

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5385273号
(P5385273)

(45) 発行日 平成26年1月8日(2014.1.8)

(24) 登録日 平成25年10月11日(2013.10.11)

(51) Int.Cl.
B 2 3 B 29/32 (2006.01)F 1
B 2 3 B 29/32

請求項の数 4 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2010-520013 (P2010-520013)	(73) 特許権者	505005049
(86) (22) 出願日	平成20年6月11日(2008.6.11)		スリーエム イノベイティブ プロパティ
(65) 公表番号	特表2010-535639 (P2010-535639A)		ズ カンパニー
(43) 公表日	平成22年11月25日(2010.11.25)		アメリカ合衆国, ミネソタ州 55133
(86) 国際出願番号	PCT/US2008/066554		-3427, セント ポール, ポスト オ
(87) 国際公開番号	W02009/020701		フィス ボックス 33427, スリーエ
(87) 国際公開日	平成21年2月12日(2009.2.12)		ム センター
審査請求日	平成23年6月3日(2011.6.3)	(74) 代理人	100099759
(31) 優先権主張番号	11/834, 393		弁理士 青木 篤
(32) 優先日	平成19年8月6日(2007.8.6)	(74) 代理人	100092624
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 鶴田 準一
		(74) 代理人	100102819
			弁理士 島田 哲郎
		(74) 代理人	100112357
			弁理士 廣瀬 繁樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フライカッティング装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

回転軸線の回りを連続的に回転可能な回転軸と、前記回転軸に取付けられた、連続的に回転可能なフライカッティングヘッドと、を有するフライカッティング装置であって、前記フライカッティングヘッドは、前記フライカッティングヘッドに取付けられた第1端部と、前記第1端部の反対側の第2端部とを備えた工具ホルダーと、前記工具ホルダーの前記第2端部に固定されるとともに、工作物を変形させ又は前記工作物の材料を除去することにより前記工作物に特徴形状を形成する切削要素と、前記回転軸線に対する前記工具ホルダーの半径方向位置を制御することによって、前記回転軸線に対する前記切削要素の半径方向位置を制御する、動的制御可能なアクチュエータと、を有し、前記アクチュエータは、前記切削要素が前記工作物に特徴形状を形成している間に前記切削要素の半径方向位置を変化させることにより、前記工作物内への切削深さを変化させることができる、フライカッティング装置。

【請求項 2】

前記フライカッティングヘッドに固定されるとともに、前記回転軸線に対して固定された位置に保持された他の切削要素をさらに有する、請求項 1 に記載のフライカッティング装置。

10

20

【請求項 3】

複数の切削要素が、前記回転軸線に関して等間隔に配置される、請求項 2 に記載のフライカッティング装置。

【請求項 4】

前記切削要素が、前記アクチュエータの制御によって、前記工作物に平底の溝を形成することができる、請求項 1 に記載のフライカッティング装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

微細複製工具を作製すべく工作物に溝又は類似の形状特徴を形成するために使用されるタイプのフライカッティング装置、並びに、このような装置を使用するシステム及び方法、それらによって作製される微細複製工具、並びにそのようにして作製された微細複製工具を用いて製造されるシートが開示される。

10

【背景技術】

【0002】

線形プリズム又はキューブコーナプリズムを含み、光を制御し導くポリマー光学フィルムのようなマイクロ工学表面は、様々な用途において有用である。例えば、キューブコーナシートは、光をその出発点に向けて反射するように構成することで、道路標識又は車両のナンバープレートに有用な再帰反射シートとすることができる。他にも、微細構造化した接着層を備えて表面に接着できるようにしたフィルムは、貼付したときにフィルムと表面との間のエアポケットが少なくて済み、外観及び性能を改善させることができる。

20

【0003】

このようなフィルムを製造する 1 つの方法は、金属ロールに彫刻を施して微細複製工具を形成し、その工具を用いてフィルムを形成することである。例えば、ポリエステルのような溶融ポリマーを微細複製工具上に押し出した後、取り外す。これにより、このフィルムはその 1 つの表面に、微細複製工具上のパターンとは逆の構造を呈することになる。このようなパターンが適当に設計されていれば、フィルムは上述した用途及びその他の用途に用いることができる。

【0004】

米国特許第 5,175,030 号 (ルー (Lu) ら) には、特定の用途においてうまく利用されている、線形プリズム又は線形溝フィルムが開示されている。この特許には更に、線形溝フィルムをその上で製造することになる微細複製工具又はロールも開示されている。このタイプのロールの表面は、その表面に、隣接した個々の溝の連続を切削することにより、又はより一般的には単一の螺旋溝を切削すること (通常「ネジ切り」と称される) により作製される。このような方法で作製された微細複製工具は適度に精密な溝を呈する傾向があるものの、工具の作製に長い時間を要する。例えば、従来のネジ切り工具を用いて鋼ロールをネジ切りするには数週間もの継続作業が必要となり得る。微細複製工具がフィルムの作製に定常的に用いられるようであれば、新しい微細複製工具ができ上がる前に、工具が磨耗又はその他の形で使用不能となることもある。このため、線形溝又はその他の類似構造を有する微細複製工具を作製するためのより高速な方法が提案されている。

30

40

【0005】

1 つの工具切削技術は、「フライカッティング」と呼ばれるもので、ダイヤモンドチップの付いた切削工具が、回転可能なハブ上に搭載されている。米国特許出願公開第 2004/0045419 (A1) 号 (ブライアン (Bryan) ら) には、このタイプのフライカッティング装置が開示されている。ハブが回転するにつれ、切削工具が周期的にロールの表面中に切り込み、円の弧に近似した溝を残す。連続した弧は、溝の長さ方向及び横 (側面) 方向の両方において互いに重なり合い、長手方向断面に波形の外観を有する溝を作製し得る。これらの溝は、フィルムの所望される特性により望ましい微細複製工具を用いて作製されたフィルムの中又は上に、対応する波形構造を形成する。

【発明の概要】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

これら及びその他の従来の工具切削装置及び方法を考慮すると、所望のトポグラフィーの溝を有する微細複製工具の高速作製を提供する新しいフライカッティングヘッド、システム及び方法を提供すること、並びにそのような工具を用いて作製されたフィルム又はシートを提供することは有益である。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明はいくつかの異なった態様又は実施形態を包含する。1つの実施形態は、工具ホルダーの位置若しくは向き、又はその両方を変化させるための動的制御可能なアクチュエータを含むフライカッティングヘッドである。本発明の目的のために、「アクチュエータ」は、信号に応じて動きを作り出す運動要素を包含する。工具ホルダーは、例えば切削要素若しくは工具、ピーニング要素、又は、材料を変形する若しくは工作物から材料を取り外すように構成したその他の任意のデバイスを保持し得る。アクチュエータは、工具ホルダーの（したがって、切削要素の）位置を軸に沿って、又は向きを軸に対して変化させ得る。アクチュエータは、切削要素の位置をフライカッティングヘッドの回転位置に基づいて、又は切削要素の工作物に対する相対位置に基づいて、変化させることができる。切削要素がヘッドの回転軸に対して半径方向に延在する実施形態では、アクチュエータは、切削要素の切削半径をヘッドの回転軸に対して変化させ得る。工具ホルダーは切削要素を保持することもあるが、工具ホルダー自体が切削要素を含むこともあるために、「切削要素」が位置決めされ及び/又は配向されるとの言及は、任意の関連する工具ホルダーの位置決め及び/又は向きをも包含すると理解されるべきである。

【0008】

アクチュエータは高速工具サーボ(FTS)の構成部分であることができ、電気的信号に応じて作動され得る。アクチュエータは切削要素の位置をランダムに、又は準ランダムに（例えばランダムなプロファイルの反復によって）、又は予め定めたプロファイルに従って変化させ得る。予め定めたプロファイルは切削要素に、1つ以上の軸に沿って変化し又は不変であるような、特定の望ましい特性又は性質を有する形状特徴又は溝を形成させることができる。工作物内に形成され得る有用な形状特徴の1つの例は従来「平底溝」と呼ばれ、（実質的に溝の深さよりも大きい直径を有する円筒状のロール上に形成される溝の場合であれば）実際には平底ではなくても、溝の底においてロールに対して実質一定の曲率半径を有し、したがってロール上で形成されるシート又はその他のフィルムは実質直線的なピークを呈する。

【0009】

本発明のフライカッティングヘッドは、ヘッドの角度位置の変化を検出するためのエンコーダと共に用いられ得る。エンコーダは、ヘッドの角度位置を示す信号を制御システムに送るように構成し得る。フライカッティングヘッドはまた、制御システムと共に、又はエンコーダ及び制御システムの両方と共に用いられてもよい。制御システムは、1つ以上のエンコーダから受信した信号に基づいてアクチュエータを、したがって関連する任意の切削要素を制御するために、1つ以上のアクチュエータに信号を送る。アクチュエータは所望により、マクロ位置制御又はミクロ位置制御又はその両方をなし得る。

【0010】

また、例えばフライカッティングヘッドを用いて工作物の表面に形状特徴を形成する方法を含む様々な方法も開示される。その方法は、切削要素と、ヘッドに対する切削要素の位置又は向きを制御するためのアクチュエータとを有するフライカッティングヘッドを供給する工程を含む。方法は、工作物に対する切削要素の角度位置に基づいてヘッドに対する切削要素の位置又は向きを制御する工程をも含み得る。この工程は、切削要素が実質平底の溝を工作物に形成できるように切削要素の位置を制御することを含み得る。これに加えて、又はその代わりに、この工程は、切削要素が工作物に接触している時間の少なくとも一部において切削要素の有効切削半径を変化させるように切削要素の位置を制御するこ

とを含み得る。

【0011】

本発明の別の実施形態では、工作物は、回転軸周りに回転するように構成され、フライカッティングヘッドは、以下に述べるように、その回転軸が工作物の回転軸に対して角度をなすように配置される。角度は、いくつかの実施形態では、工作物の回転中に行われる工作物内への形状特徴の切削が工作物の回転を考慮に入れて設計されるように、工作物の回転速度に基づいて決定される。

【0012】

最後に、本発明はその範囲内に、上述した方法により作製された微細複製工具、及びそのような微細複製工具のいずれかをを用いて製造されたポリマーシートを含む。この種のシートは例えばコンピュータディスプレイのような表示装置に利用できる。

10

【0013】

本発明のこれら及びその他の態様は以下に、より詳細に記述される。

【図面の簡単な説明】

【0014】

本発明は添付の図面を参照して説明される。

【図1】本発明によるフライカッティングシステムの図。

【図2】工作物の回転軸にある角度で傾いたフライカッティングヘッドを備えた、本発明によるフライカッティングシステムの図。

【図2A】本発明によるフライカッティングヘッドの分解組立図。

20

【図3】本発明によるアクチュエータに搭載された切削要素の図。

【図4】切削要素及びアクチュエータの位置が第2のアクチュエータによって更に制御できる、アクチュエータに搭載された切削要素の図。

【図5】工作物内に溝を形成中のフライカッティングヘッド及び切削要素の断面図。

【図6】本発明によって工作物内に平底溝を形成中のフライカッティングヘッド及び切削要素の断面図。

【図7】いずれも本発明による、個々の溝を整列させた代表的な微細複製工具及び長手方向に延在する溝の斜視図。

【図8A】本発明によって形成された代表的な溝パターンの平面図。

【図8B】本発明によって形成された代表的な溝パターンの平面図。

30

【図8C】本発明によって形成された代表的な溝パターンの平面図。

【図8D】本発明によって形成された代表的な溝パターンの平面図。

【図9A】工作物内に溝又は溝セグメントを切っている、鋭利な切削要素を備えた理想化したフライカッティングヘッドの部分の断面図。

【図9B】工作物内に溝又は溝セグメントを切っている、あまり鋭利でないか、又は鈍磨な切削要素を備えた理想化したフライカッティングヘッドの部分の断面図。

【発明を実施するための形態】

【0015】

本発明は、切削半径の制御のような特定の動的制御が可能な特徴を備えたフライカッティングヘッド又はシステム、並びに以下に詳述するようなその他の装置、システム、及び方法を含むいくつかの実施形態を含む。これらの装置、システム、及び方法は、やはり本発明による微細複製工具の作製にも有用であり、そしてこれらの工具は、やはり本発明による微細構造化ポリマーシートのような微細構造化表面を形成するために使用され得る。

40

【0016】

フライカッティングは、典型的には、溝又はその他の形状特徴の機械加工を行う工作物の表面に対して後に位置決めされる回転可能なヘッド又はハブの周辺部に位置するシャンク若しくは工具ホルダー上に搭載された、又はそれらに組み込まれた、ダイヤモンドのような切削要素の使用を意味する。フライカッティングは、典型的には不連続的な切削作業である。つまり、各切削要素は工作物に一定時間接触した後、フライカッティングヘッドがその切削要素を円の残りの部分にわたって回転させ、再びその切削要素が工作物と接触

50

するに至るまでの間は、工作物とは接触しない。フライカッティング作業は典型的には不連続的であるが、結果としてフライカッターによって工作物に形成される溝セグメント又はその他の表面形状特徴は、所望により連続的（例えば、個々の、しかしながら互いに結合している切込みの連続によって形成されている）又は不連続的（分離された切込みによって形成されている）であり得る。本発明の記述はほとんどの場合、工作物から切削要素を用いるフライカッティングによって材料を除去するという文脈で行っているが、本発明はまたその範囲内に、切削要素の代わりにピーニング要素を備える修正を施したフライカッティングヘッドを使用したピーニングないしは別の方法で表面を変形させることを含む。

【 0 0 1 7 】

図 1 は、工作物に対して配置されたフライカッティングヘッド 12 を含む、フライカッティングシステム 10 の一実施形態を示す。図 2 A は、本発明によるフライカッティングヘッドの分解組立図であるが、以下に記述するアクチュエータ及びその他の特定の構造は示していない。工作物はステンレス鋼のような金属製のロール 14 で、より加工の容易な真鍮、アルミニウム、ニッケルリン、硬銅、又はポリマーなどの材料から作製される外層を有するものであってよい。便宜上、本記述において、工作物は「ロール」と称することが多いが、システムに好適な構成で、平面、凸面、凹面、複合的なもの、又はその他の形状であり得る。同様に、本記述において「ロール」という用語も、あらゆる好適な形状の工作物を例示するものと意図されている。工作物はその一端にテストバンドを含んでよく、ヘッド及び工作物が互いに適切に位置決めされかつ同期しているかどうかを判定すべく、このバンド上でテストパターンを切削するようにフライカッティングヘッドをプログラムすることができる。次に、テストバンドに形成された形状特徴の特性を評価することができ、いったんフライカッティングヘッド及び工作物の操作を最適化してから、工作物の他の部分に実際の機械加工作業を行うことができる。テストバンドは必須ではないが、システムの実際の動作をシステムの所望の又は理論上の動作に合わせるためにはどのような調整を行う必要があるかを決めるために、有用であり得る。

【 0 0 1 8 】

図示の実施形態において、フライカッティングヘッドは、切削要素 16 を保持し又は包含する工具ホルダー 15 を、少なくとも 1 つ備える。切削要素は、1 つ以上の溝又はその他の形状特徴をロールの外面に切削するように選択された、好適な産業用ダイヤモンド又は別の好適な切削要素、例えば鋭利な金属ポイントであってよい。切削要素により工作物内に形成される構造は本明細書において便宜上「溝」又は「溝セグメント」と称されるが、これらはその特性に応じて、谷、スロット、インデント、波形、又は総称的に「形状特徴」と称され得る。

【 0 0 1 9 】

フライカッティングヘッド 12 及び工作物 14 に関して、座標系を図 1 に示すように指定してもよい。このような座標系の指定は任意であり、本発明の範囲を制限するためではなく、むしろ示された図の文脈で本発明の理解を容易にするために提供されている。座標系は、切削要素のチップを基準にして示され、互いに直交する X、Y、及び Z 軸を含む。X 軸はロール 14 に垂直で、図示の実施形態では、ロール 14 の回転の中心軸を通る。Y 軸は、図 1 に示すように鉛直方向に延在し、図示の実施形態ではロールの外面の接線に平行であるか又は一致する。Z 軸は水平方向にかつロールの中心軸に平行に延在する。図示の実施形態では工作物もまた回転軸 C を有しており、工作物はこの軸 C の周りにいずれの向きにも回転し得る。フライカッティングヘッド 12 は回転軸 A を有し、この軸 A は図 1 の Y 軸に平行である。工作物が円筒状ではなく、（平板又は円板のような）平面状である場合には、その文脈で本発明の理解が容易になるように、各種の軸の指定が予め行われてよい。

【 0 0 2 0 】

このフライカッティングシステム 10 は高精度、高速の機械加工に使用することができ、はじめに本発明のシステムの概要を示し、次いで種々の構成要素並びにそれらの動作及

10

20

30

40

50

び用途を詳述する。

【 0 0 2 1 】

図 1 は、本発明の一実施形態によるフライカッティングシステム 10 の図である。システム 10 はコンピュータ又は制御装置 18 によって制御され、これらコンピュータ又は制御装置は、1 つ以上のアプリケーションを記憶するためのメモリ、情報の不揮発性記憶のための二次記憶装置、アクチュエータ若しくはその他の装置に出力され得る波形データファイルを生成する関数発生器、情報若しくは命令を受信する入力装置、メモリ若しくは二次記憶装置に記憶され若しくは他のソースから受信するアプリケーションを実行するプロセッサ、情報の視覚的表示を出力する表示装置、又はスピーカー若しくはプリンターのように情報を他の形で出力する出力装置、又はこれらのいずれか 2 つ以上の組み合わせを含むか又はこれらに操作可能に接続され得る。制御装置はケーブル 20 又は好適な無線接続により、データ又は信号を交換し得る。

10

【 0 0 2 2 】

工作物（図示の実施形態ではロール 14）は、制御装置により操作され、制御装置からの命令信号を受信するモーターにより駆動されるスピンドルシステム上に固定支持され得る。スピンドルシステムは 1 つ以上の空気又は静圧ベアリングなどのベアリング 22 を含んでよい。ベアリング 22 は、工作物に対して任意の好適な位置に配置又は支持されてもよいが、単純化のため、図 1 ではロールの一端にのみ示され、図 2 では示されていない。ロールはモーター 24 によっていずれの向きにも回転し、又は工作物が円筒状でないか若しくは他のシステムを用いて配置されている場合には制御装置 18 により提供される指示に応じて位置決めされ得る。代表的なモーターによるシステムの 1 つが、ミネソタ州ホプキンス（Hopkins）のプロフェッショナル・インスツルメント社（Professional Instruments）より、表記 4 R、若しくは表記 10 R（空気ベアリングを含む）で入手可能であり、又はより大きな工作物のためには、コネチカット州ファーマントン（Farmington）のホイットノン・マニュファクチャリング社（Whitnon Manufacturing Company）のホイットノン・スピンドル・ディビジョン（Whitnon Spindle Division）からの油静圧スピンドルシステムが入手可能である。スピンドルシステムは好ましくはまた、以下に記述する方法でスピンドルの、またひいては工作物の位置を所望の精度の範囲内で検出し、その情報を制御装置に送信して、制御装置が工作物及びフライカッティングヘッドに同期することができるように構成した回転エンコーダ 26 を含む。

20

30

【 0 0 2 3 】

フライカッティングヘッドは好ましくは、フライカッティングテーブル 30（これは「x - テーブル」と称してよい）の上に支持されることが好ましい。この x - テーブルは、X、Y 及び Z 軸の少なくとも 1 つに沿った、好ましくは図 1 の X 及び Z の両軸に沿った、より好ましくは X、Y 及び Z の 3 軸全てに沿った動きに順次に、又は好ましくは同時に対応して、フライカッティングヘッド及び切削要素を工作物に対して位置決めするように、構成されている。当該技術分野において既知であるように、x - テーブルは、1 つを超える次元又は方向に実質同時に動くことができ、このため、カッティングチップの位置は、制御装置による制御の下、3 次元空間内で容易に位置決めできる。

【 0 0 2 4 】

40

アクチュエータ 28 は制御装置 18 からの信号を受信し、それによって切削要素 16 が工作物に切込みや溝などの形状特徴を形成する方法を制御する。アクチュエータ 28 は、好ましくは、フライカッティングヘッド 12 に直接に又はカートリッジ 32 又はキャリア経由で間接に、取り外し可能に結合される。図 3 に示すアクチュエータは切削要素を X 軸のみに沿って延出するが、切削要素をいずれの軸に沿って、又はいずれの軸の周りに（回転させて）動かすアクチュエータが提供されてもよい。例えば、図 4 は、切削要素の位置をアクチュエータ 28 とは異なる軸に沿って変えるように構成した第 2 のアクチュエータ 28' を含む。図 4 に示した構成は、（図において）鉛直方向に工具ホルダーを動かすようにアクチュエータ 28' を配置し直し、それによって、切削処理中に工具ホルダー及び関係する切削要素の横方向の動きが可能となるように、変更してもよい。

50

【0025】

その他の従来の機械加工技術も、本発明のシステム及びその構成要素との関連において有用であり得る。例えば、切削要素、フライカッティングヘッド、アクチュエータ又はその他の構成要素の温度を制御するために、冷却流体を使用してもよい。温度制御部を備え、冷却流体が循環する間、冷却流体を実質定温に維持するようにしてもよい。温度制御部及び冷却流体容器は、各種の構成要素を通して又はそれらに向けて流体を循環させるポンプを備えることができ、また典型的には、流体からの熱を取り除き流体を実質的に定温に維持するための冷房システムを備える。流体を循環させ、温度制御を提供する冷却及びポンプシステムは当該技術分野において既知である。特定の実施形態では、工作物が加工されている間、実質一定な表面温度を保つように、冷却流体をまた工作物に適用することができる。冷却流体は低粘度オイルのようなオイル製品であってよい。

10

【0026】

機械加工プロセスのその他の態様もまた当業者には既知である。例えば、ロールは乾式切削又はオイル若しくはその他の加工助剤を用いて切削されてもよく、高速アクチュエータは冷却を必要とすることがあり、スピンドルを支持するもののようないずれの空気ベアリングにも清浄で乾燥した空気を使用すべきであり、及び、スピンドルはオイル冷却ジャケット又はこれに類するものを使用して冷却してもよい。この種の機械加工システムは、典型的に、よく調整のとれた、構成要素のスピード、及び工作物の材料の特性、例えば金属の加工すべき所定の体積に応じた具体的なエネルギー、及び工作物材料の熱的安定性及び特性のような、種々のパラメータの要因となるように構成されている。最後に、国際公開第00/48037号に記載される特定のダイヤモンド旋盤加工用の構成要素及び技術、米国特許出願公開第2004/0045419(A1)号(ブライアン(Bryan)ら、本発明の出願人に譲渡されている)に記載されるタイプのフライカッティング用の構成要素及び技術も(これらいずれの文献の内容も本参照により本明細書に組み込まれる)、本発明の文脈において有用であり得る。

20

【0027】

工作物の機械加工は、好ましくは、上述したシステムの種々の構成要素の協調した動きによって遂行される。本発明に従って、溝又はその他の形状特徴を工作物上の予め定めた位置に形成するためには、フライカッティングヘッドによって備えられる各切削要素の位置が、工作物の位置と協調又は同期すべきである。例えば、Z軸に平行に整列した一連の溝セグメントを、機械加工中、回転するロールに切削する場合、制御システムは、好ましくは、フライカッティングヘッドの切削要素をロールに対して適切に位置決めし、それにより連続する溝セグメントが実際に整列されるようにすることが好ましい。

30

【0028】

一実施形態では、この同期は、ロールに關与する(角度エンコーダのような)位置エンコーダ及びフライカッティングヘッドに關与する別の位置エンコーダを提供することによって実現され得る。現在、インクリメンタルとアブソリュートの、少なくとも2つのタイプのエンコーダが入手可能である。インクリメンタルエンコーダはより安価であり得、例えば、ロール又はフライカッティングヘッドの既知の位置を示すインデックス信号と共に用いるならば、アブソリュートエンコーダと同様に効果的に機能し得る。ロール(又はロールを搭載したスピンドル)に關与するエンコーダ26は、ロールのその回転軸に沿った位置を、所望の溝ピッチ又はロールに機械加工される形状特徴のその他の寸法の数分の1以内の精度で検出するのに十分な解像度を有するべきである。溝ピッチは1つの溝の中央から次の隣接する溝の中央までの距離、又は1つのピークから次の隣接するピークまでの距離であり、他の表面形状特徴についても通常、相応の寸法が計算可能である。一実施形態では、スピンドルの回転位置、フライカッターヘッドの回転位置、及びフライカッタープラットフォームのZ軸は全て調整され、相互に關連した制御を受ける。別の実施形態では、フライカッターは比較的一定の角速度で操作され、スピンドルの回転位置及びフライカッタープラットフォームのZ軸位置のみが制御される。更に別の実施形態では、ロールの回転位置及びフライカッターヘッドの対応する位置が相互に調整され(「電子的に連動

40

50

している」と称されることもある)、これにより、両者の位置は常に同期している。例えば、ロールに溝又はその他の形状特徴をロールの中心軸に対して一定の角度で切削するためなど、必要に応じて、その他の同期法も利用可能である。例えば、制御装置内でソフトウェア、ファームウェア、又はその組み合わせにおいて実装される数値制御技術又は数値制御器(NC)を用いて、種々の構成要素の位置及び速度を制御することができる。

【0029】

工作物がその長手方向軸の周りに回転する円筒状のロールである場合には、この軸に平行な溝又は溝の連続を切削すべく配置されたフライカッティングヘッドは、結果として得られる溝又は溝の連続が実際に平行となるように向きを変える必要が生じ得る。換言すれば、切削要素が、ロールが静止しているときにロールに平行な溝を切削するならば、切削中にロールが回転を許される場合には、(他のパラメータが一定に保たれるとすると)切削要素はわずかに曲がった溝をロールに切削することになる。この効果を相殺する1つの方法は、カッティングヘッドに角度をもたせることで、切削要素が、切削終了時には切削開始時に比べてロールの回転方向に更に進んでいるようにすることである。切削要素は、ロールとほんのわずかな距離で接触しているので、結果は、ロールの回転にかかわらず、ロール表面の溝セグメントはほぼ平行となることができる。他の方法でシステムを構成することによって、同様又は類似の目的を達成することも可能である。例えば、実施はより高価につくかもしれないが、フライカッティングヘッドをロールの中心軸の周りに回転可能とし、これにより、ロールが回転するにつれてヘッドがロールに追従するようにする方法がある。別の実施形態では、切削要素の位置をY軸方向で変化させるアクチュエータを用いて、切削要素の位置を(図示の配置において)鉛直方向に変化させることも可能である。

【0030】

図2は、フライカッティングヘッドをY軸に対して の角度で配置することにより、工作物に、工作物の長手方向軸に対してほぼ45度の角度で形状特徴を形成できるようにした一実施形態を示す。角度 が測定される座標系は任意であり、他の位置又は向きにヘッドが位置決めされ得ることを制限することを意図するものではない。角度 は0~360度の範囲であり得る。一般にフライカッティングヘッドはいずれの軸に対して角度をもたせても、又はいずれの軸の周りに回転させても(又はいずれの軸に対して傾けても)よい。

【0031】

本発明の特徴は、いずれの好適なフライカッティングヘッドとの関連においても、提供され得る。図3及び4に示すフライカッティングヘッド12は、切削要素がヘッドに固定される(例えば、一実施形態では、切削要素が固定され得るカートリッジ32の使用を介して)位置を含む。ヘッドは更に、空気ベアリング114を含み、このベアリングはポート108を含むことができ、ヘッドを駆動するDCモーターなどのモーターに接続している。フライカッティングヘッドに関与する回転エンコーダは、ヘッドを支持する回転シャフト112の回転位置を検知するが、これは、それによって切削要素の位置が、本明細書に記載するように、工作物に対する切削要素の回転位置に同期して動的に制御できるようになることから、有用である。フライカッティングヘッドの他の特性は所望に応じて選択することができる。例えば、より大きな直径のフライカッティングヘッドは、より大きな切削半径に起因して、当然、より小さな直径を有するフライカッティングヘッドによって切削される溝に比べてより平らな底を有する溝の形成に用いることができる。

【0032】

切削要素は単結晶又は多結晶ダイヤモンド、カーバイド、鋼、キュービック窒化ホウ素(CBN)、又は他の任意の好適な材料であってよい。好適なダイヤモンドカッティングチップは、カナダ、ケベック(Quebec)のKYダイヤモンド社(K&Y Diamond Company)から入手可能である。ダイヤモンドなどの切削要素の形状、及び切削要素のためのシャンク又はホルダーの設計は、工作物に所望される表面形状特徴又は効果を得るように特定され得る。切削要素は典型的には交換可能であるが、例えば米国特許出願公開第2003/

10

20

30

40

50

0 2 2 3 8 3 0 号 (ブライアン (Bryan) ら) に記載されるように、1 つを超えるカッティングチップ、又は他の特徴を含んでよく、上記特許の内容は参照により本明細書に組み込まれる。ダイヤモンド製の切削要素は、例えばイオンミリングによるなどしてサブマイクロメートルスケールでミリングすることで、ほとんどあらゆる所望の構成の形状を形成する切削要素を作製することができる。

【0033】

切削要素 16 は、好ましくは切削要素カートリッジ又はキャリア 32 によって保持され、切削要素は (単独で又はカートリッジ若しくはキャリアと共にのいずれかで)、アクチュエータを用いて位置決めされ、又は再位置決めされる。本発明の特定の実施形態においては、切削要素の再配置及び正確な位置決めを促進するためにカートリッジが有用であり得るが、図 3 に示すように、このようなキャリアを用いることなく切削要素をアクチュエータに直接搭載することも可能である。キャリアは、使用される場合には、以下の材料の 1 つ以上によって作製され得る：焼結カーバイド、窒化ケイ素、炭化ケイ素、鋼、チタン、ダイヤモンド、又は合成ダイヤモンド材料。切削要素キャリア 32 のための材料は、剛性であり低質量であることが好ましい。切削要素は、接着剤、ろう付け、はんだ付け、又はその他の方法で切削要素キャリア又はアクチュエータに直接、固定され得る。

【0034】

フライカッティングヘッドによって備えられる 1 つ以上の切削要素の位置、向き、又はその両方を、切削要素が工作物を切削する前、切削している間、又は切削した後に制御するために、少なくとも 1 つのアクチュエータ 28 が提供される。アクチュエータは、切削要素の位置又は向きの変更を生じさせる任意の装置であってよく、高速工具サーボ (F T S) の構成要素であってもよい。高速工具サーボは、典型的にはソリッドステート圧電 (「P Z T」) 素子であって、P Z T スタックと称され、P Z T スタックに取り付けられた切削工具の位置を迅速に調整することができる。P Z T スタックは、サブナノメートルの位置解像度を有するものが入手可能であり、きわめて迅速に反応すると共に、何百万、又は更には何十億というサイクルの後でも実質全く磨耗を呈することがない。高速工具サーボに含まれるものなどのアクチュエータは、アクチュエータが位置のずれを調整できるようにする位置センサーと共に、閉ループ操作で用いてもよいし、位置センサーを使用することなく開ループ操作で用いてもよい。

【0035】

本発明の一実施形態では、アクチュエータは、フライカッティングヘッドに対して切削要素の位置又は向きを定めるために、フライカッティングヘッドと切削要素との間に位置付けられる。他の実施例では、1 つを超えるアクチュエータが提供され、各切削要素に関連付けられることで、切削要素の位置及び向きが、対応する数の方向又は向き、又はその両方について制御可能となる。例えば、図 4 では 1 つのアクチュエータ 28 が切削要素の位置を X 軸に沿って変更し、第 2 のアクチュエータ 28' が切削要素の位置を Z 軸に沿って変更する。

【0036】

有用であることが示されている 1 つのアクチュエータは、カリフォルニア州ハイワード (Hayward) にあるキネティックセラミック社 (Kinetic Ceramics Company) から表記 D 1 C N 10 で、所望により搭載を容易にするためにアクチュエータに貫通孔をあけた状態で入手可能なものなどの、P Z T アクチュエータである。このアクチュエータは、電気信号の変化に応じて長さを変え、その最長移動距離はほぼ 9 マイクロメートルであり、共振周波数はほぼ 25 k H z (工具チップなどのシステムについて) 又は 90 k H z (圧電素子自体について) である。音声コイルアクチュエータ又は磁歪アクチュエータ (現在、アイオワ州エイムズ (Ames) のエトリーマプロダクツ社 (Etrema Products, Inc.) より入手可能な、表記「T e r f e n o l - D」の材料を用いたもの)、又はその他の圧電素子と同様、長い移動距離が望まれる場合には運動増幅 P X T アクチュエータもまた、有用であり得る。用途のために選択された特定のアクチュエータは、変位、周波数応答、剛性、及び回転若しくは屈曲運動など、その用途に所望の運動要件による。

【 0 0 3 7 】

フライカッティングヘッドと共に1つを超える切削要素が用いられる実施形態では、本明細書に記述されるように、1つの、1つを超える、又は全ての切削要素を1つのアクチュエータと共に使用し得る。例えば、1つの固定位置切削要素、及び第2の動的制御可能切削要素を有するフライカッティングヘッドを使用して、固定位置切削要素が工作物からより大量の材料を除去する傾向を有するようにし、動的制御可能切削要素が、固定位置切削要素によって形成された「予備切込み」の内部又は近傍に特定の形状特徴を形成する傾向を有するようにすることが有用であり得る。あるいは、このタイプの一実施形態では、「固定位置」切削要素は、アクチュエータによって動的制御可能なものではあるがその動的制御機能を使用しないということであってもよい。換言すれば、アクチュエータは切削要素の位置を変えることが可能ではあるが、制御システムは、切削要素を固定位置に単純に保持する。また、切削要素は、工作物に接している間、フライカッティングヘッドに対して一定の位置に保持可能であり、その後、切削要素が工作物に接触していない間に、切削要素の位置又は向き、又はその両方が変更されてもよい。

10

【 0 0 3 8 】

アクチュエータは1つを超える信号又は1つを超えるタイプの信号を1つ以上の電線、光ファイバ、又はその他の信号伝送デバイスを通して受信してもよい。アクチュエータはAC又はDC電力を受信して、工具ホルダーの位置又は向きを変えるのに必要な駆動力を生成してもよい。アクチュエータはまた、駆動信号を受信してもよく、この信号は、アクチュエータによってもたらされる位置又は向きの変化に比例し得る。アクチュエータは、アクチュエータの初期状態、位置、又は向きへの復帰を許可し又は行うゼロボルト信号などの基準信号を受信してもよい。最後に、アクチュエータ又は関連するハードウェアは、工具ホルダー又は切削要素の位置又は相対位置に関する情報を供給するフィードバック信号を送信してもよく、例えば、これにより、その後の工具ホルダー又は切削要素の位置又は向きの変更を適切に構成することができる。記載したタイプの信号、又はその他の信号は、専用の電線又は光ファイバを通して送信されてよく、又は適切な場合には単一の電線又は光ファイバ上で多重化されてもよい。本明細書に記載されている電力及び信号、並びに他の必要又は有用な任意の信号の伝送にはまた、静止している構成要素から回転している構成要素へと信号を伝送するために、当該技術分野において既知であるように、スリップリング又はその他の機構の使用が必要となることもある。有用であり得る1つのスリップリングは、カリフォルニア州サウスエルモンテ (South El Monte) のファブリキャスト社 (Fabricast, Inc.) から、製品番号表記 0 9 0 1 4 で入手可能である。電力又は信号、又はその両方を伝送するためのその他の構成要素としては、水銀接点スリップリング、光ファイバ用ロータリージョイント (FORJ)、及び非接触磁気スリップリングが挙げられる。

20

30

【 0 0 3 9 】

本発明の別の実施態様は、アクチュエータに関するヒステリシス効果の存在についての補正に係る。「ヒステリシス効果」という用語は、本発明に関して用いられる場合、アクチュエータ (並びに、ひいては工具ホルダー及びこれに関連する切削要素又はそれに類するもの) が1方向に移動する経路が、始点及び終点が実質同一でありながらも、反対方向に移動する経路と完全に一致しない場合があり得る、ということの意味する。このヒステリシス効果が補正されなければ、実際の形状特徴の形状は、前提とした形状特徴の形状とは異なり、望ましくないことがあり得る。

40

【 0 0 4 0 】

記載されたタイプのシステムにおいてヒステリシス効果を克服する1つの方法は、電荷制御増幅器などの改良型の信号増幅器を用いて、アクチュエータに対して電圧の代わりに電荷を制御することである。この方法は、ヒステリシス効果を10~20倍削減すると考えられている。別の方法は、光子プローブを含むシステムなどのフィードバックシステムを使用してアクチュエータ (又は工具ホルダー若しくは切削要素) の位置又は向きを、移動の両方向において検出し、その情報を使用して、アクチュエータに送信される信号を制

50

御することによってヒステリシス効果を補正することである。これら最初の2つの方法は、共に用いることもできる。第3の方法は、既知のヒステリシス効果を補正するように、アクチュエータに向けられる信号の波形を構成することである。例えば、アクチュエータに、工具ホルダーを既知の距離だけ延出させるために5ボルトの信号を、アクチュエータに、元の位置に戻す（しかしながらヒステリシス効果に起因して異なる経路による）ようにするために0ボルトの信号を送信する代わりに、「行き」と「帰り」の経路が基本的に同一になるように、これらの信号を構成することができる。この方法は工作物に同じ形状特徴が繰り返し形成される場合には、1つの補正波形が繰り返し利用できるのので有効に働くが、一連の形状特徴が異なる場合には、各一連の形状特徴ごとに補正波形を再発生しなければならないので、それほど有効ではないと考えられる。

10

【0041】

アクチュエータへの信号又は電力伝送用の接続は、ライン40及び42で表され、これらは、上述したように例えば電線又は光ファイバであり得るが、これらを通して信号又は電力又はその両方が制御装置からアクチュエータへと、及び、例えば、フィードバックシステムの場合であればアクチュエータから制御装置へと伝達される。PZT効果により、かつ印加される電界のタイプに基づいて、切削要素16の小さくて精密な動きを生じさせることができる。また、アクチュエータ28の端部を1つ以上のベルビル（Belleville）ワッシャーに対して搭載することにより、アクチュエータを予め装着することもできる。ベルビルワッシャーは幾分の可撓性を備え、アクチュエータ及びそれに付された切削要素が動けるようになっている。アクチュエータが複数のPZTスタックを有する場合、別個の増幅器を用いて、スタックに取り付けられた切削工具の動きを独立に制御するのに用いるための各PZTスタックを独立に制御することができる。

20

【0042】

アクチュエータ28はフライカッティングヘッド12に、直接に、又は図3及び4に示すようにカートリッジ32を介して間接に、のいずれかで、しっかりと搭載される。切削要素16の精密な制御運動のために必要とされる安定性を提供すべく、確実な結合が非常に好ましい。本実施例における切削要素16上のダイヤモンドはV字形対称のダイヤモンドであるが、鉛直面を有する45度傾斜ダイヤモンド又はその他のタイプのダイヤモンドも使用され得る。例えば、切削要素は、傾斜ダイヤモンド、非対称V字形ダイヤモンド、又は丸先、平、又は曲面工具であってよい。アクチュエータは、容器から送り出されたオイルなどの冷却流体を受け、この流体をアクチュエータの周囲に循環させ、容器に戻すためのポートを含み得る。

30

【0043】

本発明の特定の実施形態では、使用のために選択されるアクチュエータは、動的制御可能なアクチュエータである。「動的制御可能」という用語及びその変化形は、フライカッティングヘッドを停止させることなしに工具ホルダー（及びこれに伴う任意の切削要素）の位置又は向きを調整することを可能にする、本発明の特徴を指す。好ましい実施形態では、工具ホルダー（及び任意の関連する切削要素）の位置又は向き、又はその両方は、切削要素が工作物を切削している間に変更されてもよく、又は切削要素が工作物を切削していない間に変更され得る。例えば、本発明の動的制御可能なフライカッティングヘッドは、切削要素の有効長をX軸に沿って変化させる電気信号などの信号をアクチュエータが受信したときに、切削要素の効果的な切削経路を調整することができる。動的制御可能なフライカッティングヘッドは、上記に代えて、又はこれに加えて、切削要素の位置をその他の軸に沿って、又は1つ以上の軸の周りに回転的に、又はこれらの1つを超える組み合わせで、変化させてもよい。このことは、切削プロファイルを変更するために、例えばフライカッティングヘッドの停止中にレンチ又はその他の工具を使用することにより、ヘッドの静的調整が行えるだけである他のカッティングヘッドとは対照的である。

40

【0044】

アクチュエータは、アクチュエータを制御するためにコンピュータ数値制御（CNC）信号のセットをアクチュエータに供給する、開ループ制御システムを使用して制御しても

50

よく、又は、回転中に切削要素の位置を検出し、その位置情報を継続的に利用してアクチュエータを制御するのに用いる信号を生成若しくは調節する、閉ループ制御システムを使用して制御してもよい。本明細書に記載したタイプのアクチュエータは、（受信信号に基づいて）シーケンス命令を10kHz又は更には50kHz以上の速度で実行でき、それに応じて、きわめて高い解像度を呈する表面形状特徴、又はフライカッティングシステムで過去には容易に形成されなかった形状特徴を提供するために、切削経路の増分調整を行うことができる。一方、アクチュエータは、0Hz（カッティングチップの位置及び向きが動的に制御されない固定信号の場合）又は0Hzより高い低速信号の実行にも使用され得る。例えば、このシステムにおいて、フライカッティングヘッドは、図6に示すように、切削の第1の部分の間は切削半径を漸減させ、次いで切削の第2の部分の間は切削半径を漸増させることにより、工作物に対してほぼ一定の曲率半径を持つ底を有する溝セグメントを工作物に切削することができる。

10

【0045】

一実施形態では、本発明のフライカッティングヘッドは、切削要素の切削半径を調整する、動的制御可能なアクチュエータを含む。図5において、切削要素16の位置は、フライカッティングヘッドの回転軸に対して変化せず、これに応じて、切削要素は曲線Lで示される切削経路をとる。図5及び6は工作物を図1に示したものに対して90度の角度で切削している切削要素の図であることに注意されたい。しかしながら、動的制御可能なアクチュエータ28が、切削要素が工作物を切削している間に、切削要素16の位置を、好ましくは工作物に対する切削要素の位置の関数として変化させるために、図6に示すように使用される場合、切削要素は、制御可能で予め定めた切削経路をなぞることになる。1つの望ましい予め定めた切削経路は、従来の固定半径又は非動的調整可能なフライカッティング装置によって切削される波形の底の溝セグメントとは対照的に、図6に線Fで示すように実質的に線形の又は平たい底を有する溝を作るものである。

20

【0046】

これまでに提供したいくつかの実施例は、フライカッティングヘッドのX軸に沿う動的調整にかかわるもので、「動的半径制御可能な」フライカッティングとでも呼ばれ得るものであるが、本発明の範囲は半径制御に限定されるものではない。フライカッティングヘッドの回転軸に対して切削要素の半径方向位置を調整するためにアクチュエータを提供できるのと同様に、フライカッティングヘッドに対して他の次元で（Y若しくはZ軸に沿って、回転的に、又はこれらの任意の組み合わせであるとを問わず）、切削要素の位置を調整するためにも、アクチュエータを提供することができる。例えば、切削要素のZ軸制御は、規則的な線形溝がないためにモワレ効果を呈しにくいシートの製造に好適な工具を供給し得る。切削要素の回転制御は、切削要素が対称的でなければ、特定の望ましい形状特徴を工作物に形成する方法として、あるいは、切削要素が対称的であれば、例えば、工具チップ上により均一な磨耗パターンを形成する方法として、有用であり得る。

30

【0047】

システムは1つ以上のエンコーダを含んでよく、フライカッティングシステムに用いられるいくつかの従来のエンコーダにあるように単に速度を測定する目的のためばかりではなく、位置を測定するためにも用いられる。このことは、工作物の位置とフライカッティングヘッドの切削要素の位置とを同期させるのを補助する。具体的には、エンコーダはロールの回転位置、フライカッティングヘッドのヘッド自体の回転軸に対する位置、Z軸などのその他の軸に対するフライカッターヘッドの位置、及びフライカッターをロールに対して移動させるx-テーブルの位置を決定するために提供されてもよい。

40

【0048】

本発明の特定の実施形態におけるフライカッティングヘッドとの関連で有用な1つのエンコーダは、ドイツのハイデンハイン社（Heidenhain Company）から表記ERO-1382、1024ラインカウントで入手可能であり、ヘッドの角度位置を測定するためにフライカッティングヘッド上に配置される。本発明の特定の実施形態における工作物又はロールとの関連で有用なエンコーダは、表記レニショーシグナム（Renishaw Signum）RES

50

M、直径413mm、ラインカウント64,800で、イリノイ州ホフマンエステーツ(Hoffman Estates)のレニショー社(Renishaw Inc.)から入手可能である。用途のために選択される具体的なエンコードは、所望の解像度、フライカッティングヘッド又はその他の構成要素の最大速度、及び最大信号速度による。

【0049】

制御システムもまた、従来のフライカッティングシステムにおけるのと同様に提供されるが、本発明に関しては、制御システムは更に、切削動作を制御するためにアクチュエータに信号を送信し、又はフライカッティングヘッド及び/若しくは工作物の相対位置を示すエンコードからの信号を受信し、又は例えばX-テーブルに關与するモーターに信号を送信することによって工作物に対するカッティングヘッドの位置を同期させ、又はこれら

10

【0050】

本発明の制御システムは、本明細書に記載した結果をもたらすために既知の方法で設計され得るソフトウェア、ファームウェア、又はその両方を使用する。具体的には、ソフトウェアは、個々の溝セグメント又はその他の表面形状特徴のマイクロレベル形状と、工作物における溝セグメント又はその他の形状特徴のマクロレベルパターン(ランダム、準ランダム、又は規則的)との両方を表す波形データファイルを操作者が作製できるようにすることが好ましい。これらのデータファイルはその後、各種のシステム構成要素に伝達されてその動作と、好ましくは工作物に対する切削要素の同期とを制御する。

20

【0051】

各種の構成要素の運動をプログラムし、協調させるために、典型的には、所望のパラメータを入力してデータファイルを作成するためにソフトウェアが用いられ、次に波形生成装置が、作成データファイルを、駆動装置、アクチュエータ、及び必要とされるその他の構成要素に送信される信号に変換する。例えば、ロール速度はほぼ0.001~ほぼ1000回転毎分に設定されてもよく、フライカッティングヘッド速度はほぼ1000~ほぼ100,000回転毎分に設定されてもよい。ほぼ5000回転毎分のフライカッティングヘッド速度が試験されており、高速であれば完成した工作物、例えば微細複製工具の作製に要する時間が短縮されることから、一般的に好ましい。

30

【0052】

工作物の表面に切削される形状特徴の深さは0~150マイクロメートル、又は好ましくは0~35マイクロメートル、又は光学フィルムのための微細複製工具を作製するために更に好ましくは0~15マイクロメートルの範囲であってもよい。これらの範囲は、本発明の範囲を限定することを意図したものではないが、このような工具を使用して製造されるポリマーシートに特定の光学効果を提供するために有用な形状特徴の大きさを代表し得るものである。ロール工作物については、個々の形状特徴のいずれも、その長さは、ロールがその長手方向軸の周りに回転する速度の影響を受ける。ロール運動が高速となるほど、長い形状特徴を形成することは困難となるからである。切削要素が工作物の反対の向きに運動している場合は、切削要素が工作物と同じ向きに運動している場合よりも、長い溝を一般により容易に形成され得る。例えば、本発明のフライカッティングヘッドを用いて円筒状のロールの外周の周りに切削されたネジに近似する形状特徴を形成する場合、形状特徴はほとんどあらゆる長さを有することができる。個別の形状特徴が所望される場合には、それらの長さは、例えば、約1マイクロメートル~数ミリメートルであり得るが、この範囲は本発明の範囲を限定することを意図しない。ネジ切りに関しては、ピッチ、又は隣接する溝の間の距離は、約1~約1000マイクロメートルに設定することができる。形状特徴は、例えば、対称、非対称、プリズム型、及びほぼ楕円体のような任意のタイプの3次元形状を有することができる。工作物の表面上の材料が除去されるのではなく、

40

50

インデント又はその他の方法で変形されることが意図されている実施形態では、変形は、工具ホルダーによって備えられる工具の特性を変化させることによって変えることができる。

【0053】

本発明の別の実施形態では、本発明の動的制御動作特性が工作物の位置と同期されて、格別有益な特定の効果が得られる。すなわち、動的制御可能なアクチュエータを、切削要素の位置にかかわらず固定された命令セットに応じて動作させる代わりに、切削要素の位置がロールの位置と同期される。一実施形態では、ロールの回転位置は、非線形である溝セグメントをロールに作製するために予め定めた範囲内で変化するフライカッティングヘッドのZ軸位置と協調（同期）し、切削要素のX軸位置はフライカッティングヘッドの回転位置と協調する。切削要素のX軸での位置変化はランダム、準ランダム、又は予め定められ得るが、この位置変化によって、変化する深さ（及び場合によっては幅も）を有する溝セグメントが作製され、これにより、ひいては、ポリマーシート又はその工具を用いて調製されるその他の物品の一部に所望のパターンを形成する工具を作製することが可能になる。X軸での位置変化は通常、フライカッティングヘッドの回転位置が切削要素を工作物又はロールに接触させるように位置決めする時に重要であり、その位置は、切削要素がロールに接触している間に、制御システム及びアクチュエータによって所望通り変更され得る。アクチュエータは例えば、比較的長い平底の溝を作製するように切削要素を位置決めするように、命令を受けることができるので、このタイプの切削システムはロール全体に短時間で切削を施すことができる可能性がある。

【0054】

本発明による微細複製工具を形成するためには、円筒状ロールなどの工作物に、所望の表面形状特徴を提供すべく切削が施される。未完成のロールは、その中に構造又はパターンが切削されるべき外層を有し得る。この外層には、ランダム又はその他のパターンが切削された後で、パターンを保護するために、フィルムを正確に形成若しくは容易に剥離できるようにするために、又はその他の有用な機能を果たすために、1つ以上の追加的な層を塗布してもよい。例えば、クロム又は類似の材料の薄層が工具に付与されてもよい。もっとも、このタイプの層は工具の鋭い端部を「丸める」ことがあり、望ましくないこともあり得る。任意の機械加工可能な材料が使用可能である。例えば、工作物はアルミニウム、ニッケル、銅、真鍮、鋼、又はプラスチック（例えばアクリル）で作製され得る。使用すべき具体的な材料は、例えば、機械加工された工作物を用いて製造される様々なフィルムなどの、特定の所望用途に依存し得る。

【0055】

ロールとフライカッティングヘッドは、通常、フライカッティングヘッドの切削要素がロールにロールの片側で接触するように、相互に位置決めされる。ロールは典型的に所望の回転速度で回転可能なスピンドル上に搭載され、フライカッティングヘッドは、ロールに対して上述したような態様で運動するように構成される。本発明の特定の実施形態における切削要素は、切削要素をX、Y、Z軸方向に、回転的に、又はこれらの任意の組み合わせで調整する、動的制御可能なアクチュエータによって位置決めされる。

【0056】

本発明の一実施形態では、フライカッティングヘッドは、単一の実質連続的な溝をロールの長さに沿って切削する間にZ方向に動くように、又は、ロールが静止している間か又は回転している間かのいずれかで1つ以上のその他の形状特徴を形成するように、構成される。ロールが静止している場合には、ロールの長さに沿う単一の経路の完了時に、ロールは間欠送りされ、図7に例示したロール14に50で示したように、隣接する溝又はその他の一連の形状特徴を形成すべく加工が繰り返され得る。別の実施形態では、ロールが一定の角速度で回転され、ヘッドが、Z方向に延在する形状特徴又は溝セグメントをロールの外周に沿ってロールに切削している間、フライカッティングヘッドはZ軸に沿って実質同じ位置に保持される。切削要素の位置が比較的精密に制御可能であることから、ロールの第2の又は次の回転中にロール表面に切削される溝又はその他の形状特徴の位置は、

図 7 に 5 5 で示すように、先行する回転中にロール表面に切削された溝又はその他の形状特徴の位置に合わせることができる。便宜上、形状特徴 5 0 及び 5 5 を同一のロール上に示したが、また、図示したようにいずれの所与の工作物にも異なる形状特徴が提供され得るものではあるが、通常、ロールはその長さにわたって実質同一の形状特徴を有する。

【 0 0 5 7 】

切削要素は磨耗を経験し、磨耗によりロールに切削される形状特徴の性質に微妙な変化が生じることから、ロール又はロール上に形成された工作物の精密な検査により、一連の溝セグメントが上で 1 番目に述べたようにロールの Z 軸に沿って作製されているか、又は 2 番目に述べたように外周に沿って作製されているか、が表されると考えられている。換言すれば、上で 1 番目に記述した Z 軸切削方法を用いた場合、切削要素は、一連の溝のそれぞれを切削するたびに磨耗し、その結果、最初の溝に並んで最後の溝が切削されるときまでに、磨耗した切削要素によって形成されるその最後の溝は、磨耗のない、又は磨耗の少ない切削要素によって形成された最初の溝からは、少なくともミクロスケールでは著しく異なった外観を呈することとなり得る。これは、隣接する 2 つの溝又はその他の形状特徴の間の違いのため、「仮想シーム」とでも呼べるものである。2 番目に上述した外周切削方法を用いて小さな個々の溝セグメントをロールの外周の周りに形成する場合、磨耗のない、又は磨耗の少ない切削要素によって形成される形状特徴はロールの第 1 の端部にあり、磨耗した切削要素によって形成される形状特徴はロールの第 2 の端部に生じることになる。上述したような「仮想シーム」を有するロール及び「端部間」の磨耗パターンを有するロール、並びに、それらの形成方法及びそれらを用いて製造されるシートその他の物品は、全て本発明の範囲内にある。

【 0 0 5 8 】

本発明による微細複製工具は、工具の長手方向軸に平行又は垂直ばかりでなく、その軸に対して特定の角度で延在するほぼ平行の溝を備えるものも有利に形成され得る。例えば、「45度」工具は、ロールの回転軸又は工作物の主軸に対してほぼ 45 度の角度で延在する線形の溝を有する工具を意味し、対応する角度で切り込まれた溝又はシートを製造するのに使用できる。図 2 は Y 軸に対してほぼ 45 度の角度で延在する溝を有する工具の作製を示し、ここでは、フライカッティングヘッドは図 1 に示したものと異なる位置決めシステムを用いて位置決めされる。予め定められたパターンで溝又は形状特徴を工作物に Y 及び Z 軸の両方に対して特定の角度で形成することは、Z 軸に平行に形成することよりも複雑である。これは、上述したいくつかの他の実施形態とは異なり、工作物の回転ごとに次の溝を形成すべくフライカッティングヘッドを単純に Z 方向に一定の距離だけ進ませるものではないため、より複雑である。代わりに、工作物の回転ごとにフライカッティングヘッドの Z 方向走行距離を分析的又は実験的に決定すべきであり、その結果、整理した溝セグメントが所望される場合には、工作物の次の回転において、次の溝セグメントが先行する溝に並ぶ。例えば、ロールの外周の周りに一連の 45 度の溝セグメントが、1 個ずつ、先行のセグメントと比較して Z 方向にわずかに進んで形成される場合には、ロールの回転完了後、第 2 の回転中に形成された溝セグメントは、第 1 の回転中に形成された溝セグメントに平行となるが、必ずしもそれらと端部同士を一致させて並ぶわけではない。この問題の 1 つの解決法は、第 2 の回転中に形成される溝セグメントが第 1 の回転中に形成されるセグメントとその端部同士を合わせて並ぶようにするために、ロールの回転完了後に第 2 の回転中に形成される溝セグメントに調整を加えるべき距離を算出することにある。この距離は、その後、1 回の回転の間に形成される溝セグメントの数によって除され、得られた分数がそれぞれの連続する溝セグメント間のピッチに加えられ、その結果、工作物の 1 回の回転が完全に終了した後に、第 2 の回転中に形成される溝セグメントが第 1 の回転中に形成される溝セグメントに対して所望の距離だけ有効に前進する。これに続く回転においても同様のプロセスを用いることができる。

【 0 0 5 9 】

工具は、工作物に対して任意の角度で配置された線形溝、又は非線形の形状特徴又は更には相互に交差する形状特徴を設けて作製してもよい。プリズム又はその他の微細構造を

ロール又は工作物の表面上に作製するために異なる角度で切削される一連の平行な溝など、他の角度配置もまた可能である。フライカッティングヘッドは例示した軸の1つ以上に対して角度をもってもよく、これに加えて、又はその代わりに、これらの軸の1つ以上の周りに回転してもよく、これによって、切削要素が予め定めた位置又は向きで工作物に当たる。例えば、フライカッティングヘッドは、図1に関してX軸の周りに90度回転することができ、これによってY軸に位置合わせされ、次にY軸の周りに例えば45度の角度で回転することができ、これによって切削要素が工作物に特定の態様で当たる。

【0060】

表面の形状特徴又は微細構造には、あらゆる種類、形状、及び寸法の、物品の表面上の構造、物品の表面へのインデント、又は物品の表面からの隆起が含まれ得る。例えば、本明細書に記載のアクチュエータ及びシステムを使用して形成される微細構造は、1000マイクロメートルピッチ、100マイクロメートルピッチ、1マイクロメートルピッチ、又は更には200ナノメートル付近のサブ光波長ピッチを有することができる。あるいは、他の実施形態においては、微細構造におけるピッチは1000マイクロメートルを超えることができる。これらの寸法は例示することだけを目的とし、本明細書に記載のアクチュエータ及びシステムを使用して作られる形状特徴又は微細構造は、システムを使用して加工可能な範囲内であらゆる寸法を有することができる。

【0061】

大きな又は「マクロ」スケールでは、未完成のロール又はその他の工作物に切削される表面形状特徴は、工作物の長さ、幅、又は外周の周りにわたって断続せずに延在することもある延在しないこともあり得る。例えば、図7における55のように、一連の整列した溝セグメントをロールに切削することで、平坦領域、又はランド領域によって隔てられたピークを有してシートがその上で形成されることになる微細複製工具を得ることができる。形状特徴はロールなどの工作物に、工作物の回転軸（又は対称軸）に対して、例えばそのような軸に対して45度というような特定の角度で切削することができる。複数の形状特徴は、フライカッティングヘッドが順次通過する中で工作物に切削することができ、又は、複数の形状特徴は、1回の通過の間にそれぞれの切削要素の順次通過により工作物に切削することができる（例えば、1つの切削要素によって浅めの溝が切削され次に続く切削要素によって深めの溝が切削される）。

【0062】

ミクロスケールでは、本発明のシステム又はフライカッティングヘッドをプログラムして、「x軸カオス」（切削要素のX軸方向の順次運動がランダムであることを意味する）と名づけられるものを有する個々の溝セグメントを作製することにより、特定の利点を獲得することができる。「チャター」が典型的には、意図せずにシステムによって生成される振動運動で、望ましいものではなく、ユーザーがこれを軽減又は除去しようと努めるようなものと考えられているのに対し、「カオス」は典型的には、その利点のために意図的に導入されるランダムな運動と考えられている。

【0063】

肉眼では一定の形状を有するよう見える特定の溝プロファイルに、精密な検査では実は、ランダム、準ランダム、又は予め定めたものである小規模の形状的变化が提供されていることもある。例えば、アクチュエータに送信される命令又は信号は、切削要素の半径方向制御を提供して、マクロスケールでは平底の溝を提供するようにアクチュエータを制御してよいが、ミクロスケールではこれに加えて、ある程度のX軸カオスを取り入れてもよい。このことは、この方法で作製された微細複製工具上で製造された光学フィルムが、光を再配向若しくは拡散し、欠陥を隠し、又はその他の方法で有利に作用することがあるため、有用であり得る。

【0064】

別の実施形態では、所望される溝又は特徴形状の微細構成全体を作製するために、個々の形状特徴又は溝の「導入」及び「導出」部（時に「テーパイン」及び「テーパアウト」部と称される）を設計することができる。「テーパイン」及び「テーパアウト」

10

20

30

40

50

の角度は、それぞれ、切削チップが工作物に進入する角度及び工作物から離脱する角度である。本明細書に記載されているアクチュエータでは、テーパイン及びテーパアウト部は所望に応じ、鋭く、浅く、又は非線形に作ることができ、更には1つの形状特徴から次の形状特徴へとランダムに、準ランダムに、又は予め定めた様式のいずれかで変化させてもよい。テーパイン及びテーパアウトの角度のために、これらの角度を持つ特徴形状を有する工作物上で製造されたシートは、特徴形状の形成に影響を及ぼすその他の切削パラメータに依存して、ほぼこれらの角度を呈する突起を有する。

【0065】

本発明を用いて製造したシートは、例えば、波形が望ましくない又は許されない用途に有用である平底の溝を含み得る。工具加工プロセスにおいてX軸力オスも導入される場合には、シートのピークは対応したプロファイルを有することになり、これは光発散、欠陥隠蔽、湿潤防止、及びその他の目的に有用となる。

【0066】

微細複製工具がいったん形成されれば、この工具はマスターとして、微細複製シート、フィルム、又は他の物品上のその他の表面効果を作り出すために使用され得る。シートは、本発明によって用意された工具を使用して、ポリマー材料の工具上へのキャストイングと硬化、エンボス加工、押出し加工、圧縮成形、及び射出成形などの方法で製造され得る。一般的にはキャストイングと硬化が好ましく、シートを製造する材料としては、ポリカーボネート及びポリエチレンテレフタレート（PET）が挙げられる。シートは、例えば支持層が1つの材料を含み、溝又はその他の形状特徴が別の材料を含むというように、2以上の層を含んでもよい。本発明の別の実施形態では、工具（マスター工具）の構造は、ポリマー材料のベルト又はウェブなどの他の媒体に、キャストイングと硬化プロセスによって転写されて製造工具を形成することができる。この製造工具は、その後、本明細書に記載しているタイプの微細複製物品を製造するために使用される。この結果、マスター工具の表面に対応した表面を有する物品が得られる。電鍍法などの他の方法を用いてマスター工具を複製することもできる。この複製品は、中間工具と呼ぶことができ、したがって、微細複製物品の製造に用いることができる。

【0067】

ロールの表面、及びその結果このロールを用いて製造したフィルム又はシートにおける形状特徴は肉眼で見えないほどに小さく作ることができる。ロール及び結果として得られるシートの両方における表面形状特徴は慎重に制御できるので、このシートによって伝送、反射、又は屈折される光の動作もまた制御することができ、これは当該技術分野において既知の種々の有益な効果を提供する。

【0068】

図8A、8B、8C及び8Dは、本発明に従って形成され得る溝又は形状特徴のいくつかの代表的な図を示す。図8Aに示す形状特徴は、工作物に切削された個々の溝にほぼ相当するが、一連の連続的な線形溝に近似するように、各溝は先行する溝に合わせて並べられる。図8Bに示す形状特徴は、工作物に切削された個々の溝にほぼ相当するが、各溝は整列しておらず、溝の間にランド領域を持たないことが望ましい場合には、溝の長手方向又は溝の横若しくは側面方向に相互に重なり得る。図8Cに示す形状特徴は、工作物に切削された個々の溝にほぼ相当するが、1つ以上のアクチュエータによって切削要素の位置又は向きに変動、例えばX軸に沿う変動が生じている。最後に、図8Dに示す形状特徴は、工作物に切削された個々の溝にほぼ相当し、一連の連続的な線形溝に近似するように、各溝は先行する溝に合わせて並べられるが、溝は工作物の回転軸に対して45度の方向に延在している。これらの溝はまた、例えば、溝の連続的な底を作製するように、溝の長手方向に相互に重なるように設計してもよく、溝の横若しくは側面方向に相互に重なるように設計してもよい。溝の系統だった、又はランダムなパターンも本発明の教示に沿って提供され得る。

【0069】

本発明の様々な態様は、その前には工作物に何の形状特徴も形成されていないかのよう

に記述されているが、本発明は、工作物に以前に形成された形状特徴に修正、付加、又は補完するためにも使用され得る。その形状特徴は、現在既知の若しくは後に開発される、他のミリング、旋盤加工、若しくはフライカッティング作業、又はその他のいずれの表面形成若しくは変形方法によって形成されたものでもよい。例えば、工作物は、時に、その表面に非常に小さな角錐を有して形成され、入射光を反射できる、角錐を逆にしたもの（キューブコーナー）を有するポリマーシートの形成を容易にし得る。これらの角錐は、フライカッティング装置の3回の順次通過で形成され得るが、それらのいずれか1以上が本発明の態様を含んでよい。本明細書に記載されているフライカッティング作業に続けて、材料を除去し若しくは変形させ、又は表面形状特徴を精緻化するために、追加の切削、ミリング、又はその他の加工を行うことも有用であり得る。

10

【0070】

円筒状の工作物の長手方向軸に対して一定の角度で溝を形成する能力があることは、工具の長手方向軸に平行又は垂直な、実質線形の溝を含む従来の円筒状工具に比較して、有利である。これは、溝がシートの辺に対して45度の角度をなすようにしてシートを使用しようとするユーザーであれば、通常、長手方向又は横方向に延在する溝を有する大きな片のシートから、一定角度でシートをダイカットすることが必要だったからである。この方法では、大きな片のシートの辺付近に著しい無駄を生じる恐れがある。本発明では、シートの辺に対して45度の角度（又はその他の任意の選択角度）で延在する溝を有するシートが工具上で直接形成でき、このシートを使用のためにカットする場合でも、シートの辺に沿った部分の無駄は最小限である。

20

【0071】

本発明のシート（光学フィルムを含む）は、様々な用途に有用である。シートなどの微細複製化構造は、再帰反射式の道路標識及び車両のナンバープレートに、ポータブルコンピュータのディスプレイなどの表示装置で見者へ向けられる光の放射を制御するために、その他の光学フィルムに、研磨若しくは摩擦制御フィルム、粘着フィルムに、（例えば、米国特許第5,360,270号に記載されるような）自己結合プロファイルを有するメカニカルファスナーに、又はほぼ1000マイクロメートル未満の寸法などの比較的小さな寸法の微細複製形状特徴を有する任意の型成形若しくは押出し成形部品に用いられている。

【0072】

30

本発明の他の実施形態では、切削要素は、従来のフライカッティングヘッドとは異なり、フライカッティングヘッドから半径方向に突出する必要はない。代わりに、又は加えて、切削要素はフライカッティングヘッドの回転軸に平行又はほぼ平行に延在し得る。切削要素はアクチュエータによって、上述した様式で制御され、「面カッティング」又は「面フライカッティング」と称される作業で工作物の表面に特定のパターン又は形状特徴を切削するためにも使用され得る。この実施形態においては、切削要素は、通常のフライカッティングの場合のように断続的ではなく実質連続的に工作物と接触状態にある。

【0073】

以上、本発明をそのいくつかの実施形態との関連で記述及び例証してきた。本発明は、これらの実記形態によって限定されるものではなく、以下の特許請求の範囲の条件及びその等価物によってのみ限定されるものである。

40

【図 1】

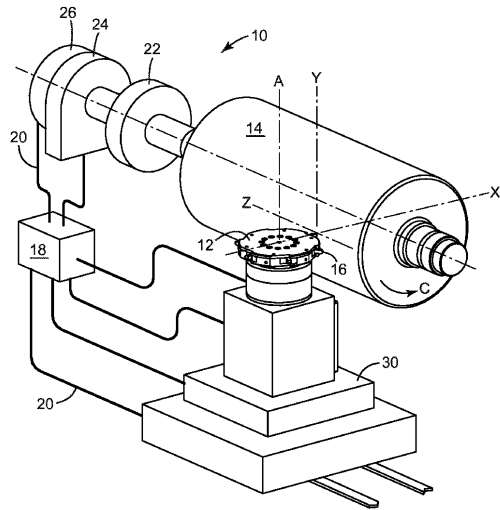


FIG. 1

【図 2】

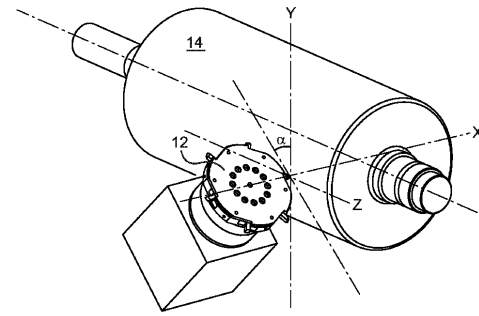


FIG. 2

【図 2A】

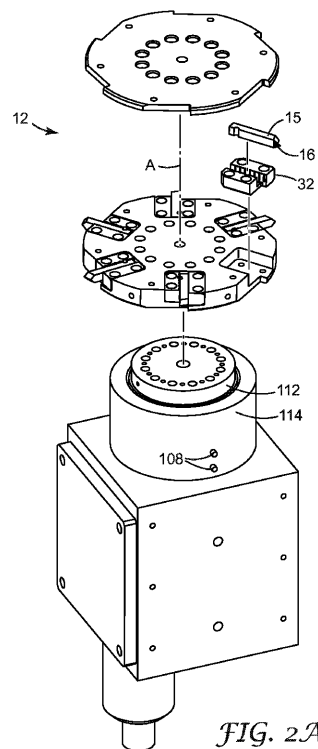


FIG. 2A

【図 3】

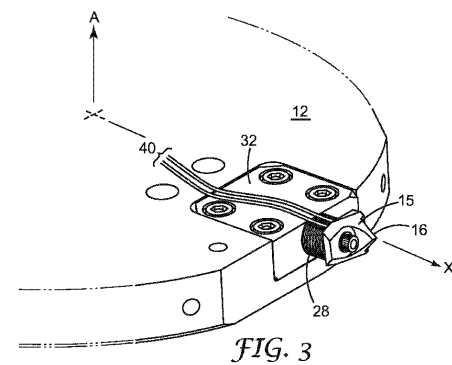


FIG. 3

【図 4】

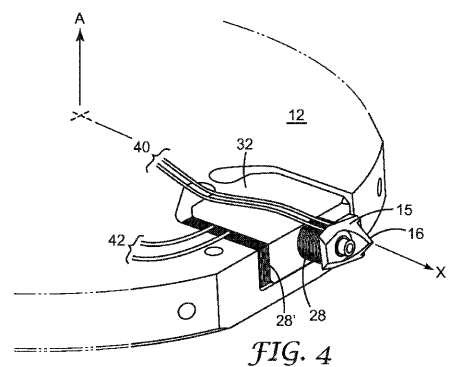
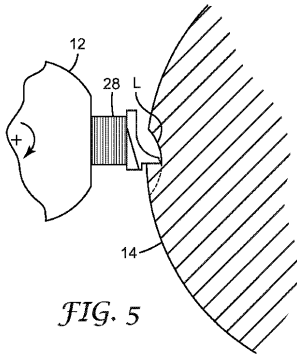
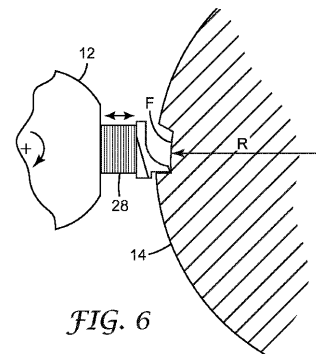


FIG. 4

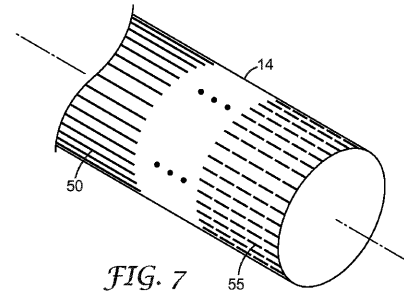
【図 5】



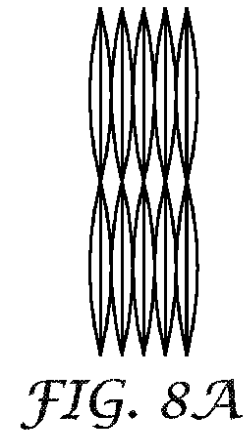
【図 6】



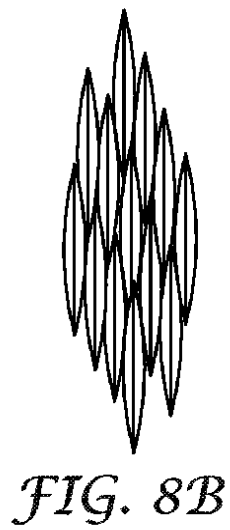
【図 7】



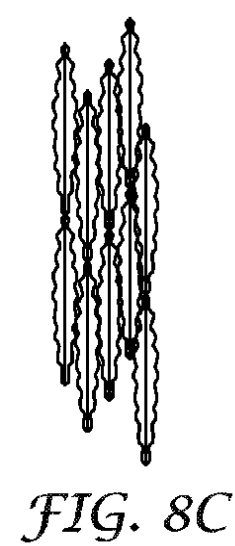
【図 8 A】



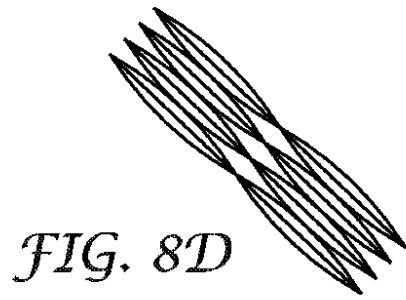
【図 8 B】



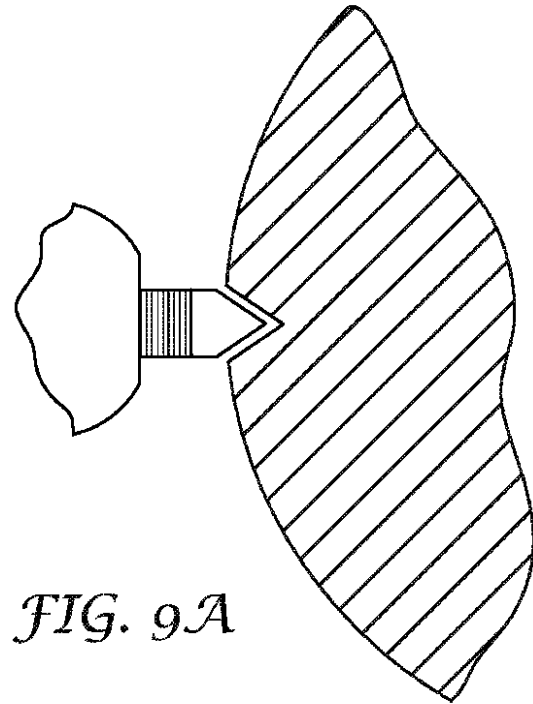
【図 8 C】



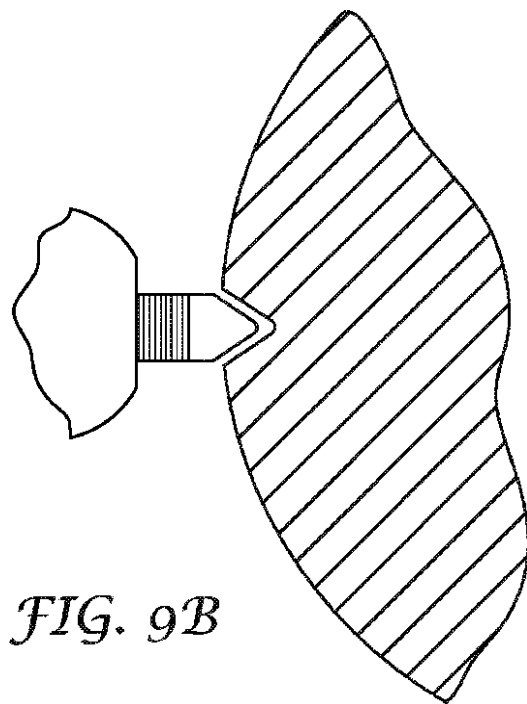
【図 8 D】



【図 9 A】



【図 9 B】



フロントページの続き

(74)代理人 100154380

弁理士 西村 隆一

(74)代理人 100157211

弁理士 前島 一夫

(72)発明者 キャンベル, アラン ビー .

アメリカ合衆国, ミネソタ 55133-3427, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 33427, スリーエム センター

(72)発明者 アーネス, デール エル .

アメリカ合衆国, ミネソタ 55133-3427, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 33427, スリーエム センター

(72)発明者 ウェルツ, ダニエル エス .

アメリカ合衆国, ミネソタ 55133-3427, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 33427, スリーエム センター

審査官 石井 孝明

(56)参考文献 特表2005-537944(JP, A)

特開平04-256501(JP, A)

特開2007-331054(JP, A)

特表2005-527394(JP, A)

特表2002-536702(JP, A)

特開2005-022034(JP, A)

特開2004-098230(JP, A)

特表平11-502327(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23B 29/00 - 29/34