

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7356977号
(P7356977)

(45)発行日 令和5年10月5日(2023.10.5)

(24)登録日 令和5年9月27日(2023.9.27)

(51)国際特許分類		F I	
B 2 3 F	23/12 (2006.01)	B 2 3 F	23/12
G 0 1 B	21/00 (2006.01)	G 0 1 B	21/00 F
G 0 1 B	11/00 (2006.01)	G 0 1 B	11/00 D
G 0 1 B	5/00 (2006.01)	G 0 1 B	5/00 F
請求項の数 22 (全35頁)			
(21)出願番号	特願2020-531739(P2020-531739)	(73)特許権者	599172531
(86)(22)出願日	平成30年12月6日(2018.12.6)		ライシャウアー アーゲー
(65)公表番号	特表2021-506598(P2021-506598 A)		スイス国 ヴァリスエレン C H - 8 3 0
(43)公表日	令和3年2月22日(2021.2.22)	(74)代理人	4 インデュストリーシュトラッセ 3 6
(86)国際出願番号	PCT/EP2018/083747		110002354
(87)国際公開番号	WO2019/115332	(72)発明者	弁理士法人平和国際特許事務所
(87)国際公開日	令和1年6月20日(2019.6.20)		フィーリップ フーバー
審査請求日	令和3年9月13日(2021.9.13)	(72)発明者	スイス国 ヴァリゼレン 8 3 0 4 ツィ
(31)優先権主張番号	01526/17		ールアッカー通り 1 9
(32)優先日	平成29年12月15日(2017.12.15)	(72)発明者	ロギーア キルシュ
(33)優先権主張国・地域又は機関	スイス(CH)		ドイツ国 カールスバート 7 6 3 0 7
		(72)発明者	ヘルマン - レーンズ通り 3 6
			ハルトムート マルクス
			スイス国 ヴァリゼレン 8 3 0 4 フロ
			ーウハイム通り 1
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 創成加工工具の測定を行う方法及び装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

歯付きワークとなる実ワーク（3）の創成加工のための実工具（1）の測定を行う方法であって、

前記実工具（1）は、工具軸（B）の周りに回転可能であるとともに、各々が実刃先を形成する複数の切削歯（14）を有し、前記方法は、測定装置（11；23）を用いて実行され、

前記方法は、

（a）仮想工具（1v）の仮想刃先（S）であって、刃先の長手方向に沿って延在するとともに、前記刃先の長手方向に対して横方向に丸みを帯びている当該仮想刃先（S）に対して、仮想接触点（m1～m5）を計算する工程であって、前記仮想刃先（S）は、予め定められた前記実刃先の所望の刃先形状に対応しており、前記仮想接触点（m1～m5）の計算は、前記仮想刃先（S）が、前記仮想工具（1v）が仮想ワーク（3v）と回転運動を行う際に、前記仮想接触点（m1～m5）で前記仮想ワーク（3v）と接触するように実行し、前記仮想ワーク（3v）は、予め定義された所望の歯面形状を有し、前記回転運動は、前記実工具（1）による前記実ワーク（3）の実際の加工の場合と同じである工程と、

（b）前記測定装置（11；23）が、仮想接触点（m1～m5）において測定が実施できるように、前記計算された仮想接触点（m1～m5）に基づいて、前記工具軸（B）と前記測定装置（11；23）との間の相対方位（Σ1～Σ5）と、前記実工具（1）と

前記測定装置（１１；２３）との間の並進相対位置とを計算する工程と、

（ｃ）前記工具軸（Ｂ）と前記測定装置（１１；２３）との間の前記計算された相対方位と、前記実工具（１）と前記測定装置（１１；２３）との間の前記計算された並進相対位置とを設定する工程と、

（ｄ）前記設定された相対方位及び並進相対位置において、前記実工具（１）の少なくとも一の前記切削歯（１４）の前記実刃先に対して測定を実行する工程と、を含むことを特徴とする、方法。

【請求項２】

前記工程（ａ）～（ｄ）は、前記仮想刃先（Ｓ）に沿った複数の仮想接触点（ｍ１～ｍ５）に対して実行される、請求項１に記載の方法。

10

【請求項３】

前記実刃先を描く補償曲線（１７）を、前記複数の仮想接触点（ｍ１～ｍ５）のために前記実刃先に対して求められた、前記工程（ｄ）の測定結果から計算する、請求項２に記載の方法。

【請求項４】

以下のパラメーター、すなわち、

前記仮想刃先（Ｓ）によって作製される仮想歯面に対する、前記実刃先によって作製される歯面の外形の偏差に関する少なくとも一つの尺度、

前記創成加工中の前記実刃先の変化に関する少なくとも一つの尺度、
 のうちの少なくとも一つを、前記複数の仮想接触点（ｍ１～ｍ５）のために前記実刃先について求められた、前記工程（ｄ）の測定結果から求める、請求項２又は３に記載の方法。

20

【請求項５】

前記測定は、工程（ｄ）において複数の切削歯（１４）に対して実行され、

以下のパラメーター、すなわち、

前記実工具（１）の同心度、

切削歯中心、

歯溝中心、

のうちの少なくとも一つを、前記測定から求める、請求項１～４のいずれか１項に記載の方法。

【請求項６】

前記測定装置（１１）は、前記方法の実行中、空間的に固定されて配置され、

前記相対方位（ $\Sigma 1 \sim \Sigma 5$ ）及び前記並進相対位置の前記設定は、空間内での前記工具軸（Ｂ）の方位及び空間内での前記実工具（１）の並進位置を修正することによってなされる、請求項１～５のいずれか１項に記載の方法。

30

【請求項７】

前記測定装置（１１；２３）は、非接触又は接触式に動作する検知手段を備え、前記相対方位（ $\Sigma 1 \sim \Sigma 5$ ）及び前記並進相対位置は、前記検知手段が、前記計算された仮想接触点（ｍ１～ｍ５）において接線方向に、前記仮想刃先（Ｓ）に接触するように、計算され、設定される、請求項１～６のいずれか１項に記載の方法。

【請求項８】

前記検知手段は、円筒形状であり、

前記検知手段は、円筒軸、円筒半径、及び前記円筒軸から前記円筒半径に対応する距離を置いて延在する円筒形検知面を画定し、前記相対方位（ $\Sigma 1 \sim \Sigma 5$ ）及び前記並進相対位置は、前記円筒軸が、前記仮想接触点における前記仮想刃先（Ｓ）上の接平面に対して平行に延在するとともに、前記円筒軸が、前記接平面から前記円筒半径に対応する距離を置くように、計算され、設定される、請求項７に記載の方法。

40

【請求項９】

前記円筒軸は、前記仮想工具（１ｖ）と転動しながら係合する前記仮想ワーク（３ｖ）の歯面に沿って延在する、請求項８に記載の方法。

【請求項１０】

50

前記検知手段は、光ビーム（１２）によって形成され、

前記実工具（１）は、工程（ｄ）における測定を実行するために、前記工具軸（Ｂ）の周りに回転し、

前記光ビームが前記実刃先によって遮られる際の実回転角度が、その回転中に検出される、請求項７～９のいずれか１項に記載の方法。

【請求項１１】

前記検出された実回転角度と、前記仮想刃先に関して計算された所望の回転角度との間の偏差を求める、請求項１０に記載の方法。

【請求項１２】

前記実工具（１）は、複数の又は全ての切削歯（１４）が、相次いで、光ビーム（１２）を遮り、そして遮蔽を解除するのに十分な回転角度だけ、前記工具軸（Ｂ）の周りに回転され、それによってステップ（ｄ）の測定が前記実工具（１）の複数又は全ての切削歯（１４）に対して実行される、請求項１０又は１１に記載の方法。

10

【請求項１３】

前記検知手段は、円筒形検知フィンガーである、請求項７～９のいずれか１項に記載の方法。

【請求項１４】

工程（ｄ）における測定は、測定位置（Ｍｐ）において行われ、前記測定位置（Ｍｐ）の較正測定は、前記実ワークの加工前及び／又は加工中に実行される、請求項１～１３のいずれか１項に記載の方法。

20

【請求項１５】

前記方法は、少なくとも以下の工程、すなわち、

（ｅ）前記測定の結果によって、機械コントローラー（８）の少なくとも一つの設定を求める工程と、

（ｆ）前記機械コントローラー（８）に前記設定を送信する工程と、
を更に含み、

前記設定により、前記実ワーク（３）と前記実工具（１）との間の相対位置が、前記実ワーク（３）の加工のために設定される、請求項１～１４のいずれか１項に記載の方法。

【請求項１６】

前記実工具（１）は、以下の工具、すなわち、

ホブピーリング工具、又は、

歯車成形工具、

のうちの一つである、請求項１～１５のいずれか１項に記載の方法。

30

【請求項１７】

前記方法は、前記実工具（１）が工具スピンドル（２）上に位置する間に行い、前記工具スピンドル（２）によって、実ワーク（３）の加工も行う、請求項１～１６のいずれか１項に記載の方法。

【請求項１８】

歯付きワークとなる実ワーク（３）の創成加工のための工具（１）の測定を行う方法を実行する装置であって、

40

前記実工具（１）は、各々が実刃先を形成する複数の切削歯（１４）を有し、

前記装置は、

前記実工具（１）を工具軸（Ｂ）の周りに回転するように駆動する工具スピンドル（２）と、

測定装置（１１）と、

前記工具軸（Ｂ）と前記測定装置（１１）との間の相対方位（Σ）を修正するための少なくとも一つの駆動旋回軸（Ａ）と、

前記実工具（１）と前記測定装置（１１）との間の並進相対位置を修正するための少なくとも一つの駆動線形軸（Ｘ、Ｙ、Ｚ）と、

を備え、

50

前記装置は、前記駆動旋回軸（Ａ）及び前記少なくとも二つの駆動線形軸（Ｘ、Ｙ、Ｚ）を用いて、前記請求項１～１７のいずれか１項に記載の方法を実行するように構成されたコントローラ（８）を備えることを特徴とする、装置。

【請求項１９】

前記測定装置（１１）は、前記測定中、静止するように配置され、

前記駆動旋回軸（Ａ）は、前記測定装置（１１）に対する空間内の前記工具軸（Ｂ）の前記相対方位を修正するように構成され、

前記少なくとも一つの駆動線形軸（Ｘ、Ｙ、Ｚ）は、前記測定装置（１１）に対する空間内の前記実工具（１）の前記並進相対位置を修正するように構成されている、請求項１８に記載の装置。

10

【請求項２０】

前記装置は、機械ベッド（６）及び可動キャリア（３３）を備え、前記可動キャリア（３３）は、前記機械ベッド（６）に対する複数の位置の間で可動であり、

前記測定装置（１１）は、前記可動キャリア（３３）上に配置され、

前記測定装置（１１）は、前記可動キャリア（３３）によって停止位置から測定位置に可動である、請求項１８又は１９に記載の装置。

【請求項２１】

加工される前記実ワーク（３）の一つをクランプする少なくとも一つのワークスピンドル（４）が、前記可動キャリア（３３）上に更に配置される、請求項２０に記載の装置。

【請求項２２】

前記測定装置（１１）は、光源及び光検出器を備え、前記光源は、前記光検出器に向けられる光ビーム（１２）を生成するように構成され、検知手段が、前記光ビーム（１２）の少なくとも一つの領域によって形成され、

前記コントローラは、算出された仮想接触点（ $m_1 \sim m_5$ ）で前記検知手段が仮想刃先（ S ）に接触するように、前記相対方位（ $\Sigma_1 \sim \Sigma_5$ ）及び前記並進相対位置を算出及び設定し、

前記コントローラは、前記工具軸（Ｂ）の前記設定された相対方位（ $\Sigma_1 \sim \Sigma_5$ ）及び前記設定された相対座標における前記測定中に、前記工具スピンドル（２）が前記実工具（１）を前記工具軸（Ｂ）の周りに回転させるように、前記工具スピンドル（２）に相互作用し、

20

30

前記光検出器は、前記光ビーム（１２）が回転中に前記刃先によって遮られる際の実回転角度を検出するように構成されている、請求項１８～２１のいずれか１項に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、創成加工工具の測定を行う方法、及びその方法を実行する装置に関する。

【背景技術】

【０００２】

ホブピーリング（創成スカイピング加工）は、歯車様の工具を用いて回転するワークを加工する連続加工方法である。ホブピーリングは、未焼結加工だけでなく、特に、予め加工されたワークの硬質微細加工（hard-fine machining）にも用いることができる。ワークの加工のために、工具及びワークは、回転するスピンドルに保持される。工具の回転軸とワークの回転軸とは、斜めになるように配置される。工具及びワークの回転運動を回転軸の周りで組み合わせると、結果として、複雑なホブピーリング運動学を伴う転動運動が実現される。これは、この方法にとって典型的である。上記加工プロセスでは、外歯車及び内歯車の双方を加工することができる。

40

【０００３】

ホブピーリング工具の歯は、工具の端面の領域において刃先を形成する。実際には、各歯の刃先は、完全に尖った縁部を形成するのではなく、むしろ、或る半径を有して丸みを帯びている。ピーリングされたワークにおける最終的な歯面は、ホブピーリング工具の幾

50

何学的に規定された刃先によって、エンベロープカットで形成される。ホブピーリングプロセスの終了時、実質的に、切り屑は除去されず、工具とワークとの間は点的にのみ接触する。転動運動の過程で、仕上がったワークと工具との間の対応する接触点は、丸みを帯びている刃先に沿って連続的に移動する。工具の回転軸とワークの回転軸とが斜めの配置になっていることで、接触点が刃先に沿って長手方向に移動するだけでなく、同時に、歯の丸みを帯びている刃先の湾曲部分に対する位置も、それに対して横断方向に変化することになる。したがって、転動運動の過程で作用する接触点は、歯の丸みを帯びている刃先における空間曲線（三次元空間における曲線）を形成する。この空間曲線のコースは、工具の設計、並びに工具及びワークの相対的な方位及び位置等の機械設定によって決まる。空間曲線は、設計データから計算することができる。

10

【0004】

学術論文である、非特許文献1、及び非特許文献2は、ホブピーリングプロセスの決定的要素である品質要件を満たすホブピーリングのモデリング及びホブピーリング工具の製造について包括的に論じている。非特許文献1は、ホブピーリングの運動学モデルを提示している。このアプローチでは、ホブピーリング工具の複雑な刃先幾何形状を計算することができる。非特許文献2によれば、上記ホブピーリング工具を製造する概略的な操作が、28頁の図2～図21に示されている。工具ブランクは、研削によって完成される。1度目の研削サイクルの後、ホブピーリング工具を測定機械上で計測し、寸法的及び幾何学的な精度が確定される。所望の幾何形状からの偏差が求められ、NCドレッシングプロセスの補正及び研削ディスクの新たな形状加工によって、その偏差が排除される。上記サイクルを、寸法及び幾何形状が正しくなるまで、必要なだけ繰り返す。

20

【0005】

従来の測定機械を用いて測定を行う場合、丸みを帯びている刃先における接触点が、転動運動の過程で、既に言及した空間曲線に沿って移動することは、考慮されない。従来の測定機械は、上記空間曲線を考慮に入れることができない。

【0006】

加えて、別個の測定機械における測定は、測定機械と工具スピンドルとの間での工具の再クランプに時間を浪費するとともに、クランプ及び再クランプの誤りが生じる可能性があり、それが製造結果に悪影響を与えることから不都合である。

【0007】

特許文献1は、ホブピーリング工具を接触式に計測することを提案している。この目的のために、加工されるワーク歯部の歯面の精密なコピーを提供する測定体が設けられる。このタイプの測定は、加工機（machine tool）において設定されるワークとワーク軸との間の距離を精密に求めることができるが、ホブピーリング中に機能する刃先の計測には適していない。

30

【0008】

特許文献2は、この方法で同心度の偏差を求めるために、ホブピーリング工具の各切削歯の先端刃先、左側刃先、及び右側刃先の位置の、理想的な外形からの偏差を測定することを提案している。測定は、測定ボールを用いて接触式に行われる。この方法の場合、刃先の位置は求められるが、実刃先自体は計測されない。その後、求められた位置偏差をワークの加工中に用いて、ワークの回転と工具の回転との組合せ比率の周期的な非線形性又は軸間距離の周期的な修正を提供することで、ワークの幾何形状における同心度誤差の影響を低減する。

40

【0009】

光透過法を用いて動作する測定対象の光学測定の方法が、従来技術において既知である。ここでは、測定対象が光源と光検出器との間で移動し、測定対象が光源の光ビームを遮ると光検出器がそれを検出する。

【0010】

そのような方法は、例えば、特許文献3に開示されている。測定対象の幾何形状に起因して本来であれば検出が難しい領域をも検出することを可能にするために、光源及び光検

50

出器が一つのユニットを形成し、それを旋回装置上に取り付けることが提案されている。旋回装置は、測定される対象物の回転軸に交差する軸の周りに旋回可能である。旋回装置は、旋回軸に対して垂直に延在する第2の軸に沿って、並進方式で更に調整可能である。測定される対象物は、第1の軸に対して平行な第3の軸に沿って調整可能であり、第2の軸に対して平行に延在するとともに、第1の軸に交差する第4の軸の周りに回転可能である。結果として、例えば、回転対称の工具の切削歯の場合、刃先の後ろで測定を行うことが可能である。この文献は、そのような構成を、特に丸みを帯びている刃先を有するホブピーリング工具を計測するために用いることは示唆していない。

【0011】

特許文献4は、装置を位置決めする光学測定装置を提案している。光源及び光検出器が、共通のホルダーに配置され、光源からの測定光ビームが光検出器に当たるように向けられる。光検出器は、測定される対象物によってビームが遮られると、それを検出する。遮断が起こると、対応する信号が生成される。したがって、「受光」(「L」)状態及び「非受光」(「0」)状態によるシンプルな二値評価が存在する。光ビームは、コリメートされない状態とすることができ、すなわち、光ビームは、光源から光検出器に向かって僅かに広がり得る。光が光検出器に到達するために通過する必要がある狭い光チャネルが、光検出器の正面に配置される。結果として、検出器は、光源によって放射された光ビーム束の円筒形のビーム領域のみを効果的に「認識」することになる。したがって、光ビームは、測定対象を計測する円筒形検出面として機能する。ホブピーリング工具の測定のための使用は開示されていない。

【0012】

例えば、英国ウォットンアンダーエッジ所在のRenishaw社によってNC4の名称で製造されている、対応するレーザー測定ブリッジが提供される。

【0013】

特許文献5は、歯車を距離測定によって計測する方法を開示している。特許文献6は、ラインレーザー及び画像取得によって小さな刃先幾何形状を計測することを提案している。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0014】

【文献】Andreas Huehsam, 「Modellbildung und experimentelle Untersuchungen des Waelzschaelprozesses (Modelling and experimental investigations of the hob peeling process 「ホブピーリングプロセスのモデリング及び実験調査」)」、Research Report Volume 111, wbk Institute of the University of Karlsruhe, Shaker Verlag GmbH, 2002, Pages 23-66

Andreas Bechle, 「Beitrag zur prozesssicheren Bearbeitung beim Hochleistungsfertigungsverfahren Waelzschaelen (A contribution to reliable machining using the high performance production process of hobpeeling 「ホブピーリングの高性能製造プロセスを用いる信頼性のある加工への寄与」)」、Research Report Volume 132, wbk Institute of the University of Karlsruhe, Shaker Verlag GmbH, 2006, Pages 26-68

【特許文献】

【0015】

【文献】米国特許出願公開第2015/0081083号

国際出願第2016/150985号

独国特許出願公開第19927872号

欧州特許出願公開第1050368号

米国特許第8,411,283号

欧州特許出願公開第1398598号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 6 】

第 1 の態様において、本発明の目的は、特に高レベルの精度を有する測定を可能にする、自動化可能であり、コスト効果的なシンプルで迅速な方法で実現することができる、ホブピーリング工具の刃先を測定する測定方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 7 】

上記目的は、請求項 1 の特徴を有する方法によって達成される。さらに、その方法を実行する、請求項 19 の特徴を有する測定装置が提供される。更なる実施形態は、従属請求項において提供される。

【 0 0 1 8 】

したがって、歯付きワークの創成加工のための工具の測定を行う方法が提供される。工具は、工具軸の周りに回転可能であるとともに、複数の切削歯を有する。切削歯のそれぞれは、少なくとも一つの実刃先を形成する。本方法は、測定装置を用いて実行される。本方法は、以下の工程、すなわち、

(a) 仮想工具の仮想刃先であって、刃先の長手方向に沿って延在するとともに、前記刃先の長手方向に対して横方向に丸みを帯びている当該仮想刃先に対して、仮想接触点を計算する工程と、

(b) 前記計算された仮想接触点に基づいて、前記工具軸と前記測定装置との間の相対方位と、前記工具と前記測定装置との間の並進相対位置とを計算する工程と、

(c) 前記工具軸と前記測定装置との間の前記計算された相対方位と、前記工具と前記測定装置との間の前記計算された相対位置とを設定する工程と、

(d) 前記設定された相対方位及び相対位置において、前記実刃先に対して測定を実行する工程と、

を含むが、これらの工程は、必ずしも提示された順番で行う必要はない。上記工程 (a) ~ (d) は、仮想刃先に沿った複数の仮想接触点に対して行われる。

【 0 0 1 9 】

この方法では、最初に、仮想刃先を画定する仮想工具を考慮する。以下の記載において見て取ることができるように、仮想刃先は、高レベルの精度を有する測定を行うことができるように、工具軸を測定装置に対していかにして位置合わせすべきか、及び工具を測定装置に対していかにして位置決めすべきかを計算するための機能を果たす。仮想刃先は、既定の刃先幾何形状、特に、工具設計に従った所望の刃先幾何形状に対応する。上記仮想刃先は、刃先の長手方向に沿って完全に尖った縁部を形成するのではなく、むしろ、すくい面又は存在する場合にはすくい面の面取り部と、逃げ面又は存在する場合には逃げ面の面取り部と、の間で規定の様式で丸みを帯びている。したがって、仮想刃先は、複雑な曲面を形成する。

【 0 0 2 0 】

空間曲線は、上記仮想刃先上に延び、この空間曲線は、仮想工具が仮想ワークとともに、実工具による実ワークの実際の加工の場合と同じ転動運動を行う際に、上記複雑な曲面が、既定の所望の歯面幾何形状を有する仮想ワークに接触する点からなる。仮想刃先における上記点は、仮想接触点として示される。仮想接触点からなる曲線は、通常、工具の横断面上に延在しない。全ての転動位置にわたって上記接触が起こる、仮想ワークの軸及び仮想工具の軸に対する空間における点は、同様に、仮想係合線と呼ばれる曲線を形成する。仮想接触点に関連する仮想係合線における点は、仮想係合点として示される。刃先における仮想接触点と、空間における関連する仮想係合点とは、仮想接触点がワークの所望の歯面の最終的な輪郭に接する転動位置をとる場合、同一である。所望の幾何形状に対応する仮想ワークにおいて、転動接触点における仮想係合点とも一致する仮想接触点も存在する。

【 0 0 2 1 】

測定が仮想接触点 (例えば、刃先の湾曲部分上の別の位置ではない) において行うことができるように、選択された仮想接触点に対して、工具軸と測定装置とが互いに対してど

10

20

30

40

50

のように配向されるべきか、並びに、工具と測定装置とがその並進位置に関して互いに対してどのように設定されるべきか、がここで確定される。特に、ホブピーリング工具の場合、このようにして計算された方位及び並進位置は、通常、仮想工具と仮想ワークとの間の斜めの配置に起因して、仮想刃先に沿って仮想接触点から仮想接触点へ変化する。

【 0 0 2 2 】

ここで、実工具及び測定装置が、事前に計算された様式で互いに相対的に設定される。この設定のために、機械の CNC 軸を用いることが好ましい。次いで、こうして設定された測定装置に対するワーク軸の方位と、こうして設定された測定装置に対する工具の位置とにおいて、実工具の実刃先に対する測定を行う。実工具の刃先の幾何形状が、計算された仮想接触点における仮想工具の幾何形状とは異なる場合、測定により、仮想接触点における偏差が定量化される。特に、測定を行うために、測定装置に対する工具の更なる相対移動を行うことができる。例えば、測定を行うために、実工具を工具軸の周りに回転させることができ、偏差は、実工具が、実刃先及び仮想刃先が仮想接触点において一致するために回転する必要がある回転角度の差として表現することができる。

10

【 0 0 2 3 】

その後、上記工程は、仮想刃先に沿った一つ又は複数の更なる仮想接触点に対して繰り返すことができる。このようにして、刃先は、長手方向に沿った複数の点において測定される。特に、上記に挙げた工程 (a) ~ (d) は、実刃先の幾何形状に関して十分詳細に特定できるように、仮想刃先に沿った少なくとも 5 つの仮想接触点に対して実行することができる。

20

【 0 0 2 4 】

刃先における仮想接触点に対する測定値間を補間するために、実刃先を描く補償曲線は、それ自体既知の方法で曲線当てはめによって、同じ刃先の多様な接触点に対して求められた測定結果から計算することができる。

【 0 0 2 5 】

工具軸と測定装置との間の相対方位を設定するために、工具軸の方位及び工具の位置を固定しながら、空間における測定装置の方位及び位置をそれぞれ修正することが想定可能である。これに対する代替として、測定装置を固定しながら、空間内での工具軸の方位及び工具の位置を修正することが想定可能である。混合した形式も可能である。しかしながら、多くの場合、空間内での工具軸の方位を修正する及び空間内での工具の位置を設定するのに必要な CNC 軸は、いずれにせよ加工機に既に存在する。したがって、方法を実行する際に、測定装置が空間的に固定されて配置されている場合、結果として有利であり、空間内での工具軸の方位及び空間内での工具の位置を修正することによって、各仮想接触点に対する相対方位及び相対位置の設定が達成される。

30

【 0 0 2 6 】

提案される方法は、様々な測定方法において用いることができるが、特に、工具の刃先が接線方向に検知される測定方法に好適である。このために、測定装置は、非接触又は接触式に動作する検知手段を備えることができ、相対方位及び相対位置は、検知手段が、計算された接触点において接線方向に、仮想刃先に接触するように、計算され、設定される。この場合、検知手段は、接触式に作用する有形の検知手段（すなわち、実際の恒久的に存在する物体）、例えば、検知フィンガーとすることができ、又は、非接触式に、例えば、光ビームの形態で作用する無形の検知手段とすることができる。

40

【 0 0 2 7 】

検知手段が、円筒形状であり、結果として、円筒形検知面を画定する場合、更なる利点を得られる。これは、この場合では、検知手段の円筒軸に沿った工具の位置が重要でないことに起因する。これにより、工具及び測定装置の互いに対する位置の設定が簡略化され、測定動作が簡略化される。

【 0 0 2 8 】

検知手段が円筒形状である場合、検知手段は円筒軸を画定し、円筒形検知面は、円筒軸から円筒半径に対応する距離を置いて延在する。有利な設計において、相対方位及び相対

50

位置は、円筒形検知手段の円筒軸が、計算された仮想接触点において、円筒半径に対応する接平面から或る距離を置いて、仮想刃先上の上記接平面に対して平行に延在するように、計算及び設定される。したがって、円筒形検知面は、仮想接触点を含み、そこで仮想刃先に対して接線方向に当接する。

【 0 0 2 9 】

上記に挙げた方法で円筒形検知手段を用いる場合、円筒軸は、計算された仮想接触点において仮想刃先上の接平面に対して平行な平面に延在する。この場合、上記平面内の円筒軸の位置合わせには依然として一つの自由度が存在する。上記位置合わせは、円筒軸が実質的に仮想ワークの歯面方向（ねじれ角）に沿って延在するように有利に選択することができる。円筒形検知手段の上記位置合わせは、有形の検知手段の場合に他の工具領域との衝突のリスクを低減する。光ビームの形態の検知手段の場合、上記位置合わせは、光ビームが他の工具領域によって遮られるリスクを低減する。

10

【 0 0 3 0 】

検知手段が光ビームによって形成される場合、本方法は、以下のようなシンプルな方法で実行することができる。測定を実行するために、工程（d）において、工具軸のそれぞれ設定された相対方位において、工具と測定装置との間のそれぞれ設定された相対位置で、工具を工具軸の周りに回転させ、回転中に、光ビームが刃先によって遮られる際の実回転角度を検出する。結果として、信号「L」（光ビームが遮られない、検出器が明るい）及び「0」（光ビームが遮られる、検出器が暗い）が交互に生成される。検出された実回転角度と、仮想刃先に関して計算された所望の回転角度との間の偏差は、これに基づいて求めることができる。上記偏差は、所望の刃先幾何形状からの実刃先幾何形状の偏差の直接の尺度である。提案される方法の利点は、上記偏差が、刃先の湾曲部分の任意の所定の又はランダムな位置において確定されるのではなく、工具が所定の所望の幾何形状を有する場合にワーク及び工具が最終的に接触する点において精密に確定されることである。したがって、測定は、加工中に実際に影響する、ひいては刃先が特に精密に測定されるべき点において精密に行われる。

20

【 0 0 3 1 】

工程（d）における測定は、それぞれ設定された相対方位及び相対位置において、工具の複数の又は全ての切削歯に対して行うことができ、それにより、複数の又は全ての切削歯が、相次いで、光ビームを遮り、その遮蔽を解除するようになっている。このように、工具軸と測定装置との間の相対方位及びその相対位置が上記測定間で修正を必要とすることなく、関連する仮想接触点において複数の切削歯を迅速かつ効果的に測定することができる。

30

【 0 0 3 2 】

以下のパラメーター、すなわち、

- 工具の同心度、
- 切削歯中心、
- 歯溝中心、

のうちの少なくとも一つは、複数又は全ての切削歯における測定から確定することができる。

40

【 0 0 3 3 】

以下の変数、すなわち、

- 前記仮想刃先（特に所望の刃先）によって作製される仮想歯面に対する、前記実刃先によって作製される歯面の外形の偏差に関する少なくとも一つの尺度（例えば、輪郭形状誤差、ピッチ誤差）、

- 加工中の、例えば摩耗による、前記刃先の変化に関する少なくとも一つの尺度、
のうちの少なくとも一つは、一つ、複数、又は全ての切削歯における測定から求めることができる。

【 0 0 3 4 】

本方法は、少なくとも以下の工程、すなわち、

50

(e) 測定の結果に基づいて、機械コントローラーに対する少なくとも一つの設定を求める工程であって、その設定により、工具とワークとの間の相対位置が、ワークの加工のために設定される工程と、

(f) 機械コントローラーに設定を送信する工程と、
を更に含むことができる。

【 0 0 3 5 】

換言すれば、ワークに対する工具の設定は、例えば、刃先における摩耗を補償するために、確定された刃先幾何形状に基づいて修正することができる。

【 0 0 3 6 】

工程 (e) において確定された設定は、外部コンピューターシステムに送信することもでき、外部コンピューターシステムは、複数の時点で設定を記憶し、工具を再調整するためにそれらの設定を処理する。この場合、送信は、標準インターフェースによって行うことができる。

【 0 0 3 7 】

本方法は、スクリーン上に、特に C N C 機械コントローラーの制御パネルのスクリーン上に、測定結果を視覚化することを更に含むことができる。

【 0 0 3 8 】

工具は、特に、ホブピーリング (創成スカイピング) 工具又は歯車成形工具とすることができる。

【 0 0 3 9 】

特に、ホブピーリング工具の場合、本明細書において提案される方法は、工具及びワークの回転軸の斜めの配置並びに実質的に非インポリュートの複雑な刃先幾何形状の結果として、通常、従来の測定方法では十分に考慮に入れられない特性がもたらされることから、特別な利点を有する。

【 0 0 4 0 】

特に、工具は、2016年10月21日付のスイス国特許出願第01412/16号に記載されているようなホブピーリング工具とすることができる。上記特許出願の開示は、引用することによりその全体が本明細書の一部をなす。

【 0 0 4 1 】

本方法は、工具が、工具スピンドル上に位置する間に行うことができ、この工具スピンドルにより、ワークの加工も行われる。換言すれば、本方法は、ワーク加工も行う機械において直接行うことができる。したがって、最初に工具を別個の測定機械のスピンドル上に再クランプする必要がない。しかしながら、本方法を別個の測定機械において実行することも想定可能である。

【 0 0 4 2 】

機械における測定位置を校正する方法工程を、実際の測定プロセスを実行する前に追加で行うことができる。そのような校正工程は、加工サイクル中に必要な場合、繰り返すことができる。

【 0 0 4 3 】

そのような方法を実行する装置は、
- 工具が工具軸の周りに回転するように駆動する工具スピンドルと、
- 既に言及した測定装置と、
- 工具軸と測定装置との間の相対方位を修正するための少なくとも一つの駆動旋回軸と、
- 工具と測定装置との間の並進相対位置を修正するための少なくとも一つの駆動線形軸と、
を備えることができる。

【 0 0 4 4 】

また、本装置は、上記に示した方法を実行するように構成されたコントローラーを更に備える。方法に関して上述した考察は、本発明に係る装置にも等しく適用される。コントローラーは、特に、プロセッサによって実行されるとコントローラーに上述した方法を実

10

20

30

40

50

行させるソフトウェアを備えることができる。

【 0 0 4 5 】

本装置は、測定装置に対して空間における工具軸の方位を自由に設定することが可能なように、2つ以上の旋回軸を有することができる。この場合、旋回軸は、互いに平行でないことが好ましく、互いに直交して延在することが好ましい。本装置は、工具と測定装置との間の並進相対位置を自由に修正するために、それに応じて、2つ以上の線形軸も有することができる。その場合、2つ又は3つの線形軸の方向は、数学的意味で線形に独立し、好ましくはまた互いに直交することが好ましい。

【 0 0 4 6 】

特に、旋回軸及び線形軸の配置は、以下のルール、すなわち、

- 測定装置が、機械ベッドに固定的に配置され、空間における工具の位置合わせ及び位置決めが、少なくとも一つの線形軸及び少なくとも一つの旋回軸によって行われる、又は、
 - 測定装置が、少なくとも線形軸に沿って変位可能である変位式スライド上に固定的に配置され、空間における工具の位置合わせ及び位置決めが、少なくとも一つの旋回軸によって行われる、
- に従って実現することができる。

【 0 0 4 7 】

双方の実現形態において、工具及び／又は測定装置のための更なる旋回軸及び／又は線形軸を設けることができる。

【 0 0 4 8 】

特に、米国特許第6,565,418号又は米国特許第5,857,894号におけるような機械構想に従って、既知の歯車製造機械の工具キャリアにおいて、研削ヘッドの代わりにホブピーリングヘッドを配置することができる。測定装置は、上記機械において、以下のように配置することができる。

(i) 米国特許第6,565,418号に係る歯車製造機械の機械構想の場合、ホブピーリング工具は、機械ベッドに関して変位可能な工具キャリア上に配置される。機械ベッドは、可動な、特に変位可能なワークキャリアを更に保持する。また、測定装置は、上記ワークキャリア上に配置することができ、上記可動なワークキャリアによって停止位置から測定位置に可動とすることができる。上記機械構想の場合、ホブピーリングヘッドを備える可動な工具キャリアは、3つの線形軸X、Y、及びZと、旋回軸A及び回転軸Bとを実現する。加えて、測定装置を備えるワークキャリアを、停止位置から測定位置に、そしてまた停止位置に移動させる更なる線形軸又は旋回軸C*が存在する。可動なワークキャリアは、更なる目的のために使用することができる。特に、少なくとも一つのワークスピンドルを、加工されるワークをクランプするように可動キャリア上に配置することもできる。

(i i) 米国特許第5,857,894号に係る機械構想の場合、ホブピーリング工具は、機械ベッドに対して変位可能かつ旋回可能である工具キャリア上に配置される。機械ベッドは、ワークスピンドルを備える固定ワークキャリアを更に保持する。また、測定装置は、上記機械ベッド上に固定的に配置することができる。上記機械構想の場合、ホブピーリングヘッドを備える可動な工具キャリアは、また、3つの線形軸X、Y、及びZと、旋回軸A及び回転軸Bとを実現する。加えて、ここでは、更なる線形軸又は旋回軸C*も存在する。しかしながら、これは、工具キャリア(上述した機械構想の場合のようにワークキャリアではない)を旋回させるために機能する。この場合、工具キャリアは、工具スピンドルに取り付けられた工具がワークと係合するように可動である動作位置と、工具が測定装置と相互作用する測定位置との間で好ましい方法で可動、特に旋回可能である。

【 0 0 4 9 】

既に説明したように、測定装置は、非接触又は接触式に動作する検知手段を備えることができ、コントローラーは、検知手段が、計算された仮想接触点において接線方向に、仮想刃先に接触するように、相対方位及び相対座標を計算し、設定することができる。この場合、上述したように、検知手段が円筒形状である場合が有利である。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 0 】

測定装置は、特に、光バリアを形成することができる。このために、測定装置は、光源及び光検出器を備えることができ、光源は、光検出器に向けられる光ビームを生成するように構成されている。この場合、検知手段は、非接触式に作用し、光ビームの少なくとも一つの領域によって形成される。光源及び光検出器は、光ビームの円筒形状のビーム領域が検知手段として効果的に機能するように構成されていることが好ましい。コントローラーは、工具軸の設定された相対方位において、設定された相対座標で測定を行うために、工具スピンドルが工具を工具軸の周りに回転させるように、工具スピンドルと相互作用する。また、光検出器は、回転中、光ビームが刃先によって遮られる際の実回転角度を検出するように構成されている。光源は、特にレーザーを含むことができ、それにより、測定装置は、レーザーブリッジを形成する。レーザーは、特に、円筒形状のビームを生成することができる。

10

【 0 0 5 1 】

本発明の好ましい実施形態を、図面を用いて以下に説明する。図面は、単に説明の役目を果たし、限定的なものとして解釈されない。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 5 2 】

【図 1】図 1 は、ホブピーリング工具に対するワーク及び工具の割り当て、並びに測定装置及びホブピーリング機械の更なるモジュールの斜視図である。

【図 1 a】図 1 a は、図 1 の領域 D 1 における細部の拡大図である。

20

【図 2】図 2 は、鉛直方位を有する工具スピンドルを備えるホブピーリング工具の切削歯の斜視図であり、軸方向に平行な円筒形検知面が、固定の方位で刃先に当接する。

【図 3】図 3 は、斜め方位（加工時の方位と同様）を有するホブピーリング工具の切削歯の斜視図であり、円筒形検知面が、様々な方位で刃先に当接する。

【図 3 a】図 3 a は、図 3 の平面 S 1 における接触点 m 1 の拡大断面図である。

【図 3 b】図 3 b は、図 3 の平面 S 2 における接触点 m 2 の拡大断面図である。

【図 3 c】図 3 c は、図 3 の平面 S 3 における接触点 m 3 の拡大断面図である。

【図 3 d】図 3 d は、図 3 の平面 S 4 における接触点 m 4 の拡大断面図である。

【図 3 e】図 3 e は、図 3 の平面 S 5 における接触点 m 5 の拡大断面図である。

【図 4】図 4 は、円筒形検知面の位置を説明する、仮想工具と係合した仮想ワークの斜視図である。

30

【図 4 a】図 4 a は、図 4 の領域 D 2 における細部の拡大図であり、湾曲した歯面をよりよく示すために表面曲線も示されている。

【図 5】図 5 は、有効な刃先上の接触点における 5 つの測定トラック及び関連する円筒形検知面を伴う、図 3 による切削歯の別の斜視図である。

【図 5 a】図 5 a は、5 つの接触点の関連する Z 値を伴う、図 5 による切削歯の側面図である。

【図 5 b】図 5 b は、5 つの測定トラック及び関連する角度位置を伴う、図 5 による切削歯の平面図である。

【図 6】図 6 は、図 3 及び図 5 による切削歯の更なる斜視図である。

40

【図 6 a】図 6 a は、斜め方位（加工時の軸位置と同様）の状態の、図 6 の平面 S 1 における概略断面図である。

【図 6 b】図 6 b は、鉛直方位における接触点 m 1 において接線方向に当接するレーザービームを伴う、図 6 の平面 S 1 における概略断面図である。

【図 6 c】図 6 c は、斜め方位（加工時の軸位置と同様）の状態の、図 6 の平面 S 5 における概略断面図である。

【図 6 d】図 6 d は、鉛直位置における接触点 m 5 において接線方向に当接するレーザービームを伴う、図 6 の平面 S 5 における概略断面図である。

【図 7】図 7 は、ホブピーリング工具を試験する際の鉛直に配置されたレーザーブリッジの斜視図であるとともに、対応する L / 0 信号帯域の概略図である。

50

【図 7 a】図 7 a は、図 7 の領域 D 3 における細部の拡大図であり、L 信号及び 0 信号並びに図示の工具の同心度の概略図が示されている。

【図 8】図 8 は、例えば、75 個の切削歯を有して構成されたホブピーリング工具の仮想接触点における測定値を概略的に表す図表であり、実測値、計算された補償曲線、切削歯中心、歯ピッチ、及び公差範囲が概略的に示されている。

【図 9】図 9 は、鉛直に向けられたレーザーブリッジ及び工具スピンドルを伴う構成の側面図である。

【図 9 a】図 9 a は、測定のための回転軸及び線形軸を伴う、図 9 による斜視図である。

【図 10】図 10 は、傾斜して配置されたレーザーブリッジ及び工具スピンドルを伴う構成の側面図である。

10

【図 10 a】図 10 a は、図 10 による斜視図である。

【図 11】図 11 は、スキャン式触覚検知装置を伴う構成の斜視図である。

【図 11 a】図 11 a は、図 11 の領域 D 4 における細部の拡大図である。

【図 12】図 12 は、変位可能な工具キャリア上のホブピーリングヘッドと、旋回可能なワークキャリア上の 2 つのワークスピンドルとを備える、ホブピーリング用の歯車製造機械の斜視図であり、ワークキャリアは、測定装置を保持している。

【図 12 a】図 12 a は、図 12 の領域 D 5 における細部の拡大図である。

【図 13】図 13 は、変位可能かつ旋回可能な工具キャリア上におけるホブピーリングヘッドを伴うホブピーリング用のワークスピンドルを備える歯車製造機械の斜視図であり、測定装置が機械ベッド上に固定的に配置されている。

20

【図 13 a】図 13 a は、図 13 の領域 D 6 における細部の拡大図である。

【図 14】図 14 は、較正マンドレルと、傾斜して配置されたレーザーブリッジとによる較正の斜視図である。

【図 14 a】図 14 a は、Y 方向における軸方向方位を有する、図 14 の正面図である。

【図 14 b】図 14 b は、X 方向における軸方向方位を有する、図 14 の側面図である。

【図 15】図 15 は、スキャン式触覚検知装置によるワークの測定を行うポストプロセス測定のための構成の斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0053】

円筒歯車に適用可能な用語及び歯部の幾何形状は、DIN ISO 21771:2014-08 規格において定められ、本明細書ではこの規格に従って理解される。

30

【0054】

図面は、概略的な拡大された表現で、本発明に係る方法の実施形態を示している。同じ参照符号は、全ての図において、同一又は同様の面、軸、角度、又は更なる要素に対して用いられる。仮想物体及び仮想工具、仮想ワーク等は、対応する実際の物体に対する参照符号に「v」の文字を付して示している。図に関する説明は、概して、外歯車のホブピーリングに関する。同様の所見は、内歯車のホブピーリングにも当てはまる。

【0055】

本発明に係る方法の例示的な実施形態を、特に、実ホブピーリング工具 1 及び仮想ホブピーリング工具 1 v によって以下に説明する。ホブピーリング工具 1 又は 1 v は、歯車形状であり、工具の端面の領域において丸みを帯びている刃先をそれぞれ形成する複数の切削歯 1 4（例えば、図 2 を参照）を有する。上記工具は、図面では非常に簡略化して示されていることを指摘しておく。以下の考察は、段差カット又は他の幾何学的設計を有するものを含む、他の任意のホブピーリング工具にも当てはまり得る。

40

【0056】

図 1 は、最新の CNC ホブピーリング機械 2 2 の選択された要素の斜視図を一例として示している。方向 X、Y、及び Z を規定する直交座標系 K が、ホブピーリング機械における方向を説明するのに用いられる。座標系の原点は、ワークの中心、すなわちワーク軸 C に位置する。CNC コントローラ 8 は、機械軸 A、B、C、X、Y、及び Z を動かすための機能を果たす。制御パネル 9 は、CNC コントローラ 8 の操作者のためのインター

50

フェースを形成する。

【 0 0 5 7 】

機械は、作業空間 2 0 を画定する。機械は、機械ベッド 6 を備える。本例では、ワークスピンドル 4 が、Y 方向に変位可能な CNC 制御スライド 5 上に配置される。ワーク 3 は、図面に示されていないクランプ手段によって、ワークスピンドル 4 上にクランプされる。ワークスピンドル 4 は、ワーク軸 C の周りに回転可能であり、ワーク軸は、本例では鉛直に延在する。ワーク 3 とホブピーリング工具 1 とを衝突することなく歯合わせするため、歯合わせプローブ 7 が、非接触で、ワーク軸 C の周りのワーク 3 の歯溝の角度位置を確定するための機能を果たす。

【 0 0 5 8 】

ホブピーリング工具 1 は、工具スピンドル 2 に取り付けられ、工具軸 B の周りに回転可能である。工具軸 B は、鉛直線に対して工具設定角度 Σ だけ、軸 A の周りに回転させることができ、回転軸 A は、本例では、X 軸に対して平行に延在する。このために、機械 2 2 は、図面に示されていない工具キャリアを既知の様式で備えることができ、この工具キャリアには、旋回体が旋回可能に締結され、この旋回体に、さらに、工具スピンドル 2 が締結される。工具スピンドル 2 は、図示されていないスライド（以下で機械軸としても示されている）によって、機械ベッド 6 に対して方向 X 及び Z に沿って変位可能である。これに対する代替として、CNC ホブピーリング機械 2 2 に固定のワークスピンドル 4 が設けられる場合、工具スピンドル 2 は、Y 方向にも変位可能である。

【 0 0 5 9 】

機械 2 2 は、レーザーブリッジ 1 1 を更に備える。レーザーブリッジは、鉛直に（Z 方向に）延びるレーザービームを発生させるレーザーの形態の光源と、物体によるレーザービームの遮蔽を検出する光検出器とを備える。レーザービームは、ワーク軸 C まで或る距離を延び、レーザービームは、X 軸に沿った大きさ x m と、Y 軸に沿った大きさ y m とによって、ワーク軸 C から離隔される。本例では、レーザーブリッジ 1 1 は、機械ベッド 6 上の変位可能なスライド 5 に固定的に配置される。測定に必要な全ての動きは、回転及び並進機械軸 A、B、X、Y、及び Z によって実行される。特に、工具スピンドル 2 は、ワーク 3 を加工するための軸位置を始点として、並進軸 X 及び Z に沿って移動し、角度位置 $\Sigma 1$ になるように回転軸 A の周りに回転させることで好適な方位になる。次いで、離隔したレーザーブリッジ 1 1 を、Y キャリッジ 5 を変位させることによって、ホブピーリング工具 1 を測定するための軸位置に移動させる。これに対する代替として、レーザーブリッジ 1 1 が機械ベッド 6 上に固定的に配置される場合、全ての並進軸 X、Y、及び Z が工具スピンドル 2 に割り当てられる。

【 0 0 6 0 】

レーザーブリッジ 1 1 の上記固定配置の非常に簡略化された一実現形態において、一つのみの線形軸を、工具 1 の線形位置決めに用いることができる。この場合、X 軸は、工具 1 をワーク 3 から離して、測定のための軸位置に変位させる。Z 軸は、レーザーブリッジ 1 1 が円筒形レーザービーム 1 2 とともに用いられる場合には絶対に必要なものではないが、Z 軸がないと、精度に不都合が生じる。対照的に、Y 軸をなくすと、部分的に記載されている後述の測定方法が制限される。

【 0 0 6 1 】

また、測定ブリッジ 1 1 及び工具 1 の相対的な位置決め及び位置合わせは、上述の方法とは別様に実現することができる。

【 0 0 6 2 】

加えて、測定位置 M p を有する仮想工具 1 v が、図 1 に示されている。仮想工具 1 v の意義は、図 1 a に関連して以下により詳細に説明する。

【 0 0 6 3 】

図 1 a は、領域 D 1 におけるレーザーブリッジ 1 1 の細部の拡大図を示しており、仮想工具 1 v は、斜めになるように配置され、仮想ワーク 3 v は、仮想ホブピーリング工具 1 v と転動しながら係合する。また、図 1 a には、複数の基準平面 M x y、M x z、M y z

10

20

30

40

50

、及び $B \times y$ がある。この場合、基準平面 $M \times y$ 、 $M \times z$ 、 $M y z$ は、レーザーブリッジ 1 1 の位置及び方位を規定する。特に、本例では、基準平面 $M \times z$ は、レーザービーム 1 2 を含み、レーザーブリッジのハウジングを通して延在する。基準平面 $M y z$ も、レーザービーム 1 2 を含み、基準平面 $M \times y$ に対して直交して延在する。基準平面 $M \times y$ は、2 つの鉛直基準平面 $M \times z$ 及び $M y z$ に対して直交して水平に延在する。基準平面 $M \times y$ は、レーザーブリッジの中心を規定する。測定位置 $M p$ は、平面 $M \times y$ 、 $M \times z$ 、 $M y z$ の共通の交点に位置する。基準平面 $B \times y$ は、工具軸 B に対して直交して延在し、仮想工具 1 v の横断方向断面をなす。この横断方向断面は、仮想工具 1 v の刃先を通して延在する。

【 0 0 6 4 】

仮想工具 1 v 及び仮想ワーク 3 v は、互いに転動しながら（創成加工しながら）係合する。仮想ワーク 3 v は、既定の所望の歯面幾何形状を有する。仮想工具 1 v は、一例として図 2、図 3、図 5、及び図 6 に示されているように、複数の仮想切削歯を有する。各切削歯は、丸みを帯びている仮想刃先を画定する。この仮想刃先は、工具 1 v のワーク 3 v との転動運動によって、ワーク 3 v の既定された所望の歯面幾何形状を精密に生成するように構成されている。仮想工具 1 v 及び仮想ワーク 3 v は、最大で一つのみの仮想接点における転動運動時の任意の時点で、任意の既定の歯面において互いに接触する。転動運動の過程で、この接触は、丸みを帯びている刃先における接点から接点へ、切削歯の歯元部から歯先部へ、又はその逆に移動する。仮想工具 1 v の回転運動によって、仮想係合線は、空間内で複雑な曲線を描く。空間における仮想係合点の位置は、工具の設計が既知である場合、仮想工具 1 v の想定される仮想接点に応じて容易に計算することができる。

【 0 0 6 5 】

仮想ワーク 3 v 及び仮想工具 1 v は、図 1 a において、レーザービーム 1 2 が、仮想ワーク 3 v の歯面のうちの一つに対して実質的に平行に、そのねじれ角に沿って位置合わせされ、仮想工具 1 v の仮想接点が仮想ワーク 3 v に接触し、仮想係合点に一致する転動位置において、仮想係合点を通して精密に延在するように配向及び位置決めされる。したがって、レーザービーム 1 2 は、図 1 a において、仮想工具 1 v の刃先における一点を通して延在し、この点において、上記刃先は、仮想接点において仮想ワーク 3 v の歯面に対して接線方向に、及び仮想接点において仮想工具 1 v の刃先に対して接線方向に、仮想ワーク 3 v の歯面に接触する。このために必要な仮想工具 1 v の位置合わせ及び位置決めは、刃先に沿った各仮想接点に左右される。したがって、切削歯の歯元部の近位における仮想接点は、歯先部の近位における仮想接点とは異なる仮想工具 1 v の配向及び位置決めを必要とする。仮想工具 1 v の必要な位置合わせ及び位置決めは、刃先における各仮想接点に関して容易に計算することができる。

【 0 0 6 6 】

実工具 1 における測定のために、実工具を、図 1 a において仮想工具 1 v がとる位置及び方位に精密に移動させる。次いで、実工具を、工具軸 B の周りに回転させ、実工具の切削歯がレーザービーム 1 2 を遮る際の回転角度を観察する。実工具 1 の刃先幾何形状が、選択された接点における仮想工具 1 v の刃先幾何形状に一致しない場合、このように決定された回転角度は、仮想工具 1 v がレーザービームを遮る場合の回転角度から偏差を有する。この偏差は、選択された仮想接点における仮想刃先幾何形状からの、実刃先幾何形状の偏差の尺度である。

【 0 0 6 7 】

ここで、上記測定は、仮想工具 1 v の刃先に沿って更なる仮想接点に対して繰り返される。

【 0 0 6 8 】

測定中、レーザービーム 1 2 は、回転工具から見た場合、それぞれ、基準平面 $B \times y$ において円形の経路を描く。円形経路の半径は、仮想工具 1 v の刃先における仮想接点に依存する。切削歯の歯元部における仮想接点では、歯先部における仮想接点の場合よりも半径が小さい。対応する円形経路は、測定トラックとして以下に示されている。図 1

a は、符号 R 3 が付された上記測定トラックのうちの一つを示している。実際には、異なる半径を有する少なくとも 5 つの測定トラックに対して測定が行われ、接触点は、対応する測定トラックの異なる半径を規定する。測定トラックの各接触点又は各半径について、工具 1 とレーザブリッジ 1 1 との間の別の相対位置において測定が行われる。この位置は、刃先が実際の加工の場合にも作用する刃先上の点において、すなわち、加工中の接触点において、測定が行われるように選択される。結果として、工具が刃先における異なる仮想接触点に対して常に同じ方位で測定されるだけの場合に生じ得る測定誤差が回避される。このことは、図 2 及び図 3 を用いて以下により詳細に説明する。

【 0 0 6 9 】

図 2 は、鉛直方位 B を有する工具スピンドル 2 を備えるホブピーリング工具の単一の切削歯 1 4 を示しており、切削歯は工具設計に従って精密に形成されている。切削歯 1 4 は、左側刃先 2 8 及び右側刃先 2 9 を有する。すくい面の面取り部 1 9 が、それぞれ、すくい面 1 8 と刃先との間に実現される。図 2 は、刃先にわたる接触点の進行を考慮せずに刃先における測定が行われる、本発明によらない方法を説明している。図 2 における方法では、測定は、刃先に沿った全ての位置に関して、常に、工具 1 とレーザビーム 1 2 との間の同じ相対方位で行われる。このために、図 2 におけるレーザビーム 1 2 は、円筒形の検知面として理解され、工具 1 とレーザビームとの間の相対位置に応じて T 1 ~ T 5 で示されている。この方法の場合、円筒形検知面 T 1 ~ T 5 は、それぞれの刃先において測定される位置にかかわらず工具軸 B に対して常に平行である。工具がレーザビームを通るように回転されると、レーザビーム又は検知面は、工具に対する円形経路 R 1 ~ R 5 を描く。この場合、刃先 2 8 は、その最外縁部において、すなわち縁部 1 6 において、隣接する逃げ面に向かってレーザビームを常に遮り、また、その最外縁部においてのみ再び遮蔽を解く。しかしながら、刃先 2 8 がレーザビームを遮る点は、ワークの加工中の刃先とワークとの間の実接触点に対応しない。実接触点は、通常、工具とワークとが斜めの配置であるために、丸みを帯びている刃先における逃げ面から更に離れて位置する。図 2 において、測定誤差が上記偏差の結果として生じ得ることを見て取ることができる。刃先が丸み付けされる半径は、通常、マイクロメートル範囲であるため、上記従来の方法の結果として、測定誤差は、マイクロメートル範囲内になる。

【 0 0 7 0 】

本発明に係る方法は、図 3 及び図 3 a ~ 図 3 e を用いて以下により詳細に説明する。図 3 は、再び、工具設計に従って精密に形成されている切削歯 1 4 を示している。ただし、歯は、角度 Σ だけ傾斜した方位で示されている。上記歯 1 4 の左側刃先 2 8 (以下では簡潔に総括して刃先 S としても示される) において、接触点 m 1 ~ m 5 が設けられ、接触点 m 1 ~ m 5 において、ワーク加工中、仕上がったワークの歯面に刃先が接触する。接触点 m 1 ~ m 5 のそれぞれは、工具とワークとの間の異なる転動角度に対応する。接触点 m 1 ~ m 5 は、工具設計から容易に計算することができる。接触点 m 1 ~ m 5 は、丸みを帯びている刃先にわたって延在する経路に位置する。上記接触点 m 1 ~ m 5 の間の接続は、補償曲線 1 7 によって形成される。上記経路は、図 2 における縁部 1 6 から大幅に偏差を有することを見て取ることができる。

【 0 0 7 1 】

本発明に係る方法は、上記偏差を考慮に入れる。工具軸は、各接触点 m 1 ~ m 5 に関して、鉛直線に対して異なる角度 Σ だけ傾斜し、そのため、レーザビーム 1 2 又は円筒形検知面 T 1 ~ T 5 は、それぞれ、関連する接触点 m 1 ~ m 5 において接線方向に刃先に接触する。このために必要な角度 Σ の値は、工具設計に基づいて容易に計算することもできる。このようにして、接触点の経路に沿った刃先の幾何形状は、測定の結果として精密に求めることができる。この場合、以下が適用される。すなわち、刃先の面法線は、それぞれの接触点 m 1 ~ m 5 においてワークの加工された歯面に対して常に垂直であり、それに対応して、レーザビーム又は円筒形検知面 T 1 ~ T 5 は、この垂線に対して常に直角である。

【 0 0 7 2 】

図 3 a ~ 図 3 e は、平面 S 1 ~ S 5 における拡大断面において、接触点 m 1 ~ m 5 における幾何学的条件の概略図を示している。図 3 a ~ 図 3 d では代表的なものしか示さないが、図 3 e は、ここで関連する全ての参照符号（接触点 m 5、アール r 5、すくい面 1 8、すくい面の面取り部 1 9、接触点の空間的移動経路 2 4、刃先における垂線 3 2）を示す。接触点 m 1 ~ m 5 の位置が湾曲部分において接触点ごとに変化する様子、及びそれに対して接線方向である円筒形検知面 T 1 ~ T 5 の方向が、工具軸 B に対して対応して変化する様子を見て取ることができる。丸みを帯びている右側の仮想刃先 2 9 が測定される場合、変化した軸位置において更なる測定サイクルが行われる。

【 0 0 7 3 】

図 4 及び図 4 a は、仮想工具 1 v によって加工される仮想ワーク 3 v を示している。仮想ワーク 3 v は、仮想工具 1 v によって仕上げられたワークに対応する。空間における円筒形検知面の位置、ここでは、検知面 T 3 又はレーザービーム 1 2 の位置は、再び上記図を用いて説明する。仮想工具 1 v の工具軸 B は、その測定位置に角度 $\Sigma 3$ だけ旋回する。仮想工具 1 v の右側刃先 2 9 は、接触点 m 3 において仮想ワーク 3 v の湾曲した歯面 C z に接触する。曲率は、表面曲線 1 3 によって示される。レーザービーム 1 2 の検知面 T 3 は、ここでは、接触点 m 3 に関連する接線方向平面 C t における湾曲した歯面 C z に位置するように延在し、歯面方向、すなわち、ねじれ角の方向（ここでは角度 $\beta 3$ によって示されている）に位置合わせされる。

【 0 0 7 4 】

図 5、図 5 a、及び図 5 b は、5 つの接触点 m 1 ~ m 5、関連する 5 つの測定トラック R 1 ~ R 5、及び関連する 5 つの円筒形検知面 T 1 ~ T 5 を有する切削歯 1 4 の様々な図を示している。図 5 は、図 3 と同様の斜視図を示している。図 5 a は、上記切削歯 1 4 の側面図を示している。それぞれ Z 軸に沿った異なる位置 Z 1 ~ Z 5 を有する個々の接触点 m 1 ~ m 5 を見て取ることができる。したがって、接触点 m 1 ~ m 5 は、Z 軸に対して垂直な共通の平面には位置しない。したがって、工具の Z 位置は、様々な接触点 m 1 ~ m 5 における測定のそれぞれについて修正する必要がある。

【 0 0 7 5 】

図 5 b は、切削歯 1 4 の平面図を示している。切削歯 1 4 を有するホブピーリング工具 1 が、例えば測定トラック R 1 において円筒形検知面 T 1 を通過して移動する場合、刃先が接触点 m 1 において検知面 T 1 に接触する際の回転角度 $\phi 1$ は、検出されるレーザーブリッジの 0 信号によって検出することができる。回転角度 $\phi 2 \sim \phi 5$ は、更なる測定トラック R 2 ~ R 5 についても同様に検出され、円筒形検知面 T 2 ~ T 5 は、工具軸 B に対して修正された角度位置をそれぞれ有する。上記回転角度の検出は、刃先 S における接触点の精密なイメージを可能にする。

【 0 0 7 6 】

図 6 は、再び、図 3 と同様の切削歯 1 4 の斜視図を示しているが、2 つの接触点 m 1 及び m 5 のみが、関連する断面 S 1 及び S 5 並びに関連する検知面 T 1 及び T 5 を伴って示されている。検知面は、ここでもレーザービーム 1 2 によって実現することができる。図 6 a ~ 図 6 d は、平面 S 1 及び S 5 における切削歯 1 4 を通る断面の概略図を示しており、以下の説明が当てはまる。

- 図 6 a は、平面 S 1 において、加工のための軸位置における断面を示し、図 6 b は、接触点 m 1 を測定するための軸位置における断面を示している。

- 図 6 c は、平面 S 5 において、加工のための軸位置における断面を示し、図 6 d は、接触点 m 5 を測定するための軸位置における断面を示している。

- 測定のための関連する軸位置において、円筒形検知面 T 1 及び T 5 は、常に、空間的に固定された状態で鉛直に配置される。

【 0 0 7 7 】

加工のための軸位置から第 1 の接触点 m 1 を測定するための軸位置に工具を移動させ、工具を円筒形検知面に対して位置合わせするために、利用可能な機械軸が用いられる。このために、工具スピンドル 2、及び本発明の実現形態によってはワークスピンドル 4 も、

10

20

30

40

50

並進軸 X 及び Y によって測定位置 M p に移動する。工具スピンドル 2 は、最初は、依然として元の設定角度 Σ にある。更なる軸 Z によって、切削歯 1 4 における第 1 の接触点 m 1 が、水平平面 M x y (図 1 a を参照) の高さにおいてレーザービーム 1 2 の中心に移動する。必要な場合、X 軸及び Y 軸がこのために再び用いられる。軸を測定のために配向する場合、工具スピンドル 2 を、旋回軸 A によって新たな設定角度 $\Sigma 1$ に旋回させ、以前の工具設定角度 Σ を、接触点 m 1 におけるねじれ角 $\beta 1$ によって補正する。その結果、設定は、加工のための軸位置から、選択された接触点における測定のための軸位置へと変換される。工具設定角度 $\Sigma 1$ に旋回すると、工具スピンドル 2 は、規定の回転速度 n B で、少なくともスピンドルの完全な 1 回転を行い、レーザービームが刃先によって遮られる回転角度 ϕ が検出される。1 回目の測定の後、工具スピンドル 2 は、次の接触点 m 2 における測定のための軸位置に移動し、このシーケンスは、接触点 m 5 における測定に至るまで同様に繰り返される。上記測定シーケンスは、逆順で行うこともできる。刃先の片側における接触点を測定した後、刃先の他の側における接触点も同様に測定する。このために、工具スピンドル 2 の同じ又は修正された回転方向を用いることができる。

【 0 0 7 8 】

非接触で作用するレーザービーム 1 2 によって、測定時に問題なく 6 0 回転 / 分よりも大きいスピンドル回転速度 n B を使用することができる。したがって、少なくとも 5 つの測定トラック R 1 ~ R 5 による完全な測定が、5 秒 ~ 1 0 秒未満で実行可能である。通常、5 回の測定サイクルの後、十分に測定された値が得られ、C N C コントローラー 8 において表形式で記憶される。その後、上記値を、必要に応じて、測定技術における通常の方法を用いて評価することができる。必要な場合、測定サイクルの回数を増やすことができる。本例では、レーザービーム 1 2 又は検知面 T 1 ~ T 5 は、鉛直に配置される。しかしながら、これに代わって、レーザービームは、他の任意の所望の空間的方位を有することもできる。別様に配置されたレーザービーム又は別様に配置された検知面の場合も、加工のための軸位置から、それぞれ測定される接触点に関連する測定のための軸位置への設定の変換が、同様の方法で行われる。

【 0 0 7 9 】

図 7 は、鉛直レーザービーム 1 2 を備える測定装置 1 1 を示しており、仮想ホブピーリング工具 1 v の接触点 m 3 が、測定位置 M p に位置している。これに関して、仮想ホブピーリング工具 1 v は、横断方向断面 B x y における実工具 1 の簡略化された表現として理解することもできる。スピンドル軸 B 又は横断方向断面 B x y は、事前に説明した工具設定角度 $\Sigma 3$ だけ旋回する。測定位置 M p は、平面 M x y、M x z、及び M y z の固定の交点に位置する。また、仮想ホブピーリング工具 1 v と転動しながら係合する仮想ワーク 3 v も示されており、レーザービーム 1 2 は、共通の接触点 m 3 において接線方向に歯面 C z に接触する。上記仮想ワーク 3 v は、純粋に視覚的な説明のために示されている。

【 0 0 8 0 】

仮想ホブピーリング工具 1 v は、スピンドル回転速度 n B でレーザービーム 1 2 を通過して回転し、L 信号 2 6 及び 0 信号 2 7 が、切削歯 1 4 ごとに交互に生成される。切削歯 1 4 がレーザービーム 1 2 を遮ると、0 信号 2 7 が生成される。上記レーザービーム 1 2 は、歯溝において再び遮蔽が解かれ、L 信号 2 6 が生成される。C N C 工具スピンドル B の対応する角度位置は、L 信号 2 6 の場合及び 0 信号 2 7 の場合の双方で検出される。例えば、右側刃先 2 9 の第 1 の測定サイクルの場合、0 信号 2 7 のみが評価され、C N C コントローラー 8 に表形式で記憶されることに留意すべきである。工具スピンドル B の同じ回転方向を有するが、左側刃先 2 8 のための修正された軸位置を有する第 2 の測定サイクルの場合、L 信号のみが評価され、同じく表形式で記憶される。測定値は、C N C コントローラー 8 において各測定トラックに割り当てられ、可能な最終結果が、図 8 に概略的に示されている。図 7 a は、レーザービーム 1 2 から離れるように旋回した第 1 の切削歯 1 4 の例として、上記第 1 の測定により、斜めの位置における第 1 の切削歯中心 1 5 を L / 0 信号によって規定することができることを更に示している。上記中心 1 5 が基準値として用いられる場合、工具スピンドル B の後続の角度位置は、この値を参照することができ

10

20

30

40

50

る。

【 0 0 8 1 】

この場合、一つのみの測定トラック R 3 における各個別の切削歯中心 1 5 を求め、ここから平均値を形成すれば十分であり得る。前記平均値が規定の公差範囲 Δ 内にある場合、加工を安全に開始することができる。同心度 R を測定するのにも、一つのみの測定トラックにおける測定で十分であり得、同心度測定は、切削歯中心の検出と同様に行われる。一方、切削歯 1 4 の刃先の形状を検出するには、複数の、好ましくは少なくとも 5 つの測定トラック R 1 ~ R 5 における測定が必要である。

【 0 0 8 2 】

また、歯形状の工具 1 v における L / 0 信号を、線形の L / 0 信号帯域 2 5 として概略的に示すことができる。工具 1 v には 7 5 個の切削歯 z 1 ~ z 7 5 があり、L 信号及び 0 信号も 7 5 回生成される。その結果、測定された偏差は、特に制御パネル 9 のスクリーン上に、視覚的に非常に良好に示すことができる。

10

【 0 0 8 3 】

図 7 a は、領域 D 3 内の接触点 m 3 における細部の拡大図を示している。刃先 2 8、2 9、3 0、及び 3 1 は、この図において説明のための一例として示されている。さらに、仮想工具 1 v、レーザービーム 1 2、切削歯 1 4、斜めの位置の切削歯中心 1 5、L 信号 2 6 及び 0 信号 2 7、接触点 m 3、測定位置 M p、同心度 R、測定トラック R 3、及びピッチ角度 τ が示されている。

【 0 0 8 4 】

20

図 8 は、各測定トラック R 1 ~ R 5 に対する L / 0 信号の角度位置 ϕ の概略図を示している。既に言及したように、上記角度位置は、CNC コントローラ 8 に記憶され、制御パネル 9 のスクリーン上に表示され、様々な測定タスクに必要なに応じて使用することができる。曲線当てはめの標準的な数学プロセスによって、最小二乗法を用いて比較的簡単かつ迅速な方法で、例えば、同心度 R、切削歯中心 1 5、及び / 又はピッチ角度 τ を求めることが可能である。三次元の刃先 S をスキャンするためには、複数の、好ましくは少なくとも 5 つの測定トラック R 1 ~ R 5 を通る。また、補償曲線 1 7 を有する刃先 S の幾何形状は、最小二乗法を用いて測定された値から求めることができる。その後、事前に計算された理想的な刃先 2 1 との比較が可能になる。測定結果をチェックするために、更なる測定トラックを非常に迅速に通ることができる。既定の公差範囲（公差マージン Δ ）が点線で示されている。

30

【 0 0 8 5 】

図 9、図 9 a、図 1 0、及び図 1 0 a は、レーザーブリッジ 1 1 を必ずしも鉛直に位置合わせする必要がないことを示している。上述したようなレーザーブリッジは、図 9 及び図 9 a において、レーザービーム 1 2 が鉛直に、Z 軸に対して平行に延びるように位置合わせされる。レーザービーム 1 2 が精密に円筒形であるか又はレーザービーム 1 2 の測定中に有効となる領域が精密に円筒形状である場合、ワーク 1 の Z 軸に沿った精密な位置は、この配置の場合、重要でない。したがって、Z 方向における精密な位置決めは必要ない。特に、工具 1 は、測定のために必ずしも図 1 a における基準平面 M x y に位置する必要がない。対照的に、図 1 0 及び図 1 0 a では、レーザーブリッジ 1 1 は、Y 軸の周りに角度 δ で鉛直から外れて傾斜する。結果として、レーザーブリッジ 1 1 と工具スピンドル 2 の工具ホルダー又は工具シャンクとの間の衝突のリスクが低減される。しかしながら、レーザービーム 1 2 は、ここでは Z 軸に対して平行に延びない。その結果、工具スピンドル 2 は、Z 方向に関する測定中、測定される接触点が、仮想刃先における基準平面 M x y に精密に位置するように位置決めする必要がある。したがって、レーザービーム 1 2 のこの位置合わせでは、Z 方向に沿った工具の精密な位置決めが必要になる。

40

【 0 0 8 6 】

図 1 1 は、その代替として、触覚検知装置 2 3 によって測定されるホブピーリング工具 1 v を示している。切削歯 1 4 は、スキャンされることが好ましい。接触式の測定のため、測定中にホブピーリング工具 1 v が自由に回転することは可能でない。スキャン動作の

50

場合、CNC軸A、B、及びXが同時に比較的ゆっくりと動く。Z軸は、必ずしも動かす必要はない。必要な場合、Y軸も同期させて伴うことができる。実際には、対応する測定曲線21を、少なくとも3つの切削歯14において測定することができる。検知装置23は、この場合、円筒形検知面T1とともに円筒形の検知フィンガーも用いる。

【0087】

図11aは、図11の領域D4における、触覚検知装置23の円筒形検知面T1と、スキャンされる切削歯14との間の係合を示している。上記スキャンの過程で、触覚検知装置23の円筒形検知面T1も、ホブピーリング工具1vの丸みを帯びている刃先Sに接線方向に当接する。しかしながら、工具軸Bの周りの関連する角度位置 ψ に関するスキャンされた測定値21が、L/O信号の代わりに生成される。

10

【0088】

図12及び図13は、従来の歯車切削機械のプラットフォーム上に設置されるホブピーリング機械におけるレーザーブリッジ11の可能な配置を示している。

【0089】

図12は、レーザーブリッジ11の形態の測定装置がワークキャリア33の形態の可動キャリア上に配置される、ホブピーリング機械の一変形形態を示している。ワークキャリア33は、鉛直軸C*の周りで複数の位置に旋回可能である。そのような可動ワークキャリアを備える機械の構想は、米国特許第6,565,418号に開示されている。ワークスピンドル4も、レーザーブリッジ11に対して旋回方向に関してオフセットされて(本例では90度オフセットされて)、ワークキャリア33上に配置される。上記ワークキャリア33が軸C*の周りに旋回する結果、ワークスピンドル4又はレーザーブリッジ11のいずれかが、工具1と相互作用する位置に移動することができる。ワークキャリアは、第1のワークスピンドルに対して180度だけオフセットされて配置された第2のワークスピンドル(図面には示されていない)を支持することができる。図12における図では、上記第2のワークスピンドルは、上記ワークキャリアの後側に位置する。このようにして、ワークスピンドルのうちの一つにおいて加工を行うことができ、一方、仕上がったワークは、他のワークスピンドル上の新たに加工されるワークと交換することができる。その結果、生産を行わない遊休時間が回避される。上記機械構想では、工具スピンドル2は、工具キャリア34上に配置された可動なホブピーリングヘッド35に収容され、工具キャリア34は、機械ベッド6上に変位可能に位置する。

20

30

【0090】

図12aは、図12の領域D5における拡大された細部を示している。前記細部から見て取ることができるように、本例におけるレーザーブリッジ11のレーザービーム12は、鉛直に位置合わせされず、鉛直に対して傾斜角度 δ をとることが好ましい。これは、レーザーブリッジ11が、ワークキャリア33の外形内に依然として存在することを可能にし、その結果、作業空間のシールをより容易にする。

【0091】

ホブピーリング機械の別の変形形態が図13に示されている。前記ホブピーリング機械は、米国特許第5,857,894号に開示されているような機械構想に基づく。上記実施形態では、レーザーブリッジ11は、機械ベッド6上に固定的に配置され、測定に必要な動きは、変位可能かつ旋回可能な工具キャリア34によって実行される。上記機械構想における工具スピンドル2は、機械ベッド6上に位置する上記工具キャリア34上に配置された可動ホブピーリングヘッド35内に収容される。工具キャリア34は、図示されていない加工位置と、図13に示されている測定位置との間で鉛直軸C*の周りに旋回可能である。加工位置において、工具1は、上記ワークを加工するために、ワーク3と相互作用することが可能であるように配置される。対照的に、測定位置では、工具1は、レーザーブリッジ11の形態の測定装置と相互作用することが可能であるように配置される。本例では、加工位置と測定位置との間の旋回角度は、180度である。しかしながら、他の旋回角度も想定可能であることは明らかである。

40

【0092】

50

図 1 3 a は、図 1 3 の領域 D 6 における拡大された細部を示している。前記細部から見て取ることができるように、レーザーブリッジ 1 1 のレーザービーム 1 2 は、鉛直に位置合わせされず、本例でも鉛直に対して角度 δ をとる。しかしながら、レーザーブリッジ 1 1 の鉛直の固定配置も想定可能である。

【 0 0 9 3 】

硬質加工のための歯車切削機械 2 2 における自動化された工具測定は、測定位置 M p における工具 1 と測定装置との記載された動作対の間の非常に精密な相対移動を必要とする。他の動作対の工具 1 とワーク 3 との間の利用可能な相対移動は、通常、マイクロメートル範囲内、又は回転軸の場合、角度秒の範囲内の高レベルの基本的な幾何学的精度を既に有する。ホブピーリング機械 2 2 の作業空間内における信頼性のある非常に精密な測定を確実にするために、測定位置 M p は、各加工の開始時に自動的に、また必要に応じて随時校正すべきである。このために可能な手順は、図 1 4、図 1 4 a、及び図 1 4 b を用いて以下に説明される。

【 0 0 9 4 】

図 1 4 は、軸 X、Y、及び Z の座標系を有する図示されていないホブピーリング機械 2 2 における校正マンドレル 3 6 を示している。規定の高さ h (図 1 4 a を参照) 及び規定の校正直径 ϕD (図 1 4 b を参照) を有する校正マンドレル 3 6 が、図示されていない工具スピンドル 2 に収納され、位置 Z 1 * における校正平面 E K に移動する。レーザーブリッジ 1 1 の測定位置 M p も、上記平面に位置する。したがって、校正マンドレル 3 6 が、図 1 4 a における好適な X 位置からまず開始して、測定位置 M p の方向において Y 軸とともに移動すると、校正マンドレル 3 6 は、校正直径 ϕD によってレーザービーム 1 2 に交差し、上記レーザービームはかき消される。この場合、CNC コントローラー 8 において Y 位置 Y 1 * . 0 をマークする 0 信号 2 7 が、レーザーブリッジ 1 1 において生成される。Y 軸が更に移動すると、校正直径 ϕD は、再びレーザービーム 1 2 の遮蔽を解き、0 信号 2 7 と同様に、CNC コントローラー 8 において Y 位置 Y 1 * . L をマークする L 信号 2 6 が生成される。CNC コントローラー 8 によって、双方の Y 位置間の中心は、レーザービーム 1 2 とワーク軸 C との間の距離 y m を規定するものとみなされる。しかしながら、これは、測定点 M p の高度に精密な校正にはまだ十分ではない。平面 Y - Z におけるレーザービーム 1 2 の精密な角度むき方位 ε も検出又は設定しなければならない。本発明の枠組み内で、ホブピーリング工具 1 の測定は、任意の所望の角度方位 ε において行うことができ、当然ながら、好ましい方法では鉛直方位が用いられる。したがって、より高い Z 位置 Z 2 * における第 2 の校正工程が有意であり、Y 位置 Y 2 * . 0 及び Y 2 * . L が、同様にマーク及び評価される。より高い精度要件の場合、更なる Z 位置においても校正工程を行うことができる。CNC コントローラー 8 は、上記値を用いて高度に精密に角度方位 ε を求めることが可能である。レーザービーム 1 2 が、Y 方向に沿った上記校正の場合に校正直径 ϕD に交差しない場合、X 方向に沿った位置を調整しなければならない。

【 0 0 9 5 】

校正中の次の工程は、図 1 4 b に示されている距離 x m 及び角度位置 δ を求めるために、X 方向に沿って行われる。レーザービーム 1 2 の工具軸 C までの y m 距離が先行の校正工程において求められていることから、Y 軸が工具スピンドル 2 を伴って回転対称の校正マンドレル 3 6 を上記位置に移動させることができる。開始時、上記工具スピンドル 2 は、X 軸のゼロ位置及び校正平面 E K の Z 1 * 位置にある。その後、工具スピンドル 2 は、校正マンドレル 3 6 を、校正直径 ϕD がレーザービーム 1 2 に交差し、上記の記載にしたがって CNC コントローラー 8 において X 位置 X 1 * . 0 をマークする 0 信号 2 7 を生成し、その結果、レーザービームのワーク軸 C からの x m 距離を規定するまで X 方向に前進させる。平面 X - Z における傾斜設定角度 δ は、レベル Z 2 * における同様の校正動作を用いて求めることができる。

【 0 0 9 6 】

それにより、各校正動作後、校正された距離 y m 及び x m 並びに測定位置 M p に対する関連する角度位置 δ 及び ε は、CNC コントローラー 8 に保存され、更なる測定のために

10

20

30

40

50

用いることができる。

【 0 0 9 7 】

一方で、上記較正動作の記載は、較正平面 E K におけるホブピーリング工具 1 の好ましい測定が、角度誤差とはほとんど無関係となり、その結果、精密に円筒形のレーザービーム 1 2 とともに有利に用いることが可能になることも示している。

【 0 0 9 8 】

図 1 5 は、工具スピンドル 2 上に好ましい方法で配置することができるスキャン式検知装置 1 0 を用いた、ピーリングされたワーク 3 における任意のポストプロセス測定を示している。前記測定は、例えば、少なくとも 3 つの歯溝において、従来の基礎円測定に従って行われる。必要な場合、測定結果を用いて、ワーク加工のための設定の更なる補正を行う。このようにして、最適な品質保証を達成することができる。

10

【 0 0 9 9 】

工具は、本図面の全てにおいて非常に概略的に示されている。加えて、全ての切削歯のすくい面は、上記図面における工具の場合、共通の平面に位置している。しかしながら、上記所見は、図示の工具に限定されず、任意の所望のホブピーリング工具、更には段差カット若しくは他の幾何学的設計を有する工具、又は他の歯車形状の工具に用いることができる。

【 0 1 0 0 】

概して、本明細書において提案される方法は、以下の利点を可能にする。

- 開始時及びワークの加工中、レーザーブリッジ 1 1 により、非接触の迅速かつ高精度のプロセス内測定が行われ、全ての測定値は、コントローラーに記憶される。

20

- 現在の測定値と開始値とを連続的に比較することにより、刃先に対する寸法の変化、例えば摩耗 V (図 6 b を参照) を検出することができる。

- 三次元の丸みを帯びている刃先 S を補償曲線 1 7 により直接検出し、それにより、エンベロープカットによるホブピーリング中、ピーリングされたワーク 3 における最終的な歯面が形成され、ひいてはまた画定される。

- 作用する刃先の精密な測定によって、一連のワークの加工時、ホブピーリング機械の CNC 軸に対する好適な設定を、時間を掛けて探すことを明らかに低減することができ、プロセス関連の不適合が大幅に回避される。

【 0 1 0 1 】

30

要約すると、本明細書において提案される方法は、以下の特徴を有する。

- 丸みを帯びている刃先に接線方向に当接する円筒形検知面を測定に用いることができる。

- 円筒形検知面が、それぞれの接触点においてワークの湾曲した歯面上の関連する接平面にあり、この場合、好ましくは対応するねじれ角の方向に位置合わせされるように配置される。

- 精密に円形で、円筒形の、高度に精密なレーザービームが、円筒形検知面として用いられることが好ましい。円筒形検知インサートを備える触覚測定検知装置を、本発明の他の実施形態に対する一例として用いることもできる。一方で、これに関連して、長い測定時間、触覚スキャン、及び複雑な信号処理は不都合である。

40

- したがって、測定レーザービームは、ワークの湾曲した歯面における対応する接触点の接平面にあり、測定中、他の接触点において関連するねじれ角に回転する必要がある。歯面における上記点ごとのねじれ角は、歯の高さが増加するにつれてサイズが拡大する。レーザービームの方位、ひいてはまた対応する測定装置の設定は、上記ねじれ角及び工具設定角度によって確定される。レーザービームには、総じておよそ 0 度 ~ 9 0 度の調整可能な角度領域を必須とすべきである。

- しかしながら、実際には、レーザービームを備える測定装置が上記動作を実行する必要がある場合、コストに関してかなり不都合がある。したがって、レーザービームは、有利な方法では、ホブピーリング機械の作業空間において本質的に固定され、鉛直に配置することができる。レーザービームと工具軸との間の位置合わせの設定は、代わりに、工具ス

50

スピンドルの既存の CNC 旋回装置によって実現される。それに応じて、既存の CNC 軸 X、Y、及び Z によって線形送りも実現することができる。機械設定は、このために、測定位置に対応して計算される。加えて、本質的に固定された測定位置を、ワーク位置から間隔を置いて配置し、それにより、工具を伴う工具スピンドルの位置決めのために衝突をなくすのに十分な空間が存在することが有利である。

- また、固定的に配置されたレーザービームによって、複数の、好ましくは少なくとも 5 つの径方向測定トラックを、それぞれ、工具設定角度の固定設定値で通りながら、回転するホブピーリング工具における歯形状の丸みを帯びている刃先領域において、規定の回転速度でスキャンすることが可能である。歯面ごとのそれぞれの計算された接触点は、軸 X、Y、Z、A、及び B における線形送り及び回転送りによって、レーザービームに対する測定位置に位置決めされる。歯形状の工具を回転させる際にレーザービームを交互に遮ることによって、非常に簡単な方法で、信頼性のあるシンプルな L / 0 信号を生成することができる。刃先の片側が測定されると、刃先の他の側を、同様の方法で、修正された設定を用いて測定することができる。

- 工具の切削歯が測定トラックにおいてレーザービームを通過して移動すると、L / 0 信号によってシンプルに接触点を検出することができ、回転する CNC 工具スピンドルの対応する角度値を検出することができる。上記角度値及び径方向測定トラックの設定は、CNC コントローラーにおいて表形式で記憶することができ、歯車に典型的な様々な測定に用いることができる。

【 0 1 0 2 】

本明細書において提案される方法は、円筒形検知面（例えば、レーザービームの形態）が接線方向に刃先をスキャンする例を用いて上記で説明した。この場合、重要な態様は、各場合に、仮想刃先における仮想接触点が計算され、刃先における仮想接触点の位置に応じた刃先と測定装置との間の方位及び並進位置において測定が実現されることであった。この場合、上記に挙げた利点の少なくとも一部は、円筒形状でない検知面を用いて達成することもできる。例えば、接触点に収束するレーザービームを用いることが想定可能である。例えば、ボールの形態の非円筒形の物理的検知手段を用いることも想定可能である。

【 0 1 0 3 】

挙げられた利点の少なくとも一部は、接線方向スキャンの実行だけでなく、別様に測定される刃先によって、例えば、三角法又は 3 D スキャン測定を用いた距離測定によって更に達成することもできる。これに関して、上記に提示した方法は、円筒形検知面による接線方向スキャンに限定されない。

【 符号の説明 】

【 0 1 0 4 】

- 1 ホブピーリング工具
- 1 v 仮想ホブピーリング工具
- 2 工具スピンドル
- 3 ワーク、歯車
- 3 v 仮想ワーク
- 4 ワークスピンドル
- 5 送りキャリッジ
- 6 機械ベッド
- 7 歯合わせプローブ
- 8 CNC コントローラー
- 9 制御パネル
- 1 0 スキャン式検知装置
- 1 1 レーザーブリッジ
- 1 2 レーザービーム
- 1 3 表面曲線
- 1 4 切削歯

1 5	切削歯中心	
1 6	刃先アールの逃げ面への移行部における縁部	
1 7	補償曲線	
1 8	すくい面	
1 9	すくい面の面取り部	
2 0	ホブピーリング機械の作業空間	
2 1	スキャンされた測定曲線、測定値	
2 2	ホブピーリング機械、歯車製造機械	
2 3	触覚検知装置	
2 4	接触点の移動経路	10
2 5	L / 0 信号帯域	
2 6	L 信号	
2 7	0 信号	
2 8	刃先、左側	
2 9	刃先、右側	
3 0	歯元の刃先	
3 1	歯先の刃先	
3 2	刃先における垂線	
3 3	ワークキャリア	
3 4	工具キャリア	20
3 5	ホブピーリングヘッド	
3 6	較正マンドレル	
3 7	刃先ブランク	
A	工具スピンドルの回転軸	
B	工具軸	
B x y	横断方向断面における工具の基準平面	
C	ワーク軸	
C t	工具とワークとの接触点における接平面	
C z	ワークにおける歯面	
C *	工具キャリアの回転軸	30
C * *	ワークキャリアの回転軸	
D 1 ~ D 6	図における細部の領域	
φ D	較正マンドレルにおける較正直径	
E K	位置 Z 1 * における較正平面	
h	較正マンドレルにおける高さ	
K	ワーク軸 C における X 及び Y の原点を有する機械の座標系	
M p	測定位置	
M x z	X 方向におけるレーザービームの中心を通る鉛直平面	
M y z	Y 方向におけるレーザービームの中心を通る鉛直平面	
M x y	レーザーブリッジの水平中心平面	40
m 1 ~ m 5	刃先における仮想接触点	
n B	工具スピンドルの回転速度	
R	ホブピーリング工具の同心度	
R 1 ~ R 5	ホブピーリング工具における測定トラックのアール	
r 1 ~ r 5	刃先のアール	
S	仮想刃先	
S 1 ~ S 5	切削歯におけるすくい面に対して垂直かつ補償曲線に対して直角の断面	
T 1 ~ T 5	丸みを帯びている刃先に接線方向に当接する円筒形検知面	
V	刃先における摩耗	
X	並進 C N C 軸	50

X_1^* 較正平面 E K における較正時の X 位置
 X_2^* Z 位置 Z_2^* における較正時の X 位置
 x_m レーザービームとワーク軸との間の X 距離
Y 並進 C N C 軸
 Y_1^* 0 レーザーブリッジにおける 0 信号を用いた較正平面 E K における較正時の Y 位置
 Y_1^* L レーザーブリッジにおける L 信号を用いた較正平面 E K における較正時の Y 位置
 Y_2^* 0 レーザーブリッジにおける 0 信号を用いた Z 位置 Z_2^* における較正時の Y 位置
 Y_2^* L レーザーブリッジにおける L 信号を用いた Z 位置 Z_2^* における較正時の Y 位置
 y_m レーザービームとワーク軸との間の Y 距離
Z 並進 C N C 軸
 Z_1^* 較正平面 E K における較正時の Z 位置
 Z_2^* 較正時の増加した Z 位置
 $Z_1 \sim Z_5$ 切削歯中心 1 5 に対する工具における接触点の Z 高さ
 $z_1 \sim z_7.5$ 工具の歯の数、例えば $z_7.5$
 β ピッチ円 (基準円) におけるねじれ角
 $\beta_1 \sim \beta_5$ 様々な歯高におけるワーク歯面のねじれ角
 δ X 方向におけるワークスピンドルの回転軸に対するレーザービームの傾斜角度
 ε Y 方向におけるワークスピンドルの回転軸に対するレーザービームの角度位置
 Δ 公差範囲
 Σ 加工のための軸位置における工具角度
 $\Sigma_1 \sim \Sigma_5$ 測定のための軸位置における工具角度
 τ ピッチ角度
 $\phi_1 \sim \phi_5$ C N C 工具スピンドルの角度位置

【図面】

【圖 1】

【図 1 a】

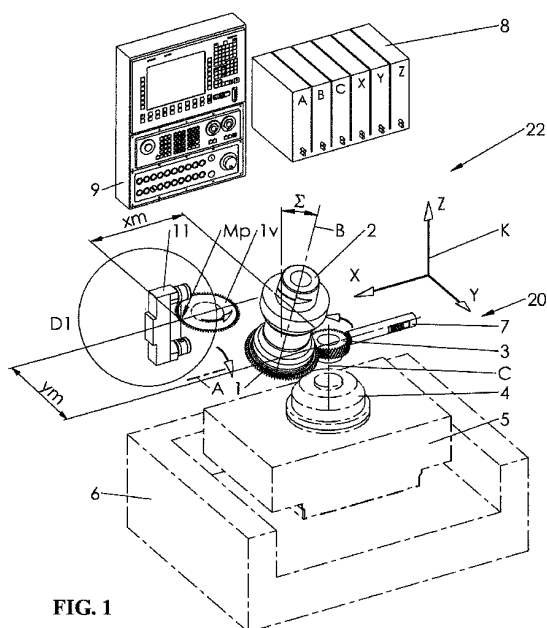


FIG. 1

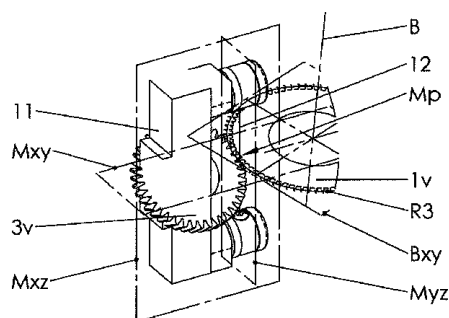


FIG. 1a

【 図 2 】

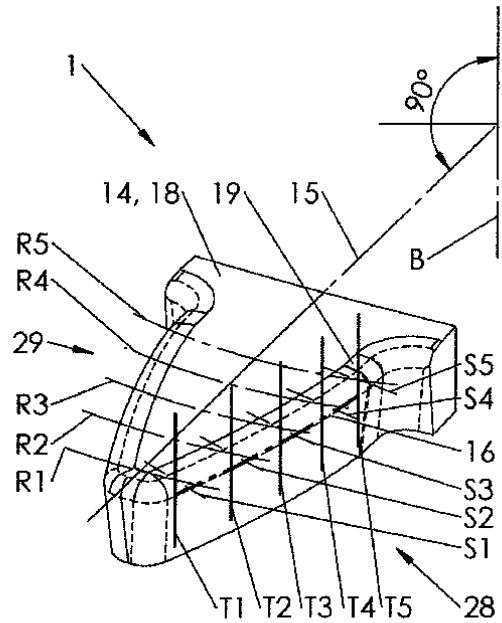


FIG. 2

【 図 3 】

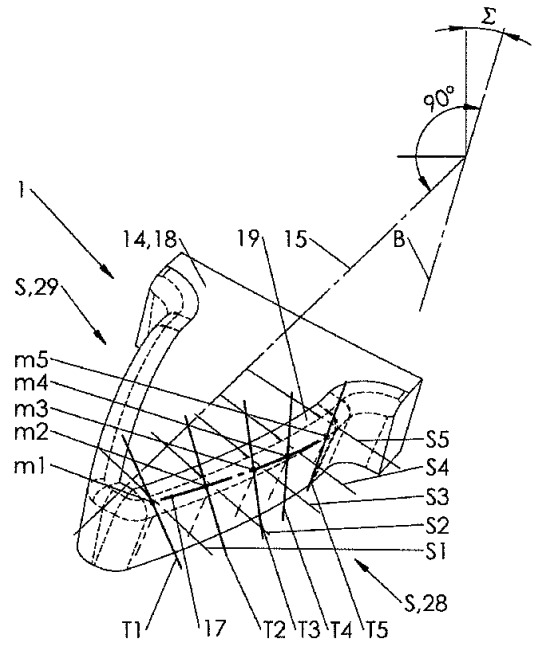


FIG. 3

【 図 3 a 】

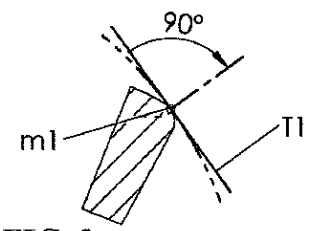


FIG. 3a

【 図 3 b 】

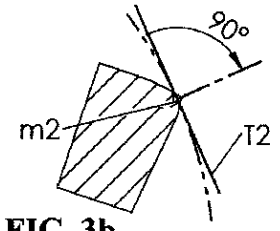


FIG. 3b

10

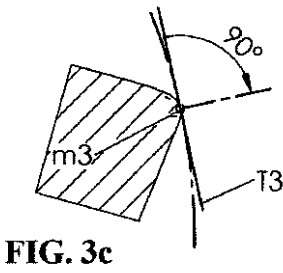
20

30

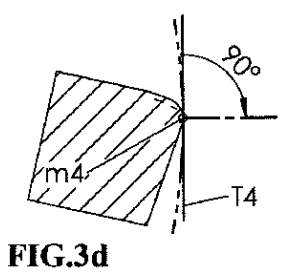
40

50

【 図 3 c 】

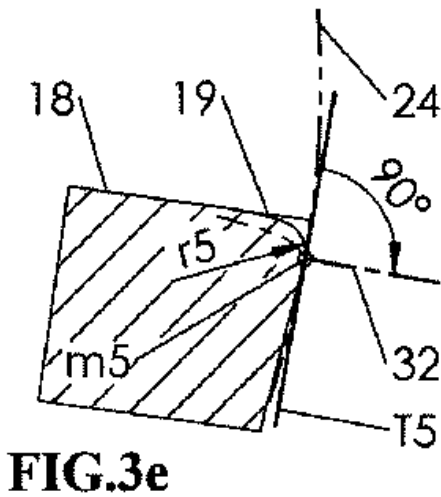


【 図 3 d 】

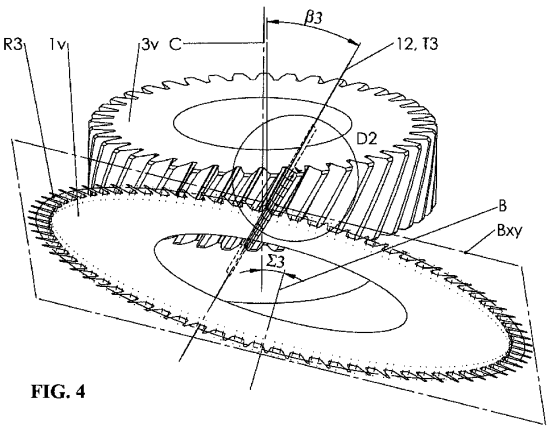


10

【 図 3 e 】



【 図 4 】



20

30

40

50

【図 4 a】

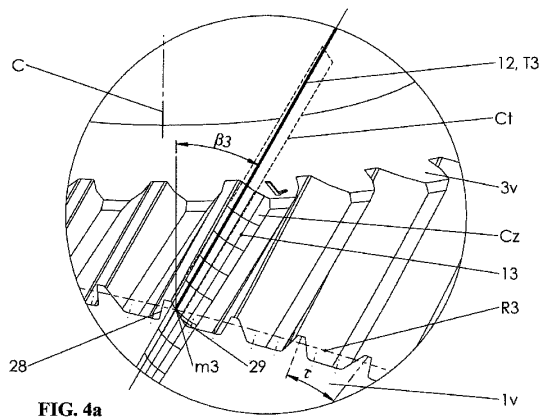


FIG. 4a

【図 5】

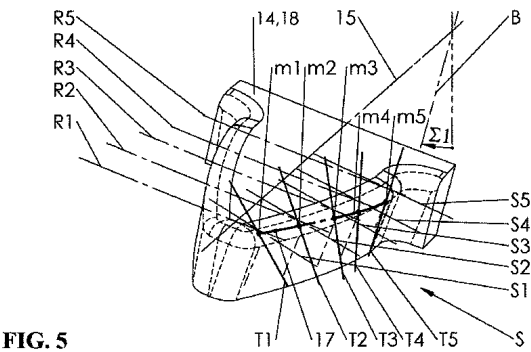


FIG. 5

【図 5 a】

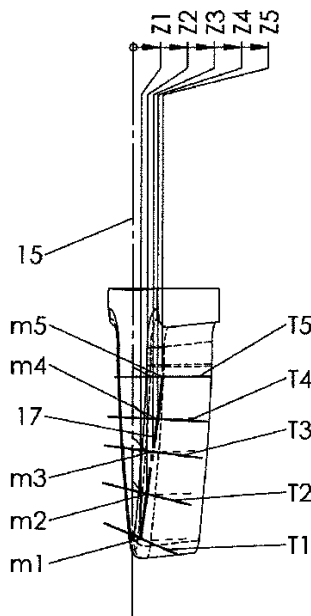


FIG. 5a

【図 5 b】

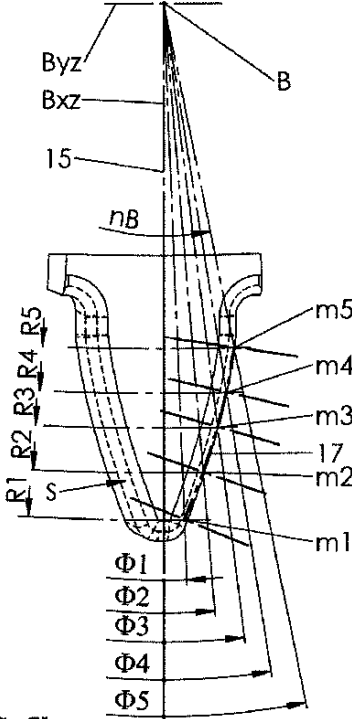


FIG. 5b

10

20

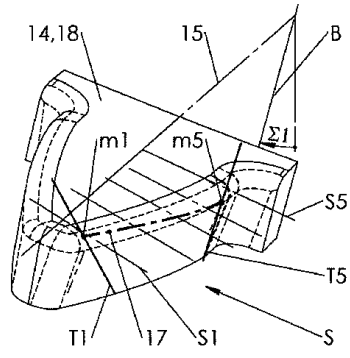
30

40

50

【図 6】

FIG. 6



【図 6 a】

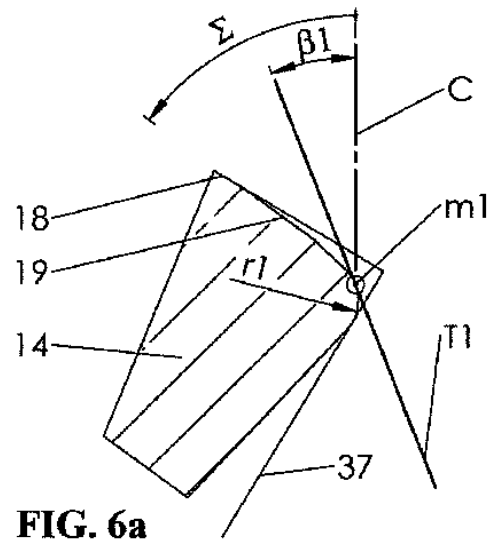


FIG. 6a

【図 6 b】

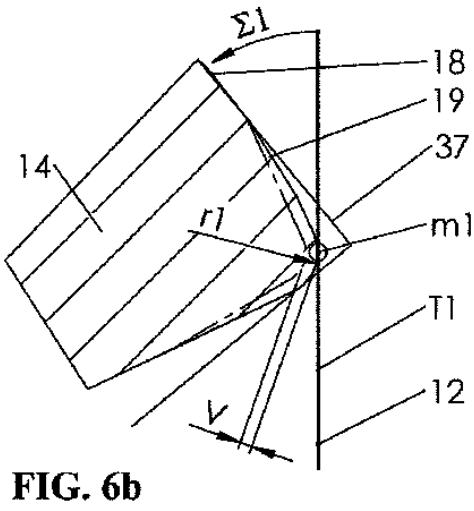


FIG. 6b

【図 6 c】

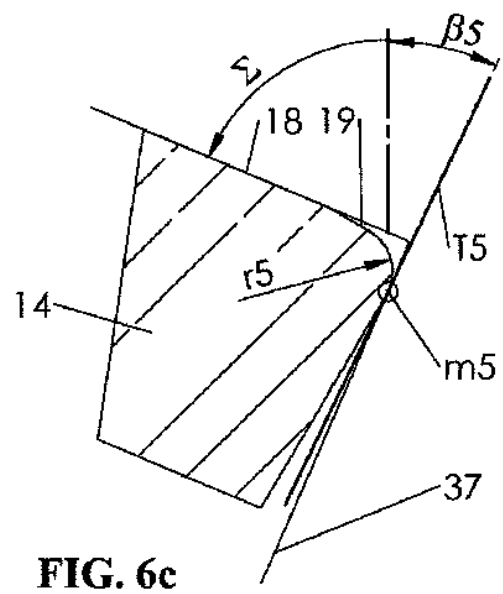


FIG. 6c

10

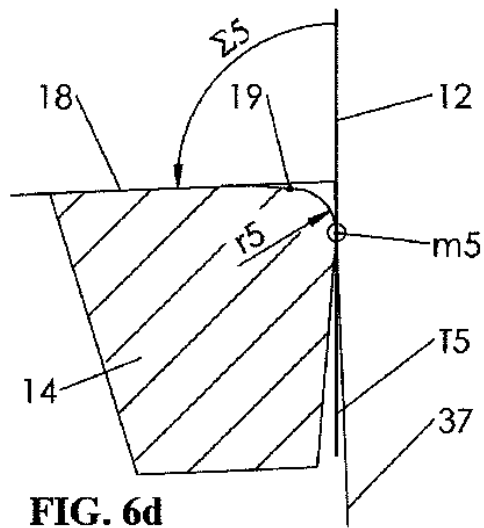
20

30

40

50

【 図 6 d 】



【圖 7】

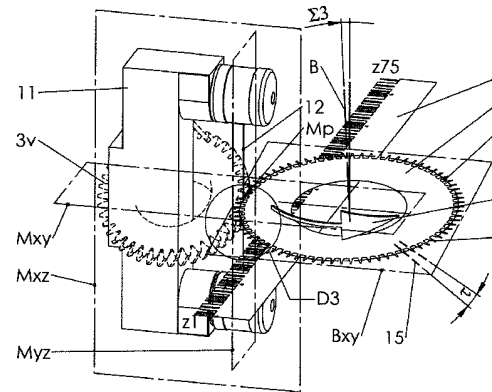
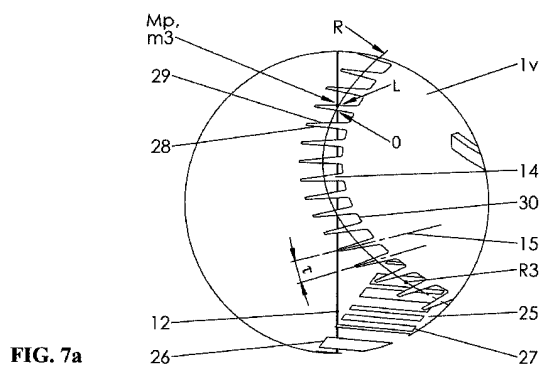


FIG. 7

【 図 7 a 】



【 図 8 】

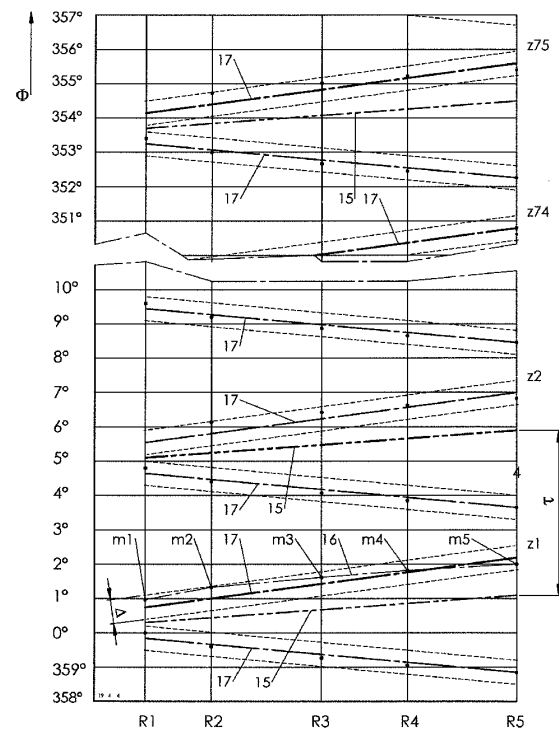


FIG. 8

【図 9】

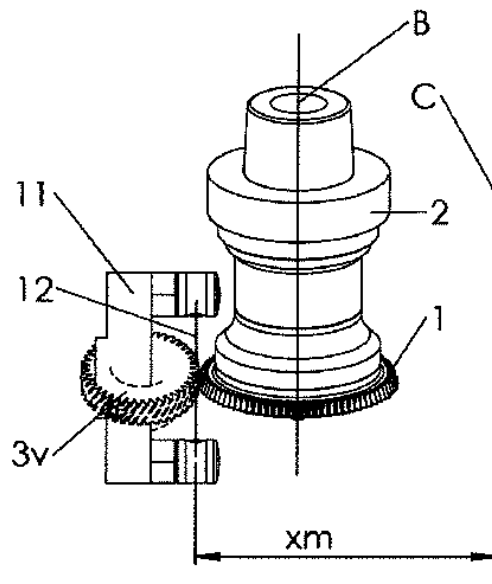


FIG. 9

【図 9 a】

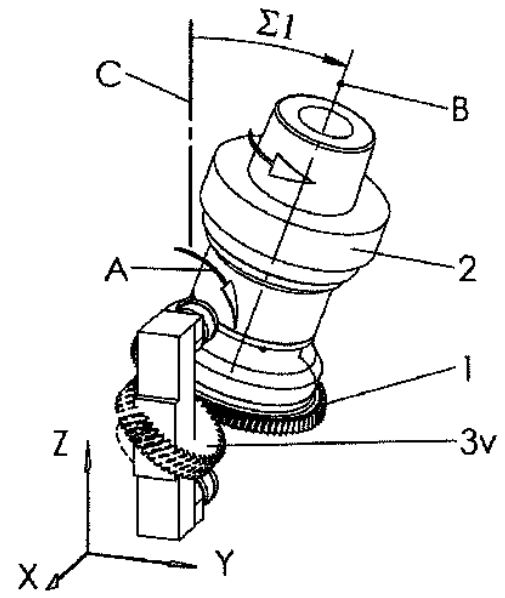


FIG. 9a

【図 10】

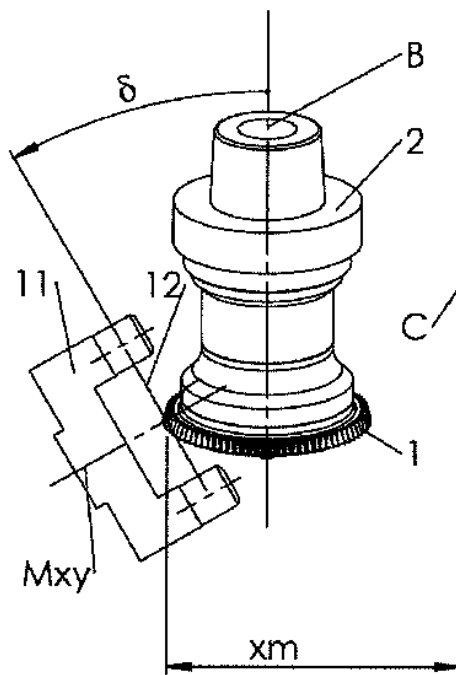


FIG. 10

【図 10 a】

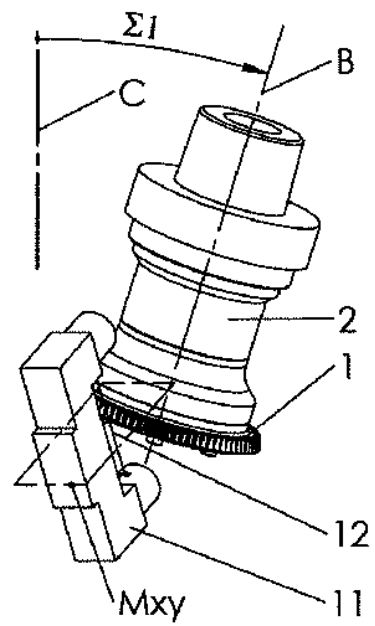


FIG. 10a

10

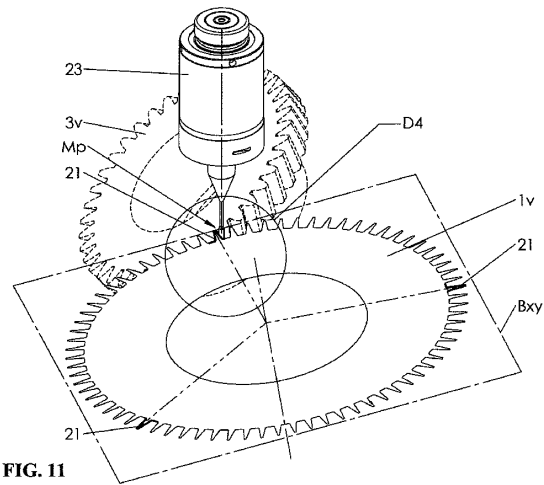
20

30

40

50

【図 1 1】



【図 1 1 a】

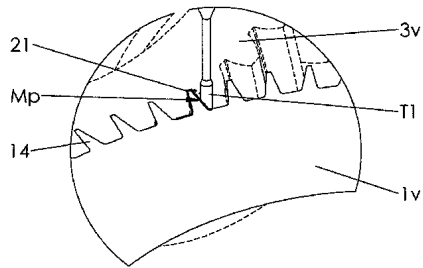
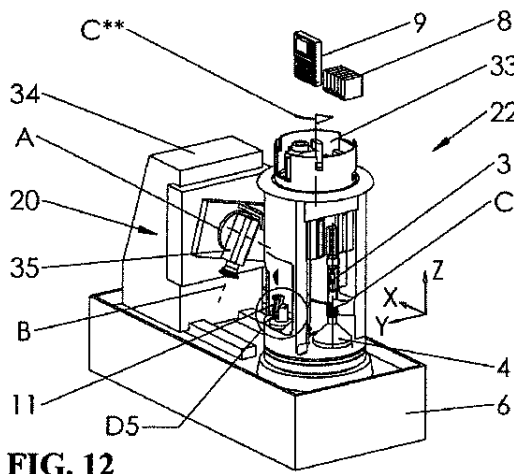


FIG. 11a

10

【図 1 2】



【図 1 2 a】

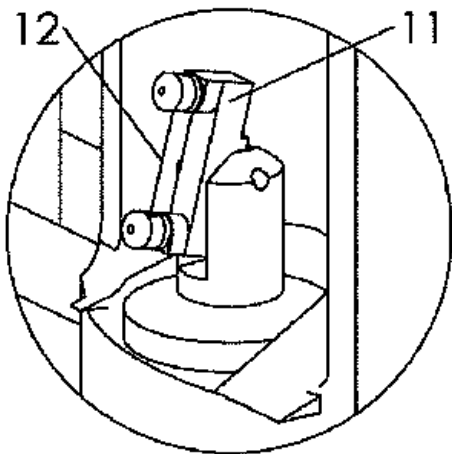


FIG. 12a

20

30

40

50

【図 1 3】

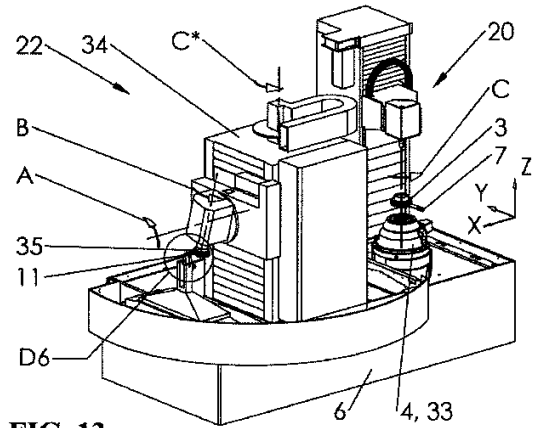


FIG. 13

【図 1 3 a】

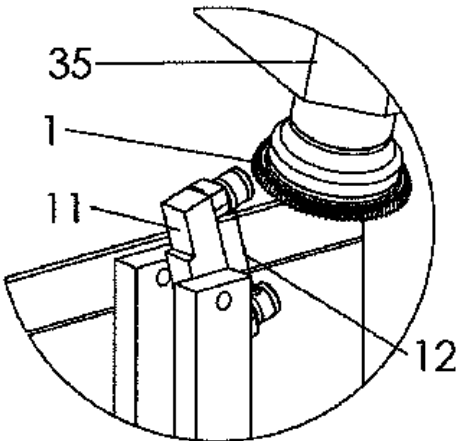


FIG. 13a

【図 1 4】

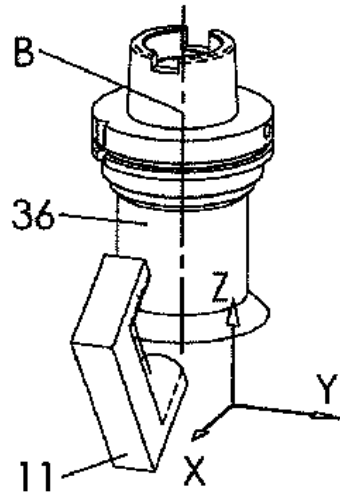


FIG. 14

【図 1 4 a】

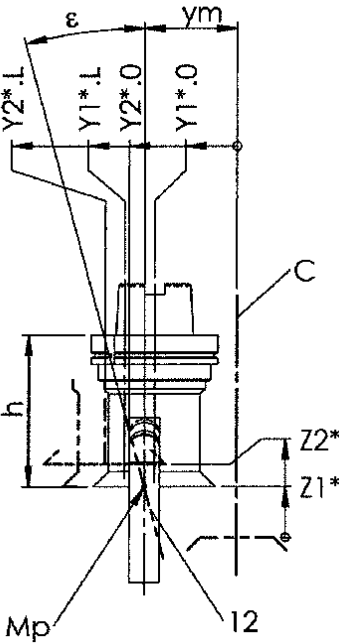


FIG. 14a

10

20

30

40

50

【 図 1 4 b 】

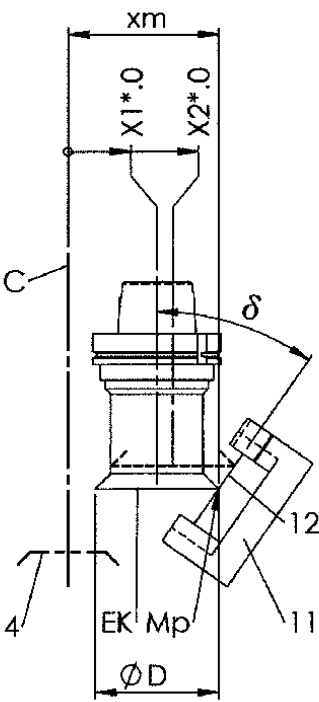


FIG. 14b

【 図 1 5 】

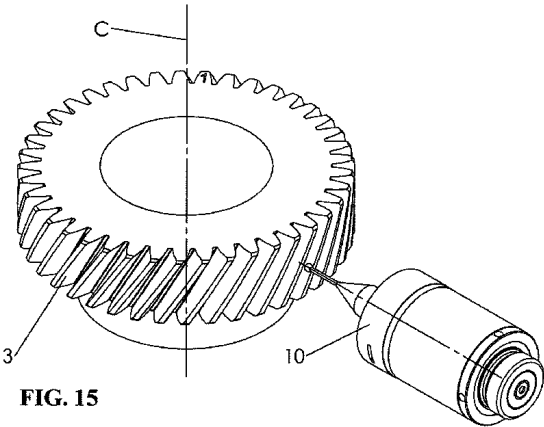


FIG. 15

10

20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 ミハエル ムロス
ドイツ国 ヴァインガルテン 7 6 3 5 6 ミッテル通り 5

(72)発明者 ミハエル ミュラー
スイス国 ウスター 8 6 1 0 ヴィルツベルク通り 3 1

審査官 増山 慎也

(56)参考文献 特開 2 0 0 1 - 1 3 8 1 3 5 (J P , A)
特開 2 0 1 4 - 2 3 7 1 8 5 (J P , A)
特開 2 0 1 4 - 0 3 9 9 7 1 (J P , A)
特開 2 0 1 3 - 1 2 4 8 8 9 (J P , A)
特開 2 0 1 7 - 0 8 7 4 0 0 (J P , A)
特開平 0 6 - 0 5 5 3 4 1 (J P , A)
特表 2 0 0 2 - 5 3 2 2 6 5 (J P , A)
国際公開第 2 0 1 2 / 0 7 9 7 3 4 (W O , A 1)
国際公開第 2 0 0 9 / 0 3 6 8 8 6 (W O , A 1)
独国特許出願公開第 1 9 9 2 7 8 7 2 (D E , A 1)
特表 2 0 1 3 - 5 0 5 8 4 3 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
B 2 3 F 2 3 / 1 2
B 2 3 F 5 / 1 6
B 2 3 F 1 9 / 0 6
B 2 3 F 2 1 / 1 0
B 2 3 Q 1 7 / 0 0
G 0 1 B 5 / 0 0
G 0 1 B 1 1 / 0 0
G 0 1 B 2 1 / 0 0