

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6285184号
(P6285184)

(45) 発行日 平成30年2月28日 (2018. 2. 28)

(24) 登録日 平成30年2月9日 (2018. 2. 9)

(51) Int. Cl. F I
G 0 5 B 19/4093 (2006. 01) G O 5 B 19/4093 J
B 2 3 Q 15/00 (2006. 01) B 2 3 Q 15/00 3 O 1 J

請求項の数 17 (全 57 頁)

(21) 出願番号	特願2013-555990 (P2013-555990)	(73) 特許権者	508363960
(86) (22) 出願日	平成24年2月22日 (2012. 2. 22)		ソリッドキャム リミテッド
(65) 公表番号	特表2014-507038 (P2014-507038A)		イスラエル オア イェフダ カプラン
(43) 公表日	平成26年3月20日 (2014. 3. 20)		ストリート 33
(86) 国際出願番号	PCT/IL2012/000087	(74) 代理人	100080791
(87) 国際公開番号	W02012/117391		弁理士 高島 一
(87) 国際公開日	平成24年9月7日 (2012. 9. 7)	(74) 代理人	100125070
審査請求日	平成27年2月16日 (2015. 2. 16)		弁理士 土井 京子
(31) 優先権主張番号	13/036, 726	(74) 代理人	100136629
(32) 優先日	平成23年2月28日 (2011. 2. 28)		弁理士 鎌田 光宣
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100121212
			弁理士 田村 弥栄子
		(74) 代理人	100122688
			弁理士 山本 健二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 コンピューター化された工具経路生成

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成するための、自動化されたコンピューター実施方法であって、当該方法は、次の3つのステップ群のうちの少なくとも1つを有し、該3つのステップ群が：

次に示すステップ群：

トロコイド状の工具経路を利用することによって少なくとも1つの半開放領域を取り除くのに要する第一の機械加工時間が、第二の機械加工時間よりも長いような該少なくとも1つの半開放領域を特定するステップであって、該第二の機械加工時間は、前記少なくとも1つの半開放領域と、該少なくとも1つの半開放領域の閉じた縁部を持った全ての外側境界セグメントとの間の分離用チャンネルを取り除くことによって該領域を隔離しかつ該少なくとも1つの半開放領域の残りを取り除くのに要する加工時間である、前記少なくとも1つの半開放領域を特定するステップ、および

取り除くべき前記少なくとも1つの半開放領域内において、該少なくとも1つの半開放領域と、該少なくとも1つの半開放領域の閉じた縁部を持った全ての外側境界セグメントとの間に少なくとも1つの分離用チャンネルを定めることによって、取り除くべき残りの開放領域を定めるステップ、

次に示すステップ群：

前記被加工物から作製されるべき前記目的物の断面を考慮するステップ、
 島状部として、取り除くべきでない前記被加工物の表面上に、前記断面が隔離された

領域を定めるステップ、

島状部を持たない領域に、収束する螺旋状の工具経路の設定を開始するステップ、および

前記工具経路が島状部に遭遇すると、前記島状部を囲む堀状部を定める堀状の工具経路を設定し、かつ、その後、新たな収束する螺旋状の工具経路に沿って切削を継続するステップ、

次に示すステップ群：

少なくとも1つの開放領域を取り除くのに要する第一の機械加工時間が、第二の機械加工時間よりも長いような、該少なくとも1つの開放領域を特定するステップであって、該第二の機械加工時間は、前記回転切削工具によって2つの独立した領域の間の分離用チャンネルを取り除くことによって該開放領域を該2つの独立した領域へと分割しかつ該2つの独立した領域を取り除くのに要する加工時間である、前記少なくとも1つの開放領域を特定するステップ、および

10

前記少なくとも1つの開放領域内に、該少なくとも1つの開放領域の外側境界の縁部上の2点間で延びる少なくとも1つの分離用チャンネルを定め、それによって該少なくとも1つの開放領域を少なくとも2つの独立した領域へと分割するステップ、
である、前記自動化されたコンピューター実施方法。

【請求項2】

さらに、以下の3つのステップ群のうちの少なくとも1つを有し、該3つのステップ群が：

20

次に示すステップ群：

回転切削工具と前記被加工物との間の最大許容係合角度を選択するステップ、

前記回転切削工具と前記被加工物との間の最小許容係合角度を選択するステップ、および

前記被加工物に対して、前記回転切削工具のための工具経路を設定するステップであって、前記最大許容係合角度と前記最小許容係合角度との間で、前記回転切削工具と前記被加工物との間の係合角度が漸次的に変化する、該設定するステップ、

次に示すステップ群：

前記回転切削工具によって取り除くべき前記被加工物の領域を選択するステップ、および

30

前記被加工物の前記領域内において、前記回転切削工具のための非対称な螺旋状の工具経路を設定するステップであって、該非対称な螺旋状の工具経路が、該非対称な螺旋状の工具経路に沿って移動する回転切削工具によって取り除かれる被加工物の前記領域の部分を最大にする、該設定するステップ、

次に示すステップ群：

前記回転切削工具によって取り除くべき前記被加工物の領域を選択するステップ、

非対称な螺旋状の工具経路によって取り除くべき前記被加工物の前記領域の第一の部分を選択するステップ、および

前記被加工物の前記領域の残りの部分を取り除くための少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定するステップであって、

40

ここで、前記領域の第一の部分を選択することが、前記被加工物の前記領域を取り除くのに要する機械加工時間を最小にするように作用する、前記ステップ、
である、請求項1に記載の、被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化されたコンピューター実施方法。

【請求項3】

前記コンピューター数値制御された機械の特性、前記回転切削工具の特性、および、前記被加工物の材料の特性のうちの、少なくとも1つについての考慮に応じて、前記工具経路を設定することが、下記の事項のうちの少なくとも1つをも含んでおり、該事項が：

他の制約のもとで経時的な前記係合角度の変化率を最小限にすること、

前記係合角度の変化に対応して前記回転切削工具の送り速度を漸次的に変化させるこ

50

と、

前記回転切削工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および

前記目的物を作製するコストを最小にすることであって、該コストは、前記作製の期間中に前記機械を作動させるコストと、前記作製中に前記回転切削工具に加えられる損耗によるコストとの組合せであること、

である、請求項 1 または 2 に記載の、被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化されたコンピューター実施方法。

【請求項 4】

前記工具経路が、複数の工具経路セグメントを有し；

10

前記工具経路の設定が、前記工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを有し；

前記コンピューター数値制御された機械の特性、前記回転切削工具の特性、および、前記被加工物の材料の特性のうちの、少なくとも 1 つについての考慮に応じた、前記工具経路セグメントのそれぞれの設定がまた：

他の制約のもとで経時的な前記係合角度の変化率を最小限にすること；

前記係合角度の変化に対応して前記回転切削工具の送り速度を漸次的に変化させること；および

前記回転切削工具における概しては一定の作業負荷を維持すること

を含む、

20

請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の、被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化されたコンピューター実施方法。

【請求項 5】

前記工具経路セグメントのそれぞれが、複数の工具経路サブセグメントを有し；

前記工具経路セグメントのそれぞれの前記再帰的に設定することが、前記工具経路サブセグメントのそれぞれを再帰的に設定することを有し；

前記コンピューター数値制御された機械の特性、前記回転切削工具の特性、および、前記被加工物の材料の特性のうちの、少なくとも 1 つについての考慮に応じた、前記工具経路サブセグメントのそれぞれの設定がまた：

30

他の制約のもとで経時的な前記係合角度の変化率を最小限にすること；

前記係合角度の変化に対応して前記回転切削工具の送り速度を漸次的に変化させること；および

前記回転切削工具における概しては一定の作業負荷を維持すること

のうちの、少なくとも 1 つを含む、

請求項 4 に記載の、被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化されたコンピューター実施方法。

【請求項 6】

前記非対称な螺旋状の工具経路が、複数の螺旋状の工具経路セグメントを有し；

前記少なくとも 1 つのトロコイド状の工具経路が、複数のトロコイド状の工具経路セグメントを有し；

40

前記非対称な螺旋状の工具経路の設定が、前記螺旋状の工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを有し；

前記少なくとも 1 つのトロコイド状の工具経路の設定が、前記トロコイド状の工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを有する、

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の、被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化されたコンピューター実施方法。

【請求項 7】

さらに、

50

複合領域を定めるステップを有し、該複合領域は、該前記島状部と、前記島状部を囲む前記掘状部と、取り除かれた領域としての前記被加工物からすでに取り除かれた領域とを含むものであり；かつ、

前記被加工物の残りの領域を取り除く工具経路を設定するステップを有し、該残りの領域が前記取り除かれた領域を有さない、

請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の、被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化されたコンピューター実施方法。

【請求項 8】

被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化された、コンピューターによって実行される装置であって、当該装置は、

工具経路設定エンジンを有し、該工具経路設定エンジンは、回転切削工具によって取り除くべき前記被加工物の領域を選択するように作動し、かつ、次の組合せのうちの少なくとも 1 つを行うように作動するものであって、該組合せが：

次に示す事項の組合せ：

トロコイド状の工具経路を利用することによって少なくとも 1 つの半開放領域を取り除くのに要する第一の機械加工時間が、第二の機械加工時間よりも長いような該少なくとも 1 つの半開放領域を特定することであって、該第二の機械加工時間は、前記少なくとも 1 つの半開放領域と、該少なくとも 1 つの半開放領域の閉じた縁部を持った全ての外側境界セグメントとの間の分離用チャンネルを取り除くことによって該少なくとも 1 つの半開放領域を隔離しかつ該少なくとも 1 つの半開放領域の残りを取り除くのに要する加工時間である、前記少なくとも 1 つの半開放領域を特定すること、および

取り除くべき前記少なくとも 1 つの半開放領域内に、該少なくとも 1 つの半開放領域と、該少なくとも 1 つの半開放領域の閉じた縁部を持った全ての外側境界セグメントとの間に少なくとも 1 つの分離用チャンネルを定めることによって、取り除くべき残りの開放領域を定めること、

次に示す事項の組合せ：

前記被加工物から作製される前記目的物の断面を考慮すること、

島状部として、取り除かれるべきでない前記被加工物の表面上に、前記断面が隔離された領域を定めること、

島状部を持たない領域に、収束する螺旋状の工具経路の設定を開始すること、

前記工具経路が島状部に遭遇すると、前記島状部を囲む掘状部を定める掘状の工具経路を設定し、かつ、その後、新たな収束する螺旋状の工具経路に沿って切削を継続すること、

次に示す事項の組合せ：

少なくとも 1 つの開放領域を取り除くのに要する第一の機械加工時間が、第二の機械加工時間よりも長いような、該少なくとも 1 つの開放領域を特定することであって、該第二の機械加工時間は、前記回転切削工具によって 2 つの独立した領域間の分離用チャンネルを取り除くことによって該少なくとも 1 つの開放領域を該 2 つの独立した領域へと分割しかつ該 2 つの独立した領域を取り除くのに要する加工時間である、前記少なくとも 1 つの開放領域を特定すること、

前記少なくとも 1 つの開放領域内に、該少なくとも 1 つの開放領域の外側境界の縁部上の 2 点間で延びる少なくとも 1 つの分離用チャンネルを定め、それによって該少なくとも 1 つの開放領域を少なくとも 2 つの独立した領域に分割すること、である、自動化された、コンピューターによって実行される装置。

【請求項 9】

上記工具経路設定エンジンが、さらに、次の組合せのうちの少なくとも 1 つを行うように作動するものであって、該組合せが：

次に示す事項の組合せ：

10

20

30

40

50

事前に選択された最大許容係合角度と事前に選択された最小許容係合角度との間で、係合角度が漸次的に変化する、前記回転切削工具のための工具経路を、前記被加工物に対して設定すること、

前記被加工物の前記領域内に、前記回転切削工具のための非対称な螺旋状の工具経路を設定することであって、ここで、該螺旋状の工具経路は、前記非対称な螺旋状の工具経路に沿って移動する前記回転切削工具によって取り除かれる前記被加工物の前記領域の部分を最大にするものであること、

次に示す事項の組合せ：

非対称な螺旋状の工具経路によって取り除くべき前記被加工物の前記領域の第一の部分を選択すること、

前記被加工物の前記領域の残りの部分を取り除くための少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定することであって、ここで、前記被加工物の前記領域の前記第一の部分を選択することが、前記被加工物の前記領域を取り除くのに要する機械加工時間を最小にするように働くものであること、

である、請求項8に記載の、被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化された、コンピューターによって実行される装置。

【請求項10】

前記コンピューター数値制御された機械の特性、前記回転切削工具の特性、および、前記被加工物の材料の特性、のうちの、少なくとも1つについての考慮に応じて、前記工具経路を設定することが、前記工具経路セグメントのそれぞれを設定することを有し、下記の事項のうちの少なくとも1つをも含んでおり、該事項が：

他の制約のもとで経時的な前記係合角度の変化率を最小限にすること、

前記係合角度の変化に対応して前記回転切削工具の送り速度を漸次的に変化させること、

前記回転切削工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および

前記目的物を作製するコストを最小にすることであって、該コストは、前記作製の期間中に前記機械を作動させるコストと、前記作製中に前記回転切削工具に加えられる損耗によるコストとの組合せであること、

である、請求項8または9に記載の、被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化された、コンピューターによって実行される装置。

【請求項11】

前記工具経路が、複数の工具経路セグメントを有し；

前記工具経路の設定が、前記工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを有し；

前記コンピューター数値制御された機械の特性、前記回転切削工具の特性、および、前記被加工物の材料の特性のうちの、少なくとも1つについての考慮に応じた、前記工具経路セグメントのそれぞれの前記設定がまた：

他の制約のもとで経時的な前記係合角度の変化率を最小限にすること；

前記係合角度の変化に対応して前記回転切削工具の送り速度を漸次的に変化させること；および

前記回転切削工具における概しては一定の作業負荷を維持することを含む、

請求項8～10のいずれか一項に記載の、被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化された、コンピューターによって実行される装置。

【請求項12】

前記工具経路セグメントのそれぞれが、複数の工具経路サブセグメントを有し；

前記工具経路セグメントのそれぞれの前記再帰的に設定することが、前記工具経路サブ

10

20

30

40

50

セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを有し；

前記コンピューター数値制御された機械の特性、前記回転切削工具の特性、および、前記被加工物の材料の特性のうちの、少なくとも1つについての考慮に応じた、前記工具経路サブセグメントのそれぞれの前記設定がまた；

他の制約のもとで経時的な前記係合角度の変化率を最小限にすること；

前記係合角度の変化に対応して前記回転切削工具の送り速度を漸次的に変化させること；および

前記回転切削工具における概しては一定の作業負荷を維持すること
のうちの、少なくとも1つを含む、

請求項11に記載の、被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化された、コンピューターによって実行される装置。

10

【請求項13】

前記設定エンジンは、また；

複合領域を定めるように作動し、複合領域は、該前記島状部と、前記島状部を囲む前記堀状部と、取り除かれた領域としての前記被加工物からすでに取り除かれた領域とを含むものであり；かつ、

前記被加工物の残りの領域を取り除くための工具経路を設定するように作動し、該残りの領域は前記取り除かれた領域を有さないものである、

請求項8～12のいずれか一項に記載の、被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化された、コンピューターによって実行される装置。

20

【請求項14】

被加工物から目的物を作製するための、自動化された、コンピューター制御された機械であって、当該機械は、

制御装置を有し、該制御装置は、回転切削工具によって取り除くべき前記被加工物の領域を選択するように作動し、かつ、次の組合せのうちの少なくとも1つを行うように作動するものであって、該組合せが；

次に示す事項の組合せ；

トロコイド状の工具経路を利用することによって少なくとも1つの半開放領域を取り除くのに要する第一の機械加工時間が、第二の機械加工時間よりも長いような該少なくとも1つの半開放領域を特定することであって、該第二の機械加工時間は、前記少なくとも1つの半開放領域と、該少なくとも1つの半開放領域の閉じた縁部を持った全ての外側境界セグメントとの間の分離用チャンネルを取り除くことによって前記少なくとも1つの半開放領域を隔離しかつ該少なくとも1つの半開放領域の残りを取り除くのに要する加工時間である、前記少なくとも1つの半開放領域を特定すること、

30

取り除くべき前記少なくとも1つの半開放領域内において、該少なくとも1つの半開放領域と、該少なくとも1つの半開放領域の閉じた縁部を持った全ての外側境界セグメントとの間に少なくとも1つの分離用チャンネルを定めることによって、取り除くべき残りの開放領域を定めること、

40

次に示す事項の組合せ；

前記被加工物から作製される前記目的物の断面を考慮すること、

島状部として、取り除くべきでない前記被加工物の表面上に、前記断面が隔離された領域を定めること、

島状部を持たない領域に、収束する螺旋状の工具経路の設定を開始すること、および前記工具経路が島状部に遭遇すると、前記島状部を囲む堀状部を定める堀状の工具経路を設定し、かつ、その後、新たな収束する螺旋状の工具経路に沿って切削を継続すること、

次に示す事項の組合せ；

少なくとも1つの開放領域を取り除くのに要する第一の機械加工時間が、第二の機械

50

加工時間よりも長いような該少なくとも1つの開放領域を特定することであって、該第二の機械加工時間は、前記回転切削工具によって2つの独立した領域の間の分離用チャンネルを取り除くことによって該少なくとも1つの開放領域を該2つの独立した領域へと分割しかつ該2つの独立した領域を取り除くのに要する加工時間である、前記少なくとも1つの開放領域を特定すること、および

前記少なくとも1つの開放領域内に、該少なくとも1つの開放領域の外側境界の縁部上の2点間で延びる少なくとも1つの分離用チャンネルを定め、それによって該少なくとも1つの開放領域を少なくとも2つの独立した領域へと分割すること、である、前記自動化された、コンピューター制御された機械。

【請求項15】

上記制御装置が、さらに、次の組合せのうちの少なくとも1つを行うように作動するものであること、該組合せが：

次に示す事項の組合せ：

前記被加工物の前記領域内に、非対称な螺旋状の工具経路に沿って、前記回転切削工具を移動させることであって、ここで、該螺旋状の工具経路は、前記非対称な螺旋状の工具経路に沿って移動する前記回転切削工具によって取り除かれる前記被加工物の前記領域の部分を最大にするものであること、

前記被加工物に対して、工具経路に沿って前記回転切削工具を移動させることであって、ここで、事前に選択された最大許容係合角度と事前に選択された最小許容係合角度との間で、前記回転切削工具と前記被加工物との間の係合角度が漸次的に変化すること、

次に示す事項の組合せ：

非対称な螺旋状の工具経路によって取り除くべき前記領域の第一の部分を選択すること、および

前記被加工物の前記領域の残りの部分内に、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路に沿って、前記回転切削工具を移動させることであって、ここで、前記領域の第一の部分を選択することが、前記領域を取り除くのに要する機械加工時間を最小にするように作用するものであること、

である、請求項14に記載の、被加工物から目的物を作製するための、自動化された、コンピューター制御された機械。

【請求項16】

コンピューター制御された機械工具を利用した、被加工物を機械加工する方法であって、当該方法は：

回転切削工具によって取り除くべき前記被加工物の領域を選択することを有し、かつ、以下の事項の組合せのうちの少なくとも1つを有し、該事項の組合せが：

次に示す事項の組合せ：

トロコイド状の工具経路を利用することによって少なくとも1つの半開放領域を取り除くのに要する第一の機械加工時間が、第二の機械加工時間よりも長いような該少なくとも1つの半開放領域を特定することであって、該第二の機械加工時間は、前記少なくとも1つの半開放領域と、該少なくとも1つの半開放領域の閉じた縁部を持った全ての外側境界セグメントとの間の分離用チャンネルを取り除くことによって前記少なくとも1つの半開放領域を隔離しかつ該少なくとも1つの半開放領域の残りを取り除くのに要する加工時間である、前記該少なくとも1つの半開放領域を特定すること、

取り除くべき前記少なくとも1つの半開放領域内において、該少なくとも1つの半開放領域と、該少なくとも1つの半開放領域の閉じた縁部を持った全ての外側境界セグメントとの間に少なくとも1つの分離用チャンネルを定めることによって、取り除くべき残りの開放領域を定めること、

次に示す事項の組合せ：

前記被加工物から作製される前記目的物の断面を考慮すること、

島状部として、取り除くべきでない前記被加工物の表面上に、前記断面の隔離された領域を定めること、

10

20

30

40

50

島状部を持たない領域に、収束する螺旋状の工具経路の設定を開始すること、および

前記工具経路が島状部に遭遇すると、前記島状部を囲む堀状部を定める堀状の工具経路を設定し、かつ、その後、新たな収束する螺旋状の工具経路に沿って切削を継続すること、

次に示す事項の組合せ：

少なくとも1つの開放領域を取り除くのに要する第一の機械加工時間が、第二の機械加工時間よりも長いような、該少なくとも1つの開放領域を特定することであって、該第二の機械加工時間は、前記回転切削工具によって2つの独立した領域の間の分離用チャンネルを取り除くことによって該少なくとも1つの開放領域を該2つの独立した領域へと分割しかつ該2つの独立した領域を取り除くのに要する加工時間である、前記少なくとも1つの開放領域を特定すること、および

前記少なくとも1つの開放領域内に、該少なくとも1つの開放領域の外側境界の縁部上の2点間で延びる少なくとも1つの分離用チャンネルを定め、それによって該少なくとも1つの開放領域を少なくとも2つの独立した領域へと分割すること、である、前記被加工物を機械加工する方法。

【請求項17】

さらに、以下のステップおよび事項の組合せのうち少なくとも1つを有し、該ステップおよび事項の組合せが：

前記被加工物の前記領域内に、非対称な螺旋状の工具経路に沿って、前記回転切削工具を移動させるステップであって、ここで、該螺旋状の工具経路は、前記非対称な螺旋状の工具経路に沿って移動する前記回転切削工具によって取り除かれる前記被加工物の前記領域の部分を最大にするものである、前記ステップ、

工具経路に沿って前記回転切削工具を移動させるステップであって、ここで、事前に選択された最大許容係合角度と事前に選択された最小許容係合角度との間で、前記回転切削工具と前記被加工物との間の係合角度が漸次的に変化する、前記ステップ、

次に示す事項の組合せ：

非対称な螺旋状の工具経路によって取り除くべき前記領域の第一の部分を選択すること、

前記領域の残りの部分内に、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路に沿って、前記回転切削工具を移動させること、

ここで、前記領域の前記第一の部分を選択することは、前記領域を取り除くのに要する機械加工時間を最小にするよう作用するものであること、

である、
請求項16に記載の、コンピューター制御された機械工具を利用した、被加工物を機械加工する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、自動化された工具経路(tool path)設計およびコンピューター制御された機械加工(マシニング)のシステムおよび方法、ならびに、それらによって製造される製品に関する。

【背景技術】

【0002】

以下の刊行物は、当該技術分野の現在の技術水準を表していると考えられ、参照することによって本文に組み入れられる：

米国特許第：4,745,558号；4,907,164号；5,363,308号；6,363,298号；6,447,223号；6,591,158号；7,451,013号；7,577,490号、および、7,831,332号；ならびに

米国公開特許出願番号第：2005/0256604号。

【発明の概要】

【0003】

本発明は、自動化された工具経路設計およびコンピューター制御された機械加工のためのシステムおよび方法、ならびにそれらによって製造される製品を提供しようとするものである。

【0004】

よって、本発明の好ましい実施形態に従って、被加工物(workpiece)から目的物(object)を作製するために、コンピューター数値制御された機械(computer numerically controlled machine)を制御するコマンドを生成する、自動化されたコンピューター実施方法(computer-implemented method、コンピューターで実施される方法)が提供される。当該方法は、回転切削工具(rotating cutting tool、回転する切削工具)と被加工物との間で最大許容係合角度を選択するステップを含み、回転切削工具と被加工物との間の最小許容係合角度を選択するステップを含み、かつ、被加工物に対する工具のための工具経路を設定するステップを含み、該工具経路を設定するステップでは、最大許容係合角度から該最小許容係合角度までの間で係合角度が漸次的に(gradually、次第に)変化するものである。

10

【0005】

本発明の好ましい実施形態によれば、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、前記設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定(constant)の作業負荷を維持すること、および、目的物を作製するコストを最小にすることを含む。ここで、該コストは、作製の期間中に機械を作動させるコストと、作製中に工具に加えられる損耗(wear inflicted)によるコストとの組合せである。

20

【0006】

好ましくは、工具経路は、複数の工具経路セグメント(tool path segments、工具経路の一区切り部分)を含み、工具経路を設定することは、工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に(recursively、繰り返して)設定することを含む。ここでは、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路セグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷(work load)を維持すること、および、工具経路セグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

30

【0007】

加えて、工具経路セグメントのそれぞれは、複数の工具経路サブセグメント(tool path subsegments、工具経路の一区切り部分の一部)を含み、工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することは、工具経路サブセグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここでは、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路サブセグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路サブセグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

40

【0008】

本発明の他の好ましい実施形態に従って、コンピューター制御された機械工具(machine tool、マシンツール)を利用した、被加工物を機械加工する方法がまた提供される。当該方法は、工具を工具経路に沿って移動させることを含み、工具と被加工物との間の係合角

50

度が、事前に選択された最大許容係合角度と事前に選択された最小許容係合角度との間で漸次的に変化する。

【0009】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化された、コンピューターによって実行される装置がさらに提供される。当該装置は、被加工物に対して工具のための工具経路を設定するように作動する工具経路設定エンジンを含み、事前に選択された最大許容係合角度と事前に選択された最小許容係合角度との間で、係合角度が漸次的に変化する。

【0010】

好ましくは、前記設定することは、他の制約(constraints)のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすることを含む。好ましくは、前記設定することはまた、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させることを含む。好ましくは、前記設定することはまた、工具における概しては一定の作業負荷を維持するよう作用する。好ましくは、前記設定することはまた、目的物を作製するコストを最小限にするよう作用する。ここでは、該コストは、作製の期間中に機械を作動させるコストと、作製中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。本段落で参照される好ましい特徴はまた、本発明のあらゆる適切な請求される実施形態に適用できる。

【0011】

好ましくは、工具経路は、複数の工具経路セグメントを含み、工具経路を設定することは、工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここでは、工具経路セグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路セグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。本段落で参照される好ましい特徴はまた、本発明のあらゆる適切な請求される実施形態に適用できる。

【0012】

好ましくは、工具経路セグメントのそれぞれが、複数の工具経路サブセグメントを含み、工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することは、工具経路サブセグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここでは、工具経路サブセグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路サブセグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。本段落で参照される好ましい特徴はまた、本発明のあらゆる適切な請求される実施形態に適用できる。

【0013】

好ましくは、前記設定することはまた、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうち少なくとも1つを斟酌することを含む。本段落で参照される好ましい特徴はまた、本発明のあらゆる適切な請求される実施形態に適用できる。

【0014】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、被加工物から目的物を作製するための自動化されたコンピューター制御された機械がまたさらに提供される。当該機械は、被加工物に対して工具経路に沿って回転切削工具を移動させるように作動する制御装置を含み、工具と被加工物との間の係合角度が、事前に選択された最大許容係合角度と、事前に選択された最小許容係合角度との間で、漸次的に変化する。

10

20

30

40

50

【0015】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、コンピューター制御された機械工具を用いて、工具経路に沿って回転切削工具を移動させることによって機械加工された被加工物から作製された目的物が、またさらに提供され、回転切削工具と被加工物との間の係合角度が、事前に選択された最大許容係合角度と、事前に選択された最小許容係合角度との間で、漸次的に変化する。

【0016】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化されたコンピューター実施方法が、またさらに提供される。当該方法は、回転切削工具によって取り除かれる被加工物の領域を選択するステップ、被加工物の領域において回転切削工具のための非対称な螺旋状(asymmetric spiral、非対称な渦巻線状)の工具経路を設定するステップを含み、該非対称な螺旋状の工具経路は、該非対称な螺旋状の工具経路に沿って移動する回転切削工具によって取り除かれる被加工物の領域の部分を最大にする。

10

【0017】

好ましくは、当該方法はまた、回転切削工具のための少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を、該トロコイド状の工具経路に沿って移動する工具によって取り除かれる被加工物の領域の残りの部分において設定することを含む。

【0018】

好ましくは、当該方法は、また、回転切削工具と被加工物との間の最大許容係合角度を選択することを含み、回転切削工具と被加工物との間の最小許容係合角度を選択することを含み、かつ、最大許容係合角度と最小許容係合角度との間で係合角度が漸次的に変化するように、被加工物に対して、非対称な螺旋状の工具経路および少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定することを含む。

20

【0019】

好ましくは、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、前記設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、目的物を作製するコストを最小にすることを含む。ここでは、該コストは、作製の期間中に機械を作動させるコストと、作製中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

30

【0020】

好ましくは、非対称な螺旋状の工具経路は、複数の螺旋状の工具経路セグメントを含み、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路は、複数のトロコイド状の工具経路セグメントを含み、非対称な螺旋状の工具経路を設定することは、螺旋状の工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含み、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定することが、トロコイド状の工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここでは、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路セグメントのそれぞれを設定することがまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路セグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

40

【0021】

加えて、工具経路セグメントのそれぞれが、複数の工具経路サブセグメントを含み、工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することが、工具経路サブセグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここでは、コンピューター数値制御された機械、回

50

転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路サブセグメントのそれぞれを設定することがまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路サブセグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

【0022】

好ましくは、非対称な螺旋状の工具経路は、収束する螺旋状の工具経路および発散する螺旋状の工具経路のうちの1つである。

10

【0023】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、コンピューター制御された機械工具を利用した、被加工物を機械加工する方法がまたさらに提供される。該方法は、回転切削工具によって取り除かれるべき被加工物の領域を選択すること、および、被加工物の領域において非対称な螺旋状の工具経路に沿って工具を移動させることを含む。該非対称な螺旋状の工具経路は、非対称な螺旋状の工具経路に沿って移動する回転切削工具によって取り除かれる被加工物の領域の部分を最大にする。好ましくは、該方法はまた、トロコイド状の工具経路に沿って移動する工具によって取り除かれる被加工物の領域の残りの部分において、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路に沿って回転切削工具を移動させることを含む。

20

【0024】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化された、コンピューターによって実行される装置がまたさらに提供される。当該装置は、回転切削工具によって取り除かれるべき被加工物の領域を選択するように作動し、かつ、被加工物の領域において、回転切削工具のための非対称な螺旋状の工具経路を設定するように作動する工具経路設定エンジンを含み、該螺旋状の工具経路は、該非対称な螺旋状の工具経路に沿って移動する回転切削工具によって取り除かれる被加工物の領域の部分を最大にする。

【0025】

好ましくは、工具経路設定エンジンはまた、トロコイド状の工具経路に沿って移動する工具によって取り除かれる被加工物の領域の残りの部分において、回転切削工具のための少なくとも1つの該トロコイド状の工具経路を設定するように作動する。

30

【0026】

好ましくは、前記設定することは、回転切削工具と被加工物との間の最大許容係合角度を選択することを含み、回転切削工具と被加工物との間の最小許容係合角度を選択することを含み、かつ、最大許容係合角度と最小許容係合角度との間で係合角度が漸次的に変化するように、被加工物に対して、非対称な螺旋状の工具経路および少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定することを含む。

【0027】

好ましくは、前記設定することは、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすることを含む。好ましくは、前記設定することはまた、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させることを含む。好ましくは、前記設定することはまた、工具における概しては一定の作業負荷を維持するよう作用する。好ましくは、前記設定することはまた、目的物を作製するコストを最小にするよう作用する。ここでは、該コストは、作製の期間中に機械を作動させるコストと、作製中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

40

【0028】

好ましくは、非対称な螺旋状の工具経路は、複数の螺旋状の工具経路セグメントを含み、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路は、複数のトロコイド状の工具経路セグメントを含み、非対称な螺旋状の工具経路を設定することは、螺旋状の工具経路セグメントの

50

それぞれを再帰的に設定することを含み、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定することは、トロコイド状の工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここでは、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路セグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路セグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

10

【0029】

加えて、工具経路セグメントのそれぞれが、複数の工具経路サブセグメントを含み、工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することは、工具経路サブセグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここでは、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路サブセグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路サブセグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

20

【0030】

好ましくは、非対称な螺旋状の工具経路は、収束する螺旋状の工具経路および発散する螺旋状の工具経路のうちの1つである。

【0031】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、被加工物から目的物を作製するための自動化されたコンピューター制御された機械がまたさらに提供される。当該機械は、回転切削工具によって取り除かれるべき被加工物の領域を選択するように作動し、被加工物において非対称な螺旋状の工具経路に沿って回転切削工具を移動させるように作動する制御装置を含み、該螺旋状の工具経路は、非対称な螺旋状の工具経路に沿って移動する回転切削工具によって取り除かれる被加工物の領域の部分を最大にする。

30

【0032】

好ましくは、制御装置はまた、トロコイド状の工具経路に沿って移動する工具によって取り除かれる被加工物の領域の残りの部分において、少なくとも1つの該トロコイド状の工具経路に沿って回転切削工具を移動させるように作動する。

【0033】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、コンピューター制御された機械工具を用いて機械加工された、被加工物から作製された目的物がまたさらに提供され、該機械加工は、回転切削工具によって取り除かれるべき被加工物の領域を選択することによって、および、被加工物の領域において非対称な螺旋状の工具経路に沿って回転切削工具を移動させることによってなされ、該螺旋状の工具経路は、非対称な螺旋状の工具経路に沿って移動する回転切削工具によって取り除かれる被加工物の領域の部分を最大にする。

40

【0034】

好ましくは、トロコイド状の工具経路に沿って移動する工具によって取り除かれる被加工物の領域の残りの部分において、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路に沿って回転切削工具を移動させることによって、目的物が作成される。

【0035】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化された、コンピューター実施方法がまたさらに提供される。当該方法は、回転切削工具によって取り除

50

かれるべき被加工物の領域を選択するステップ、非対称な螺旋状の工具経路によって取り除かれるべき領域の第一の部分を選択するステップ、および、該領域の残りの部分を取り除くための少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定するステップを含み、該領域の第一の部分を選択することが、該領域を取り除くのに要する機械加工時間を最小にするよう作用する。

【0036】

好ましくは、当該方法はまた、工具と被加工物との間の最大許容係合角度を選択することを含み、工具と被加工物との間の最小許容係合角度を選択することを含み、かつ、最大許容係合角度と最小許容係合角度との間で係合角度が漸次的に変化するように、被加工物に対して、非対称な螺旋状の工具経路および少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定することを含む。

10

【0037】

好ましくは、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、前記設定することがまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、目的物を作製するコストを最小にすることを含む。ここで、該コストは、作製の期間中に機械を作動させるコストと、作製中に工具に加えらるる損耗によるコストとの組合せである。

【0038】

好ましくは、非対称な螺旋状の工具経路は、複数の螺旋状の工具経路セグメントを含み、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路は、複数のトロコイド状の工具経路セグメントを含み、非対称な螺旋状の工具経路を設定することは、螺旋状の工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含み、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定することは、トロコイド状の工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここでは、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路セグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路セグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えらるる損耗によるコストとの組合せである。

20

30

【0039】

好ましくは、工具経路セグメントのそれぞれが、複数の工具経路サブセグメントを含み、工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することは、工具経路サブセグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここで、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路サブセグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路サブセグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えらるる損耗によるコストとの組合せである。

40

【0040】

好ましくは、非対称な螺旋状の工具経路は、収束する螺旋状の工具経路および発散する螺旋状の工具経路のうちの1つである。

【0041】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、コンピューター制御された機械工具を利用した、被加工物を機械加工する方法がまたさらに提供される。当該方法は、回転切削工

50

具によって取り除かれるべき被加工物の領域を選択すること、非対称な螺旋状の工具経路によって取り除かれるべき領域の第一の部分を選択すること、および、被加工物の領域の残りの部分において、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路に沿って、工具を移動させることを含み、該領域の第一の部分を選択することが、該領域を取り除くのに要する機械加工時間を最小にするよう作用するものである。

【0042】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化された、コンピューターによって実行される装置がまたさらに提供される。該装置は、回転切削工具によって取り除かれるべき被加工物の領域を選択するように作動し、非対称な螺旋状の工具経路によって取り除かれるべき領域の第一の部分を選択するように作動し、該領域の残りの部分を取り除くための少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定するように作動する工具経路設定エンジンを含み、該領域の第一の部分を選択することは、該領域を取り除くのに要する機械加工時間を最小にするよう作用する。

10

【0043】

好ましくは、前記設定することが、回転切削工具と被加工物との間の最大許容係合角度を選択することを含み、回転切削工具と被加工物との間の最小許容係合角度を選択することを含み、かつ、最大許容係合角度と最小許容係合角度との間で係合角度が漸次的に変化するように、被加工物に対して、非対称な螺旋状の工具経路および少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定することを含む。

20

【0044】

好ましくは、前記設定することは、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすることを含む。好ましくは、前記設定することはまた、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させることを含む。好ましくは、前記設定することはまた、工具における概しては一定の作業負荷を維持するよう作用する。好ましくは、前記設定することはまた、目的物を作製するコストを最小にするよう作用する。ここで、該コストは、作製の期間中に機械を作動させるコストと、作製中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

【0045】

好ましくは、非対称な螺旋状の工具経路は、複数の螺旋状の工具経路セグメントを含み、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路は、複数のトロコイド状の工具経路セグメントを含み、非対称な螺旋状の工具経路を設定することは、螺旋状の工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含み、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定することは、トロコイド状の工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここで、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路セグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路セグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

30

40

【0046】

加えて、工具経路セグメントのそれぞれが、複数の工具経路サブセグメントを含み、工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することは、工具経路サブセグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここで、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路サブセグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、お

50

よび、工具経路サブセグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

【0047】

好ましくは、非対称な螺旋状の工具経路は、収束する螺旋状の工具経路および発散する螺旋状の工具経路のうちの1つである。

【0048】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、被加工物から目的物を作製するための自動化されたコンピューター制御された機械が、またさらに提供される。当該機械は、回転切削工具によって取り除かれるべき被加工物の領域を選択するように作動し、非対称な螺旋状の工具経路によって取り除かれるべき領域の第一の部分を選択するように作動し、被加工物の領域において、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路に沿って回転切削工具を移動させるように作動する制御装置を含み、該領域の第一の部分を選択することは、該領域を取り除くのに要する機械加工時間を最小にするよう作用する。

10

【0049】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、コンピューター制御された機械工具を用いて、回転切削工具によって取り除かれるべき被加工物の領域を選択すること、非対称な螺旋状の工具経路によって取り除かれるべき領域の第一の部分を選択すること、および、被加工物の領域において、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路に沿って回転切削工具を移動させることによって、機械加工される被加工物から作製される目的物がまたさらに提供される。ここで、該領域の第一の部分を選択することは、該領域を取り除くのに要する機械加工時間を最小にするよう作用する。

20

【0050】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、目的物に含まれるべきでない被加工物の部分を取り除くことによって被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化されたコンピューター実施方法がまたさらに提供される。当該方法は、被加工物から作製されるべき所望の目的物の断面を斟酌するステップ、島状部(islands)として取り除くべきでない被加工物表面上に断面の隔離(isolate)された領域を定めるステップ、島状部を持たない領域において工具経路の設定を開始するステップ、および、工具経路が島状部に遭遇すると、該島状部を囲む堀状部(moat、環状凹部)を定める堀状の工具経路を設定するステップを含む。

30

【0051】

好ましくは、当該方法はまた、島状部、該島状部を囲む堀状部、および、取り除かれた領域として被加工物からすでに取り除かれた領域を含む複合領域を定めること、ならびに、被加工物の残りの部分を取り除くための工具経路を設定することを含み、該残りの領域は、取り除かれた領域を含まない。

【0052】

好ましくは、当該方法はまた、工具と被加工物との間の最大許容係合角度を選択することを含み、工具と被加工物との間の最小許容係合角度を選択することを含み、かつ、最大許容係合角度と最小許容係合角度との間で係合角度が漸次的に変化するように、被加工物に対して堀状の工具経路を設定することを含む。

40

【0053】

好ましくは、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、前記設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、目的物を作製するコストを最小にすることを含む。ここで、該コストは、作製の期間中に機械を作動させるコストと、作製中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

【0054】

50

加えて、工具経路は、複数の工具経路セグメントを含み、工具経路を設定することは、工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここで、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路セグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路セグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

【0055】

加えて、工具経路セグメントのそれぞれが、複数の工具経路サブセグメントを含み、工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することは、工具経路サブセグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここで、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路サブセグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路サブセグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

【0056】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、コンピューター制御された機械工具を利用した、被加工物を機械加工する方法がまたさらに提供される。該方法は、被加工物から作製されるべき所望の目的物の断面を斟酌すること、島状部として取り除くべきでない被加工物表面上に断面の隔離された領域を定めること、島状部を持たない領域において工具経路に沿って工具を最初に移動させること、および、工具経路が島状部に遭遇すると、島状部を囲む堀状部を定める堀状の工具経路に沿って工具を移動させることを含む。

【0057】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化された、コンピューターによって実行される装置がまたさらに提供される。該装置は、被加工物から作製されるべき所望の目的物の断面を斟酌するように作動し、島状部として取り除くべきでない被加工物表面上に断面の隔離された領域を定めるように作動し、島状部を持たない領域において工具経路の設定を開始するように作動し、工具経路が島状部に遭遇すると、島状部を囲む堀状部を定める堀状の工具経路を設定するように作動する工具経路設定エンジンを含む。

【0058】

好ましくは、該設定エンジンはまた、島状部、該島状部を囲む堀状部、および、取り除かれた領域として被加工物からすでに取り除かれた領域を含む複合領域を定めるように作動し、被加工物の残りの領域を取り除くための工具経路を設定するように作動し、該残りの領域は、取り除かれた領域を含まない。

【0059】

好ましくは、該設定エンジンはまた、工具と被加工物との間の最大許容係合角度を選択するように作動し、工具と被加工物との間の最小許容係合角度を選択するように作動し、かつ、最大許容係合角度と最小許容係合角度との間で係合角度が漸次的に変化するように、被加工物に対して堀状の工具経路を設定するように作動する。

【0060】

好ましくは、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、前記設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度

10

20

30

40

50

に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、目的物を作製するコストを最小にすることを含む。ここで、該コストは、作製の期間中に機械を作動させるコストと、作製中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

【0061】

加えて、工具経路は、複数の工具経路セグメントを含み、工具経路を設定することは、工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここで、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路セグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路セグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

10

【0062】

加えて、工具経路セグメントのそれぞれが、複数の工具経路サブセグメントを含み、工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することは、工具経路サブセグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここで、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路サブセグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路サブセグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

20

【0063】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、被加工物から目的物を作製するための、自動化されたコンピューター制御された機械がまたさらに提供される。該機械は、被加工物から作製されるべき所望の目的物の断面を斟酌するように作動し、島状部として取り除くべきでない被加工物表面上に断面の隔離された領域を定めるように作動し、島状部を持たない領域において工具経路に沿って工具を最初に移動させるように作動し、工具経路が島状部に遭遇すると、島状部を囲む堀状部を定める工具経路に沿って工具を移動させるように作動する制御装置を含む。

30

【0064】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、機械加工された被加工物から作製された目的物がまたさらに提供され、該目的物は、コンピューター制御された機械工具を用い、被加工物から作製されるべき所望の目的物の断面を斟酌し、島状部として取り除くべきでない被加工物表面上に断面の隔離された領域を定め、島状部を持たない領域において工具経路に沿って工具を最初に移動させ、かつ、工具経路が島状部に遭遇すると、該島状部を囲む堀状部を定める工具経路に沿って工具を移動させることによって、機械加工されたものである。

40

【0065】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、目的物に含まれない被加工物の部分を取り除くことによって被加工物から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成する、自動化されたコンピューター実施方法がまたさらに提供される。当該方法は、ある開放領域を取り除くのに要する第一の機械加工時間が第二の機械加工時間よりも長いような、少なくとも1つの該開放領域(open region)を特定するステップを含んでおり、該第二の機械加工時間は、その領域を2つの独立した領域へと分割し(該分割は、回転切削工具によって該2つの独立した領域の間の分離用チャンネル(separating channel)を取り除くことによって行なうものであり)かつ該2つの独立し

50

た領域を取り除くのに要する加工時間であり、かつ、当該方法は、該領域の外側境界の縁部上の2点間で延びる少なくとも1つの分離用チャンネルを該領域内に定め、それによって、該領域を少なくとも2つの独立した領域に分割するステップを含んでいる。

【0066】

好ましくは、該方法はまた、回転切削工具のための少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を分離用チャンネル内に設定することを含み、該分離用チャンネルは、該トロコイド状の工具経路に沿って移動する工具によって取り除かれるものである。

【0067】

好ましくは、該方法はまた、回転切削工具と被加工物との間の最大許容係合角度を選択することを含み、回転切削工具と被加工物との間の最小許容係合角度を選択することを含み、かつ、最大許容係合角度と最小許容係合角度との間で係合角度が漸次的に変化するように、被加工物に対して少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定することを含む。

10

【0068】

加えて、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、前記設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、目的物を作製するコストを最小にすることを含む。ここで、該コストは、作製の期間中に機械を作動させるコストと、作製中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

20

【0069】

好ましくは、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路は、複数のトロコイド状の工具経路セグメントを含み、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定することは、トロコイド状の工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここで、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路セグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路セグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

30

【0070】

加えて、工具経路セグメントのそれぞれが、複数の工具経路サブセグメントを含み、工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することは、工具経路サブセグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここで、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路サブセグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路サブセグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

40

【0071】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、コンピューター制御された機械工具を利用した、被加工物を機械加工する方法がまたさらに提供される。当該方法は、ある開放領域を取り除くのに要する第一の機械加工時間が第二の機械加工時間よりも長いような、該開放領域を少なくとも1つ特定することを含んでおり、該第二の機械加工時間は、その領域を2つの独立した領域へと分割し（該分割は、該2つの独立した領域の間で回転切削工具によって分離用チャンネルを取り除くことによって行うものであり）かつ該2つの独立

50

した領域を取り除くのに必要な加工時間であり、かつ、当該方法は、該領域の外側境界の縁部上の2点間で延びる少なくとも1つの分離用チャンネル内に、トロコイド状の工具経路に沿って工具を移動させ、それによって、該領域を少なくとも2つの独立した領域に分割することを含んでいる。

【0072】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成するための、自動化されたコンピューターによって実行される装置 (automated computer-implemented apparatus) がまたさらに提供され、該機械の制御は、目的物に含まれない被加工物の部分を取り除くことによって該被加工物から目的物を作製するためのものであり、当該装置は、工具経路設定エンジン (tool path configuration engine) を含み、該エンジンは、ある開放領域を取り除くのに要する第一の機械加工時間が第二の機械加工時間よりも長いような該開放領域を、少なくとも1つ特定するように作動し、該第二の機械加工時間は、その領域を2つの独立した領域へと分割し (該分割は、該2つの独立した領域の間で回転切削工具によって分離用チャンネルを取り除くことによって行なうものであり) かつ該2つの独立した領域を取り除くのに要する加工時間であり、かつ、該エンジンは、該領域の外側境界の縁部上の2点の間に延びる少なくとも1つの分離用チャンネルを該領域内に定め、それによって、該領域を少なくとも2つの独立した領域に分割するように作動する。

10

【0073】

好ましくは、工具経路設定エンジンはまた、回転切削工具のための少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を分離用チャンネル内に設定するように作動し、該分離用チャンネルは、該トロコイド状の工具経路に沿って移動する工具によって取り除かれるものである。

20

【0074】

加えて、前記設定することは、回転切削工具と被加工物との間の最大許容係合角度を選択することを含み、回転切削工具と被加工物との間の最小許容係合角度を選択することを含み、かつ、最大許容係合角度と最小許容係合角度との間で係合角度が漸次的に変化するよう、被加工物に対して、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定することを含む。

【0075】

加えて、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路セグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、目的物を作製するコストを最小にすることを含む。ここで、該コストは、作製の期間中に機械を作動させるコストと、作製中に工具に加えらるる損耗によるコストとの組合せである。

30

【0076】

加えて、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路は、複数のトロコイド状の工具経路セグメントを含み、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定することは、トロコイド状の工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここでは、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路セグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路セグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えらるる損耗によるコストとの組合せである。

40

【0077】

加えて、工具経路セグメントのそれぞれが、複数の工具経路サブセグメントを含み、工

50

具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することは、工具経路サブセグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここで、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路サブセグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路サブセグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

【0078】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、被加工物から目的物を作製するための自動化されたコンピューター制御された機械がまたさらに提供される。当該機械は、制御装置を含み、該制御装置は、ある開放領域を取り除くのに要する第一の機械加工時間が第二の機械加工時間よりも長いような該開放領域を、少なくとも1つ特定するように作動し、該第二の機械加工時間は、その領域を2つの独立した領域へと分割し（該分割は、該2つの独立した領域の間で回転切削工具によって分離用チャンネルを取り除くことによって行なうものであり）かつ該2つの独立した領域を取り除くのに要する加工時間であり、かつ、該制御装置は、該領域の外側境界の縁部上の2点の間に延びる少なくとも1つの分離用チャンネル内に、トロコイド状の工具経路に沿って工具を移動させ、それによって、該領域を少なくとも2つの独立した領域に分割するように作動する。

【0079】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、コンピューター制御された機械工具を用いて機械加工された、被加工物から作製される目的物がまたさらに提供され、該機械加工は、ある開放領域を取り除くのに要する第一の機械加工時間が第二の機械加工時間よりも長いような該開放領域を、少なくとも1つ特定することによって行なわれ、該第二の機械加工時間は、その領域を2つの独立した領域へと分割し（該分割は、該2つの独立した領域の間で回転切削工具によって分離用チャンネルを取り除くことによって行なうものであり）かつ該2つの独立した領域を取り除くのに必要な加工時間であり、かつ、該機械加工は、該領域の外側境界の縁部上の2点間で延びる少なくとも1つの分離用チャンネルを該領域内に定めて、該領域を少なくとも2つの独立した領域に分割することによって行なわれる。

【0080】

好ましくは、目的物は、少なくとも1つのトロコイド状の工具に沿って回転切削工具を分離用チャンネル内で移動させることによって作成され、該分離用チャンネルは、該トロコイド状の工具経路に沿って移動する工具によって取り除かれるものである。

【0081】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、自動化されたコンピューター実施方法がまたさらに提供され、当該実施方法は、目的物に含まれない被加工物の部分を取り除くことによって被加工物から目的物を作製するように、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成するためのものであって、当該実施方法は、ある半開放領域(semi-open region)を、トロコイド状の工具経路を利用することによってその領域を取り除くのに要する第一の機械加工時間が、第二の機械加工時間よりも長いような該半開放領域を、少なくとも1つ特定するステップを含んでおり、該第二の機械加工時間は、その領域と該領域の全ての閉じた外側境界セグメントとの間の分離用チャンネルを取り除くことによって該領域を隔離(isolate)し、かつ、該領域の残りを取り除くのに要する加工時間であり、かつ、当該実施方法は、該領域と該領域の全ての閉じた外側境界セグメントとの間に少なくとも1つの分離用チャンネルを取り除くべき該領域内に定め、それによって、取り除くべき残りの開放領域を定めるステップを含んでいる。

【0082】

好ましくは、該方法はまた、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路に沿って移動す

10

20

30

40

50

る工具によって取り除かれる分離用チャンネルにおいて、回転切削工具のための少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定することを含む。

【0083】

好ましくは、当該方法はまた、回転切削工具と被加工物との間の最大許容係合角度を選択することを含み、回転切削工具と被加工物との間の最小許容係合角度を選択することを含み、かつ、最大許容係合角度と最小許容係合角度との間で係合角度が漸次的に変化するように、被加工物に対して、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定することを含む。

【0084】

加えて、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、前記設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、目的物を作製するコストを最小にすることを含む。ここで、該コストは、作製の期間中に機械を作動させるコストと、作製中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

【0085】

好ましくは、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路は、複数のトロコイド状の工具経路セグメントを含み、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定することは、トロコイド状の工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここで、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路セグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路セグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

【0086】

加えて、工具経路セグメントのそれぞれが、複数の工具経路サブセグメントを含み、工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することは、工具経路サブセグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここで、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路サブセグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路サブセグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

【0087】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、コンピューター制御された機械工具を利用した、被加工物を機械加工する方法がまたさらに提供され、当該方法は、ある半開放領域をトロコイド状の工具経路を利用することによってその領域を取り除くのに要する第一の機械加工時間が、第二の機械加工時間よりも長いような該半開放領域を、少なくとも1つの特定することを含んでおり、該第二の機械加工時間は、その領域と該領域の全ての閉じた外側境界セグメントとの間の分離用チャンネルを取り除くことによって該領域を隔離し、かつ、該領域の残りを取り除くのに要する加工時間であり、かつ、当該方法は、該領域と該領域の全ての閉じた外側境界セグメントとの間に少なくとも1つの分離用チャンネルを取り除くべき領域内に定め、それによって、取り除くべき残りの開放領域を定めることを含んでいる。

【0088】

10

20

30

40

50

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、自動化された、コンピューターによって実行される装置がまたさらに提供され、当該装置は、目的物に含まれない被加工物の部分を取り除くことによって被加工物から目的物を作製するように、コンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成するためのものであって、当該装置は、工具経路設定エンジンを含み、該エンジンは、ある半開放領域をトロコイド状の工具経路を利用することによって取り除くの要する第一の機械加工時間が第二の機械加工時間よりも長いような、該半開放領域を、少なくとも1つ特定するように作動し、該第二の機械加工時間は、その領域と該領域の全ての閉じた外側境界セグメントとの間の分離用チャンネルを取り除くことによって該領域を隔離(isolate)し、かつ、該領域の残りを取り除くの要する加工時間であり、かつ、該エンジンは、該領域と該領域の全ての閉じた外側境界セグメントとの間に少なくとも1つの分離用チャンネルを取り除くべき該領域内に定め、それによって、取り除くべき残りの開放領域を定めるように作動する。

10

【0089】

好ましくは、工具経路設定エンジンはまた、回転切削工具のための少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を分離用チャンネル内に設定するように作動し、該分離用チャンネルは、該トロコイド状の工具経路に沿って移動する工具によって取り除かれるものである。

【0090】

加えて、前記設定することは、回転切削工具と被加工物との間の最大許容係合角度を選択することを含み、回転切削工具と被加工物との間の最小許容係合角度を選択することを含み、かつ、最大許容係合角度と最小許容係合角度との間で係合角度が漸次的に変化するよう、被加工物に対して、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定することを含む。

20

【0091】

好ましくは、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路セグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、目的物を作製するコストを最小にすることを含む。ここで、該コストは、作製の期間中に機械を作動させるコストと、作製中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

30

【0092】

加えて、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路は、複数のトロコイド状の工具経路セグメントを含み、少なくとも1つのトロコイド状の工具経路を設定することは、トロコイド状の工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここで、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路セグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、および、工具経路セグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

40

【0093】

加えて、工具経路セグメントのそれぞれが、複数の工具経路サブセグメントを含み、工具経路セグメントのそれぞれを再帰的に設定することは、工具経路サブセグメントのそれぞれを再帰的に設定することを含む。ここで、コンピューター数値制御された機械、回転切削工具、および、被加工物の材料の、各特性のうちの少なくとも1つについての斟酌に応じて、工具経路サブセグメントのそれぞれを設定することはまた、他の制約のもとで経時的な係合角度の変化率を最小限にすること、変化する係合角度に対応して工具の送り速度を漸次的に変化させること、工具における概しては一定の作業負荷を維持すること、お

50

よび、工具経路サブセグメントのそれぞれを機械加工するコストを最小限にすることを含む。ここで、該コストは、機械加工の期間中に機械を作動させるコストと、機械加工中に工具に加えられる損耗によるコストとの組合せである。

【0094】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、被加工物から目的物を作製するための自動化されたコンピューター制御された機械がまたさらに提供され、当該機械は、制御装置を含み、該制御装置は、トロコイド状の工具経路を利用することによってある半開放領域を取り除くのに要する第一の機械加工時間が第二の機械加工時間よりも長いような該半開放領域を、少なくとも1つ特定するように作動し、該第二の機械加工時間は、その領域と該領域の全ての閉じた外側境界セグメントとの間の分離用チャンネルを取り除くことによ

10

【0095】

本発明のまた他の好ましい実施形態に従って、コンピューター制御された機械工具を用いて機械加工される被加工物から作製される目的物がまたさらに提供され、該機械加工は、トロコイド状の工具経路を利用することによってある半開放領域を取り除くのに要する第一の機械加工時間が、第二の機械加工時間よりも長いような、該半開放領域を少なくとも1つ特定することによって行なわれ、該第二の機械加工時間は、その領域と該領域の全

20

【0096】

好ましくは、当該目的物は、少なくとも1つのトロコイド状の工具に沿って回転切削工具を分離用チャンネル内で移動させることによって作製され、該分離用チャンネルは、該トロコイド状の工具経路に沿って移動する工具によって取り除かれるものである。

【0097】

本発明は、図面とあわせて、以下の詳細な説明から、より十分に把握され、理解されるであろう。

30

【図面の簡単な説明】

【0098】

【図1A】図1A～1S-2は、合わせて一連となっている簡略化された図であり、本発明を理解するのに役立つ図である。

【図1B】図1A～1S-2は、合わせて一連となっている簡略化された図であり、本発明を理解するのに役立つ図である。

【図1C】図1A～1S-2は、合わせて一連となっている簡略化された図であり、本発明を理解するのに役立つ図である。

40

【図1D】図1A～1S-2は、合わせて一連となっている簡略化された図であり、本発明を理解するのに役立つ図である。

【図1E-1】図1A～1S-2は、合わせて一連となっている簡略化された図であり、本発明を理解するのに役立つ図である。

【図1E-2】図1A～1S-2は、合わせて一連となっている簡略化された図であり、本発明を理解するのに役立つ図である。

【図1F-1】図1A～1S-2は、合わせて一連となっている簡略化された図であり、本発明を理解するのに役立つ図である。

【図1F-2】図1A～1S-2は、合わせて一連となっている簡略化された図であり、本発明を理解するのに役立つ図である。

50

【図3D】図3A～3Dは、本発明のいくつかの態様を図示する簡略化されたスクリーンショットである。

【図4A】図4Aおよび4Bは、図1A～1S-2および図2A～2L-2のうちのいくつかにおいてより概括的に図示されている機能の詳細についての簡略化された図である。

【図4B】図4Aおよび4Bは、図1A～1S-2および図2A～2L-2のうちのいくつかにおいてより概括的に図示されている機能の詳細についての簡略化された図である。

【発明を実施するための形態】

【0099】

詳細な説明

本発明は、原材料(stock material)から目的物を作製するために、コンピューター数値制御された(CNC)機械を制御するコマンドを生成する、自動化されたコンピューター実施方法の様々な態様に関し、上記のコマンドを利用する、原材料を機械加工する方法の様々な態様に関し、上記コマンドを生成するための、自動化された、コンピューターによって実行される装置に関し、上記コマンドを使うことによって原材料から目的物を作製するように作動する数値制御される機械に関し、上記コマンドを使うことによって作成される目的物に関する。

10

【0100】

本発明は、その様々な態様において、一連の図面に関して以下に記載されており、それらの図面は、作製される目的物の例を最初に図示し、機械加工されるべき原材料に目的物を重ねたシミュレーションを図示し、本発明に従って生成されるコマンドによってつくられる機械加工ステップのシーケンスを図示するものである。連続的な機械加工ステップが図示されているが、本発明は、機械加工方法に限定されず、上記のとおり、コマンドの生成、コマンドを生成する装置、コマンドを実行する装置、および、コマンドによって生じる結果にまで拡張されることが理解されよう。

20

【0101】

「算出(calculation)」という用語は、原材料の特定の領域の機械加工において利用される機械加工ステップのシーケンスを生じるコマンドの生成のことをいうために、終始使用されている。「算出する(calculate)」、「算出(calculation)」および算出の定義は、対応した意味を有する。

【0102】

図1Aおよび1Bは、目的物100の絵画的な図および上面図であって、それぞれ、本発明に従って作製できる目的物の例である。目的物100の構成は、本発明の様々な特定の特徴を例示するべく選択される。従来の3軸のCNC機械工具によって機械加工できる任意の好適な3次元目的物は、本発明の好ましい実施形態に従って作製され得ることに留意されたい。

30

【0103】

図1Aおよび1Bに示されるように、目的物100は、概しては、平坦なベース部分102を持っているように示され、該ベース部分から、ここでは参照符号104、106、108、110、112で表される5つの突起部が延びている。図1Cは、目的物100の外形を重ねた原材料114を示している。

40

【0104】

本発明の好ましい実施形態によれば、工具経路の設計者(該設計者は、本発明のコンピューター数値制御された機械を制御するコマンドを生成するための、自動化されたコンピューター実施方法を使用する)は、SOLIDWORKS(登録商標)等の標準的なCAD形式にて、目的物100のCAD描画(CAD drawing)にアクセスする。設計者は、目的物100の作製において使用する特定の機械工具をメニューから選択して、目的物を作製するのに必要なそれぞれの機械加工機能を実行するための特定の回転切削工具を選択する。

【0105】

分かり易くする目的で、例示される目的物100は、単一の機械加工機能によって作製できる目的物となるように選択されているが、本発明の適用性が、単一の機械加工機能に

50

よって作製できる目的物に限定されないことは理解されよう。

【0106】

次に、工具経路の設計者は、目的物100の作製に使用する原材料の形状を定める。これは、自動化された、コンピューターで実施された本発明の装置によって自動的に行われてもよいし、または、工具経路の設計者によって手動で行われてもよい。次に、工具経路の設計者は、例えば、INCONEL(登録商標)718等、原材料を構成する材料を特定する。本発明は、機械工具の特性、回転切削工具の特性、および、材料の特性に基づいて様々な作動パラメーターを算出するために、工具経路の設計者によって選択される機械工具、回転切削工具および材料を活用するものである。

【0107】

本発明の好ましい実施形態によれば、一連のディスプレイ画面が利用され、それは、最小および最大表面切削速度、最小および最大のチップ厚さ、最小および最大送り速度、最小および最大スピンドル回転速度、回転切削工具と被加工物との間の最小および最大係合角度、切削の軸方向深さ、機械加工の積極性のレベル(aggressiveness level)等の、様々な作動パラメーターを示すディスプレイを、工具経路の設計者に提供するためである。そのような一連のディスプレイ画面の例が、図3A~3Dに示されている。

【0108】

工具経路の設計者には、パラメーターのいくつか、とりわけ、機械加工の積極性のレベル等を変更するにあたって限られた自由裁量を与えられている。好ましくは、工具経路の設計者はまた、例えば、機械加工時間、切削工具に加えられる損耗、機械加工コスト、または、それらの任意の組合せの最適化が達成されるようなパラメーターを選択するようシステムに指示し得る。上述の作動パラメーターのいくつかについて、値の範囲が工具経路の設計者に表示されるが、本発明はまた、利用される作動パラメーターのすべてについて、最適な作動上の値を算出することが理解される。

【0109】

図3A~3Dのディスプレイ画面のような画面上に、パラメーターのすべての表示(appearing)が完了すると、被加工物を機械加工するための工具経路が、本発明の好ましい実施形態に従って算出される。本発明の好ましい実施形態による工具経路の算出を、原材料114における工具経路の実際の進行を図示する図1A~1S-2を参照して、以下に説明する。

【0110】

本発明の特定の特徴となっているのは、工具経路が再帰的(recursively)に算出されることであり、最初に、工具経路の第一の工具経路セグメントが、被加工物の最初の領域のために算出され、その後、後続のシーケンシャルな、工具経路の工具経路セグメントが、被加工物の残りの領域の最初の領域のために、同様に算出される。追加的な後続のシーケンシャルな工具経路セグメントが、被加工物全体を所望の目的物へと機械加工するための工具経路が算出されるまで、同様に算出される。

【0111】

最初に、原材料の第一の断面が算出され、該原材料は、それに覆われた目的物100の外形(アウトライン)を持っており、かつ、所定の切削の軸方向の深さと等しい深さを持っている。この断面は、図1Dにおいて概略的に図示され、参照符号116で表されている。断面116は、外側境界118を持つことによって特徴付けられ、かつ、複数の島状部105、107、109、111、113が、それぞれに、突起部104、106、108、110、112の断面に、断面116の深さにおいて、それぞれ対応している。島状部105、107、109、111、113は、突起部104、106、108、110、112の断面に対して外側にある距離だけオフセットしており(ずれており)、該距離は、概しては回転切削工具の半径よりも少し大きく、それによって、島状部を巡る工具経路を機械加工する場合には、狭い仕上げ幅が残り、それが後の段階で仕上げ機械加工されることが理解されよう。

【0112】

断面 116 の軸方向の深さが、第一のステップダウンを構成し、該ステップダウンは、目的物 100 の機械加工における第一の局面であることが理解される。全体を通じて、「ステップダウン」という用語は、一定の深さでの単一の機械加工の局面を表すために使用される。図 1C に示されるように、目的物 100 の完全な機械加工には、断面 119、120 に対応する 2 つの追加のステップダウンが必要とされる。従って、断面 116 の算出に続いて、断面 119、120 に対応して、第二のステップダウン、その後、第三のステップダウンが算出される。好ましくは、後続のステップダウン間の垂直距離 (vertical distance) は、概して、回転切削工具の直径の 1 ~ 4 倍である。

【0113】

本発明の好ましい実施形態によれば、機械加工領域 (machining region) は、最初に、断面 116 内において、自動的に識別される。好ましくは、3 つのタイプの機械加工領域があり、該領域は、それらの外側境界の特徴によって分類される。

全体を通じて、領域の境界のセグメント (該境界のセグメントを通過して、回転切削工具の水平方向の進行によって該回転切削工具が領域の外側から該領域に到達する、該境界のセグメント) は、「開いた縁部 (open edge)」と呼ぶ。該開いた縁部においては、その境界のセグメントの外側には、除去すべきでない領域が隣接しておらず、よって、該回転切削工具は、該境界のセグメントの外側に位置することができ、かつ、該回転切削工具は、その位置から水平に移動して該境界のセグメントを横断し、該境界のセグメントの内側の前記領域内に入ることができる。そのような境界のセグメントが、開いた縁部である。

前記開いた縁部ではない、他の全ての境界セグメントは、全体を通じて「閉じた縁部 (closed edge)」と呼ぶ。

【0114】

3 つのタイプの機械加工領域が、次のように分類される：

タイプ I - 開放領域 (open region) であって、その領域の外側境界全体が、開いた縁部 (open edges) だけからなることを特徴とする；

タイプ II - 半開放領域 (semi-open region) であって、その領域の外側境界が、開いた縁部 (open edges) と閉じた縁部 (closed edges) の、両方からなることを特徴とする；

タイプ III - 閉鎖領域 (closed region) であって、その領域の外側境界全体が、閉じた縁部 (closed edges) だけからなることを特徴とする；

【0115】

好ましくは、領域を機械加工するにあたって利用される工具経路は、1 つ以上の工具経路セグメントを有するように算出され、それぞれの工具経路セグメントは、収束する (converging、中心へと集まる) 螺旋状の工具経路セグメント、トロコイド状の工具経路セグメント、および、発散する (diverging、外へと広がる) 螺旋状の工具経路セグメントのうちの一つである。概して、タイプ I の領域を機械加工する場合は、収束する螺旋状の工具経路セグメントが好ましく、タイプ II の領域を機械加工する場合は、トロコイド状の工具経路セグメントが好ましく、タイプ III の領域を機械加工する場合は、発散する螺旋状の工具経路が好ましい。

【0116】

「トロコイド状 (trochoidal-like)」という用語は、曲線状の切削経路および戻り経路 (これらは曲線状または概して直線状であってよい) を持った、トロコイドの工具経路またはその変更態様を意味するように、全体を通じて使用される。

【0117】

当業者に知られているように、螺旋状の工具経路セグメントの機械加工は、概して同様の平均ステップオーバーのための単位時間当たりに取り除かれる材料の量に関して、トロコイド状の工具経路セグメントの機械加工よりも、概して効率的である。従って、本発明は、螺旋状の工具経路セグメントによって機械加工されるべきエリアを最大にしようとする。

【0118】

タイプ I の領域を機械加工するために算出される、収束する螺旋状の工具経路セグメン

10

20

30

40

50

トは、好ましくは、領域の外側境界から内部輪郭へと内方向に螺旋状になる工具経路セグメントである。内部輪郭は、好ましくは、次のように算出される：

島状部が、タイプ I の領域の外側境界内にない場合、内部輪郭は、好ましくは、切削工具の半径よりも概して小さい半径を持つ小さい円であるように算出され、該円は、該領域のエリアの中心を中心とする；

1つの島状部が、タイプ I の領域の外側境界内にあり、1つの島状部とタイプ I の領域の外側境界との間の最短距離が、回転切削工具の直径の選択された部分(fraction)よりも長い場合、内部輪郭は、好ましくは、島状部の外側境界に概して沿うように算出され；

1つの島状部が、タイプ I の領域の外側境界内にあり、単一の島状部とタイプ I の領域の外側境界との間の最短距離が、回転切削工具の直径の選択された部分より短い場合；または、

2つ以上の島状部が、タイプ I の領域の外側境界内にある場合、

内部輪郭は、好ましくは、領域の外側境界の内部で、回転切削工具の半径の1.5倍に概して等しい距離だけオフセットした(ずれた)輪郭となるように算出される。

【0119】

内部輪郭が算出されると、内部輪郭が自己交差(self intersect)しないことが自動的に認証される。内部輪郭が1つ以上の位置で自己交差する場合、好ましくは、そのような自己交差点それぞれの近くにおいて、ボトルネックが特定される。ボトルネックが島状部と重ならない場合、分離用チャンネルは、好ましくは、そのようなボトルネックそれぞれにおいて算出される。分離用チャンネルは、好ましくは、別々の収束する螺旋状の工具経路セグメントによって、領域を、互いに独立して機械加工できる2つのタイプ I の領域へと分割する。ボトルネックが島状部と重ならない場合、内部輪郭は、好ましくは、外側境界の内側で、当初のオフセットの概して半分の量でオフセットされるべく再算出される。このプロセスは、自己交差しない内部輪郭が算出されるまで繰り返される。

【0120】

領域の外側境界から内部輪郭へと内方向に螺旋状になる、収束する螺旋状の工具経路セグメントが、「モーフィング螺旋(morphing spiral)」であるように算出されるのが、本発明の特定の特徴である。「モーフィング螺旋」という用語は、1つの境界または輪郭の幾何学的形状を、第二の境界または輪郭の幾何学的形状へと、それらの間で螺旋をなす螺旋状の工具経路セグメントとして、漸次的にモーフィングする(少しずつ変化させる)螺旋状の工具経路セグメントを意味するように、全体を通じて使用される。モーフィングの様々な方法は当業者に知られているが、本発明は、以下に記載されるような、本発明の好ましい実施形態による、特定の変形方法を実施しようとするものである。

【0121】

工具経路セグメント全体にわたって利用される切削工具の係合角度(engagement angle)は固定されておらず、工具経路セグメントの過程において、予め定められた最小係合角度と最大係合角度との間で変化し得るとというのが、本発明の他の特定の特徴である。この係合角度の変化によって、工具経路セグメントの過程において、変化するステップオーバーが可能になり、そのため、工具経路セグメントが、2つの概して異なる幾何学的形状間で変形できる。「ステップオーバー(stepover)」という用語は、螺旋状の工具経路セグメントのシーケンシャルなループ同士の間を距離を表すように、全体を通じて使用される。変形する螺旋状の工具経路セグメントを利用することによって達成される切削工具の効率、トロコイド状の工具経路セグメントを利用することによって達成される切削工具の効率よりも概して著しく大きいということが理解されよう。適宜、最大係合角度に概して近い係合角度が好ましいということもまた理解されよう。

【0122】

工具経路セグメントの過程において変化する係合角度を利用することは、切削工具における機械的負荷の変化や、チップの薄化(chip thinning)のために、切削工具の損耗を増大させるという悪影響を有し得るが、変化する係合角度に対応して送り速度を自動的に調整することによって、この悪影響が概して補償されるということが、本発明の特

10

20

30

40

50

定の特徴である。係合角度が、工具経路セグメントの過程にわたって漸次的に変化し、それによって、切削工具の負荷の突然かつ急激な変化を防ぎ、それによって、切削工具の過剰な損耗をさらに減少させるというのが、本発明の他の特定の特徴である。

【 0 1 2 3 】

ここで、タイプ I の領域を機械加工するために利用される、収束する螺旋状の工具経路セグメントの算出に戻る。内部輪郭が算出されると、領域の外側境界から内部輪郭へと内方向に螺旋状になる、収束する螺旋状の工具経路セグメントに含まれるべきループの数が、好ましくは、図 4 A に図示される通り、算出される。

【 0 1 2 4 】

図 4 A に示されるように、所定の密度の複数のブリッジ(bridges) 5 0 0 が、それぞれ、内部輪郭 5 0 2 から外側境界 5 0 4 へと広がっている。ブリッジ 5 0 0 それぞれのブリッジ点 5 0 6 は、ブリッジ 5 0 0 と外側境界 5 0 4 との交点として最初に定められる。最小ステップオーバーによって分割される最短ブリッジの長さは、螺旋状の工具経路セグメントに含まれるループの最大数に概して等しい。最大ステップオーバーによって分割される最長ブリッジの長さは、螺旋状の工具経路に含まれねばならないループの最小数に概して等しい。上述したように、最小係合角度および最大係合角度は、工具経路の設計者によって提供される情報に基づいて決定され、その角度が、螺旋状の工具経路セグメントの最大および最小ステップオーバーを決定する。

【 0 1 2 5 】

収束する螺旋状の工具経路セグメントによって機械加工できる、内部輪郭 5 0 2 から任意の方向における最遠の距離は、収束する螺旋状の工具経路セグメントに含まれるループの数を最大ステップオーバーで乗算したものであることが理解されよう。内部輪郭からこの最遠の距離を超える、内部輪郭 5 0 2 と外側境界 5 0 4 との間のエリアは、収束する螺旋状の工具経路セグメントによって機械加工できず、そのため、好ましくは、収束する螺旋状の工具経路セグメントの機械加工の前に、クリッピング(clipping)によって機械加工される。全体を通じて、「クリッピング」という用語は、最適な螺旋状の工具経路セグメントによって機械加工できない領域のエリアの機械加工の算出を定めるように使用される。典型的には、クリッピングされたエリアは、螺旋状の工具経路セグメントの機械加工の前に、トロコイド状の工具経路セグメントによって機械加工されるか、または、クリッピングされたエリアは、クリッピングされたエリアを領域の残りから分離させる分離用チャンネルを機械加工して、続けて、分離したクリッピングされたエリアを別々に螺旋状の工具経路セグメントによって機械加工することによって、機械加工される。

【 0 1 2 6 】

全体を通じて、パラメーター「n」は、螺旋状の工具経路セグメントに含まれるべきループの可能な数を表すために使用され、n は、螺旋状の工具経路セグメントに含まれねばならないループの最小数と、螺旋状の工具経路セグメントに含まれるループの最大数との間の数である。

【 0 1 2 7 】

n のそれぞれの可能な値については、外側境界 5 0 4 と内部輪郭 5 0 2 との間のエリアを機械加工するのに必要とされる第一の機械加工方法のための第一の作業時間が、螺旋状の工具経路セグメントを機械加工するのに必要な時間と、上記のように、外側境界 5 0 4 と内部輪郭 5 0 2 との間で特定されたすべてのクリッピングされたエリアを機械加工するのに必要な時間とを合計することによって算出される。螺旋状の工具経路セグメントに含まれるべき最適なループの数は、算出される第一の作業時間が最短になるような、n の値となるように選択される。

【 0 1 2 8 】

内部輪郭が、領域のエリアの中心を中心とする小さい円となるように算出される場合、第二の機械加工方法のための第二の作業時間は、外側境界を内部輪郭に接続する最短ブリッジに沿って延び、小さい円を通過してさらに延び、次に、反対側のブリッジに沿って外側境界の反対側のセグメントまでさらに延び、それによって、領域を 2 つの独立したタイプ

10

20

30

40

50

Iの領域に分割する分離用チャンネルを機械加工するのに必要な作業時間と、2つの独立したタイプIの領域を機械加工するのに必要な作業時間とを合計することによって算出される。第二の作業時間が、第一の作業時間よりも短い場合、第二の機械加工方法は、第一の機械加工方法より好ましい。

【0129】

収束する螺旋状の工具経路セグメントに含まれるべき最適なループの数が選択されると、クリッピングされたエリアとそれらを取り除くための工具経路が上述のように算出される。続いて、クリッピングされたエリアによって画定される新たな外側境界が算出され、これに従って、すべてのブリッジ点が、新たな外側境界上に位置するように更新される。その後、螺旋状の工具経路セグメントの実際の経路が、次のように算出される：

最初に、第一のブリッジ512のブリッジ点510が、好ましくは、螺旋状の工具経路セグメント514の第一の螺旋点(spiral point)として選択される。第一のブリッジ512は、好ましくは、切削工具をその以前の位置から移動させるのに必要な時間を最小にするべく選択される。螺旋状の工具経路セグメント514の可能な第二の螺旋点は、第一のブリッジ512から切削工具が登っていく方向(climbing direction)に、第一のブリッジ512にすぐ隣接している第二のブリッジ516上の点として算出され、該点は、第二のブリッジ516のブリッジ点517から、第二のブリッジ516に沿って、第二のブリッジ516の長さを工具経路セグメント514に含まれるべき残りのループの数で除した距離をもって離れている。

【0130】

可能な第二の螺旋点については、第一の螺旋点510から可能な第二の螺旋点へと螺旋状の工具経路セグメント514をたどることによって、切削工具が材料と係合することになる係合角度が算出される。算出された係合角度が、予め定められた最小係合角度と最大係合角度との間にある場合、可能な第二の螺旋点は、第二の螺旋点518として選択され、第一の螺旋点510と第二の螺旋点518との間に、新たな直線状(linear)のサブセグメント520が、螺旋状の工具経路セグメント514に加えられる。

【0131】

係合角度が所定の最小係合角度よりも小さい場合、算出される係合角度が所定の最小係合角度に概して等しくなる第二の螺旋点を求める二分探索(binary search)が実行される。二分探索は、可能な第二の螺旋点と、第二のブリッジ516のブリッジ点517から最大ステップオーバー分の距離を置いている第二のブリッジ516上の点との間で実行される。第二の螺旋点518が見つかり、第一の螺旋点510と第二の螺旋点518との間の新たな直線状のサブセグメント520が、螺旋状の工具経路セグメント514に追加される。

【0132】

係合角度が所定の最大係合角度よりも大きい場合、算出される係合角度が所定の最大係合角度と概して等しくなる第二の螺旋点を求める二分探索が実行される。該二分探索は、第二のブリッジ516のブリッジ点517と可能な第二の螺旋点との間で実行される。第二の螺旋点518が見つかり、第一の螺旋点510と第二の螺旋点518との間の新たな直線状のサブセグメント520が、螺旋状の工具経路セグメント514に追加される。

【0133】

新たな直線状のサブセグメント520が領域の内部輪郭502と交差する場合、螺旋状の工具経路セグメント514は、その交点で終端となり、内部輪郭502に概して隣接する1つ以上の別個の未機械加工の残りのエリアをつくり得る。そのような別個の残りのエリアそれぞれについて、別個の残りのエリアのサイズが所定の小さい値よりも大きい場合、それは、トロコイド状の工具経路セグメントによって機械加工されるべく算出される。

【0134】

新たな直線状のサブセグメント520が島状部と交差する場合、螺旋状の工具経路セグメント514の算出は、その交点で中断され、堀状部が、交点において開始し、かつ、島状部を巡るように算出される。工具経路がまだ算出されていない領域の残りは、別個に算

10

20

30

40

50

出されるべき新たなタイプ I の領域とされる。

【 0 1 3 5 】

「堀状部(moat)」という用語は、島状部を巡り島状部に概して隣接するチャンネルを機械加工し、それによって、該島状部を、機械加工する必要のある材料の残りから分離する、トロコイド状の工具経路セグメントを表すように、全体を通じて使用される。該堀状部の幅は、好ましくは、切削工具の半径の少なくとも 2 . 5 倍であり、好ましくは、切削工具の半径の最大 4 倍である。これらの値は事前に定義されるが、それらは、工具経路の設計者によって変更され得る。堀状部を島状部の周囲に機械加工することは、当初の領域と同じタイプの残りの領域をつくりだすよう作用するというのが、本発明の特定の特徴である。これは、とりわけ、タイプ I の領域またはタイプ III の領域を機械加工するときの値

10

【 0 1 3 6 】

加えて、島状部を巡る堀状部の機械加工は、島状部に隣接する機械加工された領域の 2 つのフロントの形成を防ぐために効果的であり、該フロントの形成は、潜在的に、2 つのフロント間で 1 つ以上の長細い残壁部(residual wall)を形成し得る。当業者に知られているように、細い残壁部の形成は、それらを機械加工することが、切削工具および/または被加工物への損傷をもたらすことがあり得るため、望ましくない。

【 0 1 3 7 】

第二の螺旋点 5 1 8 が算出されたら、工具経路セグメント 5 1 4 の残りに含まれるべき残りのループの数が更新される。残りのループの数が、帯分数(mixed number)であり得ることが理解される。螺旋状の工具経路セグメント 5 1 4 の残りの後続セグメントが再帰的に算出されることによって、第二の螺旋点 5 1 8 が、螺旋状の工具経路セグメント 5 1 4 の残りの新たな第一の点とされ、第二のブリッジ 5 1 6 から、切削工具が登る方向に、第二のブリッジ 5 1 6 にすぐ隣接するブリッジ 5 3 0 が、新たな第二のブリッジとされる。加えて、第二の螺旋点 5 1 8 が、第二のブリッジ 5 1 6 の新たなブリッジ点とされ、機械加工されるべき残りの領域が再算出される。

20

【 0 1 3 8 】

タイプ II の領域の機械加工は、次のように算出される：

最初に、螺旋状の機械加工時間が、タイプ II の領域の全ての閉じた縁部(all closed edges)に隣接する分離用チャンネルを機械加工するのに要する機械加工時間と、収束する螺旋状の工具経路セグメントによって領域の残りのエリアを機械加工するのに要する機械加工時間との、合計として算出される。加えて、トロコイド状の機械加工時間が、トロコイド状の工具経路セグメントによってタイプ II の領域全体を機械加工するのに要する機械加工時間として算出される。螺旋状の機械加工時間が、トロコイド状の機械加工時間よりも短い場合、分離用チャンネルが、該領域の全ての閉じた縁部に隣接するよう算出され、かつ、残りの分離されたエリアが、収束する螺旋状の工具経路セグメントによって機械加工されるように算出される。螺旋状の機械加工時間が、トロコイド状の機械加工時間より長い場合、トロコイド状の工具経路セグメントは、次のように算出される：

30

該領域の最長の開いた縁部は、該領域の「フロント」として選択される。該領域の外側境界の残りは、「遮断境界(blocking boundary)」と定められる。開始端部は、該フロントの 2 つの端部のうちの 1 つとして選択され、これを、開始端部から反対の端部へと該フロントに沿って機械加工すると、登りのミーリング(climb milling)の工具経路となるだろう。

40

【 0 1 3 9 】

図 4 B に示されるように、所定の密度の複数のブリッジ線 5 5 0 が、それぞれ、フロント 5 5 2 から、該領域を横切って、遮断境界 5 5 4 へと延びている。ブリッジ 5 5 0 のそれぞれのブリッジ点 5 5 6 は、最初に、ブリッジ 5 5 0 のそれぞれとフロント 5 5 2 との交点として定められる。ブリッジ 5 5 0 が、開始端部 5 6 0 から反対側の端部 5 6 2 へと切削工具が登る方向に順に並ぶように、開始端部 5 6 0 と反対側の端部 5 6 2 が選択され

50

る。最大ステップオーバーに、概して等しい幅を持ったフロント552に隣接するエリアを機械加工するための単一の開放したトロコイド状の工具経路セグメント564が、ブリッジ550のそれぞれにおける好適な点を選択することと、開始端部560と反対側の端部562との間のブリッジ線550の順にその好適な点を相互接続することとによって、次のように算出される：

最初に、開始端部560は、好ましくは、単一のトロコイド状の工具経路セグメント564の第一の点として選択される。トロコイド状の工具経路セグメント564の可能な第二の点は、第一の点560から切削工具の上昇する方向に第一の点560にすぐ隣接する、第一のブリッジ570上の点として算出され、該可能な第二の点は、第一のブリッジのブリッジ点572から、最大ステップオーバー、および、第一のブリッジ570の長さのうち、大きい方の距離をもって離れている。図4Bにおいて図示される例では、可能な第二の点は、第一のブリッジ572と遮断境界554との交点574となるように算出される。

【0140】

可能な第二の点については、係合角度（その係合角度において、第一の点から可能な第二の点まで切削工具経路をたどることで、切削工具が材料に係合する）が算出される。算出された係合角度が、予め定められた最小係合角度と最大係合角度との間にある場合、可能な第二の点は、第二の点として選択され、第一の点560と第二の点との間の新たな直線状のサブセグメントは、単一のトロコイド状の切削工具経路セグメント564に加えられる。

【0141】

係合角度が予め定められた最小係合角度よりも小さい場合、算出された係合角度が予め定められた最小係合角度に概して等しくなる第二の点を求めるための二分探索が実行される。該二分探索は、可能な第二の点と第一のブリッジ570上の点との間で実行され、これらの点は、第一のブリッジ570のブリッジ点572から、第一のブリッジ570に沿って、最大ステップオーバーと第一のブリッジ570の長さとのうち、大きい方の距離をもって離れている。第二の点が見つかり、第一の点560と第二の点との間の新たな直線状のサブセグメントが、単一のトロコイド状の切削工具経路セグメント564に追加される。

【0142】

係合角度が、予め定められた最大係合角度よりも大きい場合、算出された係合角度が予め定められた最大係合角度と概して等しくなる第二の点を求めるための二分探索が実行される。該二分探索は、第一のブリッジ570のブリッジ点572と、可能な第二の点との間で実行される。第二の点が見つかり、第一の点560と第二の点との間の新たな直線状のサブセグメントが、単一のトロコイド状の切削工具経路セグメント564に加えられる。

【0143】

図4Bの図示される例では、交点574が第二の点として選択され、第一の点560と第二の点574との間の新たな直線状のサブセグメント580が、単一のトロコイド状の切削工具経路セグメント564に加えられる。

【0144】

続いて、単一のトロコイド状の工具経路セグメント564の残りの算出は、順に並んだブリッジ550上の好適な点を経て、選択されたフロント552の反対側の端部562に至るまで、工具経路サブセグメントの上述の算出を再帰的に実行することによって達成される。単一のトロコイド状の工具経路セグメント564が島状部と交差する場合、該単一のトロコイド状の工具経路セグメント564は、単一のトロコイド状の工具経路セグメント564と島状部の外側境界との交点でクリッピングされることによって、単一のトロコイド状の工具経路セグメント564の2つの互いに離れた(disjoint)サブセグメントをつくりだす。次に、これら2つのサブセグメントは、フロントに面する島状部の外側境界のセクションに沿って接続され、そのセクションは閉じた縁部である。

10

20

30

40

50

【 0 1 4 5 】

上述の算出は、タイプIIの領域の一部を機械加工するための工具経路セグメントの算出をやり遂げるものである。この時点で、機械加工されるべきタイプIIの領域の残りが算出され、タイプIIの領域の残りを機械加工するための工具経路が、上述の通り、再帰的に算出される。タイプIIの領域の残りの機械加工には、タイプIIの領域の残りのフロントの始端に切削工具のを再位置付けする必要があることが理解されよう。再位置付け技術が当業者によく知られていることが理解されよう。

【 0 1 4 6 】

ここで、タイプIIIの領域の機械加工のための工具経路の算出について述べる。上述のように、タイプIIIの領域を機械加工するときには、発散する螺旋状の工具経路が好ましい。タイプIIIの領域を機械加工するために算出される発散する螺旋状の工具経路セグメントは、最内輪郭(innermost contour)から、複数の入れ子(nested)になった内部輪郭をt通って、外側境界へと、外方向に螺旋状になる工具経路セグメントである。該入れ子になった内部輪郭は、次のように算出される：

第一の入れ子になった内部輪郭は、領域の外側境界の内部で、切削工具の半径の1.5倍分に概して等しい距離分オフセットされている輪郭となるように算出される。次に、さらなる入れ子になった内部輪郭が、第一の入れ子になった内部輪郭から内方向に、再帰的に算出され、入れ子になった内部輪郭のそれぞれは、そのすぐ外側に隣接する入れ子になった内部輪郭から、回転切削工具の半径の1.5倍に概して等しい距離をもって、内方向に離間している。最後の入れ子になった内部輪郭は、切削工具の半径の1.5倍よりも輪郭上のうちの少なくとも1つの点に近いエリアの中心を持つ輪郭となるように算出される。最後の入れ子になった内部輪郭の内方向に、最内輪郭は、切削工具の半径よりも概して小さい半径を持つ小さい円となるように算出され、該円は、最後の入れ子になった内部オフセット輪郭のエリアの中心を中心とする。

【 0 1 4 7 】

最内輪郭が、島状部の外側境界内にあるか、または、島状部の外側境界と交差する場合、堀状部が島状部を巡るべく算出され、最内輪郭は、堀状部の外側境界のすぐ外側になるように再算出されることによって、最内輪郭が、あらゆる他の島状部と交差しないようにする。あらゆる島状部の外側境界と交差する入れ子になった内部輪郭が排除されることがわかる。

【 0 1 4 8 】

入れ子になった内部輪郭が算出されたら、最内輪郭から最後の入れ子になった内部オフセット輪郭まで外方向に螺旋状になる発散する螺旋状の工具経路セグメントに含まれるべきループの数が、好ましくは、以下の通りに算出される：

複数のブリッジ線が、最内輪郭から、そのすぐ外側に隣接する隣の内部オフセット輪郭まで延びている。それぞれのブリッジのブリッジ点は、最初に、ブリッジと最内輪郭との交点として定められる。最小ステップオーバーによって分割される最短のブリッジの長さは、発散する螺旋状の工具経路に理論上含まれ得るループの理論上の最大数を提供する。最大ステップオーバーによって分割される最長ブリッジの長さによって、最内輪郭と隣の内部オフセット輪郭との間で、エリア全体を機械加工するのに必要とされる発散する螺旋状の工具経路セグメントに含まれるべきループの数の絶対最小値が提供される。

【 0 1 4 9 】

発散する螺旋状の工具経路セグメントが到達できる最内輪郭からの任意の方向における最遠の距離は、発散する螺旋状の工具経路セグメントに含まれるループの数を、最大ステップオーバーで乗算したものであることが理解されよう。この最遠の距離を超える最内輪郭と隣の内部オフセット輪郭との間のエリアは、発散する螺旋状の工具経路セグメントによって機械加工できず、好ましくは、発散する螺旋状の工具経路セグメントの機械加工の後でクリッピングによって機械加工される。

【 0 1 5 0 】

螺旋状の工具経路セグメントに含めるべき可能なループの数を表すために、パラメータ

10

20

30

40

50

- n が終始使用されていて、n は、螺旋状の工具経路セグメントに含まれる必要があるループの最小数と、螺旋状の工具経路セグメントに含まれ得るループの最大数との間の数である。

【0151】

n のそれぞれ可能な値については、最内輪郭と隣の内部オフセット輪郭との間のエリアを機械加工するのに必要な作業時間が、上述の通り、螺旋状の工具経路セグメントを機械加工するのに必要な時間と、最内輪郭と隣の内部オフセット輪郭との間で特定されたすべてのクリッピングされたエリアを機械加工するのに必要な時間とを合計することによって算出される。螺旋状の工具経路セグメントに含まれるべきループの最適な値は、算出される作業時間が最短となるような n の値となるように選択される。

10

【0152】

工具経路セグメントに含まれるべきループの最適な値が選択されたら、螺旋状の工具経路セグメントの実際の経路が算出される。最初に、第一のブリッジのブリッジ点が、好ましくは、螺旋状の工具経路セグメントの開始螺旋点として選択される。第一のブリッジは、好ましくは、回転切削工具をその以前の位置から移動させるのに必要な時間を最小化すべく選択される。可能な螺旋状の工具経路セグメントの第二の螺旋点は、第一のブリッジから切削工具が登る方向に第一のブリッジにすぐ隣接する、第二のブリッジ上の点として算出される。該点は、第二のブリッジのブリッジ点から、第二のブリッジの長さを工具経路セグメントに含まれるべき残りのループの数で除した距離をもって離れている。

【0153】

20

可能な第二の螺旋点については、第一の螺旋点から可能な第二の螺旋点へと切削工具経路をたどることによって、切削工具が材料に係合することになる場合の係合角度が算出される。算出された係合角度が所定の最小および最大係合角度間にある場合、可能な第二の螺旋点は、第二の螺旋点として選択され、第一の螺旋点と第二の螺旋点との間の新たな直線状のサブセグメントが、螺旋状の切削工具経路セグメントに加えらる。

【0154】

係合角度が所定の最小係合角度よりも小さい場合、算出された係合角度が所定の最小係合角度に概して等しくなる第二の螺旋点を求める二分探索が実行される。二分探索は、可能な第二の螺旋点と、第二のブリッジのブリッジ点から最大ステップオーバー分の距離を置いている第二のブリッジ上の点との間で実行される。第二の螺旋点が見つかり、第一の螺旋点と第二の螺旋点との間の新たな直線状のサブセグメントが、螺旋状の工具経路セグメントに加えらる。

30

【0155】

係合角度が所定の最大係合角度よりも大きい場合、算出された係合角度が所定の最大係合角度に概して等しくなる第二の螺旋点を求める二分探索が実行される。二分探索は、第二のブリッジのブリッジ点と可能な第二の螺旋点との間で実行される。第二の螺旋点が見つかり、第一の螺旋点と第二の螺旋点との間の新たな直線状のサブセグメントが、螺旋状の工具経路セグメントに加えらる。

【0156】

新たな直線状のサブセグメントが島状部と交差する場合、螺旋状の工具経路セグメントの算出はその交点で終了し、堀状部が、該交点において開始し、島状部を巡るように算出される。工具経路がまだ算出されていない領域の残りは、別々に算出されるべき新たなタイプIIIの領域とされる。

40

【0157】

新たな直線状のサブセグメントが、隣の内部オフセット輪郭と交差する場合、発散する螺旋状の工具経路セグメントの追加のループが算出され、隣の内部オフセット輪郭の内側にある追加のループの部分が、発散する螺旋状の工具経路セグメントと隣の内部オフセット輪郭との間の1つ以上の未算出の残余領域(residual region)を画定し、該残余領域は、それぞれ、タイプIIの領域として、好ましくは、トロコイド状の工具経路セグメントを利用することによって算出される。隣の内部オフセット輪郭の内側の追加のループの部分

50

は、発散する螺旋状の工具経路セグメントの最終ループである連続したループを形成するため、隣の内部オフセット輪郭に沿って接続される。

【 0 1 5 8 】

第二の螺旋点が算出されたら、工具経路セグメントに含まれるべきループの残りの数が再算出され、螺旋状の切削工具経路セグメントの後続のセグメントが、再帰的に算出され、それによって、該第二の螺旋点は、螺旋状の工具経路セグメントの残りの新たな開始点とされ、第二のブリッジから切削工具の上昇する方向に第二のブリッジにすぐ隣接するブリッジは、新たな第二のブリッジとされる。加えて、第二の螺旋点は、第二のブリッジの新たなブリッジ点とされ、機械加工されるべき残りの領域が再算出される。

【 0 1 5 9 】

続いて、領域の残りについての、発散する螺旋状の工具経路の残りの算出が、最後の入れ子になった内部オフセット輪郭と領域の外側境界との間で、後続の連続した入れ子になった内部輪郭の対全体にわたって、発散する螺旋状の工具経路セグメントの上述の算出を再帰的に実行することによって達成される。

【 0 1 6 0 】

上述した工具経路の算出の全てが、区分的な(piecewise)直線状の工具経路を生成するものであることが理解されよう。区分的な直線状の工具経路が、特定の CNC 機械によって機械加工される特定の被加工物に好適でない場合、該区分的な直線状の工具経路のスムージング近似(smoothing approximation)が算出され得る。そのような近似法(approximation method)は、当業者によく知られている。

【 0 1 6 1 】

ここで、図 1 D の図示されている例に戻る。断面 1 1 6 は、最初に、複数の突起部を含むタイプ I の領域として特定される。従って、収束する螺旋状の工具経路セグメントが、最初の工具経路セグメントとして、被加工物の外側境界と算出される内部輪郭との間にあるように算出される。この算出は、好ましくは、断面 1 1 6 の周辺のすぐ外側の、選択された位置から始まる螺旋状の工具経路セグメントの算出で始まる。この文脈において、図 1 E - 1 および 1 E - 2 を参照する。これらは、それぞれ、目的物 1 0 0 の外形 1 2 1 を重ねた原材料 1 1 4 の等角図および上面図であり、最初の螺旋状の工具経路セグメントは、概して、参照符号 1 2 2 で示されている。螺旋状の工具経路が、実線で表され、回転切削工具の中心を表し、その断面の広がり、図 1 E - 2 において参照符号 1 2 4 で表されていることがわかる。選択された位置は、ここでは参照符号 1 2 6 で表され、好ましくは、回転切削工具をその以前の位置から移動させるのに必要な時間を最小にすべく選択される。

【 0 1 6 2 】

図 1 E - 1 および 1 E - 2 の図示される例において、最初の工具経路セグメントは、上述のように算出された発散する螺旋状のセグメントである。図 1 E - 1 および 1 E - 2 に示されるように、最初の螺旋状の工具経路セグメント 1 2 2 は、最終的には、交点 1 3 0 で島状部 1 0 5 と交差するが、該交点で、該螺旋状の工具経路セグメント 1 2 2 は終端となる。図 1 F - 1 および 1 F - 2 に示されるように、島状部 1 0 5 を巡る堀状部 1 3 2 が算出される。

【 0 1 6 3 】

図 1 F - 1 および 1 F - 2 に示されるように、堀状部 1 3 2 の内部境界 1 3 4 は、島状部 1 0 5 の外側境界に概して沿うように算出される。狭いオフセットが、島状部 1 0 5 と堀状部の内部境界 1 3 4 との間に残り、これが、後の段階で仕上げ機械加工され得ることが理解されよう。堀状部 1 3 2 の外側境界 1 3 6 は、内部境界 1 3 4 から堀状部の幅だけオフセットされるように算出される。

【 0 1 6 4 】

図 1 F - 1 および 1 F - 2 に示されるように、堀状部 1 3 2 の外側境界 1 3 6 は、点 1 3 8、1 3 9 で島状部 1 0 7 と交差する。従って、追加の堀状部 1 4 0 は、島状部 1 0 7 を巡るように算出され、それによって、堀状部 1 3 2、1 4 0 がつながって、島状部 1 0

10

20

30

40

50

5、107を巡る1つの連続した堀状部を形成する。図1F-1および1F-2に明確に示されるように、最初の螺旋状の工具経路セグメント122と後続の堀状部132、140とを組合せたものは、島状部105、107を巡り、参照符号142で表される新たなタイプIの領域を定める。

【0165】

領域142は、複数の島状部109、111、113を含んでいる。図1F-1および1F-2に明確に示されるように、ボトルネック150は、該領域142において検出される。従って、図1G-1および1G-2に示されるように、分離用チャンネル152は、ボトルネック150の位置において算出され、該領域142を、参照符号154、156で表される2つの独立したタイプIの領域へと効率的に分割する。

10

【0166】

ここで、図1H-1および1H-2を参照すると、領域154について螺旋状の工具経路セグメントが最初に算出される一方、該領域156の算出が延期されることが示されている。図1H-1および1H-2に示されるように、開始点160が選択され、螺旋状の工具経路セグメント162は、最初の点160から、概して領域154の外側境界に沿って、交点164で島状部109と交差するまで延び、該交点で、螺旋状の工具経路セグメント162が終端となる。図1I-1および1I-2に示されるように、島状部109を巡る堀状部166が算出される。領域154の残りは、参照符号170で表されるタイプIの領域として特定される。

【0167】

20

領域170は、島状部111、113を含んでいる。1I-1および1I-2に明確に示されるように、ボトルネック172は、領域170において検出される。従って、1J-1および1J-2に示されるように、分離用チャンネル174が、ボトルネック172の位置で算出され、領域170を、参照符号176、178で表される2つの独立したタイプIの領域へと効率的に分割する。

【0168】

ここで、1K-1および1K-2を参照すると、領域176を機械加工するための螺旋状の経路が最初に算出される一方、領域178の算出は後回しにされることが示されている。図1K-1および1K-2に示されるように、領域176は、島状部を全く含まず、そのため、領域176の内部境界が、工具の半径よりも概して小さい半径を有し、かつ、領域176のエリアの中心を中心とするような小さい円177となるような領域176を機械加工するために、収束する螺旋状の工具経路セグメントが算出される。

30

【0169】

続いて、領域178についての螺旋状の工具経路セグメントが算出される。図1L-1および1L-2に示されるように、開始点180が選択され、螺旋状の工具経路セグメント182は、最初の点180から、領域178の外側境界に概して沿って、交点184で島状部111と交差するまで延び、該交点において、螺旋状の工具経路セグメント182が終端となる。図1M-1および1M-2に示されるように、突起部110を巡る堀状部186が算出される。

【0170】

40

堀状部の外側境界が、堀状部を含むタイプIの領域の外側境界にごく近接するべく算出される場合、堀状部の局所的な拡幅が、堀状部と、領域の外側境界との間の狭い残壁部の形成を防ぐべく算出されることが理解される。当業者に知られている通り、狭い残壁部の形成は、それらを機械加工することが、切削工具および/または被加工物の損傷につながり得るため、望ましくない。

【0171】

図1M-1および1M-2に示されるように、堀状部186の外側境界は、領域178の外側境界にごく近接するべく算出される。従って、堀状部186は、狭い残壁部エリア189に沿って、領域178の外側境界まで局所的に幅が広くなり、該残壁部エリアにおいて、この幅が広くなることがなければ、堀状部186と領域178の外側境界との間に

50

狭い残壁部が形成されるであろう。局所的に幅が広がった堀状部 186 は、領域 178 を、参照符号 190、192 で表される 2 つの独立したタイプ I の領域へと分割する。

【0172】

ここで、図 1N - 1 および 1N - 2 を参照すると、領域 190 が最初に算出される一方で、領域 192 の算出が延期されることが示されている。図 1N - 1 および 1N - 2 に示されるように、符号 196、198 で表される領域 190 の 2 つのクリッピングされたエリアが特定される。エリア 196、198 は、螺旋状の工具経路セグメントによる領域 190 の残りの機械加工の前に、トロコイド状の工具経路セグメントによって機械加工されるべく算出される。

【0173】

領域 190 の残りは、島状部を全く含まず、そのため、内部境界が、工具の半径よりも概して小さい半径を有し、かつ、領域 190 の残りのエリアの中心を中心とするような小さい円 191 となるような、領域 190 の残りを機械加工するために、収束する螺旋状の工具経路セグメントが算出される。

【0174】

続いて、領域 192 についての螺旋状の工具経路セグメントが算出される。図 1O - 1 および 1O - 2 に示されるように、符号 200 で表される領域 192 の 1 つのエリアは、クリッピングによって特定される。エリア 200 は、螺旋状の工具経路セグメントによる領域 192 の残りの機械加工の前に、トロコイド状の工具経路セグメントによって機械加工されるべく算出される。

【0175】

加えて、図 1P - 1 および 1P - 2 に示されるように、符号 202 で表される領域 192 の追加のエリアが、クリッピングによって特定される。しかしながら、エリア 202 は、別個のタイプ I の領域としてより効率的に機械加工されるように算出される。従って、領域 192 の残りを、符号 202、214 で表される 2 つのタイプ I の領域へと分割する分離用チャンネル 210 が算出される。領域 202 は、突起部を全く含まず、そのため、図 1Q - 1 および 1Q - 2 に示されるように、内部境界が、工具の半径よりも概して小さい半径を有し、かつ、領域 202 のエリアの中心を中心とするような小さい円 213 となるような領域 202 を機械加工するために、収束する螺旋状の工具経路セグメントが算出される。

【0176】

分離用チャンネル 210 を機械加工すること、および、領域 202 をタイプ I の領域として機械加工することによって、トロコイド状の工具経路セグメントによる領域 202 の機械加工時間よりも短い機械加工時間となるように算出される。

【0177】

ここで、図 1R - 1 および 1R - 2 を参照すると、領域 214 は、1 つの島状部 113 を含み、該島状部 113 は、領域 214 内で概して中心に位置していることが示されている。従って、内部境界が島状部 113 の外周に概して沿っているような領域 214 を機械加工するために、収束する螺旋状の工具経路セグメント 216 が算出される。図 1R - 2 に示されるように、螺旋状の工具経路セグメント 216 は、最終的には、交点 218 で島状部 113 と交差しており、該交点において、螺旋状の工具経路セグメント 216 が終端となる。セグメント 216 の機械加工後、島状部 113 に隣接する 1 つ以上のタイプ II の領域が残ることがあり、それらは、トロコイド状の工具経路セグメントによって機械加工されることが理解されよう。

【0178】

ここで、図 1S - 1 および 1S - 2 を参照すると、領域 156 の機械加工が算出されることが示されている。図 1S - 1 および 1S - 2 に示されるように、符号 230 で表された領域 156 のクリッピングされたエリアは、クリッピングによって特定される。エリア 230 は、好ましくは、トロコイド状の工具経路セグメントによって機械加工されるように算出され、次に、領域 156 の残りは、螺旋状の工具経路セグメントによって機械加工

10

20

30

40

50

されるように算出される。

【0179】

上述の算出は、第一のステップダウンを機械加工するための工具経路の算出を構成するものであり、該ステップダウンは、目的物100の機械加工における第一の局面であることが理解される。全体を通じて、「ステップダウン(step down)」という用語は、一定の深さでの、単一の機械加工の局面を表すために使用される。図1Cに示されるように、目的物100の完全な機械加工には、3つのステップダウンが必要とされる。従って、上述の算出に続いて、またこれと同様に、工具経路の設計者は、第二のステップダウン119の機械加工を算出し、その後、第三のステップダウン120を算出することによって、目的物100の全体的な大まかな機械加工を完了する。好ましくは、後続のステップダウン同士の間の垂直距離は、切削工具の直径の概して1～4倍である。

10

【0180】

被加工物の大まかな機械加工に続いて、残りの大まかな機械加工のさらなる段階が算出され、これによって、目的物100の傾斜面上で一連のステップダウンによってつくられる大きな残りのステップが減少することが理解される。

【0181】

ここで図2A～2L-2を参照する。これらは、本発明の好ましい実施形態による他の工具経路の算出を図示している。図2Aおよび2Bは、それぞれ、目的物400の等角投影図および上面図であり、目的物400は、本発明に従って作製できる目的物の他の例である。目的物400の構成は、本発明のさらなる様々な特定の特徴を例示するべく選択されている。従来の3軸の機械工具によって機械加工できる任意の好適な3次元目的物が、本発明の好ましい実施形態に従って作製され得ることがわかる。

20

【0182】

図2Aおよび2Bに示されるように、目的物400は、概して平面状のベース部分402を持つように示され、該ベース部分402から、ここでは参照符号404で表される1つの突起部が延びている。図2Cは、目的物400の断面420を重ねた原材料410を示している。断面420は、外側境界422と、断面420の深さで突起部404の断面に対応する島状部405とを持つことを特徴とする。

【0183】

図2Cの図示される例では、断面420は、1つの島状部405を含むタイプIIIの領域424として最初に特定される。上述したように、複数の入れ子になったオフセット輪郭が、領域424の外側境界422と領域424の最内輪郭との間で算出される。最内輪郭は、島状部405の外側境界と重なるものとして最初に算出される。従って、図2D-1および2D-2に示されるように、堀状部428は、島状部405を巡るように算出され、最内輪郭430は、堀状部428の外側境界のすぐ外側となるように算出される。

30

【0184】

図2D-1および2D-2に示されるように、最内輪郭430および最内輪郭430の外側の入れ子になった内部輪郭440が、タイプIIIの領域442を定める。図2E-1および2E-2に示されるように、分岐している工具経路セグメント443は、最内輪郭430と入れ子になった内部輪郭440との間で、外方向に螺旋状となるように最初に算出されるため、2つの残余領域(residual region)444、446をつくりだす。図2F-1および2F-2に示されるように、残余領域444は、トロコイド状の工具経路セグメントを利用することによって、タイプIIの領域として機械加工されるように算出される。同様に、図2G-1および2G-2に示されるように、残余領域446は、トロコイド状の工具経路セグメントを利用することによってタイプIIの領域として機械加工されるように算出される。

40

【0185】

ここで、図2H-1および2H-2を参照すると、発散する螺旋状の工具経路セグメントは、入れ子になった内部輪郭440と入れ子になった内部輪郭450との間で画定されるタイプIIIの領域448を機械加工するべく算出されることが示されている。続いて、

50

図 2 I - 1 および 2 I - 2 に示されるように、発散する螺旋状の工具経路セグメントは、入れ子になった内部輪郭 4 5 0 と入れ子になった内部輪郭 4 6 0 との間で画定されるタイプ III の領域 4 5 2 を機械加工するように、同様に算出される。

【 0 1 8 6 】

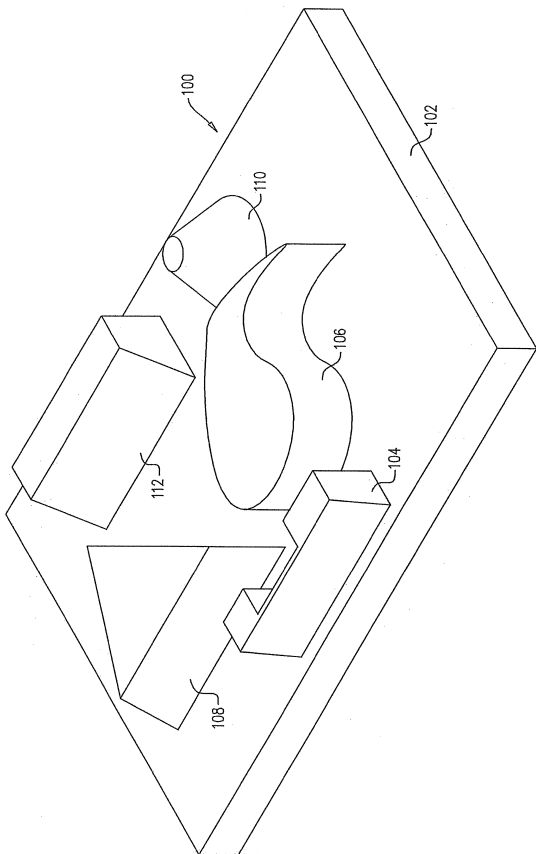
ここで、図 2 J - 1 および 2 J - 2 を参照すると、分岐している工具経路セグメントが、入れ子になった内部輪郭 4 6 0 と外側境界 4 2 2 との間で画定されるタイプ III の領域 4 6 8 を機械加工するべく算出され、そのため、2 つの残りの領域 4 7 0、4 7 2 を作りだすことが示されている。図 2 K - 1 および 2 K - 2 に示されるように、トロコイド状の工具経路セグメントを利用することによって、残りの領域 4 7 0 は、タイプ II の領域として機械加工されるように算出される。同様に、図 2 L - 1 および 2 L - 2 に示されるように、残りの領域 4 7 2 は、トロコイド状の工具経路セグメントを利用することによって、タイプ II の領域として機械加工するように算出され、それによって、目的物 4 0 0 の機械加工の算出を完了する。

10

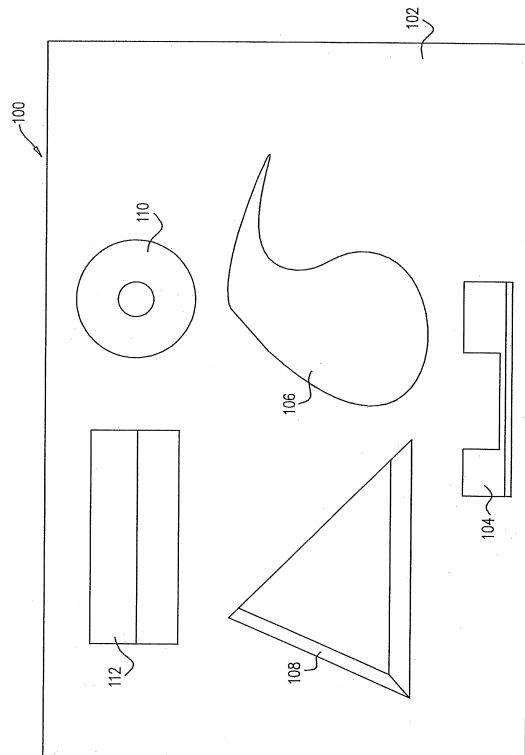
【 0 1 8 7 】

上記に特に示され、記載されている内容によって、本発明は限定されないということが、当業者には理解されるであろう。むしろ、本発明はまた、上記において説明される様々な特徴の組合せおよび部分的組合せを含み、また、先行技術にはないが、当業者が上記の記載を読めば思いつくであろう本発明の変形形態および変更形態をも含む。

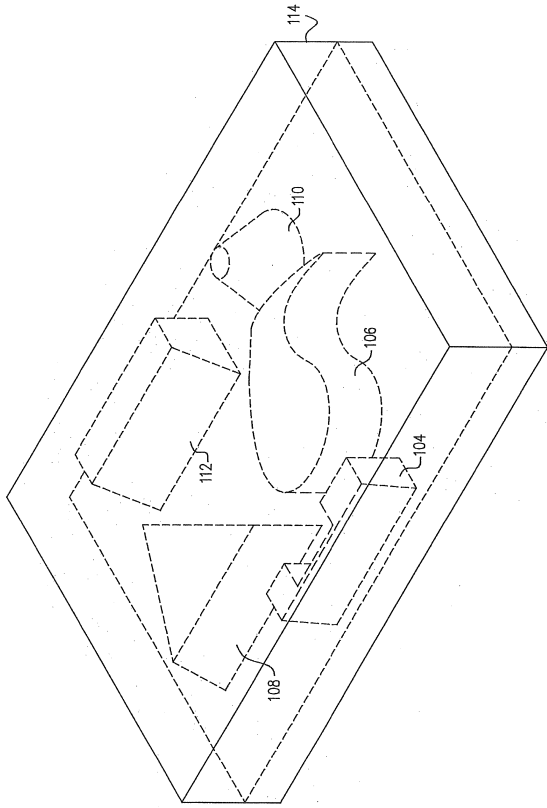
【 図 1 A 】



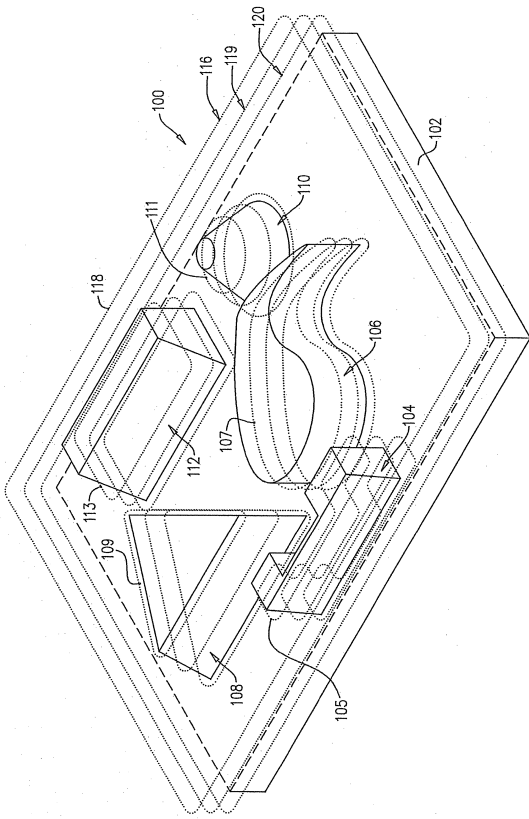
【 図 1 B 】



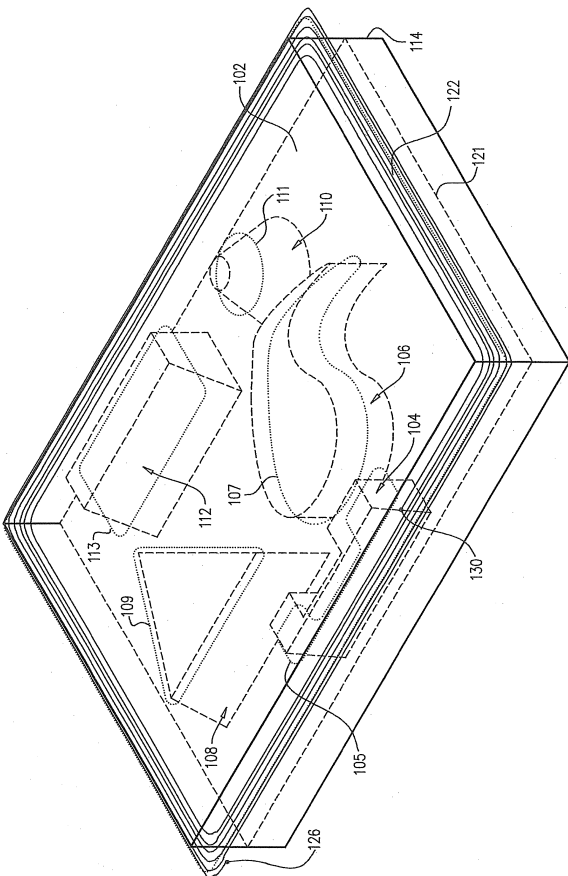
【図 1 C】



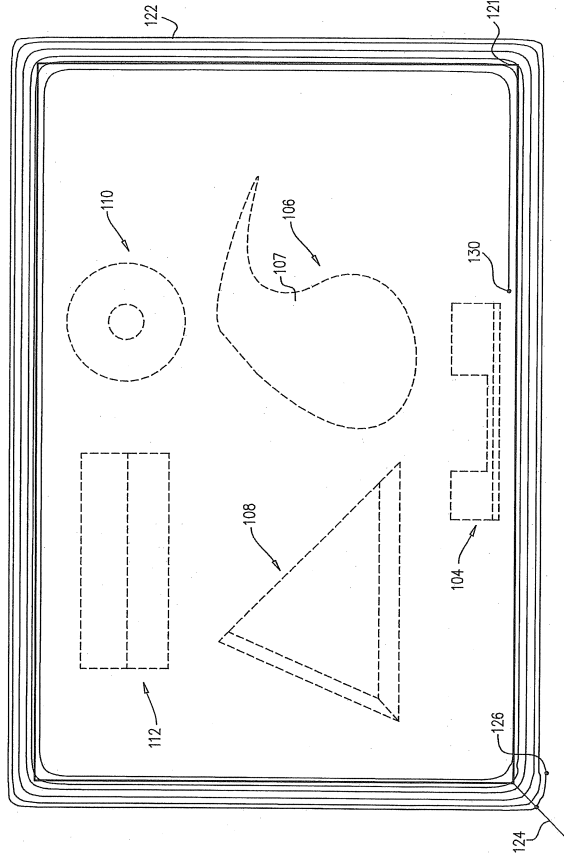
【図 1 D】



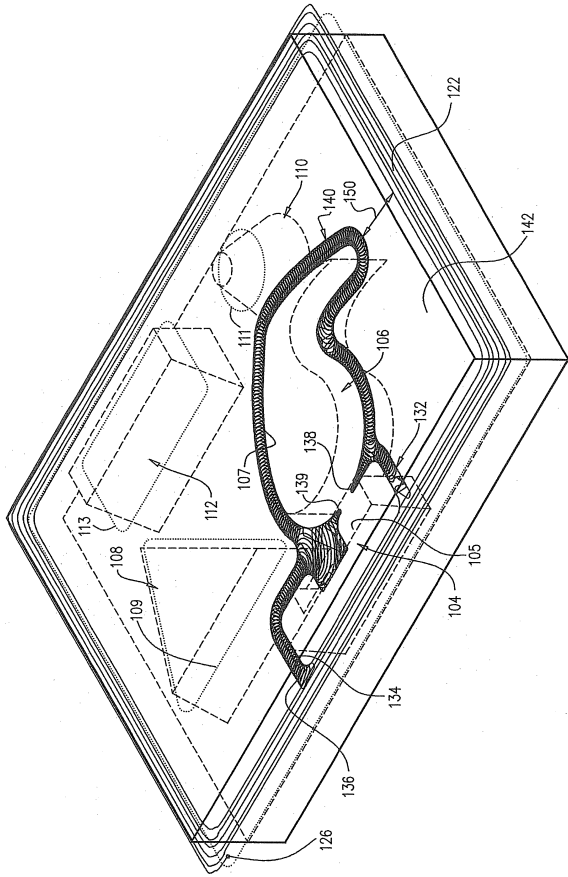
【図 1 E - 1】



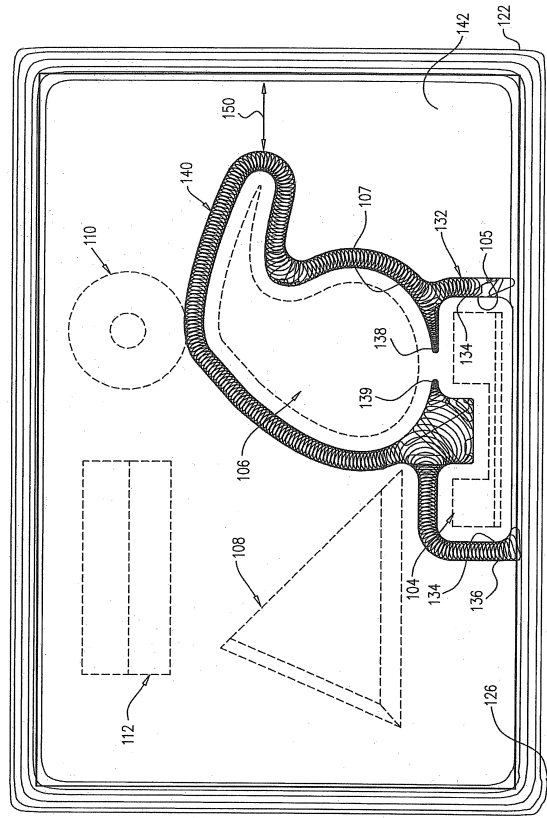
【図 1 E - 2】



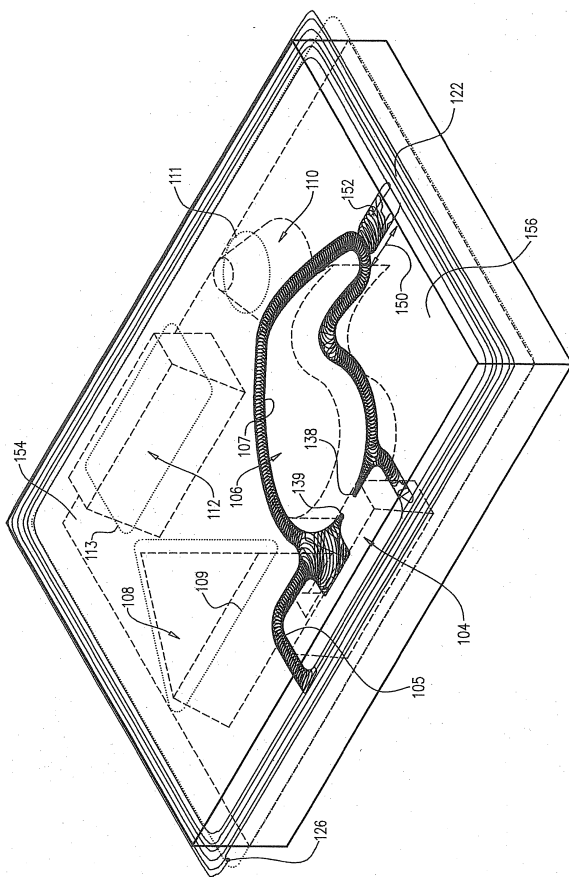
【図1F-1】



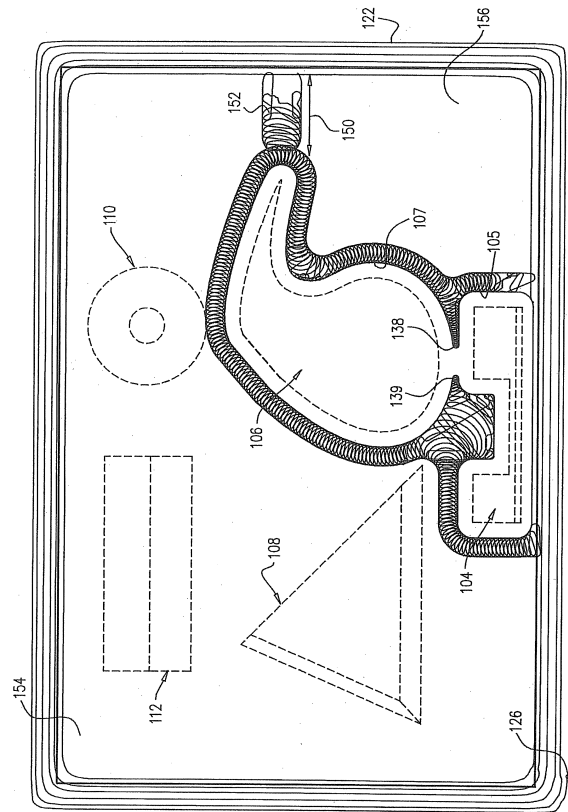
【図1F-2】



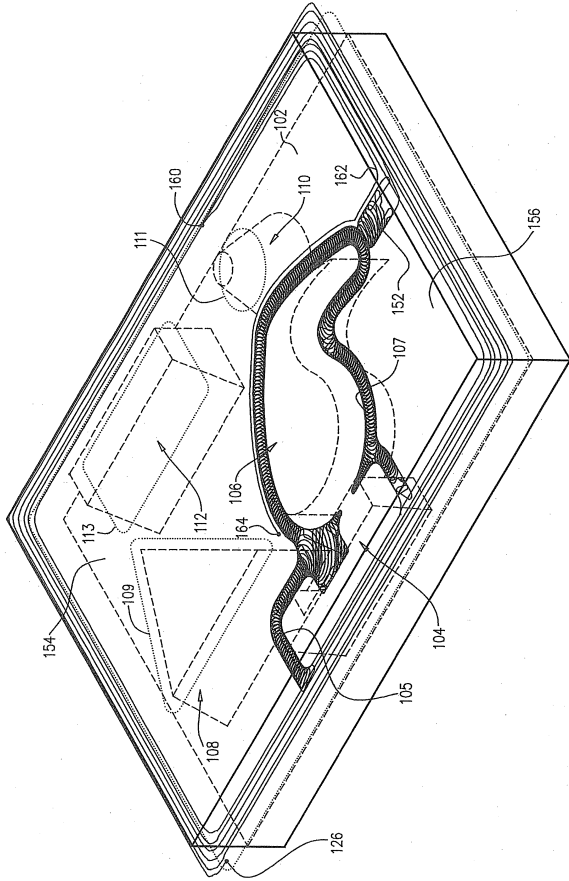
【図1G-1】



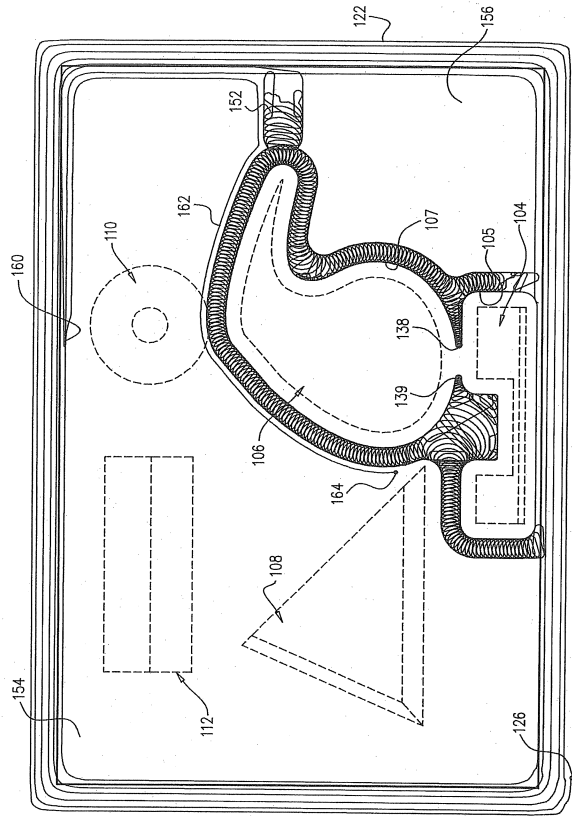
【図1G-2】



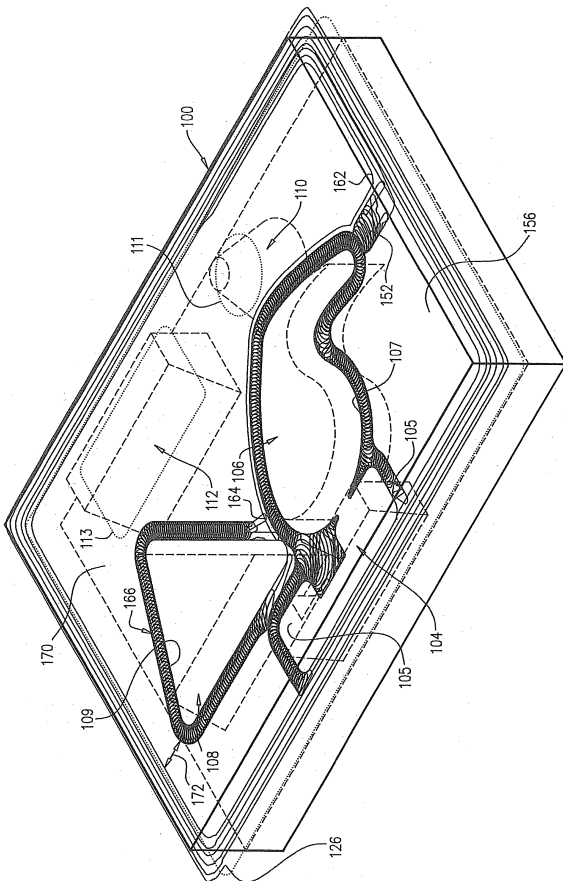
【図1H-1】



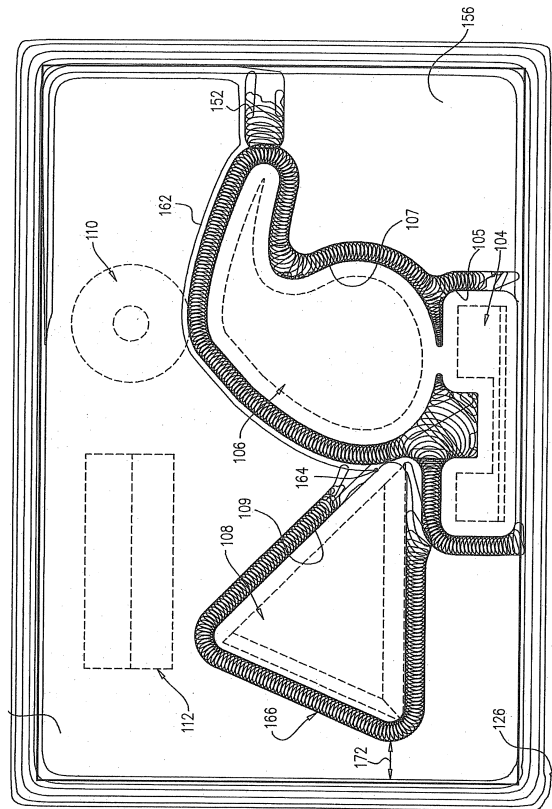
【図1H-2】



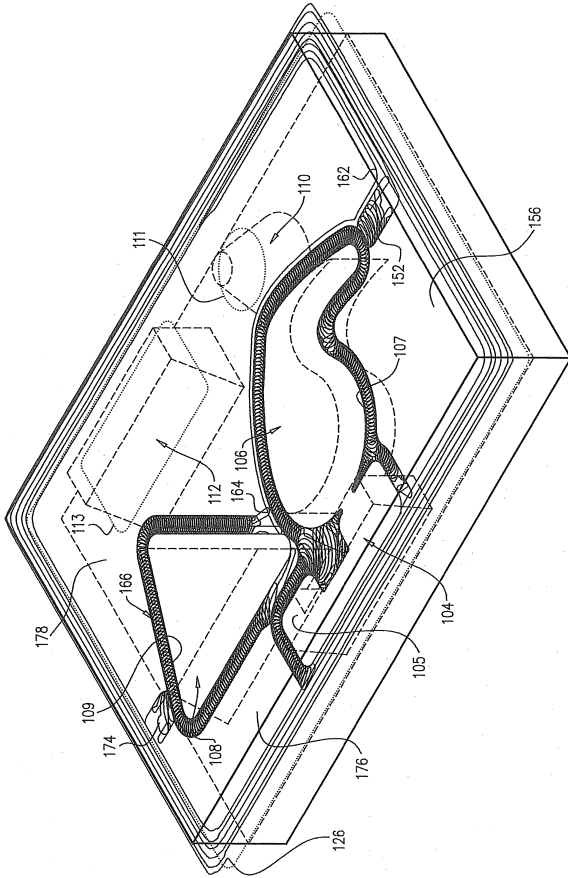
【図1I-1】



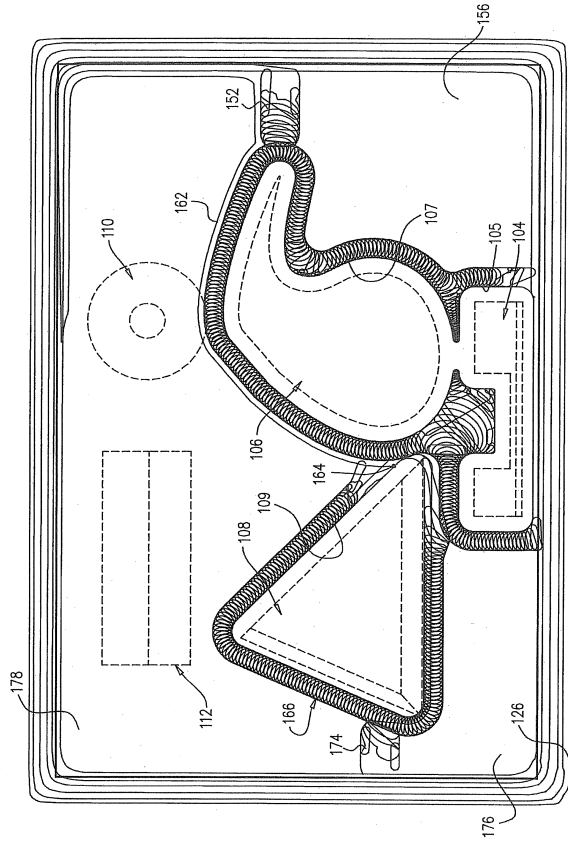
【図1I-2】



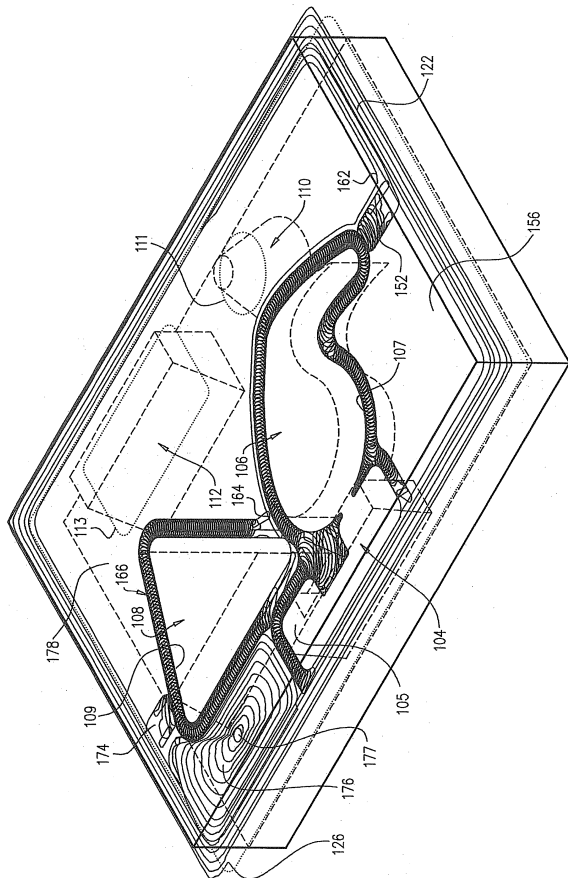
【図1J-1】



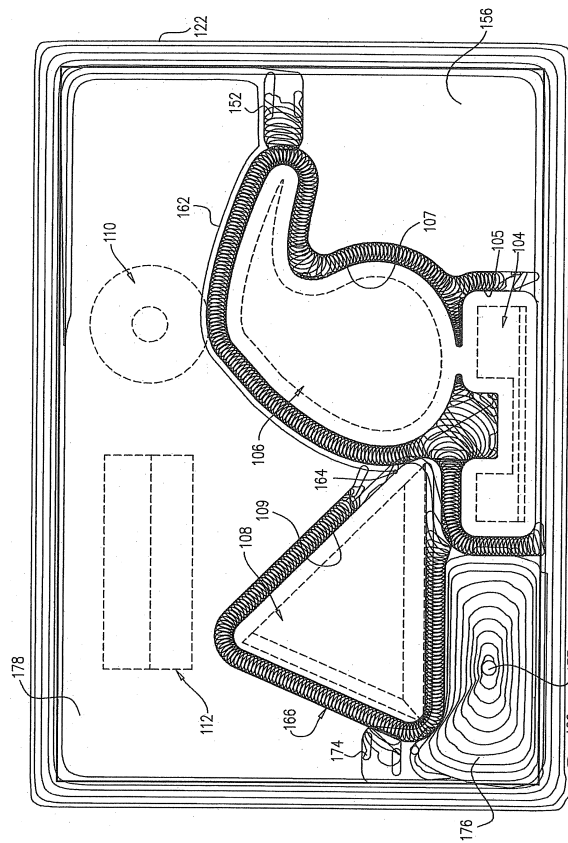
【図1J-2】



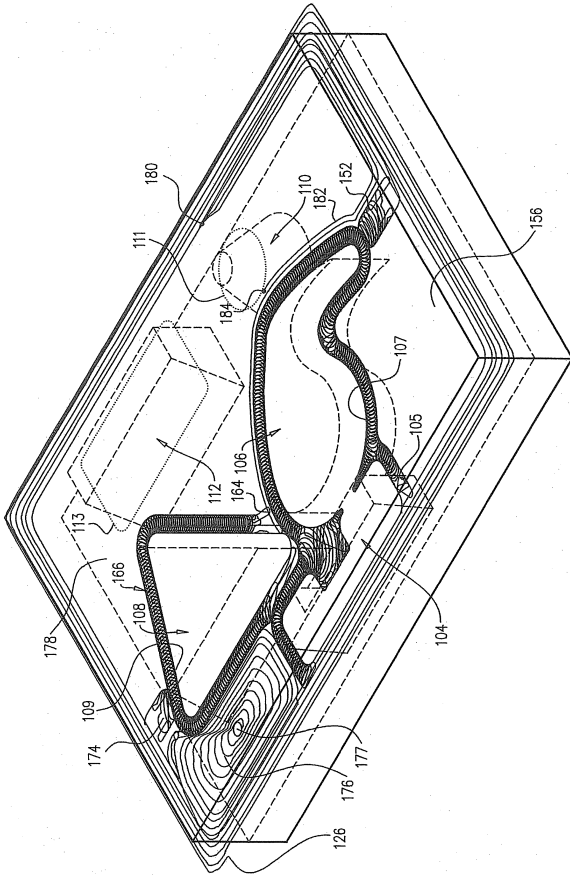
【図1K-1】




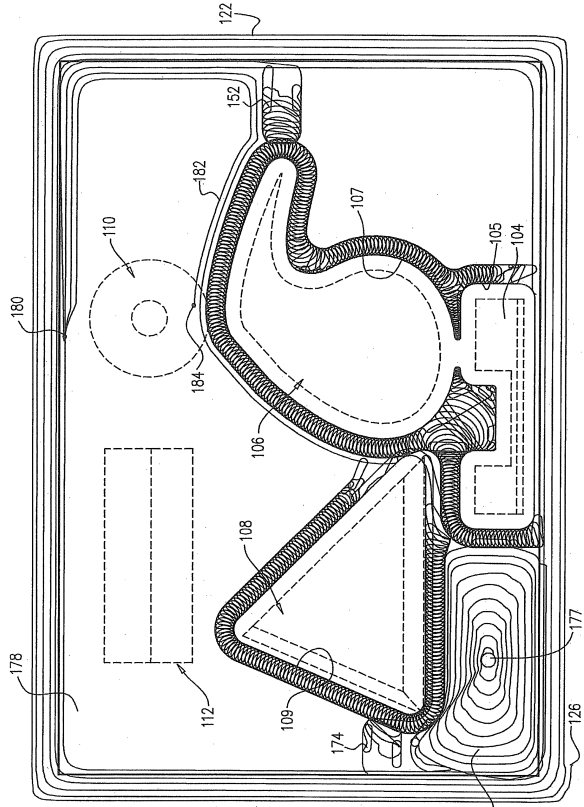
【図1K-2】



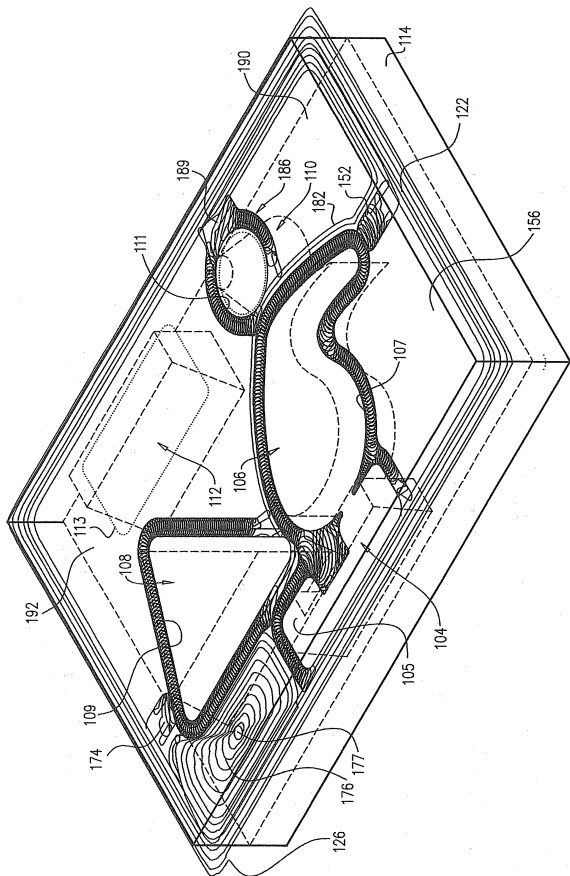
【 1 L - 1】



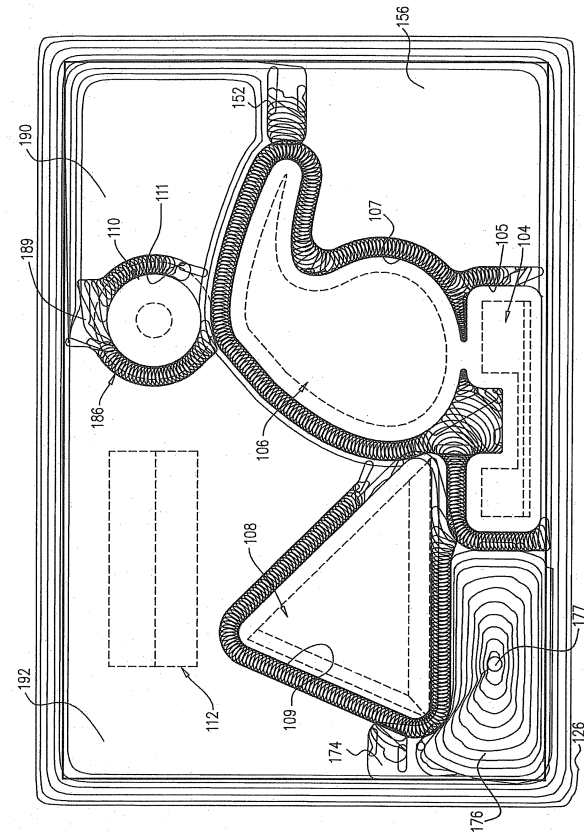
【 1 L - 2】



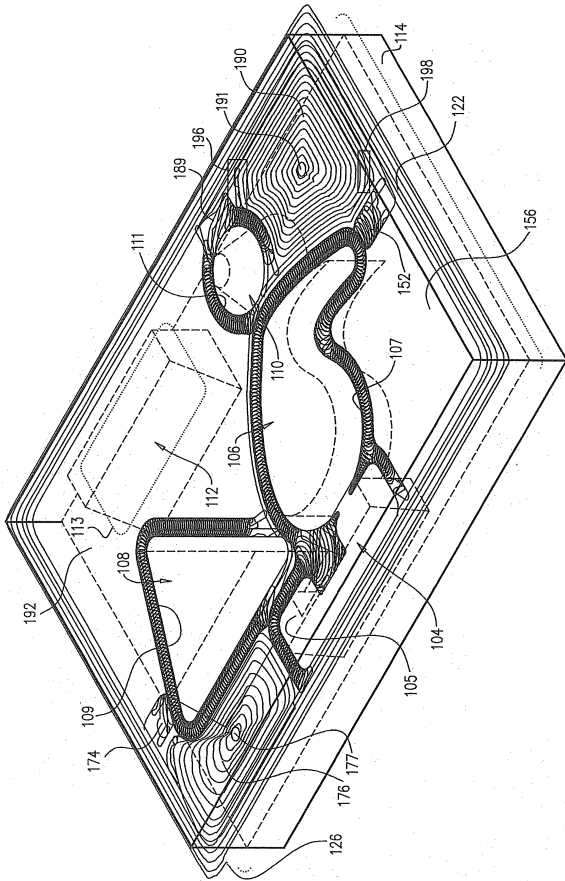
【 1 M - 1】



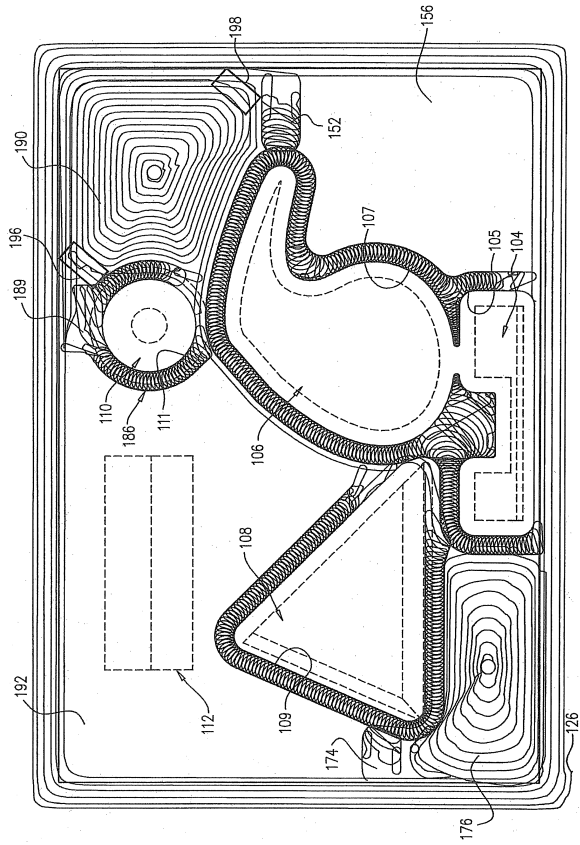
【 1 M - 2】



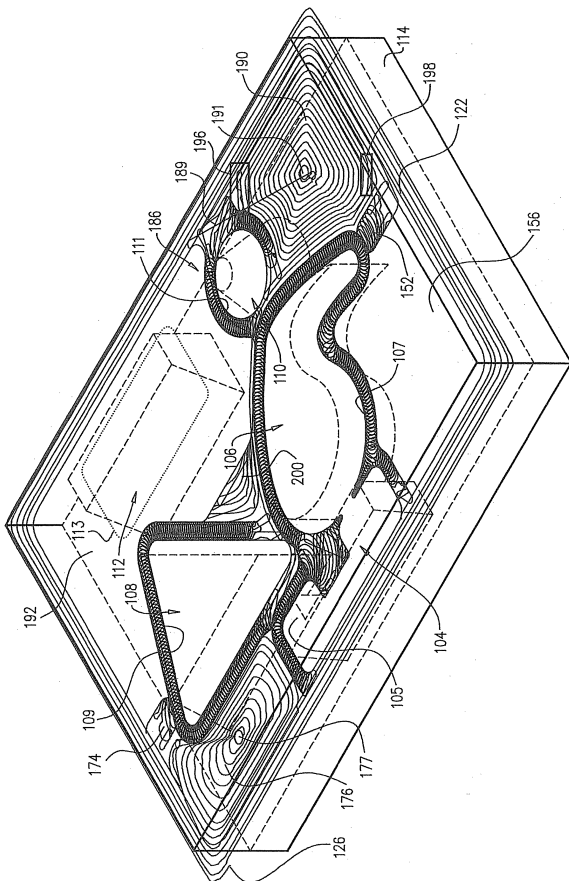
【図1N-1】



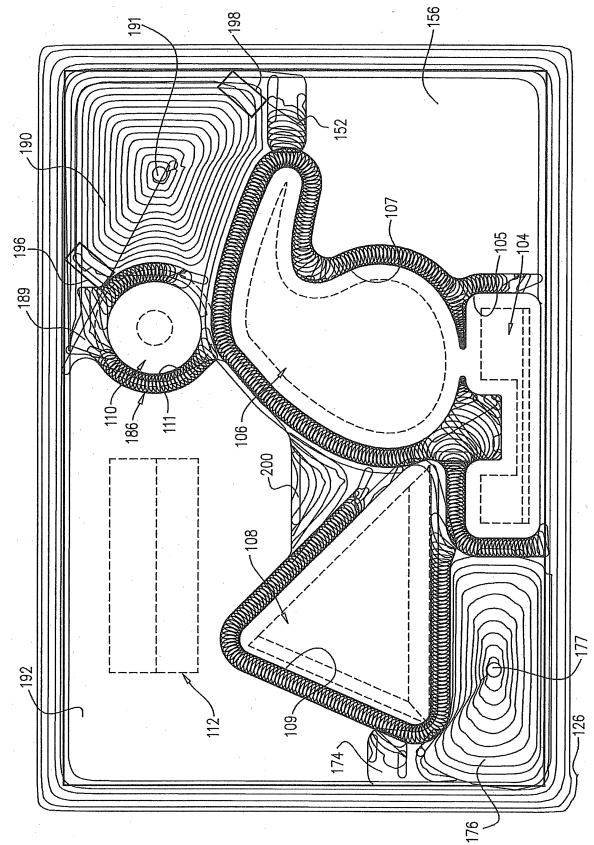
【図1N-2】



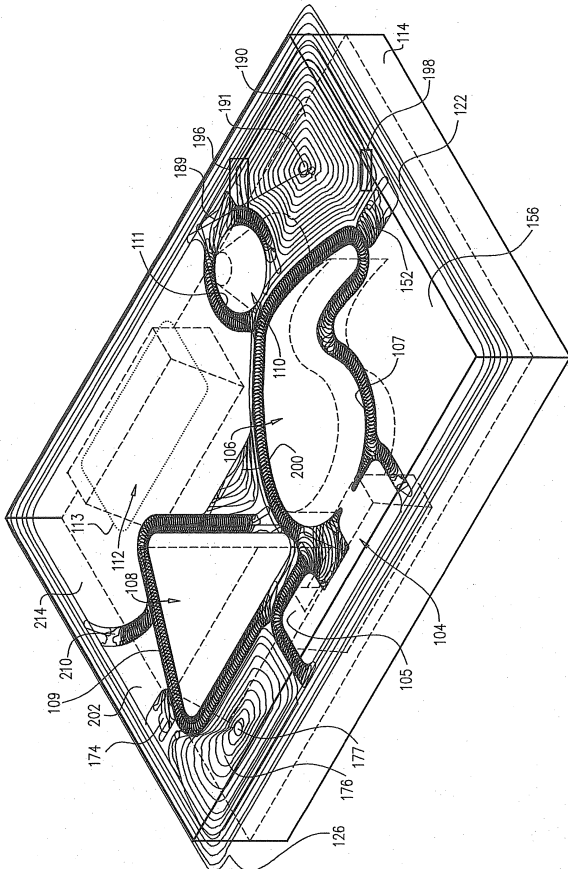
【図10-1】



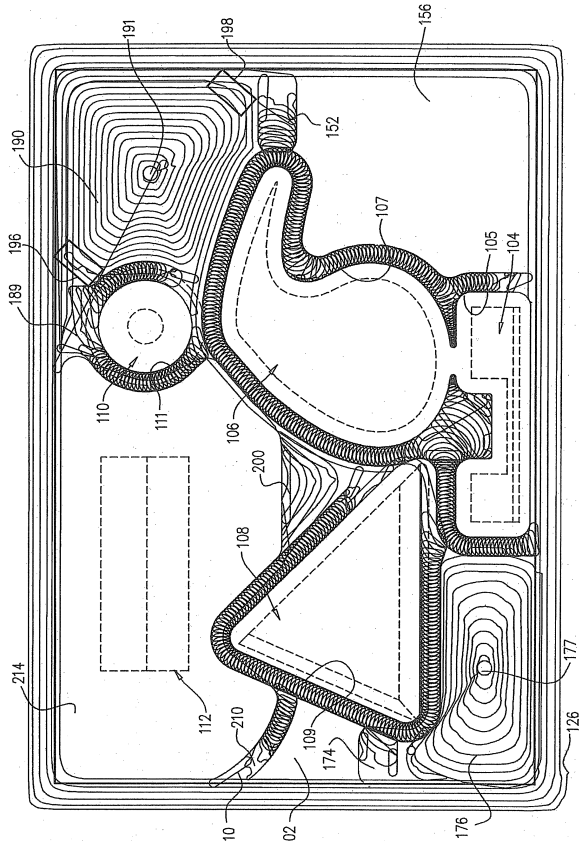
【図10-2】



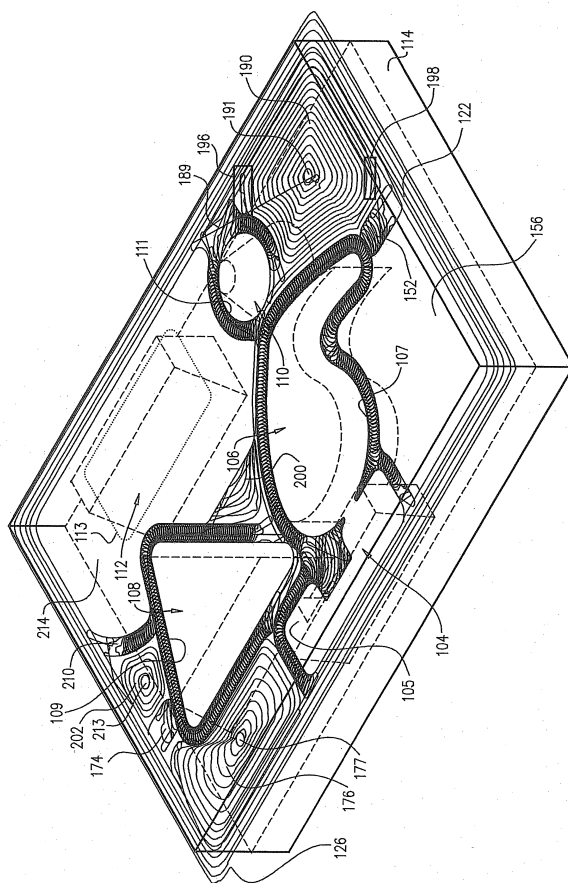
【図1P-1】



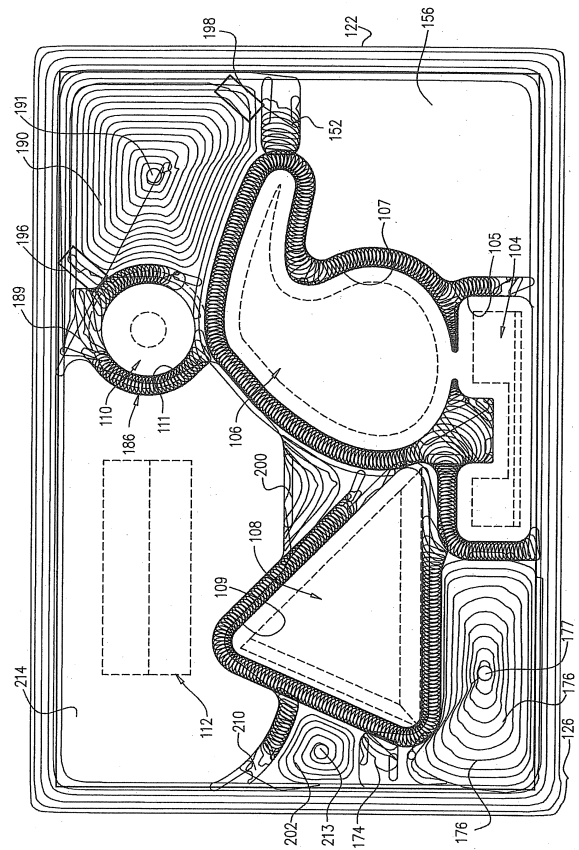
【図1P-2】



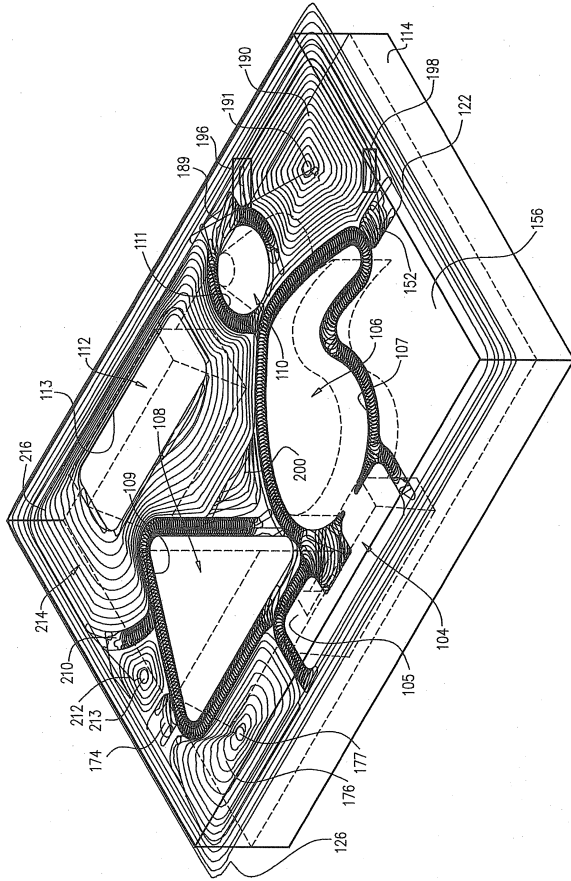
【図1Q-1】



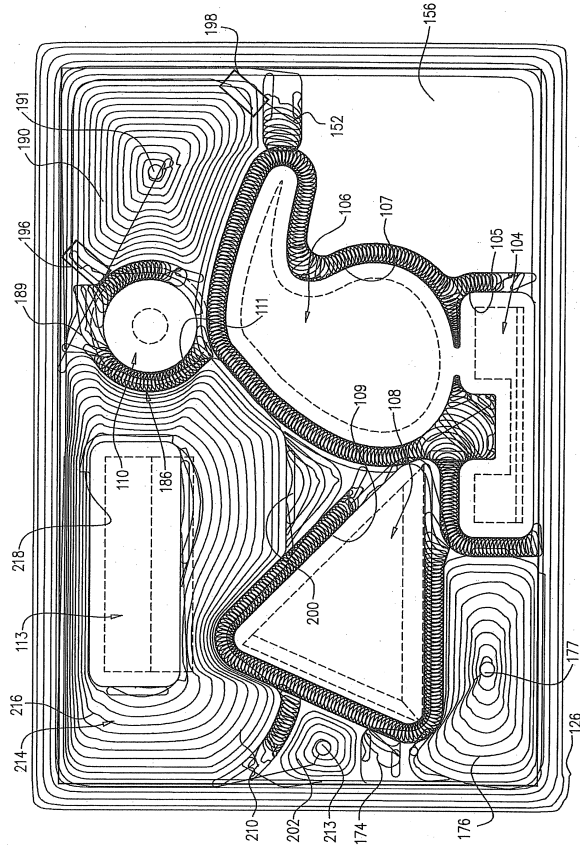
【図1Q-2】



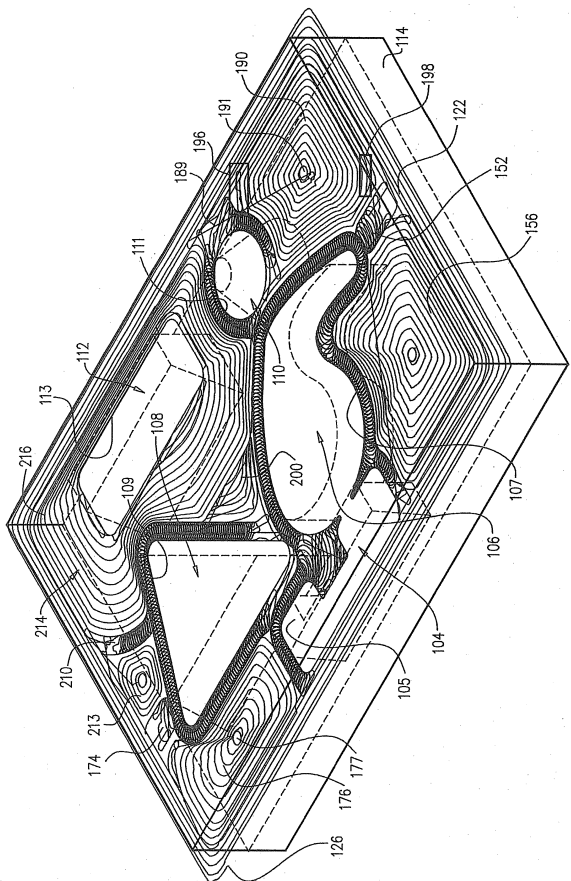
【図1R-1】



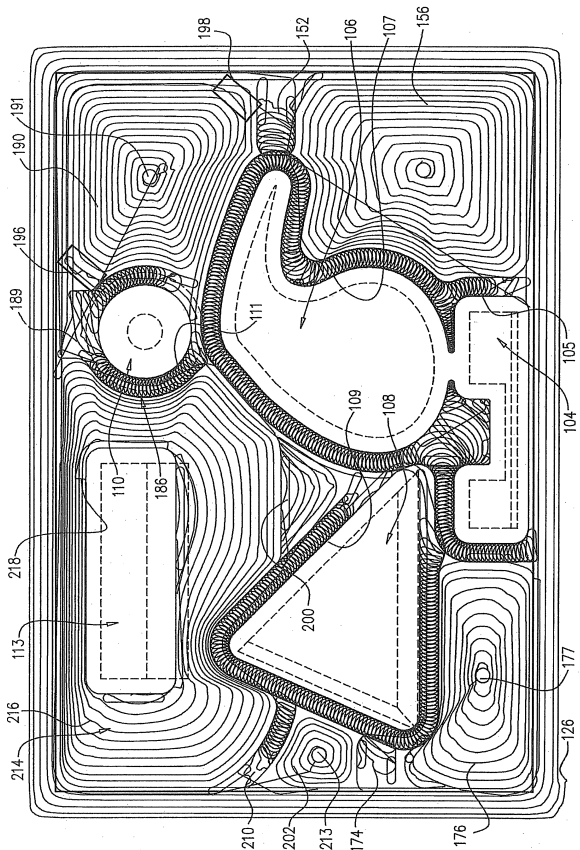
【図1R-2】



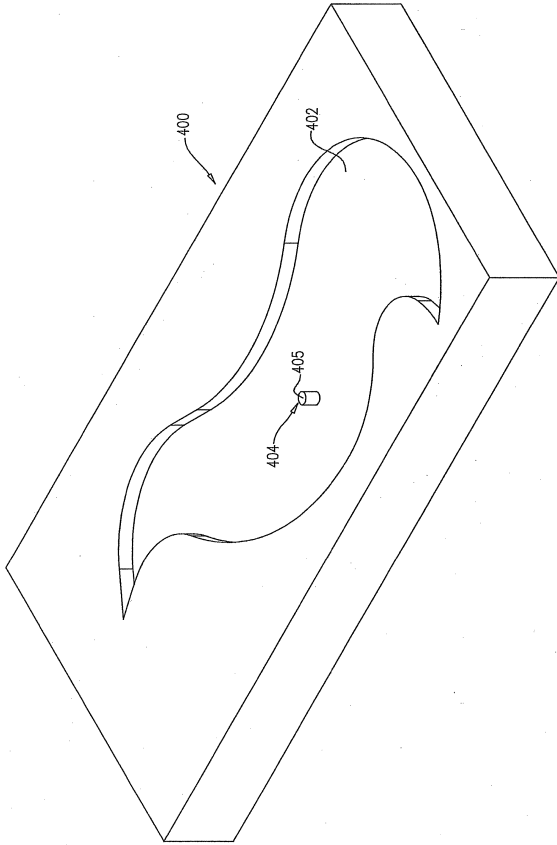
【図1S-1】



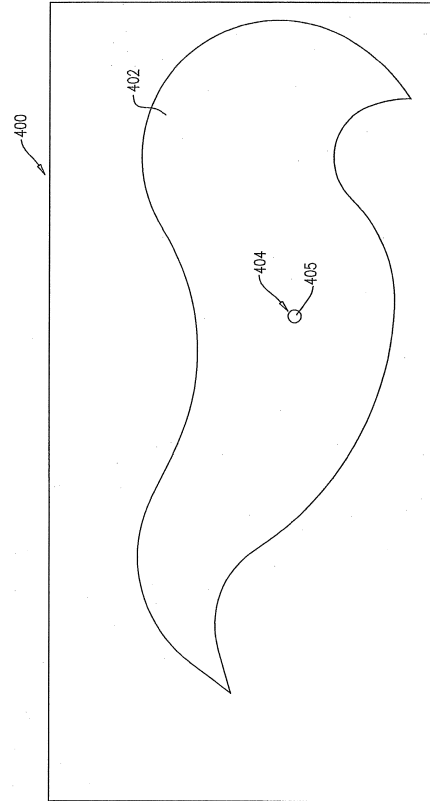
【図1S-2】



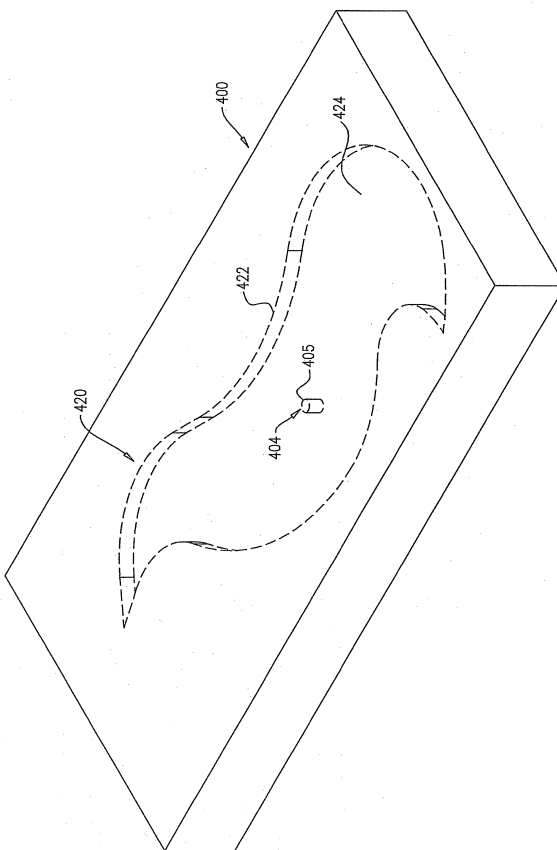
【図 2 A】



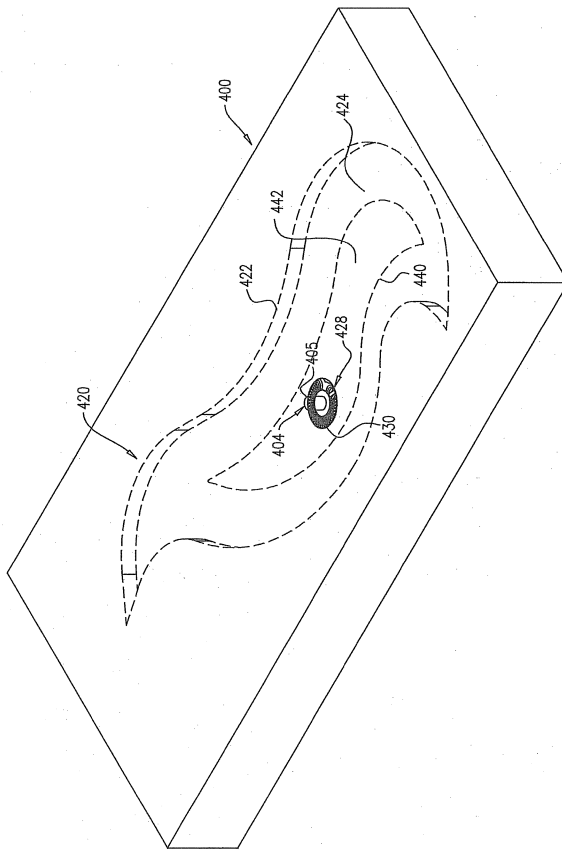
【図 2 B】



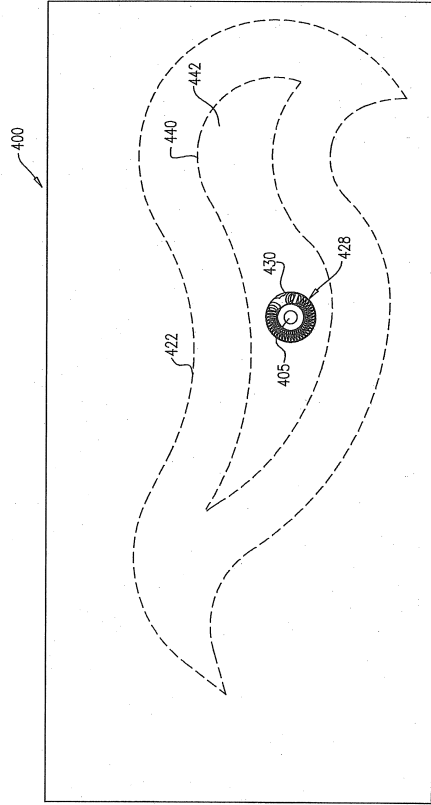
【図 2 C】



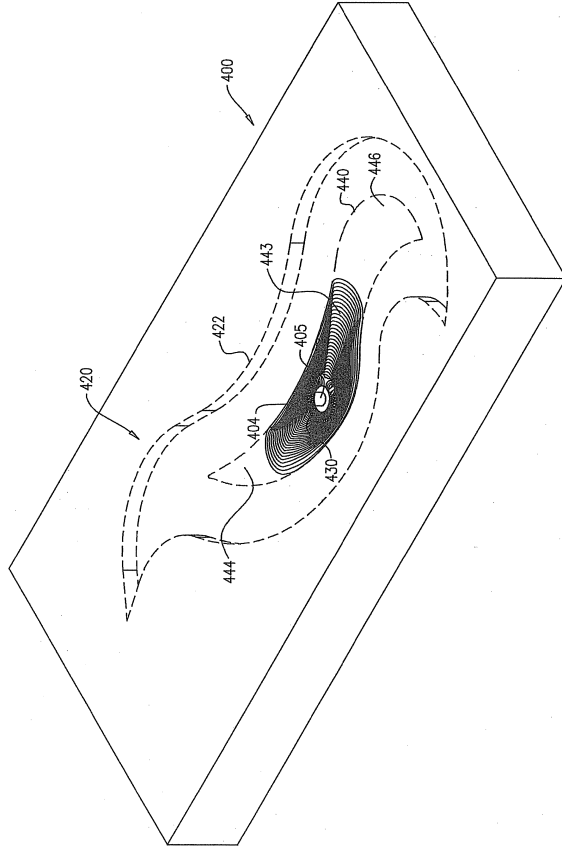
【図 2 D - 1】



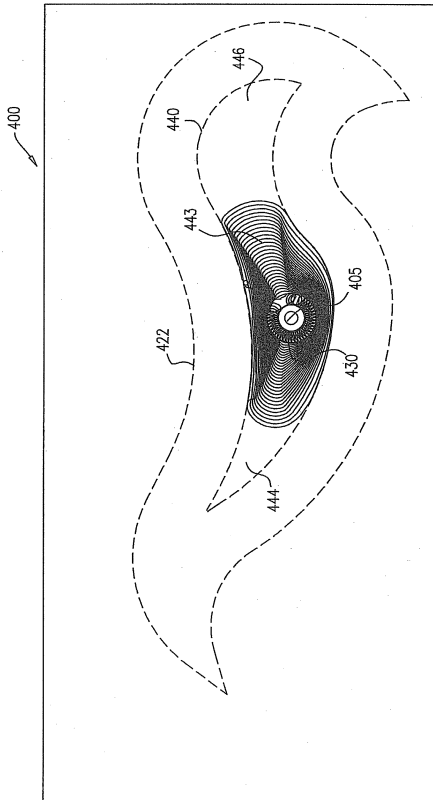
【 2 D - 2 】



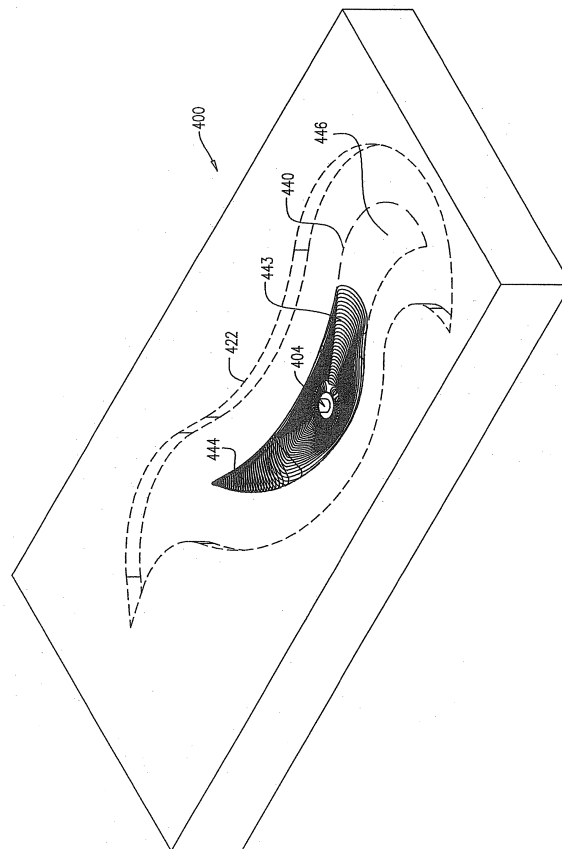
【 2 E - 1 】



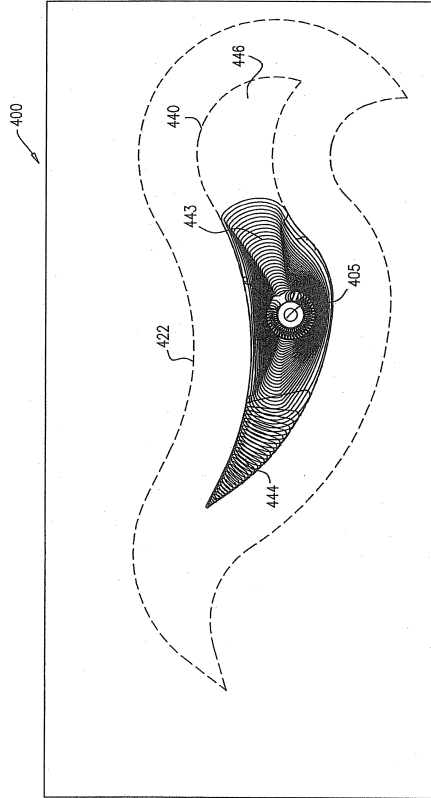
【 2 E - 2 】



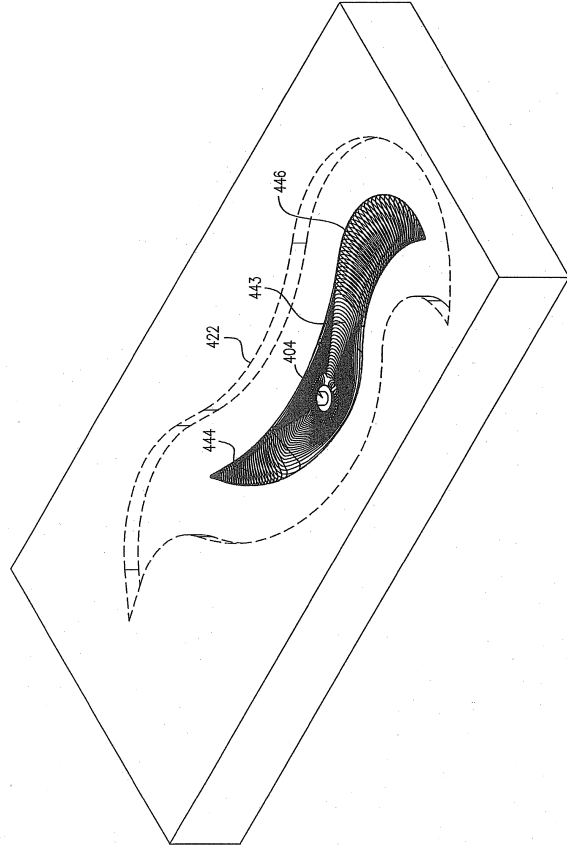
【 2 F - 1 】



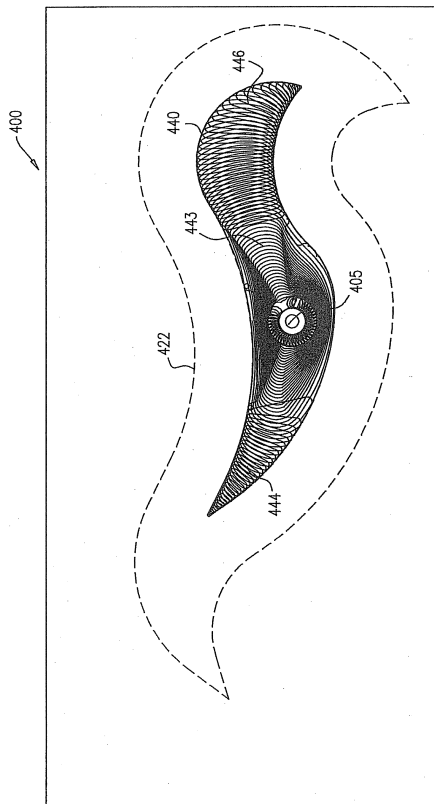
【 2 F - 2 】



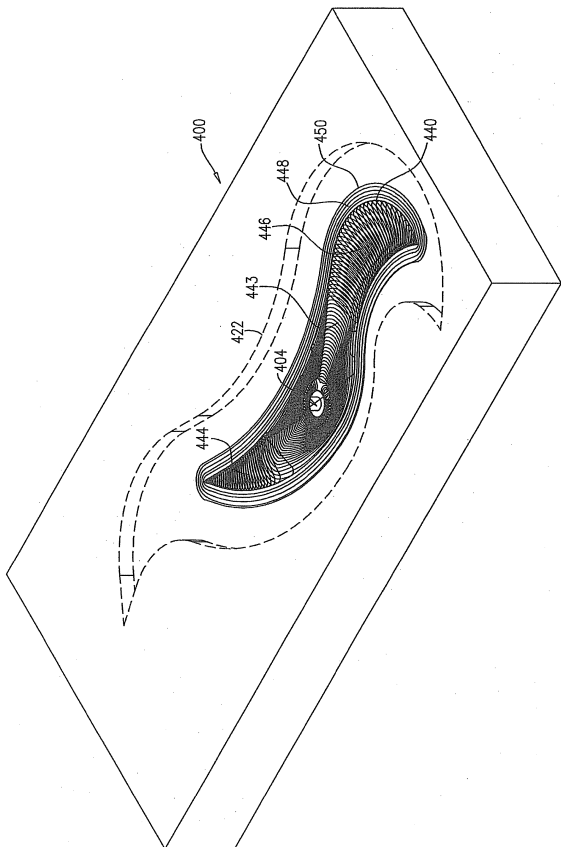
【 2 G - 1 】



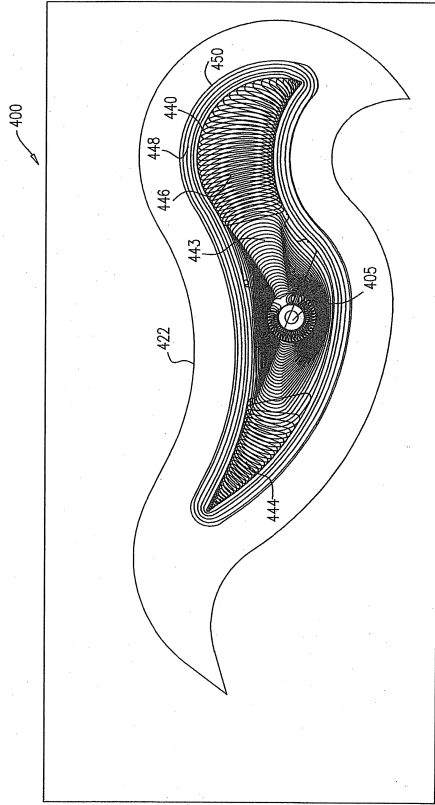
【 2 G - 2 】



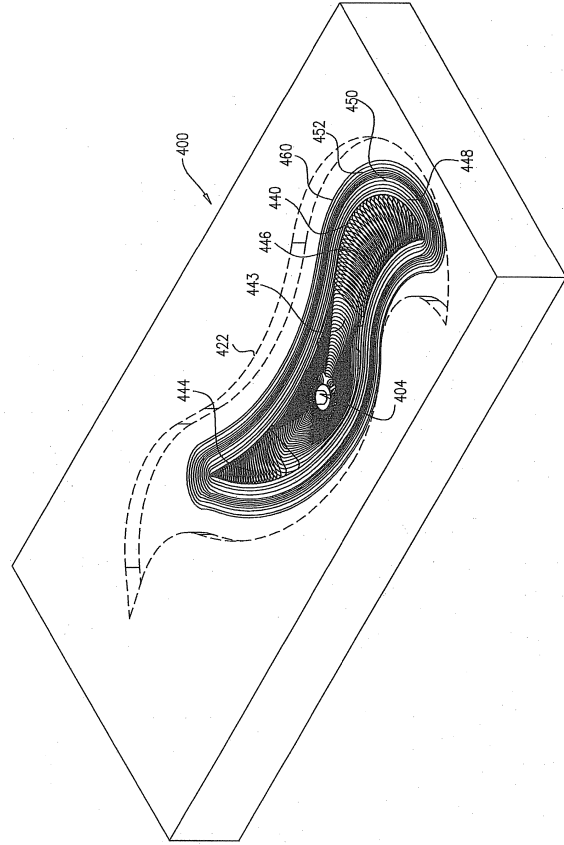
【 2 H - 1 】



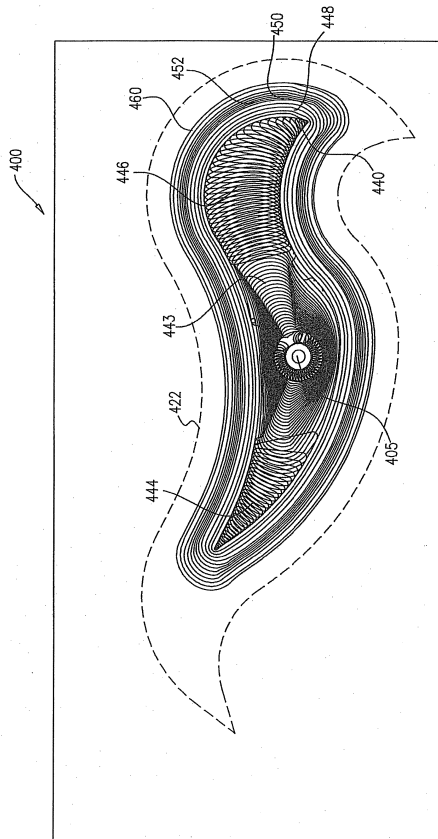
【 2 H - 2 】



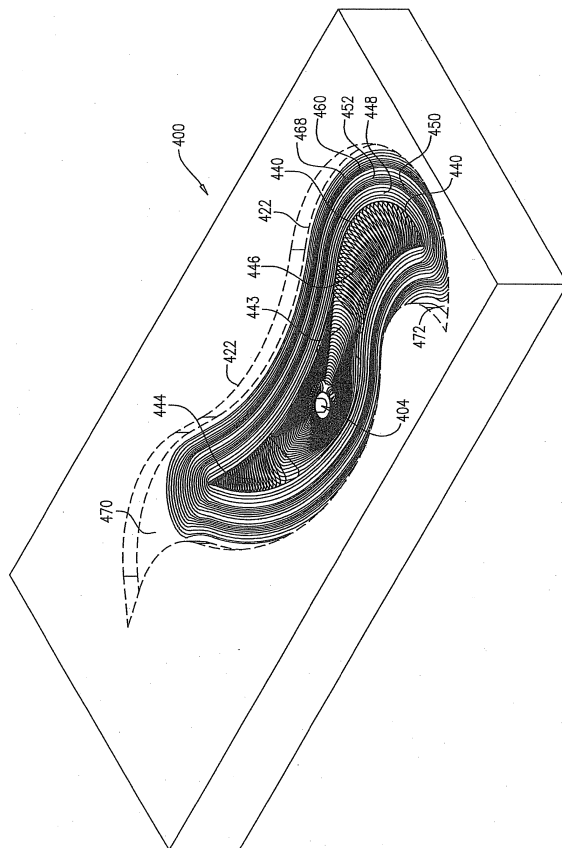
【 2 I - 1 】



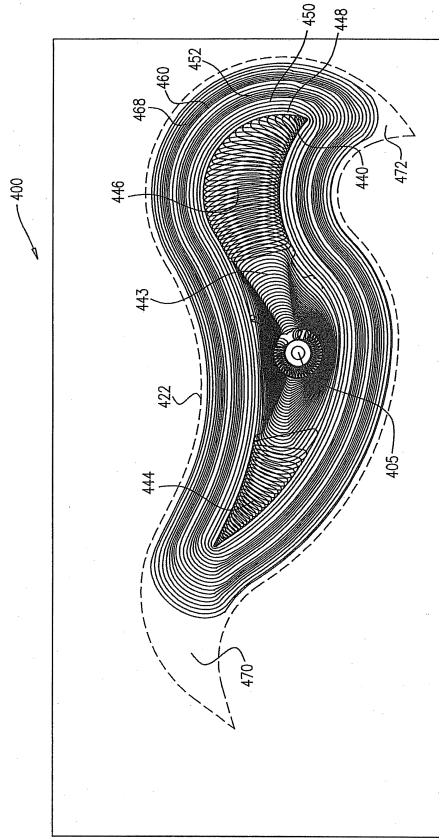
【 2 I - 2 】



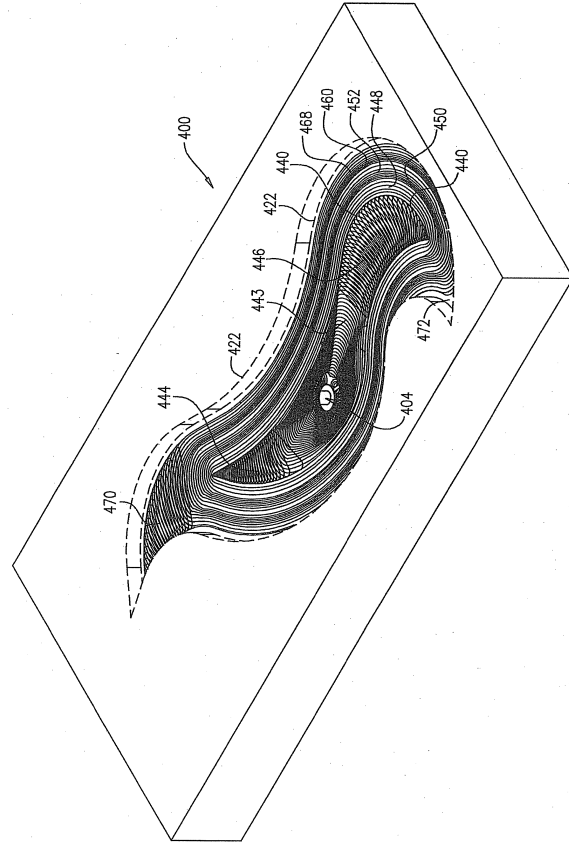
【 2 J - 1 】



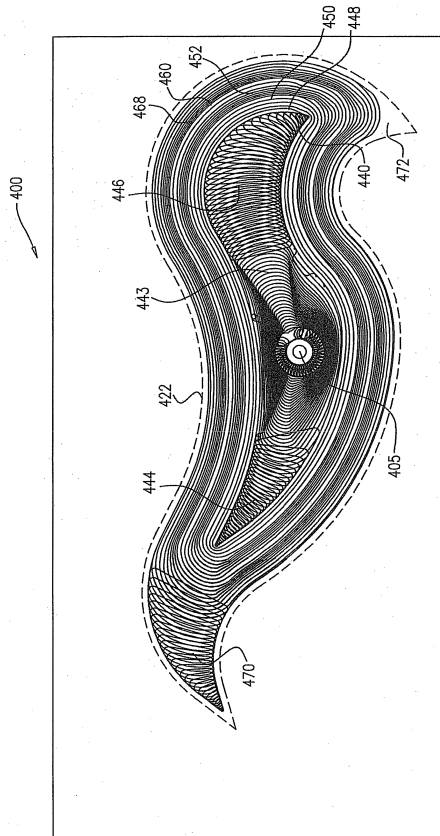
【 図 2 J - 2 】



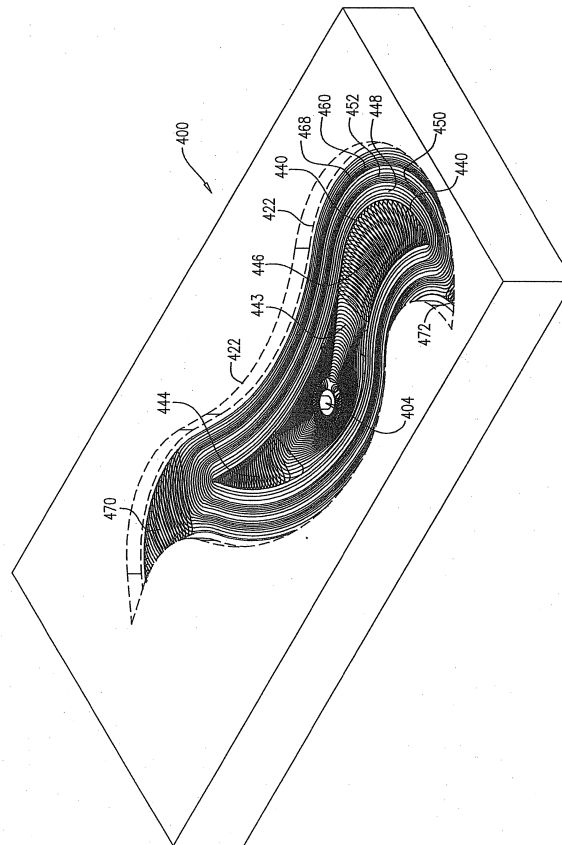
【 図 2 K - 1 】



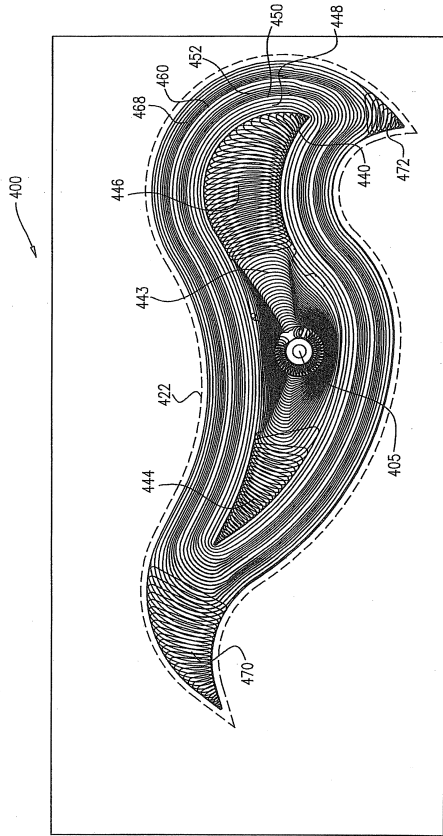
【 図 2 K - 2 】



【 図 2 L - 1 】



【 2 L - 2 】



【 3 A 】

MachiningOperation

Technology: iRough

Operation name: IM_contour1_15-2A_1

Template: [Icon]

Cutting conditions | Modify cutting conditions

1. Select depth

Depth	ACPs
<input type="checkbox"/> 9.4248	2.0000
<input type="checkbox"/> 18.8496	3.0000
<input checked="" type="checkbox"/> 24.0000	3.5465

2. Select Level: **Safe**

Output Cutting data

Actual	General
S (rpm):	2528
F (mm/min):	1617.68
Step over (max):	0.804
Step over (min):	0.362

Buttons: Save, Save & Calculate, Simulate, GCode, Save & Copy, Exit

【 3 B 】

MachiningOperation

Technology: iRough

Operation name: IM_contour1_15-2A_1

Template: [Icon]

Cutting conditions | Modify cutting conditions

1. Select depth

Depth	ACPs
<input type="checkbox"/> 9.4248	2.0000
<input type="checkbox"/> 18.8496	3.0000
<input checked="" type="checkbox"/> 24.0000	3.5465

2. Select Level: **Safe**

Output Cutting data

Actual	General
V (m/min):	95
Fz (mm/tooth):	0.0800
CA (max):	30.0
CA (min):	20.0

Buttons: Save, Save & Calculate, Simulate, GCode, Save & Copy, Exit

【 3 C 】

MachiningOperation

Technology: iRough

Operation name: IM_contour1_15-2A_1

Template: [Icon]

Cutting conditions | Modify cutting conditions

1. Select depth

Depth	ACPs
<input type="checkbox"/> 9.4248	2.0000
<input type="checkbox"/> 18.8496	3.0000
<input checked="" type="checkbox"/> 24.0000	3.5465

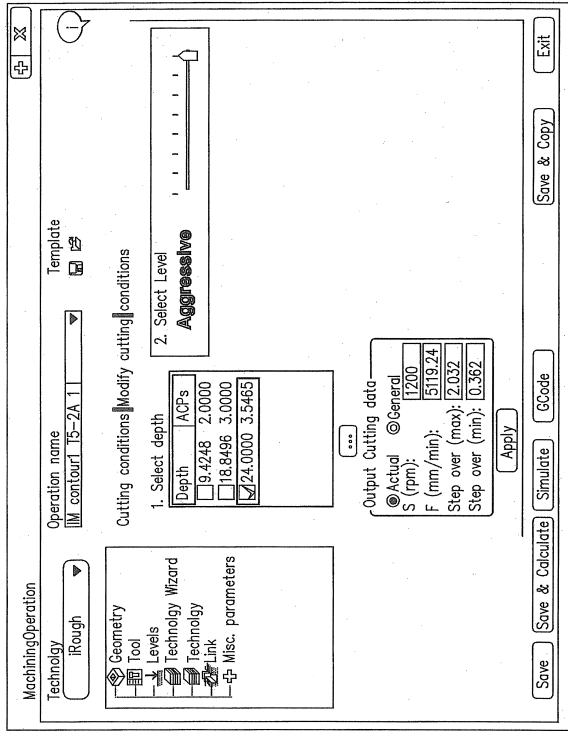
2. Select Level: **Moderate**

Output Cutting data

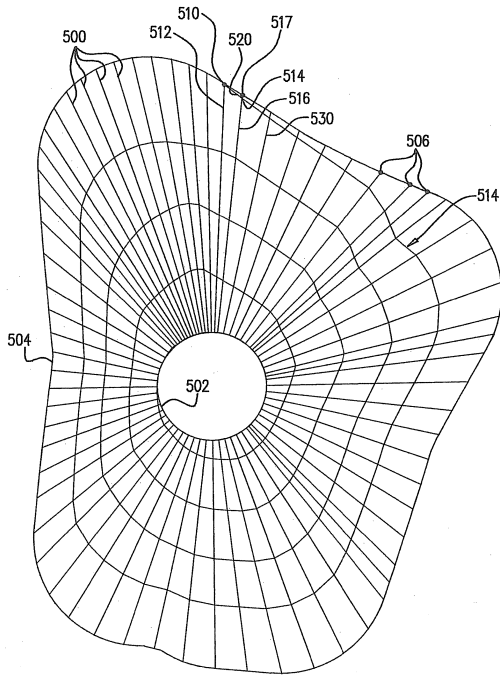
Actual	General
S (rpm):	7500
F (mm/min):	3199.53
Step over (max):	2.032
Step over (min):	0.362

Buttons: Save, Save & Calculate, Simulate, GCode, Save & Copy, Exit

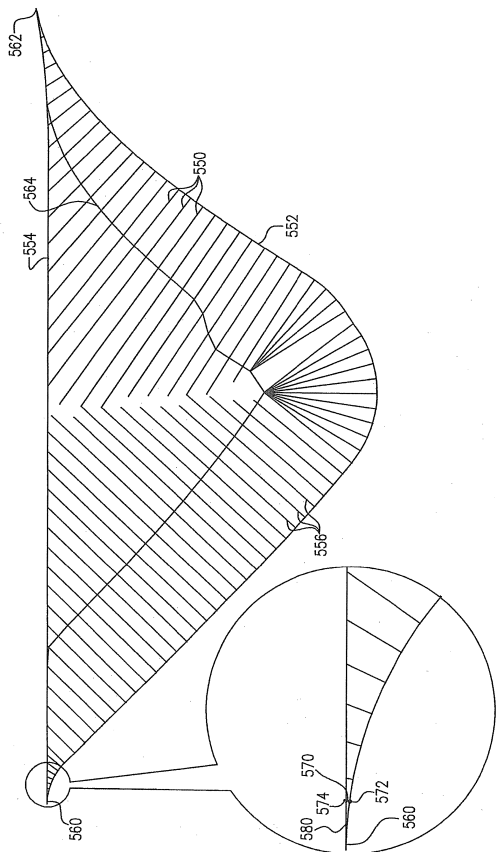
【 3 D 】



【 4 A 】



【 4 B 】



フロントページの続き

- (74)代理人 100117743
弁理士 村田 美由紀
- (74)代理人 100163658
弁理士 小池 順造
- (74)代理人 100174296
弁理士 當麻 博文
- (72)発明者 ヘルマン、ミカエル
イスラエル国、カファル ヨナ 40300、ヘイデカリム アヴェニュー 9
- (72)発明者 オソヴランスキ、ドロン
イスラエル国、ギヴァト シュムエル 54423、ヨニ ネットニャフ ストリート 16
- (72)発明者 カルデロン、クリストファー マシュー
アメリカ合衆国、ペンシルベニア州 19054、レヴィットタウン、ノースコート レーン 48
- (72)発明者 カルデロン、アンソニー ジョセフ
アメリカ合衆国、ペンシルベニア州 19067、ヤードレー、シェフィールド ドライヴ 9301

審査官 藤島 孝太郎

- (56)参考文献 特開2004-362270(JP,A)
特開2002-132315(JP,A)
特開2005-205517(JP,A)
特開昭63-127853(JP,A)
米国特許出願公開第2008/0269943(US,A1)
米国特許出願公開第2006/0140734(US,A1)
特開平08-066844(JP,A)
特開平09-216127(JP,A)
特開平10-124126(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05B 19/18 - 19/416
G05B 19/42 - 19/46
B23Q 15/00 - 15/28