトルに含まれる周波数を同定し、それ故、共振周波数を決定する装置140bにて、スペクトルの最大ピークの周波数（主要周波数）が作業周波数f1と関連付け可能であり、該装置140bは解析装置140aの一部として実現可能である。スペクトル中のより小さいピークの周波数（補助周波数）は共振周波数f2と関連付け可能である。また、読み出し装置130、解析装置140a及び共振周波数決定用装置140bは2つの装置に結合されるか、又は単一の装置としても実現可能である。30

【0119】

決定された共振周波数f2の値は第1制御装置150に伝送され、該第1制御装置150は作業信号A1の周波数f1が共振周波数f2に調整されるべく発生器120を制御する。

【0120】

代替的又は付加的には、決定された共振周波数f2の値は第2制御装置160に伝送可能であり、該第2制御装置160は、工具ホルダ10に作業信号A1を発生(irradiate)するパワーP1がパワーP1'に増加されるべく発生器120を制御し、これにより、f1-f2の励振(excitation)の場合でさえも、機械的な振動の振幅が得られ、ここでの振幅は共振周波数f2で励振された最大振幅として達成される。40

【0121】

従って、工具90での加工中、工具尖端での機械的振動の振幅を精度に関してプラス効果を有した或る値に安定させることが可能となる。或るパワーでの場合に、振動の振幅が可能な最大値に安定されたとき、ワークピースの加工効率もまた増加される。

【0122】

装置のユーザはユーザインターフェース170を介して第1制御装置150及び/又は第2制御装置160を制御でき、これより、作業信号A1はユーザの指令又は所定の条件が付与されたときのみに調整される。また、ユーザは、決定された最新の共振周波数f2に基づき、作業信号A1が規則的又は不規則な間隔で自動的に調整されるべく決定可能である。

【0123】

50

発生器 120、読み出し装置（又は検出装置）130、解析装置 140a 及び第 1 制御装置 150 は、1 つ装置 200 に結合でき、該装置 200 は複数の出力信号を出力し且つ複数の入力信号を受け取る。ここで、装置 200 の第 1 出力信号は作業信号 A1 に相当し、第 2 出力信号はテスト信号 At に相当し、そして、1 つの入力信号はセンサ信号 A2 に相当する。

【0124】

上述の実施形態において、工具の振動は振動系の各自の共振周波数によって制御可能である。工具又は工具尖端が 2 つの材料の境界に位置付けられたとき、制御された共振周波数又はその結果、パワーが変化するなら、その変化は本発明の実施形態に従い、材料の変化を検出するため使用可能である。

10

【0125】

一方、このことは、ワークピースにおける 2 つの材料層間の境界が同定できることである。しかしながら、例えばワークピース内又はワークピースの表面に空気、空洞、ボア等が存在する場合、例えばワークピースとの最初の接触を検出するために、前記境界はまたワークピースの材料間（ワークピース表面と空気との間）の境界ともなる。

【0126】

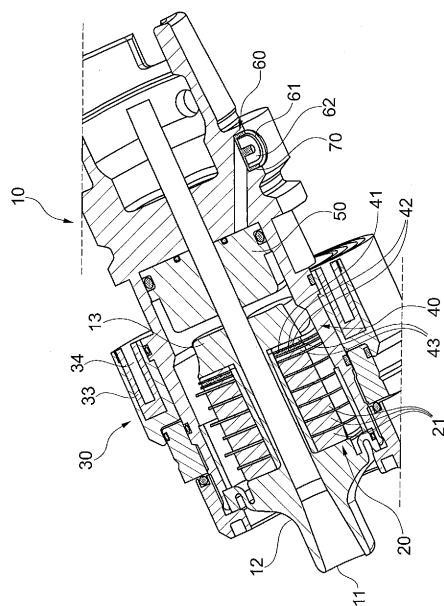
本発明の実施形態及びその利点は添付図面を参照して詳細に上述されている。

【0127】

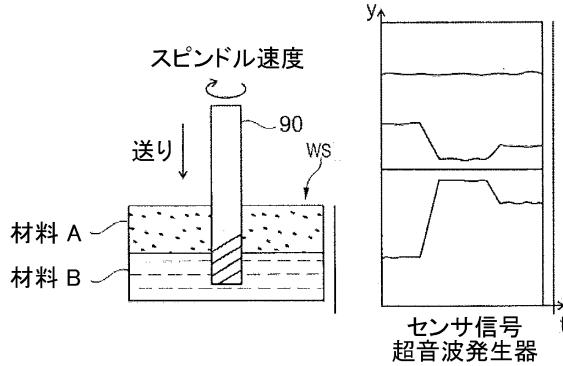
しかしながら、本発明が上述の実施形態や構成上の特徴に限定又は制約されるものでなく、独立請求項の範囲内で、構成上の特徴の変形、特に、上述の実施形態の特徴の変形又は上述の実施形態の個々又は複数の特徴の組み合わせを含むことに再度留意すべきである。

20

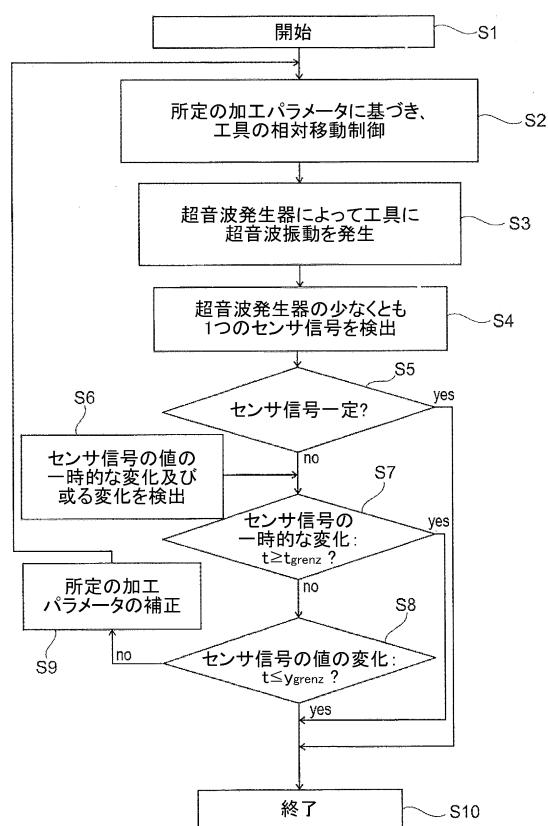
【図 1】



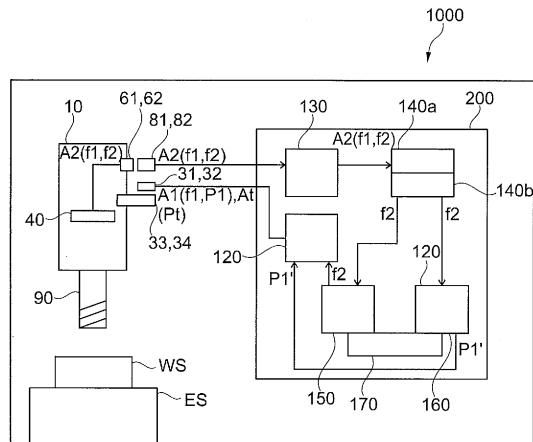
【図2B】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
B 2 3 B 37/00 (2006.01) B 2 3 B 37/00

審査官 藤井 浩介

(56)参考文献 特表2012-525265 (JP, A)
韓国登録特許第10-1561531 (KR, B1)
特開2012-016793 (JP, A)
米国特許出願公開第2003/0099520 (US, A1)
米国特許出願公開第2010/0025107 (US, A1)
特表2011-510831 (JP, A)
特開2001-228125 (JP, A)
特開2008-140037 (JP, A)
特開2012-024904 (JP, A)
米国特許第05940787 (US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 05 B 19/18 - 19/416 ; 19/42 - 19/427
B 23 Q 15/00 - 15/28 ; 17/00 - 23/00
B 23 B 35/00 - 49/06
G 01 H 1/00 - 17/00