

明 細 書

発明の名称：

超硬合金製エンドミル及び該エンドミルを用いた切削加工方法

技術分野

[0001] 本発明は、荒切削から中仕上げ切削に用いる超硬合金製エンドミル及び該エンドミルを用いた切削加工方法に関する。

背景技術

[0002] 本発明は、従来は別々のエンドミルで行なわれていた縦送り加工、横送り加工、及びその複合加工である傾斜加工などの荒切削から中仕上げ切削を、一本のエンドミルで多機能でかつ高速で行える超硬合金製エンドミル及び該エンドミルを用いた切削加工方法を提供することを目的としている。

[0003] 本発明が対象とする用途の従来の一般的な荒加工用エンドミルは、高速度工具鋼や超硬合金を母材として、外周刃に波形状やニックを有し、この波形状外周刃やニック付き外周刃は、各刃で削り残しが出ないように工具軸方向に等間隔で位相がずれている。このような従来の波形状やニック付きの外周刃を有するエンドミルは、普通刃のエンドミルと比較して、切り屑を分断しやすく切削抵抗を低減して加工ができるため、工具径方向の切り込み量を大きくでき、高能率加工が可能である。その反面、加工面は普通刃エンドミルより粗くなるため、荒加工で用いることが多い。

[0004] 荒加工において、加工能率を上げるために、切り込み量を大きくして高能率加工を行うが、びびり振動の問題が生じることが多い。特にエンドミルの軸心から外周面の周方向に隣接する２枚の切れ刃までの線分で挟まれる分割角が切れ刃ごとに等しい等分割エンドミルは、製造が極めて容易であるメリットがあるが、加工中に共振が起こり、びびり振動が生じやすい。この対策として、エンドミル製造上の費用と時間がかかるが、切れ刃の分割角を異なるようにして、切削力の周期を一定にしないようにした不等分割エンドミルが提案されている。

- [0005] 特許文献 1 には、波形状刃形のエンドミルにおいて、互いに隣接する各外周刃間における位相からのずれ量を不均等にしたことにより、各外周刃の切り込み断面形状や断面積が不均等となり、不等分割エンドミルと同様にびびり振動を抑制し、工具寿命向上や高能率加工が可能となることが記載されている。
- [0006] また、特許文献 2 には、ラフィング切れ刃にて構成されている外周刃の波形状のピッチが、波形状の凹凸の偶数周期を 1 周期として正弦曲線状に増減させられているとともに、そのピッチの増減に連動して深さおよび曲率半径もそれぞれ波形状の凹凸が 1 周期毎に変化させられているため、その増減により軸方向各部の切削態様が変化して共振周波数がずれ、工具全体として共振が軽減されてびびり振動が抑制されることが記載されている。
- [0007] 本発明が対象とする荒切削から中仕上げ切削用の従来の一般的なエンドミルの中には、外周刃にニックを有しているものがある。このような従来のニック付きの外周刃を有するエンドミルは、通常の外周刃を有したエンドミルと比較して、切り屑を分断しやすく切削抵抗を低減して加工ができるため、工具径方向の切り込み量を大きくでき、高能率加工が可能である。しかし、切り込み量を大きくして高能率加工を行うと、びびり振動が原因となり、特にニック部でのチップングや欠損等の問題となることが多い。
- [0008] 特許文献 3、4 に記載されているエンドミルは、チップングや欠損対策としてニックの形状を改良した一例である。特許文献 3 に記載のエンドミルは、ニックの両端に大きなフランク角を設けることによって、ニックと外周刃部とを繋いだ部分の強度を確保しようとするものである。特許文献 4 にはニックの両側の各連結部に丸みをつけることによって、耐チップング性の向上と加工面粗さの向上を図るエンドミルが記載されている。
- [0009] 荒加工においても加工能率を上げるために、切り込み量を大きくして縦送りや横送り切削、傾斜切削など高速切削による高能率加工を行うが、一本のエンドミルでこれらの切削を行うのは困難である。特に、縦送りや傾斜切削などでは、切り込み量を大きくしすぎると切り屑の排出性が良好でなければ

切削抵抗が大きくなる。

[0010] エンドミルの切り屑の排出性を改善する目的ではいくつかの提案がなされている。特許文献5では、ギャッシュノッチ角が後端側に向かうに従い段階的に大きくなる複数段のギャッシュ面を構成するエンドミルが提案されている。縦送り時に大きな負荷が作用するエンドミル本体中心の先端側のギャッシュ面は強度を確保し、欠損等を防止でき、後端側のギャッシュ面は切り屑排出のための空間を確保するというものである。

[0011] 特許文献6では、エンドミル回転中心側とエンドミル外周側にギャッシュ面を設け外周側のギャッシュ角は回転中心側のギャッシュ角より大きく設けたエンドミルが提案されている。これにより、高硬度材の横送り切削時に、切り屑の排出性を向上させ、高速切削による高能率加工が可能であるとするものである。

[0012] 超硬合金製エンドミルの性能と寿命向上のために種々の硬質皮膜が開発され、本出願人の提案した特許文献7なども実用化されている。

先行技術文献

特許文献

[0013] (外周刃形状に関する先行技術文献)

特許文献1：特開平01-127214号公報

特許文献2：特開2002-233910号公報

[0014] (ニックの形状に関する先行技術文献)

特許文献3：特開平06-335814号公報

特許文献4：特開2005-131728号公報

[0015] (ギャッシュに関する先行技術文献)

特許文献5：特開2006-15418号公報

特許文献6：特開2007-296588号公報

[0016] (硬質皮膜に関する先行技術文献)

特許文献7：特開2000-334606号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0017] 近年、金型加工や部品加工のエンドミルによる被削対象材として、構造用鋼、構造用合金鋼、冷間ダイス鋼、熱間ダイス鋼、ステンレス鋼、チタン合金及び超耐熱合金を用いた高能率加工への要求は一段と強く、縦送り切削や横送り切削、傾斜切削などを区別することなく高速に行うことで、従来になかった飛躍的な高能率加工が可能なエンドミルが要求されている。そのために、金型加工や部品加工の切削現場では、エンドミル加工も加工の種類に関係なく、工具を交換せずに一本のエンドミルのみで多機能な加工を行いたい、それも高速で行いたいという要望が強い。
- [0018] 先行技術文献で紹介したように、従来のエンドミルでは、縦送りや、横送り加工にそれぞれ特化したエンドミルが提案されてきた。従来のエンドミルで凹形状等の縦送りや傾斜切削を含む加工を行う場合には、最初に縦送りに特化したエンドミルやドリルなどを用い、その後に横送りに特化したエンドミルで繰り広げることが多い。縦送りや傾斜切削では切り屑排出を考慮し、チップポケットの大きくできる刃数の少ないものを使用することが多く、横送りの高速切削を行うには、工具剛性を考慮し、心厚の大きいもので、刃数の多いものを使用することが多い。このように、従来のエンドミルでは、加工の目的によって、それぞれの加工に適したエンドミルを交換する必要がある、段取り替えの時間のロスで高能率化には適しない。それどころか、従来の通常のエンドミルは複数の切れ刃を外周に持ち、回転しながら切削するというフライス工具の特性から横送り加工は切り屑の排出性もさほど問題にならないが、エンドミルで縦送り加工を行うには、切り屑排出の問題で、高能率な加工が困難である。従来のエンドミルで縦送り加工を行うと、軸中心付近の底刃によって生成される切り屑排出が悪く、切り屑づまりによる折損が生じやすくなる。また、切り屑排出を良好にするため、底刃のチップポケットを大きくすると、切り屑排出は良好となるが、横送り加工の際に底刃の剛性不足から欠損が発生しやすくなるという問題がある。このような事情により、縦送り加工と横送り加工、さらにはこれらの組合せ加工である傾斜切削

を行う場合は、高能率な加工を行うためにそれぞれ専用工具を使用していたが、さらに高能率に行いたいという要望が多くなってきているのが現状である。そこで、高能率化を図るために、ドリルやエンドミルを交換せず、段取り替えの時間を無くして1本のエンドミルですべての加工を行うと、従来のエンドミルでは加工方向に不得手の方向も同じエンドミルで加工することになり、かえって加工時間が延びてしまうケースが多かった。

[0019] 高速切削は切削速度を大きくすること、すなわち回転数を高く設定し、高能率加工を行う方法である。切削速度を大きくして、切り込み量をも大きくすれば高能率加工は理屈上は可能であるが、超硬合金を母材とした実用的なエンドミルでは十分には達成されていないのが実情である。その理由は、特に荒削り加工においては、波形状外周刃またはニック付き外周刃を持つエンドミルを用いて切り込み量を大きくし、回転数も高く設定するとびびり振動が発生し、特に高速度工具鋼製エンドミルと比較して相対的に靱性の低い超硬合金製のエンドミルでは、異常摩耗やチッピングの発生により、寿命を短くするだけでなく、工具の欠損や折損を引き起こす原因となっていた。

[0020] エンドミルを用いた切削加工でびびり振動を抑制する技術として、従来技術で説明したように等分割の切れ刃に代わって不等分割の切れ刃によるエンドミルが提案されている。不等分割の切れ刃を適用したエンドミルは適切な形状設計をすれば、一定のびびり振動を抑制する効果があるが、切れ刃が不均一に並んでいることから切れ刃の研削加工の際にエンドミルの製造が困難であり、製造コストが高くなる。さらにエンドミルの再研磨時にも各刃の分割角が異なるため、再研磨をする際の位置あわせ等で問題になることが多かった。

[0021] また、不等分割を適用したエンドミルは、形状的に刃溝が不均一によることを意味し、切り屑排出性が不均一になりやすく切り屑の排出性が悪いため、異常摩耗や欠けなどの問題があった。この問題は最近の高速切削に伴って多量に排出される切り屑の処理には特に重要な問題になっており、異常摩耗や欠けがなければ長寿命が期待できる超硬合金製エンドミルは母材の脆さで

工具損傷の心配が残り、高能率加工への適用が遅れる原因となっていた。

[0022] 特許文献 1 では、互いに隣接する各波形状外周刃間における位相のずれ量を不均等にし、不等分割エンドミルと同様の効果でびびり振動を抑制するエンドミルが提案されている。しかし、特許文献 1 のエンドミルは高速度工具鋼を母材としているので、各外周刃の位相のずれ量は比較的大きい例（位相のずれ量が約 6 %）が提案されている。超硬合金製エンドミルの外周刃は、高速度工具鋼と比較して本質的に欠損やチッピングが生じやすいという意識が強いので、超硬合金製のエンドミルで外周刃の位相をずらしてみようという発想も生じ難かったといっても過言ではない。

[0023] 高速度工具鋼製エンドミルの場合には、相対的に靱性が高いため、各外周刃の位相からのずれ量は比較的大きくてもチッピングなどの心配はなく、位相のずれ量の割合まで配慮する必要はない。しかし、エンドミル母材を本発明のように相対的に靱性の低い超硬合金とした場合には、単に位相のずれ量を不均等にして、前記のように位相のずれ量が大きい場合には、切削量が大きくなる超硬合金製エンドミルの外周刃では欠損やチッピングが生じやすく、さらなる高速切削での安定した適用には問題が残っていた。すなわち、超硬合金エンドミルにおける位相のずれ量の適正化がなされていなかったのである。ましてや、超硬合金を母材にしたニックの位相のずれ量の適正值またはニックの形状は、特許文献 1 からは全く不明であり、参考にもならない。

[0024] 特許文献 2 では、ラフィング切れ刃の波形状のピッチ、深さ、および曲率半径のうちの少なくとも一つが、該波形状の凹凸の周期よりも大きな周期で増減し、各刃の切削量を変えて、各刃の切削量を変えることによりびびり振動を抑制したエンドミルが提案されている。しかし、波形状を各刃で変化させることは、エンドミル製造時に各波形状ごとの砥石が必要であり、不等分割を適用したエンドミルと同様に工具製造コストが随分と高くなる。

[0025] 特許文献 3 に記載されるエンドミルのニック形状は、ニックと外周刃部が連結する形状が図 19 に示すように鋭いエッジ形になる。この形状はニック両端に大きなフランク角を設けて強度を確保しようとする目的であるが、本

発明が目的とする高能率加工用の超硬合金製エンドミルにおいては、耐チップング性から大きな問題があり、参考にする事さえできない。

[0026] 特許文献4にはニックの両側に丸みを設けることで加工面精度を向上できる工具が記載されているが、ニックの工具先端側の丸み半径と工具シャンク側の丸み半径の大きさは記載が無く、高速切削による高能率加工を行う場合には、最適な組み合わせとなる形状でないと、外周刃の剛性不足により、チップングが発生する。さらに、切れ味の劣化により、摩耗の進行が早くなる。

[0027] このように、特許文献3、4に記載されているエンドミルは、いずれもチップングや欠損対策としてニックの形状を改良した一例に留まり、切れ刃の位相のずれ量を変化させるなどをして高能率加工を意図した切れ刃ではない。特許文献3と4からは、ニック形状を有するエンドミルは想定できても、超硬合金製エンドミルにおいて高能率加工を達成するために、どのようなニックの形状が望ましいのかは知れない。

[0028] ギャッシュの形状を特徴としている特許文献5と特許文献6に記載のエンドミルは、いずれも工具軸方向に等間隔で位相がずれているものであり、位相のずれ量が各外周刃で異なるものではない。本発明のような高能率加工を目的としたギャッシュ形状の効果は、位相のずれ量の異なる外周刃の形状で切り屑が大量に生み出されたときに、その切り屑の排出を助ける効果として発揮できるものであり、外周刃との相乗効果によるものである。外周刃の作用との相乗効果の点については特許文献5も特許文献6も本発明を創作する参考にはならない。

[0029] 特許文献5は、縦送り加工用として、縦送り時に大きな負荷が作用するエンドミル本体中心の先端側のギャッシュ面は強度を確保し、後端側のギャッシュ面は切り屑排出のための空間を確保したエンドミルであり、特許文献6は、高硬度材の高速横送り加工に適した複数段のギャッシュ面を構成するエンドミルである。しかしながら、さらなる多機能な加工を一本のエンドミルで、より高能率で行う場合、先端側のギャッシュ面と後端側のギャッシュ面

のつなぎ部の長さは、工具剛性と切り屑排出を両立させるために重要であることが、本発明の創出の過程で明らかになった。具体的には、特許文献5及び特許文献6のエンドミルでは、回転軸中心から前記ギャッシュ面のつなぎ部の位置までの長さが適正值よりも長過ぎて、切り屑づまりによる欠損などの問題となることが多いことが明らかになった。

[0030] このように、従来のエンドミルでは、加工の目的によって、それぞれの加工に適したエンドミルを交換する必要がある、段取り替えの時間のロスで高能率化には適しない。それどころか、従来の通常のエンドミルは複数の切れ刃を外周に持ち、回転しながら切削するというフライス工具の特性から横送り加工は切り屑の排出性もさほど問題にならないが、エンドミルで縦送り加工を行うには、切り屑排出の問題で、高能率な加工が困難である。

[0031] 以上、先行技術について問題点は指摘したとおりであるが、いずれの先行技術に記載されるエンドミルの改良提案も、縦送り加工か横送り加工の何れかに特化したものであり、これらの加工をすべてまとめて行なえるエンドミルの提案という、本発明の重要な課題認識である多機能加工の認識はない。本発明は、このような背景と課題認識の下に、縦送り切削、横送り切削、及び傾斜切削などの多機能な加工を一本のエンドミルで高能率に行え、切削工具の製造コストを考慮して、容易に工具製造や工具の再研磨が行えること、また、切削抵抗の分散を十分に行えることでびびり振動を抑制し、長寿命な超合金製エンドミル及び該エンドミルを用いた切削加工方法を提供することを目的とする。さらに、安定した高速切削を最大限に生かすために、これらの形状を有する工具に新しい硬質皮膜を被覆したエンドミルの発明である。

[0032] さらに本発明が目的とする多機能な加工とは、上記のようなほとんどあらゆる種類の切削加工を目的とすること以外に、多様な被加工材にも対応できるエンドミルを提供するというのも目的としている。この目的は最近需要の高まっている航空機材料や原子力発電に使用される超耐熱合金やチタン合金の切削加工には必須である。

[0033] 特に本発明は、縦送り切削や傾斜切削などで高速回転で切り込み量を大きくくしても、切り屑の排出性が良好で、切削抵抗の分散を十分に行え、びびり振動を抑制できる超硬合金製エンドミルを提供するものである。

[0034] 一方で、エンドミルは切削性能が良くても製造コストが高ければ市場に受け入れられない。本発明は製造コストを考慮して、容易に工具製造や工具の再研磨が行える超硬合金製エンドミルを提供することを一つの目的としている。

課題を解決するための手段

[0035] 本発明は、従来よりも大きい単位時間当たりの切り屑排出量を達成できる高効率切削用のエンドミルの開発を目的としてなされ、切削工具の性能としてはびびり振動を抑制して切り屑のスムーズな排出が可能であり、切削工具の製造の観点からはエンドミルの刃付けが容易という、生産性の点で大きな優位性を持つ等分割エンドミルを採用し、超硬合金製のエンドミルであって、びびり振動を極力抑えることができる他の形状要因を検討した結果として創出されたものである。

[0036] 本発明は超硬合金を母材として、外周刃の形状が波形状外周刃または二ツク付き外周刃のいずれかで実現できる。

[0037] 本発明者は、超硬合金を母材とするエンドミル円周方向の刃先の配列は等分割とし、波形状外周刃または二ツク付き外周刃の軸方向への相互の位相の最適なずれ量を形成することに着目して、高速切削に耐え、かつびびり振動を最小にする位相のずれ量を種々検討した。その結果、本発明の超硬合金製エンドミルは、ある波形状外周刃または二ツク付き外周刃の山部を基準にしたときに、他の波形状外周刃または二ツク付き外周刃の山部は工具の軸方向に前記波形状外周刃または前記二ツク付き外周刃が、超硬合金の欠点として心配される欠損やチップングを起こさない程度に特定の範囲内で位相がずれて配列されていることを特徴としている。

[0038] すなわち、本発明のエンドミルは、工具の外周刃の径方向に山部と谷部を繰り返す複数の波形状の外周刃、および、工具の外周刃の径方向に切り屑を

分断させる複数のニックを有する複数の外周刃より選ばれるいずれかの外周刃を有するエンドミルにおいて、ある外周刃を基準形状外周刃としたときに、その他の少なくとも一刃の外周刃の位相の工具軸方向へのずれ量が、前記外周刃の波またはニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ前記基準形状外周刃のそれぞれの位相から前記ピッチの0%を含まない5%以下の幅で工具軸方向にずれていることを特徴とする超合金製エンドミルである。

[0039] 本発明のエンドミルは、前記ずれ量が、前記外周刃の波またはニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ前記基準形状外周刃のそれぞれの位相から前記ピッチの1%乃至3%の幅で工具軸方向にずれていることが望ましい。

[0040] 本発明は、特に対象とする被削材が難加工材といわれる、硬さが40HRCを超える焼き入れ材であり、高速度工具鋼製のエンドミルでは工具の形状がいかなるものでも高能率加工条件では極端に工具寿命が短くなり加工は実質的に困難であるものを対象にしている。本発明は超合金を母材としたエンドミルであるので、従来の高速度工具鋼製のエンドミルと比較して、波形状外周刃またはニック付き外周刃は大幅に耐摩耗性が向上するものの、位相をずらすために外周刃は超合金の脆性の欠点に起因する欠損やチップングの危険性にさらされる。

[0041] そこで本発明者は超合金製のエンドミルについて、外周刃の波またはニックのピッチの最適な配列を多数の切削試験から検討し、その結果として、位相のずれ量は、波ピッチ量を刃数で割った値で等間隔に並んだ基準波形状外周刃のそれぞれの位相から前記波またはニックのピッチの0%を含まない5%以下の比較的狭い幅のずれ量で軸方向にずれて配置されていることが必要であることを見出したものである。

[0042] 本発明では位相のずれ量は必須であるが、位相のずれ量は5%以下、望ましくは1ないし3%でなければならない。位相のずれ量が5%を超えると、超合金製エンドミルでは、波形状外周刃またはニック付き外周刃の欠損や

チップングが生じやすくなるためである。超硬合金製エンドミルを採用して、高速荒加工切削を可能にするために、この位相のずれ量の最適化を図ったことが本発明の最も重要な部分の一つである。

[0043] 本発明によれば、超硬合金製のエンドミルでありながら、工具の製造が容易であり、波形状外周刃またはニック付き外周刃の位相がずれている形状であることによる欠損やチップングを起こすことなく、加工中のびびり振動を抑制することができる。したがって、高速切削による高能率荒加工または高能率中仕上げ加工が可能となり、さらに長寿命に加工が行える超硬合金製エンドミルを提供することができる。

[0044] また、本発明の超硬合金製エンドミルにおいて、波形状外周刃またはニック付き外周刃の位相がずれている形状とすることは、1枚の前記外周刃にのみ適用しても効果を得ることが出来る。

すなわち、本発明の超硬合金製エンドミルは、3枚以上の前記外周刃を有し、隣接する各外周刃のうち少なくとも1組の前記外周刃は、前記外周刃の波またはニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ前記基準形状外周刃のそれぞれの位相からのずれ量が無く、その他の組の前記外周刃は互いに位相からのずれ量が不均等であっても良い。

[0045] 本発明者は、高速切削に耐え、かつびびり振動を最小にするニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ位相からのずれ量と、高速切削であっても外周刃の欠損やチップングの問題を起こさないニックの形状を種々検討した。その結果、本発明の超硬合金製エンドミルは、あるニック付き外周刃を基準形状外周刃にしたときに、その他の少なくとも一刃のニックの位相が欠損やチップングを起こさない程度に特定の範囲内で位相がずれて配列されており、ニックの形状についても位相をずらした結果として切削負荷が大きくなるチップングへの影響をできるだけ抑制するために、新規なニック形状を有することが望ましいことを明らかにした。

[0046] すなわち、新規なニック形状を有する本発明のエンドミルは、前記外周刃は複数のニックを有し、前記ニックと前記外周刃をエンドミルのねじれ角と

平行の切断面で見たときに、それぞれの前記ニックの両端は丸みによって滑らかに前記ニックに隣接する外周刃と連なり、それぞれの前記ニックの工具先端側の丸み半径が前記ニックの工具シャンク側の丸み半径より小さいことが望ましい。

[0047] 本発明のニック付き超硬合金製エンドミルは、ニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ位相からのずれ量を変化させることで従来よりも高速の切削を可能にしている。そのために切削条件の過酷化で外周刃はチッピングの危険性が従来の高速切削より高くなるが、高速切削での負荷により外周刃がチッピング等を生じないように、ニックの形状は、前記のニックの両端の形状に加えて特別の配慮が必要になる場合があることが分かった。

[0048] 例えば従来のこの種のニック付き超硬合金製エンドミルでは、平均加工面粗さを確保したい場合の平均的な送り速度は 500 mm/min 前後だが、ニックの位相の工具軸方向への前記ずれ量を設け、ニックの両端に丸みを設けたニック付き超硬合金製エンドミルの使用により、従来の送り速度を2倍程度に上げる事が出来る。しかし、その場合の送り速度でも $800\text{ mm/min} \sim 1000\text{ mm/min}$ の範囲が限界であり、それを上回る送り速度での高速切削においては、高速切削での負荷により外周刃がチッピング等を生じるため、ニックの両端の形状とニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ位相からの工具軸方向へのずれ量を規定するだけではさらなる高速での切削は困難であった。

[0049] そのために、送り速度が 1000 mm/min を越える過酷な切削条件では、本発明の超硬合金製エンドミルでのニックは、ニック両端の丸みの条件に加えて、ニック溝の形状を考慮することが重要である。すなわち、本発明のより良い発明の要件は、ニック溝の底端が工具シャンク側の丸みと直線若しくはニック溝に向かって凸状の曲線で繋がるか、又は前記直線と前記ニック溝に向かって凸状の曲線との組合せで繋がっていることが望ましい。

[0050] すなわち本発明のうち、別の発明に係るニック付き超硬合金製エンドミルは、前記ニックの溝の底端が工具シャンク側の丸みと直線若しくはニック溝

に向かって凸状の曲線で繋がるか、又は前記直線と前記ニック溝に向かって凸状の曲線との組合せで繋がっていることを特徴とする超硬合金製エンドミルである。

- [0051] 本発明はニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ位相からのずれ量を不均一にする結果として、従来よりはるかに高速の切削が可能となるが、そのために切削負荷が大きくなるので、より一層のチッピングや折損への配慮と対策が重要となる。このような相反する得失を考慮して超硬合金製エンドミルを設計するという技術思想は、前述した従来技術のどれを基準にして他のものと組合せをしても生まれるものではない。
- [0052] 本発明のニック付き外周刃とした場合の超硬合金製エンドミルを用いて切削した時の各ニック付き外周刃の切削量は外周刃ごとに僅かに異なる。よって、高速切削を行っても切削抵抗が分散されて切削負荷が安定し、びびり振動を抑制できるため、波形状外周刃を有する超硬合金製エンドミルと同様の効果が得られる。
- [0053] 本発明の超硬合金製エンドミルにおける形状の重要部分の寸法は、ニック付き超硬合金製エンドミルの工具直径を D としたときに、ニックの工具先端側の丸み半径が $0.01D \sim 0.03D$ 、ニックの工具シャンク側の丸み半径はニックの工具先端側の丸み半径の 1.5 倍 ~ 2 倍で、ニックの深さが $0.01D \sim 0.05D$ であることが望ましい。
- [0054] 次に、本発明でのギャッシュ形状とその効果について説明する。
- [0055] 本発明は、従来よりも大きい単位時間当たりの切り屑排出量を達成できる高速切削用の波形状の外周刃またはニック付きの外周刃を有する超硬合金製エンドミルを外周刃の形状の前提としている。本発明の超硬合金製エンドミルは、底刃から排出される切り屑の良好な処理と、エンドミル先端付近の強度をエンドミルの回転中心から外周まで確保するために、新規なギャッシュ形状を有することが望ましい。
- [0056] すなわち、波形状の外周刃またはニック付きの外周刃にかかわらず、本発明の超硬合金製エンドミルでは、限定された位相のピッチを刃数で割った

値で等間隔に並んだ位相からのずれ量を持った外周刃形状に加えて、底刃のすくい面から外周刃にかけて、以下に説明するようなギャッシュ形状を設けることが推奨される。

[0057] 図 1 2 と図 1 3 を用いて本発明のエンドミルに適したギャッシュの形状を説明する。本発明で底刃に設けるギャッシュは複数の面から構成し、底刃のすくい面である第 1 ギャッシュ面 5 1、エンドミルの工具軸の回転中心側に第 2 ギャッシュ面 5 2、エンドミルの外周側に第 3 ギャッシュ面 5 3 として設け、前記第 1 ギャッシュ面 5 1 と第 2 ギャッシュ面 5 2 の交差部 5 4 と軸線に直交する平面との成す角度を第 1 ギャッシュ角 5 5、前記第 1 ギャッシュ面 5 1 と第 3 ギャッシュ面 5 3 の交差部 5 6 と軸線に直交する平面とのなす角度を第 2 ギャッシュ角 5 7 としたとき、第 2 ギャッシュ角 5 7 を第 1 ギャッシュ角 5 5 より大きく設けた形状になるようにギャッシュを構成するのである。

[0058] よって本発明の超硬合金製エンドミルは、複数の前記外周刃と、底刃と、複数のギャッシュ面からなるギャッシュとを有し、前記複数のギャッシュ面は、底刃のすくい面である第 1 ギャッシュ面、エンドミルの工具軸の回転中心側に設けられた第 2 ギャッシュ面、及びエンドミルの外周側に設けられた第 3 ギャッシュ面を有し、前記第 1 ギャッシュ面と第 2 ギャッシュ面の交差部と工具軸線に直交する平面とのなす角度を第 1 ギャッシュ角、前記第 1 ギャッシュ面と第 3 ギャッシュ面の交差部と工具軸線に直交する平面とのなす角度を第 2 ギャッシュ角としたとき、第 1 ギャッシュ角は $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 、第 2 ギャッシュ角は $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ に設けられ、第 2 ギャッシュ面と第 3 ギャッシュ面のつなぎ部の長さは、工具回転軸から工具径の 5% 以上 20% 未満であることを特徴とすることが望ましい。

[0059] 本発明の超硬合金製エンドミルにおいて、従来よりも大きい単位時間当たりの切り屑排出量を達成したいときには、前述のように底刃のギャッシュ形状を本発明のように最適化するのが良い。ギャッシュ形状を本発明の範囲の形状にすることで、波形状外周刃やニックの位相をずらした外周刃を有する

一本の超硬合金製エンドミルで、縦送り、横送り、あるいは傾斜切削が可能であり、縦送り又は傾斜切削時の底刃から排出される切り屑処理は良好であり、ギャッシュ部は強度的にも横送り又は傾斜切削時の高速切削に耐え、かつびり振動を最小にすることができる。

[0060] 本発明の超硬合金製エンドミルは、位相のピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ位相からのずれ量を持った外周刃形状に加えて、底刃のすくい面より、構造用鋼、構造用合金鋼、冷間ダイス鋼、熱間ダイス鋼、ステンレス鋼、チタン合金及び超耐熱合金を高効率で切削可能となる。

[0061] すなわち、本発明の超硬合金製エンドミルは、被削対象材として、構造用鋼、構造用合金鋼、冷間ダイス鋼、熱間ダイス鋼、ステンレス鋼、チタン合金及び超耐熱合金を切削する工具であることを特徴とする超硬合金製エンドミルである。

[0062] 次に、本発明の超硬合金製エンドミルの特徴をより効果的に発揮するのにふさわしい硬質皮膜について述べる。本発明においては超硬合金製エンドミルの形状自体が新規で高速切削を可能にする特徴があるので、硬質皮膜は必ずしも必須ではないが、高速切削でもエンドミルの寿命を安定させ、さらに寿命を延長させるためには、最適な硬質皮膜の適用は重要である。

[0063] 超硬合金製エンドミルの性能と寿命向上のために今までに種々の硬質皮膜が開発され、本出願人の提案した先述の特許文献7なども実用化されている。しかし、切削の高速化に伴うエンドミルの耐酸化性、耐摩耗性の過酷さが増す観点からは、さらにその対策が必要である。本発明の硬質皮膜付きの超硬合金製エンドミルは、前述のエンドミルとしての新規な形状で、主として荒加工用としての超硬合金製エンドミルでの実用加工を進めるうちに、高速切削加工に特有の外周刃先の酸化と摩耗が著しく大きくなる現象に着目して、その対策としてなし得た発明である。

[0064] すなわち本発明のうち、硬質皮膜付きの超硬合金製エンドミルは、前述の新規な波形状外周刃またはニツク付き外周刃の形状を有しながら、高速切削

加工に耐えうる硬質皮膜が少なくとも前記の形状として特長のある外周刃上に積層されていることから成る。

[0065] 本発明における硬質皮膜は、前述のギャッシュをエンドミルに設ける場合には、ギャッシュ部分にも被覆される。切削時における高温での切り屑の排出は超硬合金に損傷を与えうるが、本発明の硬質皮膜によりこの損傷を大きく軽減することができる。

[0066] すなわち本発明の超硬合金製エンドミルは、前記波形状外周刃には硬質皮膜が被覆されていることが望ましい。

[0067] 次に、本発明の超硬合金製エンドミルに被覆する硬質皮膜について、さらに具体的に説明する。本発明における硬質皮膜は、皮膜の構造的には、外周刃表面側に接する硬質皮膜の最下層と硬質皮膜の最上層からなるか、実質的に前記最下層の組成と前記最上層の組成の繰り返しで積層された複合層からなるか、または、前記最下層と最上層の間に少なくとも一層以上の中間層を含む複合層であり、前記最上層は前記最下層と比較して相対的に耐酸化性と耐摩耗性が大きいことが望ましい。

[0068] ここでいう「実質的に」とは、最下層と最上層の層間ではそれぞれの組成の拡散層があり、組成的に少々ずれの部分があっても良いということである。前記の拡散層の厚みが多くなり、拡散層のある元素の割合が最下層や最上層の組成から50%以上も外れてくれば、もはや拡散層の概念を外れ、本発明でいう中間層の一つの形態という定義に相当する。

[0069] また、硬質皮膜の組成を金属元素の窒化物、炭窒化物、酸窒化物、酸炭窒化物とし、硬質皮膜の最下層と最上層、あるいは中間層に代表されるそれぞれの硬質皮膜を構成する層に対し最適な金属元素を選択することにより、硬質皮膜を被覆された超硬合金製エンドミルの損傷を軽減し、より高能率な切削加工が可能となる。

[0070] すなわち、本発明における超硬合金製エンドミルは、前記硬質皮膜の最下層の組成が金属元素としてTiとAlを主成分とし含有し、前記金属元素の窒化物、炭窒化物、酸窒化物、酸炭窒化物の何れかであり、硬質皮膜の最上

層の組成が、金属元素としてTiとSiを主成分として含有し、前記金属元素の窒化物、炭窒化物、酸窒化物、酸炭窒化物の何れかから成ることが望ましい。

[0071] さらに、本発明における超硬合金製エンドミルは、前記硬質皮膜の最下層の組成は金属元素がAl、Cr、Ti、Siから選択される1種以上の窒化物であり、中間層はAl、Cr、Ti、Siから選択される1種以上の金属元素とN、B、C、Oから選択される1種以上の元素との化合物であり、硬質皮膜の最上層は金属元素がTi、Siから選択される1種以上の金属元素とN、S、C、Bから選択される1種以上の元素との化合物からなることを特徴とすることが望ましい。

[0072] 本発明の超硬合金製エンドミルは、前記硬質皮膜の窒素系TiAl化合物を $(Ti \times Al^{1-x}N)$ で表わすときに、最下層の硬質皮膜も最上層の硬質皮膜も $(Ti \times Al^{1-x}N)$ の組成から成り、TiとAlの割合は、最下層の硬質皮膜はチタンリッチの $0.5 < x \leq 1$ であり、最上層の硬質皮膜はアルミニウムリッチの $0 \leq x < 0.5$ である多層硬質皮膜であることが望ましい。

[0073] 本発明における波形状外周刃又はニック付き外周刃の形状及び新規なギャッシュ形状は、エンドミルの切れ刃部と、エンドミルの切れ刃部を保持する工具保持部とが着脱可能な場合であっても、切り屑の分断効果や切り屑の排出性が良好になるなどの効果を発揮することが出来る。よって、切削加工によりエンドミルの切れ刃部に摩耗が生じた場合、エンドミルの切れ刃部ごと取り替えて継続して使用することも可能である。よって、本発明は工具保持部と、超硬合金製からなる切れ刃部が自在に着脱可能であることが望ましい。

[0074] すなわち本発明は、工具保持部と、超硬合金製からなる切れ刃部が自在に着脱可能であることを特徴とする超硬合金製エンドミルである。

[0075] また、縦送りや横送り加工にそれぞれ特化した従来のエンドミルを用いて、凹形状等の縦送りや傾斜切削を含む加工を行う場合には、加工の目的によ

って、それぞれの加工に適したエンドミルを交換する必要があるという問題があった。しかし、本発明の超硬合金製エンドミルは、前述の新規なギャッシュ形状、及び波形状外周刃またはニック付き外周刃の形状を有しながら、高速切削加工に耐えうる硬質皮膜が少なくとも前記の形状として特長のある外周刃上に積層されているため、加工の目的に関係なく、工具を交換せずに一本のエンドミルのみで高能率で新規な切削方法が実施可能となる。

[0076] すなわち本発明の切削方法は、工具の外周刃の径方向に山部と谷部を繰り返す複数の波形状の外周刃、および、工具の外周刃の径方向に切り屑を分断させる複数のニックを有する複数の外周刃より選ばれるいずれかの外周刃と、底刃と、複数のギャッシュ面からなるギャッシュと、を有し、前記外周刃には硬質皮膜が被覆されており、前記複数のギャッシュ面は、底刃のすくい面である第1ギャッシュ面、エンドミルの工具軸の回転中心側に設けられた第2ギャッシュ面、及びエンドミルの外周側に設けられた第3ギャッシュ面を有し、前記第1ギャッシュ面と第2ギャッシュ面の交差部と工具軸線に直交する平面とのなす角度を第1ギャッシュ角、前記第1ギャッシュ面と第3ギャッシュ面の交差部と工具軸線に直交する平面とのなす角度を第2ギャッシュ角としたとき、第1ギャッシュ角は $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 、第2ギャッシュ角は $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ に設けられ、第2ギャッシュ面と第3ギャッシュ面のつなぎ部の長さは、工具回転軸から工具径の5%以上20%未満であり、前記外周刃は、ある外周刃を基準形状外周刃としたときに、その他の少なくとも一刃の外周刃の位相の工具軸方向へのずれ量が、波またはニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ前記基準形状外周刃のそれぞれの位相から前記ピッチの0%を含まない5%以下の幅で工具軸方向にずれて設けられた超硬合金製エンドミルを用い、縦送り切削、横送り切削および傾斜切削から選ばれる少なくとも2種以上の切削を連続して行うことを特徴とする切削加工方法である。

発明の効果

[0077] 本発明の超硬合金製エンドミルは、ある波形状外周刃またはニック付き外

周刃を基準形状外周刃としたときに、その他の少なくとも一刃の波形状外周刃またはニック付き外周刃の位相からのずれ量が、波またはニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ前記基準形状外周刃のそれぞれの位相から前記波またはニックのピッチの0%を含まない5%以下の幅で、望ましくは、前記ずれ量が前記波またはニックのピッチの1%~3%の幅で配置されているため、切削抵抗が分散されて切削負荷が安定し、びびり振動を抑制できる。

[0078] 本発明の他の発明による超硬合金製エンドミルは、ある外周刃を基準形状外周刃としたときに、その他の少なくとも一刃の波形状外周刃またはニック付き外周刃の位相からのずれ量が、波またはニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ前記基準形状外周刃のそれぞれの位相から前記波またはニックのピッチの0%を含まない5%以下の幅で、望ましくは、前記ずれ量が前記波またはニックのピッチの1%~3%の幅で配置されているため、びびり振動の抑制と共に、切り屑の分断が適正に行なわれ、安定した高速回転ができ、工具寿命も延びる。

[0079] 本発明のうち、ニックの工具シャンク側の丸み半径より小さくしたニックの工具先端側の丸み半径を設け、さらにはニック溝の形状を新規な形状で前記丸み半径に繋げたものは、耐チップング性が高くなる。よって欠損やチップングを起こすことなく安定した加工が可能となる。したがって、本発明によれば、高速切削による高能率荒加工から高能率中仕上げ加工が可能となり、さらに長寿命に加工が行えるニック付きの超硬合金製エンドミルを提供することができる。また、前述の本発明のニック形状は、切れ味がよくなり加工面の筋線を軽減できるので、被加工材において、より高精度の加工面が実現できる。

[0080] さらに、本発明は工具保持部と、超硬合金製からなる切れ刃部が自在に着脱可能であるので、波形状外周刃又はニック付き外周刃の形状、及び新規なギャッシュ形状による切り屑の分断効果や切り屑の排出性が良好になるなどの効果を発揮しつつ、エンドミルの切れ刃部に摩耗が生じた場合、エンドミ

ルの切れ刃部ごと取り替えて継続して使用することも可能である。

[0081] 本発明の波形状外周刃またはニックを有するエンドミルは、工具軸方向への位相のずれがない従来のエンドミルと比較して、本発明のエンドミルの回転速度を1.5倍以上にあげることができ、特に硬質皮膜を外周刃に被覆することによって安定した高能率加工を達成できる。

[0082] 本発明のうち、硬質皮膜を被覆した超合金製エンドミルは、高速切削しても切削抵抗が分散されてびびり振動を抑制して欠損やチッピングの突発事故を防止できという工具の新規な形状の効果に加えて、過酷な高速切削に伴う酸化と摩耗を防止するという硬質皮膜の相乗効果で、トータルのエンドミルの特性向上で高速かつ長寿命の加工を達成できる。

[0083] 具体的には、工具軸方向への位相のずれがない従来のエンドミルと比較して、本発明エンドミルの切削速度を周速 200 m/min を超える条件も可能であり、このような高能率加工の効果は、本発明のエンドミルの新規な形状と硬質皮膜被覆の効果の相乗効果によるものである。

[0084] 硬質皮膜が被覆される外周刃とギャッシュの形状は、本発明の波形状外周刃でもニック付き外周刃でもよく、さらにこれらの新規な外周刃に加えて、前述のギャッシュの条件を満足するすべてのギャッシュ部分にも硬質皮膜が被覆されると、切り屑の排出に伴う超合金の損傷が極力抑制された超合金製エンドミルが得られる。

[0085] 本発明によれば、従来の高速度工具鋼製に比較して、工具の寿命延長は期待できるが脆性材料であるがゆえに欠損の危険性の高い超合金製エンドミルの切れ刃のチッピングや折損が防止でき、長寿命に加工が行える硬質皮膜付きの超合金製エンドミルを提供することができる。

[0086] 本発明のニック付き超合金製エンドミルは、ニック付き外周刃の位相がずれている形状であり、欠損やチッピングを起こすことなく、加工中のびびり振動を抑制することができる。したがって、本発明は、送り速度が 1000 mm/min 以上の高能率荒加工または高能率中仕上げ加工が可能となり、さらに長寿命に加工が行えるニック付き超合金製エンドミルを提供する

ことができる。

[0087] 本発明の超硬合金製エンドミルのうち、ギャッシュの形状を本発明の範囲で最適化したものは、縦送り、横送り、傾斜切削など様々な加工に一本のエンドミルで対応可能であり、高速切削による高能率荒加工から高能率中仕上げ加工が可能となり、さらに長寿命に加工が行える超硬合金製エンドミルを提供することができる。

[0088] 具体的にはびびり振動を大幅に抑制しながら工具軸方向への位相からのずれがない従来のエンドミルと比較して、横送り切削時には、本発明のいずれの超硬合金製エンドミルも切削速度を 1.5 倍以上とした高能率加工を達成できる。さらに、ギャッシュの形状を最適化したものは、傾斜切削時には、従来のエンドミルと比較して、本発明の超硬合金製エンドミルは 1.5 倍以上の送り速度の高能率加工が達成できる。

[0089] 本発明の超硬合金製エンドミルの製造は、各刃が不等分割ではないため、通常のエンドミルと同じように製造できるため、製造コストも抑えて容易にエンドミルの製造が可能である。また、各刃の刃溝の形状はすべて同一であるため、切り屑の排出も均一になりやすく、切り屑排出性は良好であり、切削工具の寿命の安定と高速切削を可能にする効果が得られる。

[0090] 本発明の超硬合金製エンドミルによれば、市場で適用の多い構造用鋼、構造用合金鋼、冷間ダイス鋼、熱間ダイス鋼、ステンレス鋼、チタン合金及び超耐熱合金を含む広い範囲の被加工材において、高能率加工を可能にする。

[0091] 傾斜切削において、従来のエンドミルであれば、傾斜の角度は大きくても 5° 程度が限界であり、通常の傾斜切削は 3° 程度の傾斜角で行うのが一般的であった。本発明のエンドミルであれば、傾斜角度が 20° 以上で加工することが可能となり、ポケットなどの凹形状の加工においてもドリルと組み合わせる必要が無くなり、ドリルからエンドミルへの交換や段取り替えも必要ではなくなる。すなわち、本発明の超硬合金製エンドミルを用いた切削加工方法によれば、高能率で穴加工などの傾斜切削が行えると共に、ポケット形状の加工時も工具交換や段取り回数が減ることで、工程短縮に繋がり、加

工時間も短くなる。

図面の簡単な説明

[0092] [図1] 本発明の一実施例を示す超硬合金製エンドミルの全体概観図である。

[図2] 図1の外周刃A-A'断面の拡大図であり、(a)は波形状外周刃の拡大図を示し、(b)はニック付き外周刃としたときのニック付き外周刃の拡大図を示す。

[図3] 従来の位相のずれの無いエンドミルの波形状外周刃の位相とピッチを示す展開図である。

[図4] 本発明の超硬合金製エンドミルの波形状外周刃の位相とピッチを示す展開図である。

[図5] 本発明の一実施例を示し、隣接する波形状外周刃のうち1組の前記波形状外周刃は波ピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ位相からのずれ量が無く、1刃に前記ずれ量があることを示す展開図である。

[図6] 従来の位相のずれの無いエンドミルのニック付き外周刃の位相とニックのピッチを示す展開図である。

[図7] 本発明の超硬合金製エンドミルのニック付き外周刃の位相とニックのピッチを示す展開図である。

[図8] 本発明の一実施例を示し、隣接するニック付き外周刃のうち1組の前記ニック付き外周刃はニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ位相からのずれ量が無く、1刃に前記ずれ量があることを示す展開図である。

[図9] 従来のエンドミルの位相を等間隔にした場合の切削抵抗図を示す。

[図10] 従来のエンドミルに不等分割を採用した場合の切削抵抗図を示す。

[図11] 図11は本発明の波ピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ前記基準形状外周刃のそれぞれの位相から、本発明の望ましい範囲である前記波ピッチの2%のずれ量で工具軸方向にずらした超硬合金製エンドミルで切削した切削抵抗図を示す。

[図12] 図1の底刃近傍の拡大図である。

[図13] 第1ギャッシュ面と平行な平面で切断したギャッシュ形状を簡易的に

表す、12のC-C'部分断面図である。

[図14]本発明の一実施例を示すニック付き超硬合金製エンドミルの全体概観図である。

[図15]図14のニック付き外周刃を、エンドミルのねじれ角に平行の切断面を見たB-B'断面の拡大図であり、ニック溝の底端と工具シャンク側の丸みとの繋がりを直線とした図である。

[図16]図15において、本発明の他の例であるニック溝の底端と工具シャンク側の丸みとの繋がりをニック溝に向かって凸状の曲線とした図である。

[図17]図15において、本発明の他の例である、ニック溝の底端と工具シャンク側の丸みとの繋がりをニック溝に向かって凸状の曲線と直線との組合せとした図である。

[図18]ニック溝の底端と工具シャンク側の丸みとの繋がりが、ニック溝に向かって凹状の曲線とした従来のニック付き超硬合金製エンドミルである。

[図19]ニックと外周刃部との繋がりが鋭いエッジ形である、特許文献3に記載されたニック形状を表す図である。

[図20]図19のニック形状において、該ニック形状に丸みを設けた特許文献4に記載されたニック形状を表す図である。

[図21]ニックと外周刃部との繋がりを、ニック溝を形成する凹円弧形状の半径より小さい丸みとし、該丸みの大きさを工具先端側と工具シャンク側とが同じとした特許文献4に記載されたニック形状を表す図である。

[図22]図21のニック形状において、該丸みの大きさを工具シャンク側の丸み半径が工具先端側の丸み半径より大きく設けた、特許文献4に記載されたニック形状を表す図である。

[図23]従来の位相からのずれの無いニック付き超硬合金製エンドミルの外周刃の位相とニックのピッチを示す展開図である。

[図24]本発明のニック付き超硬合金製エンドミルの外周刃の位相とニックのピッチを示す展開図である。

[図25]本発明の一実施例を示し、隣接するニック付き外周刃のうち1組の前

記ニック付き外周刃はニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ位相からのずれ量が無く、1刃に前記ずれ量があることを示す展開図である。

[図26]硬質皮膜が被覆された本発明の超硬合金製エンドミルにおける図1の外周刃A-A'断面の拡大図に相当する図であり、(a)は波形状外周刃の拡大図を示し、(b)はニック付き外周刃としたときのニック付き外周刃の拡大図を示す。

[図27]本発明の一実施例を示し、切れ刃部と工具保持部が着脱できるエンドミルの全体概観図である。

[図28]従来のエンドミルを用いて彫り込み加工を行う場合と、本発明例で彫り込み加工を行う場合を比較したフローチャートを示す図である。

[図29]硬質皮膜の最上層及び硬質皮膜の最下層からなる本発明の硬質皮膜被覆エンドミルに適する硬質皮膜の層構造の一例を示す図である。

[図30]硬質皮膜の最下層から、硬質皮膜の最上層まで実質的に最下層の組成と最上層の組成の1回以上の繰り返して積層された複合層からなる本発明の硬質皮膜被覆エンドミルに適する硬質皮膜の層構造の一例を示す図である。

[図31]硬質皮膜の最上層、硬質皮膜の最下層及び中間層からなる本発明の硬質皮膜被覆エンドミルに適する硬質皮膜の層構造の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0093] 以下、本発明を実施するための形態を従来例と比較しながら図1～図31に基づいて説明する。以下に示す本発明の実施例は硬質皮膜は必ずしも必要ではないが、硬質皮膜を被覆したほうがより性能向上のために望ましい。図1は本発明の一実施例を示すエンドミルの全体概観図である。図1は、工具径Dで外周側に切り屑排出用の刃溝16と、刃数が4枚の外周刃1を有する例である。前記外周刃には工具先端側2からシャンク側3に向かって波形状外周刃が設けられている。前記刃数は、2枚以上であれば、位相をずらすことが可能であるため刃数は必要に応じて変え得る。例えば、アルミニウムなどの切削は切り屑排出が多いため刃数は2枚程度とし、切り屑排出用のチップポケットを大きめに設定し、また、高硬度材の切削は刃数を8枚まで増や

し、高送りに対応することができる。

[0094] 図2は図1の外周刃A-A'断面の拡大図である。図2(a)は波形状外周刃の拡大図を示す。通常波形状刃形は図2のように波ピッチ4毎に波高さ5の山部6と谷部7を繰り返した刃形であり、切り屑を細かく分断できる刃形となる。図2(b)はニック付き外周刃としたときのニック付き外周刃の拡大図を示す。ニック付き外周刃においても外周刃とニックの交点20の間隔であるニックのピッチ8毎にニックの深さ9の溝が入った形状を繰り返し、切り屑を分断できる刃形となる。切り屑を分断することにより切削抵抗を抑制できる効果がある。

[0095] 本発明の超硬合金製エンドミルと従来のエンドミルの波形状外周刃の位相と波ピッチを比較するために図3～図5を用いて説明をする。図3は従来の位相のずれの無いエンドミルの波形状外周刃の位相とピッチを示す展開図、図4は本発明の超硬合金製エンドミルの波形状外周刃の位相とピッチを示す展開図、および図5は、本発明の一実施例を示し、隣接する波形状外周刃のうち1組の前記波形状外周刃は波ピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ位相からのずれ量が無く、1刃に前記ずれ量15があることを示す展開図である。尚、図3～図5では波形状の山部の位置を丸印で示している。

[0096] 図3のように、従来のエンドミルでは図の一番上に示される第1波形状外周刃を基準形状外周刃10として、基準形状外周刃10の山部から次の山部までの波ピッチ4（ニック付きの場合は外周刃とニックの交点から次の外周刃とニックの交点までをニックのピッチ8とする。）を4等分したそれぞれの位相14（言い換えれば、基準形状外周刃10の1/4ピッチごと）に、連続して次の第2波形状外周刃11、第3波形状外周刃12及び第4波形状外周刃13の山部が来るように等間隔に波形状外周刃がそれぞれ配置されている。

[0097] このような配置は波形状外周刃の山部の位相14が一定であり、エンドミルによって切削される被加工材の切削量は各波形状外周刃で同一となる。各刃で切削される被加工材の切削量が同一であれば、従来技術で説明した等分

割エンドミルと同様に、加工中に共振が起こり、びびり振動が生じやすい。

[0098] これに対して、本発明では図4に示すように、基準形状外周刃10の次に配置される第2波形状外周刃11と第4波形状外周刃13の山部の位置は、基準形状外周刃10の波ピッチ4を4等分した位相14から工具軸方向へずれ量15だけずれて配列されている。そして、基準形状外周刃10以外の波形状外周刃の位相14からのずれ量15は、少なくとも一刃が基準形状外周刃10の波ピッチ4を4等分したそれぞれの位相14を基準にして、基準形状外周刃10の波ピッチ4の0%を含まない5%以下の範囲の幅で工具軸方向へ配設されている。

[0099] 図4の本発明の超硬合金製エンドミルの一例として、基準形状外周刃10の波ピッチ4を1mmとし4枚の刃数で割った値で等間隔に並んだそれぞれの波形状外周刃の位相14からのずれ量15は、第2波形状外周刃11は波ピッチ4の2%である0.02mm、第3波形状外周刃12では0mm、第4波形状外周刃13では波ピッチ4の2%である0.02mmの位相のずれがある。ここで前記ずれ量15はプラスをシャンク側側3とし、マイナスを工具先端側2とする。

[0100] また本発明では図5に示すように、基準形状外周刃10の次に配置される第2波形状外周刃11の山部の位置は、基準形状外周刃10の波ピッチ4を4等分した位相14から工具軸方向へずれ量15だけずれて配列され、隣接する第3波形状外周刃12と第4波形状外周刃13は位相14からのずれ量15が無いように配列されている。そして、基準形状外周刃10以外の波形状外周刃の位相14からのずれ量15は、少なくとも一刃が基準形状外周刃10の波ピッチ4を4等分したそれぞれの位相14を基準にして、基準形状外周刃10の波ピッチ4の0%を含まない5%以下の範囲の幅で工具軸方向へ配設されている。このように3枚以上の波形状外周刃を有するエンドミルにおいて、隣接する各波形状外周刃のうち少なくとも1組の前記波形状外周刃は位相からのずれ量が無く、その他の組の前記波形状外周刃は互いに位相からのずれ量が不均等である場合でも、びびり振動の抑制と共に、高速切削

による高能率加工が可能となる。

[0101] 1刃だけが位相14からのずれ量15を有する例として、小径エンドミルでの被加工材を溝切削する場合、切屑排出の確保のため刃数が奇数となる3枚刃を用いることが多く、この場合、特許文献1の仕様では、互いの隣接する外周刃の位相14からのずれ量15はすべて異ならせることとなるが、本発明を用いれば、1刃だけの位相14からのずれ量15を異ならせることでよい。

[0102] 更に、刃数が奇数となる5枚刃の場合においても、前記特許文献1の仕様では、基準形状外周刃10からの位相14のずれ量15は2つの種類が必要となる。しかしながら、本発明では1つの種類の位相14からのずれ量15だけでも、びびり振動の抑制と共に、高速切削による高能率加工が可能となり、さらに長寿命に加工が行える。

[0103] 本発明の超硬合金製エンドミルでは、上記で述べたように波形状外周刃の山部の位置にずれ量があると、エンドミルで被加工材を切削する各刃の切削量は不均一になり、びびり振動抑制効果が発揮される。

[0104] 図9～図11を用いて、従来の位相のずれの無いエンドミルと本発明の超硬合金製エンドミルの切削抵抗を測定し、びびり振動を比較した説明をする。

[0105] 図9は従来のエンドミルの位相を等間隔にした場合の切削抵抗図を示す。図10は従来のエンドミルに不等分割を採用した場合の切削抵抗図を示す。図11は本発明の波ピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ前記基準形状外周刃のそれぞれの位相から、本発明の望ましい範囲である前記波ピッチの2%のずれ量で工具軸方向にずらした超硬合金製エンドミルで切削した切削抵抗図を示す。

[0106] 被加工材は構造用鋼を用い、測定に使用したエンドミルは工具径Dが8mmで、4枚刃の超硬合金製とし、切削条件は $N=8000$ 回転/min ($V_c=200$ m/min)、 $V_f=3000$ mm/min ($f_z=0.09$ mm/tooth)、軸方向切り込み8mmの溝切削にてデータを採取した。

切削抵抗波形の振幅量によりびびり振動を確認した。

[0107] 図9で示すように従来の位相のずれの無いエンドミルでは、切削抵抗波形の振幅量は251.9N（ニュートン）であった。このことは、切削時の回転数に刃数を掛けた周期で切削力が掛かり、この周期の周波数で共振が起こりびびり振動と繋がる。特に高速切削においては共振が生じやすく、びびり振動が大きくなる。図10で示す不等分割を採用した従来のエンドミルでの振幅量は151.9Nであった。図11の本発明例での振幅量は146.1Nであり、本発明例を採用したエンドミルの切削抵抗波形の振幅が最も小さかった。

[0108] 本発明は、工具の外周刃の径方向に山部と谷部を繰り返す複数の波形状外周刃を有するエンドミルにおいて、ある波形状外周刃を基準波形状外周刃としたときに、その他の少なくとも一刃の波形状外周刃の位相の工具軸方向へのずれ量が、波ピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ前記基準形状外周刃のそれぞれの位相から前記波ピッチの0%を含まない5%以下の幅で工具軸方向にずれている超硬合金製エンドミルを用いれば、各外周刃の1刃当たりの切削量が僅かづつに異なる。よって、高速切削を行っても切削抵抗が分散されて切削負荷が安定し、びびり振動を抑制できる。

[0109] ここで、それぞれの位相のずれ量を波ピッチの0%を含まない5%以下としたのは、ずれ量が5%を超えて大きくなるとそれぞれの外周刃の切削量が大きく異なるため、位相が最も大きい外周刃に集中し、負荷が大きくなって工具の折損や波形状外周刃のチッピングが生じ、エンドミル全体としての寿命が短くなるためである。

[0110] 特許文献1では、前記位相のずれ量が約6%の高速度工具製エンドミルで切削した例が紹介されている。このずれ量と同様の比率で本発明が対象とする超硬合金を母材としたエンドミルを用いて高速切削を行うと、切削負荷の変動が大きく、ずれ量が最も大きい波形状外周刃はチッピングを起こしてしまう。

[0111] 韌性の高い高速度工具鋼を母材にしたエンドミルを用い、切削速度が80

m/min 以下の低い条件で、鋳鉄など被削性の良い被加工物を加工すれば、問題なく加工できるが、さらなる高能率加工を行うために超合金製エンドミルを用いた場合、前記位相のずれ量が6%では大きすぎ、チッピングや欠損等の問題となる。このことは、後で述べる実施例においても確認している。

[0112] 現在の金型や部品の加工現場では熱処理されていない非調質鋼は当然ながら、40HRCを超える焼き入れ材でも加工ができるエンドミルが当然のように求められている。このニーズに対しては、もはや高速度工具鋼製のエンドミルはいかなる形状であろうとも極端に工具寿命が短くなり、対応が困難である。

[0113] 本発明は、このような加工現場で常識化している高硬度材の切削や高能率加工を行うために、最適な波形状外周刃の位相をずらした超合金製エンドミルとして、高速切削での欠損やチッピングが生じない位相のずらし量を特徴とするものである。前記の位相のずれ量は5%以下とした。好ましくは基準形状外周刃のそれぞれの位相から前記波ピッチの1%~3%の幅で、その他の少なくとも一刃の波形状外周刃が工具軸方向にずれていることが望ましい。

[0114] 以上のように波形状外周刃の位相をずらした本発明の超合金製エンドミルは、被削対象材が構造用鋼、構造用合金鋼、冷間ダイス鋼、熱間ダイス鋼、ステンレス鋼、チタン合金及び超耐熱合金においてもびびり振動の抑制と共に、切り屑の分断が適正に行なわれ、安定した高速回転ができ、工具寿命も延びる。

[0115] 次にニック付き外周刃としたときの本発明の超合金製エンドミルについて説明する。図6~図8は、本発明の超合金製エンドミルと従来のエンドミルのニック付き外周刃の位相とニックのピッチを比較するための展開図を示す。図6は従来の位相のずれの無いエンドミルのニック付き外周刃の位相とニックのピッチを示す展開図、図7は本発明の超合金製エンドミルのニック付き外周刃の位相とニックのピッチを示す展開図、および図8は、本発

明の一実施例を示し、隣接するニック付き外周刃のうち1組の前記ニック付き外周刃はニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ位相からのずれ量が無く、1刃に前記ずれ量があることを示す展開図である。なお、図6～図8では外周刃とニックの交点の位置を丸印で示している。

[0116] 図6のように、従来のエンドミルでは図の一番上に示される第1ニック付き外周刃を基準形状外周刃10として、基準形状外周刃10の外周刃とニックの交点20から次の外周刃とニックの交点20までの間隔であるニックのピッチ8を4等分したそれぞれの位相14（言い換えれば、基準形状外周刃10の1/4ピッチごと）に、連続して次の第2ニック付き外周刃17、第3ニック付き外周刃18及び第4ニック付き外周刃19の外周刃とニックの交点20が来るように等間隔にニック付き外周刃がそれぞれ配置されている。

[0117] このような配置はニック付き外周刃の外周刃とニックの交点20の位相14が一定であり、エンドミルによって切削される被加工材の切削量は各ニック付き外周刃で同一となる。各刃で切削される被加工材の切削量が同一であれば、従来技術で説明した等分割エンドミルと同様に、加工中に共振が起こり、びびり振動が生じやすい。

[0118] これに対して、本発明では図7に示すように、基準形状外周刃10の次に配置される第2ニック付き外周刃17と第4ニック付き外周刃19の外周刃とニックの交点20の位置は、基準形状外周刃10のニックのピッチ8を4等分した位相14から工具軸方向へずれ量15だけずれて配列されている。そして、第2ニック付き外周刃17と第4ニック付き外周刃19の位相14のずれ量15は、少なくとも一刃が基準形状外周刃10のニックのピッチ8を4等分したそれぞれの位相14を基準にして、基準形状外周刃10のニックのピッチ8の0%を含まない5%以下の範囲の幅で工具軸方向へ配設されている。

[0119] 図7は本発明の超硬合金製エンドミルの一例であり、基準形状外周刃10のニックのピッチ8を1mmとし4枚の刃数で割った値で等間隔に並んだそ

それぞれのニック付き外周刃の位相 14 のずれ量 15 は、第 2 ニック付き外周刃 17 はニックのピッチ 8 の 2 % である 0.02 mm、第 3 ニック付き外周刃 18 では 0 mm、第 4 ニック付き外周刃 19 ではニックのピッチ 8 の 2 % である 0.02 mm の位相のずれがある。ここでずれ量 15 はプラスをシャンク側 3 とし、マイナスを工具先端側 2 とする。

[0120] また、本発明では図 8 に示すように、基準形状外周刃 10 の次に配置される第 2 ニック付き外周刃 17 の外周刃とニックの交点 20 の位置は、基準形状外周刃 10 のニックのピッチ 8 を 4 等分した位相 14 から工具軸方向へずれ量 15 だけずれて配列され、隣接する第 3 ニック付き外周刃 18 と第 4 ニック付き外周刃 19 の位相のずれ量が無いように配列されている。

[0121] そして、図 8 においては、基準形状外周刃 10 以外のニック付き外周刃の位相 14 のずれ量 15 は、少なくとも一刃が基準形状外周刃 10 のニックのピッチ 8 を 4 等分したそれぞれの位相 14 を基準にして、基準形状外周刃 10 のニックのピッチ 8 の 0 % を含まない 5 % 以下の範囲の幅で工具軸方向へ配設されている。また、前述した波形状外周刃が設けられた本発明の超硬合金製エンドミルの 1 刃だけがずれ量 15 を有する例と同様に、刃数が奇数となる場合においても、1 刃だけの位相 14 のずれ量 15 を異ならせることで、びびり振動の抑制と共に、高速切削による高能率加工が可能となり、さらに長寿命に加工が行える。

本発明のニック付き外周刃とした場合の超硬合金製エンドミルの、それぞれの位相 14 のずれ量 15 をニックのピッチ 8 の 0 % を含まない 5 % 以下としたのは、前記ずれ量 15 が 5 % を超えて大きい場合は、それぞれの外周刃の切削量が大きく異なるため、位相 14 が最も大きい外周刃に集中し、負荷が大きくなって工具の折損やニック付き外周刃にチッピングが生じ、エンドミル全体としての寿命が短くなるためである。好ましくは基準形状外周刃のそれぞれの位相 14 から前記ニックのピッチ 8 の 1 % ~ 3 % の幅で工具軸方向にずれていることが望ましい。

[0122] 以上のようにニック付き外周刃の位相をずらした本発明の超硬合金製エン

ドミルは、被削対象材が構造用鋼、構造用合金鋼、冷間ダイス鋼、熱間ダイス鋼、ステンレス鋼、チタン合金及び超耐熱合金においてもびり振動の抑制と共に、切り屑の分断が適正に行なわれ、安定した高速回転ができ、工具寿命も延びる。

[0123] 本発明のニック付き超硬合金製エンドミルのうち、ニック形状に特徴のある部分を従来のニック形状とも対比して図 14～図 22 で説明する。図 14 は本発明の一実施例を示すニック付き超硬合金製エンドミルの全体概観図である。本発明のエンドミルは図 14 に示すように、工具径 D で、工具外周刃のねじれ角が θ となる複数の外周刃 1 を有するエンドミル本体の外周に、工具先端側 2 からシャンク側 3 に向かって、切り屑を分断させるニック 34 が所定の間隔ごとに配置されている。

[0124] 本発明の内、ニック付き超硬合金製エンドミルのニック 34 の詳細な断面形状を図 15 ないし図 17、及び、従来のニックの断面形状である図 18 ないし図 22 で説明する。図 15 は図 14 のニック付き外周刃を、エンドミルのねじれ角に平行の切断面で見た $B-B'$ 断面の拡大図であり、ニック溝の底端と工具シャンク側の丸みとの繋がりを直線とした図である。

[0125] エンドミルは所定の工具外周刃のねじれ角 θ を有するため、 $B-B'$ 断面とはニックと外周刃をエンドミルのねじれ角と平行の切断面で見た断面である。なお、本発明例である図 15 ないし図 17、及び従来例を示す図 18、図 20 ないし図 22 の説明において、便宜的に、あるニックの工具のシャンク側と工具先端側に存在する円弧（丸み）の半径を、工具先端側の丸み 35 では工具先端側の丸み半径 R_1 と称し、工具シャンク側の丸み 36 では工具シャンク側の丸み半径 R_2 と称する。また、図 15 ないし図 22 の斜線はエンドミルの断面を示す。

[0126] 本発明のニック付き超硬合金製エンドミルは、ニック 34 は工具先端側の丸み半径 R_1 の円弧を部分的に持つ工具先端側の丸み 35 と、工具シャンク側の丸み半径 R_2 の円弧を部分的に持つ工具シャンク側の丸み 36 によって外周刃 1 とニック溝 39 とを繋げている。且つ、該ニック 34 の工具先端側

の丸み半径 R_1 が該ニックの工具シャンク側の丸み半径 R_2 より小さく設けられている。また、ニック溝の形状は上記の丸みの条件に加えて、ニック溝 39 のニック溝の底部 37 は凹状であり、工具シャンク側の丸み半径 R_2 と直線若しくは凸状の曲線でニック溝の底端 38 で繋がっているのがよい。

[0127] 本発明のニック付き超硬合金製エンドミルにおける、ニック溝の底端 38 と工具シャンク側の丸み 36 との断面形状での望ましい繋ぎ方は三種類あり、その様子を図 15 ないし図 17 に示す。既に代表して述べた図 15 は、ニック溝の底端と工具シャンク側の丸みとの繋がりを直線とした例である。図 16 は、ニック溝の底端と工具シャンク側の丸みとの繋がりを、ニック溝に向かって凸状の曲線で連結されている例である。図 17 は、ニック溝の底端と工具シャンク側の丸みとの繋がりを、前記ニック溝に向かって凸状の曲線と直線との組合せで繋げている例である。

[0128] また、本発明の他の形状の特徴である位相ずらし量の適正化により、高速切削が可能とはなるが、高送りでの高能率の条件で加工する際には、ニックの形状のさらなる最適化も行なわないとチッピングが発生することがあり、加工面の精度が悪化することもある。この場合には、本発明のよりよい手段として図 15 ないし図 17 に例示するように、工具シャンク側の丸み 36 とニック溝の底端 38 との繋がりを、直線 40 もしくはニック溝に向かって凸状の曲線 41 で繋がるか、又は凸状の曲線 41 と直線 40 との組合せで繋ぐことにより、エンドミルの強度を増強でき、位相ずらし量を適正化して、従来と比較して 1.5 倍以上の切削速度で切削しても、チッピングの発生もなく安定した加工ができる。

[0129] 切削工具として比較的靱性の高い従来の高速度工具鋼と比較して、本発明のように相対的に脆性材料である超硬合金製エンドミルで、荒加工において従来の 1.5 倍以上の切削速度による加工を実現化するためには、高速度工具鋼では不必要な位相ずらし量の適正化があえて必要であり、加えて、位相ずらし量の適正化によって成し得る高速加工化をより安定化させるためには、ニック形状のより良いシビアな形状設計が必要である。そのために本発明

においては、より高速切削でのチップング対策として、ニッケ溝の底端 38 と工具シャンク側の丸み 36 との断面形状での繋ぎ方がより好ましい本発明の要素である。

[0130] 本発明のニッケ付き超硬合金製エンドミルは、ニッケ 34 の工具先端側の丸み半径 R_1 が $0.01D \sim 0.03D$ (D は工具径を表す。) の範囲内とするのが望ましい。この範囲であると、ニッケ 34 と外周刃 1 と繋いだ工具先端側 2 の強度をより十分に確保でき、チップングを防ぐことができるからである。工具先端側の丸み半径 R_1 が $0.01D$ 未満であると相対的に強度が弱く、切削する際にチップングが発生する可能性がでてくる。工具先端側の丸み半径 R_1 が $0.03D$ を超えると、加工面を工具シャンク側に押し付ける力が大きくなり、その結果、加工面に筋を残しやすくなり、加工面精度に影響する。

[0131] また、本発明のニッケ付き超硬合金製エンドミルの、ニッケ 34 の工具シャンク側の丸み半径 R_2 は工具直径 D の $1.5 \sim 2$ 倍の範囲内が望ましい。これにより、ニッケ 34 と外周刃 1 がうまく繋がり、ニッケ溝 39 の工具シャンク側 3 の強度を十分確保しチップングを防ぐことができるので、高送りでの高能率の加工ができる。ニッケ 34 の工具シャンク側の丸み半径 R_2 が工具直径 D の 1.5 倍未満の場合には強度が不足する。ニッケ 4 の工具シャンク側の丸み半径 R_2 が工具直径 D の 2 倍を超える場合には切削抵抗が大きくなることから、いずれもチップングが発生しやすい傾向となる。

[0132] 本発明のニッケ付き超硬合金製エンドミルのニッケの深さ 9 は、 $0.01D \sim 0.05D$ の範囲内が望ましい。ニッケの深さ 9 が $0.01D$ 未満の場合、一刃送り量を多く取れない。その場合には、ニッケ 34 が有効に働きづらく、例えば、一刃送り量がニッケの深さ 9 より大きい場合、切り屑がつながり、高送りが難しくなる。逆に一刃送り量がニッケの深さ 9 より小さい場合は、高送りができないことになる。また、ニッケの深さ 9 が $0.05D$ を超える場合、切れ刃の強度が弱くなり、チップングを起こすことがある。この範囲のニッケの深さ 9 により、切り屑がより良好に分断されるとともに、

切削抵抗が小さくなり高能率の加工が一層確実になる。

[0133] なお、図 15～図 17 において、ニック溝の輪郭形状は代表的に 3 個図示しているが、本発明では、いずれのニック 34 においても工具先端側の丸み半径 R_1 は工具シャンク側の丸み半径 R_2 より小さいことは必須の条件であるが、ニック 34 ごとの工具先端側の丸み半径 R_1 と工具シャンク側の丸み半径 R_2 の値はすべてのニック 34 で同じである必要はない。ただし、ニック溝 39 形成時の研削加工において砥石を使用することが普通であるから、ニック付き超硬合金製エンドミルの製造上は同じ砥石形状により研削すると都合が良いので、ほぼ同じ寸法が望ましいといえる。

[0134] 特許文献 3、特許文献 4 とともにニックの形状を特徴にしている発明であるが、これらの発明の形状に基づき製作して評価した B 従来例 4～7 は実施例の表 B 2 に記載する効果の欄からも分かるように、それぞれ下記のような問題点があることを明らかにした。

[0135] 特許文献 3 に記載のニックの形状は、ニック 34 と外周刃部 1 とが連結する形状が図 19 に記載されるように鋭いエッジ形になっている。ニック両端に大きなフランク角を設けて強度を確保しようとするが、高能率加工においては、耐チッピング性から大きな問題がある。

[0136] 特に、本発明のようにニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ位相からニックがずれているニック付き超硬合金製エンドミルで能率の高い条件で切削するとき、従来のニック断面形状を示す図 19 のように鋭いエッジが付いて角立っているエッジ部分 43 を持っている、チッピングの可能性が高く、加工面には筋を残して、十分な加工面粗さが得られないという問題がある。また、特許文献 3 にはこの鋭いエッジ部に丸み(アール)をつけてもよいとの記載があるが、せいぜい常識的な範囲で丸みを付けてもよいとの発想に過ぎず、エッジ部分 43 に R_1 と工具シャンク側の丸み R_2 をつけた図 20 に示すように、丸みをつけるという前記の発想の基本形状は図 19 と類似の形状に留まる。

[0137] 図 21 は特許文献 4 に記載されたニック形状を表す図である。図 21 のニ

ック形状はニックと外周刃部との繋がりを、ニック溝を形成する凹円弧形状の半径より小さい丸みとし、該丸みの大きさを工具先端側と工具シャンク側とが同じとしている。

図 2 2 は図 2 1 のニック形状において、該丸みの大きさを工具シャンク側の丸み半径が工具先端側の丸み半径より大きく設けたもので、図 2 1 と同じく特許文献 4 に記載されたニック形状を表す図である。

[0138] 本発明が目的とするように、中仕上げ加工面面粗さを維持しつつ、従来品の 2 倍以上の加工能率（一刃送り量、回転数）を実現するためのニック付き超硬合金製エンドミルで重要なことは、常識程度に丸みを付けるだけでは事足りず、ニック 3 4 と外周刃 1 とが繋がる形状を工具先端側 2 と工具シャンク側 3 で相互の丸みの大きさの関係も含めてどのような形状にし、ニック溝 3 9 とどのように繋ぐかが重要なのである。

[0139] 本発明のニック付き超硬合金製エンドミルは、前記工具先端側の丸み半径 R_1 と工具シャンク側の丸み半径 R_2 の最適な大きさと、工具先端側の丸み半径 R_1 と工具シャンク側の丸み半径 R_2 との間の相互の関係、さらに望ましい範囲とするとときに、ニック溝の底部 3 7 がニックの工具シャンク側の丸み 3 6 とどのように繋げるかを検討した結果として、従来の単純な円弧の一部とする形状ではなし得なかった中仕上げ加工面粗さを得る切れ味を確保して、しかもニックの耐チッピング性に最適であるという両立した効果を得ることに成功したものである。

[0140] 本発明のニック付き超硬合金製エンドミルの望ましい形状は、工具シャンク側の丸みからニック溝の底端へ、連続して直線若しくはニック溝に向かって凸状の曲線で繋がるか、前記直線と凸状の曲線の組み合わせで繋がっている形状である。この形状によりニックの強度は格段に向上する。

[0141] これに対して、従来のニック形状の断面を示す例としての図 2 1 および図 2 2 のものは、いずれもニック溝の底部が円弧の一部であり、よって、工具先端側の丸み 3 5 と工具シャンク側の丸み 3 6 とは変曲点を持つ曲線で形成されている。このような形状は本発明と比較して相対的にニックの強度は十

分ではなく、本発明の効果のように、中仕上げ加工面粗さを得る切れ味を確保して、しかもニックの耐チッピング性に適しているとは言い難い。

[0142] 本発明の実施例からも分かる本発明のニック 3 4 の望ましい形状と、形状の部分的な役割をまとめると下記のようになる。工具先端側の丸み半径 R_1 は、特に、強度を確保した上で切れ味を確保し、面粗さの維持のために必要で、その範囲は工具直径を D とするとき $0.01D \sim 0.05D$ とするのが望ましい。さらに望ましい範囲は、 $0.01D \sim 0.03D$ である。

[0143] 工具シャンク側の丸み半径 R_2 は主にニック 3 4 の耐チッピング性を確保する目的で、工具先端側の丸み半径 R_1 の 1.1 倍 ~ 2.5 倍とするのが良い。工具シャンク側の丸み半径 R_2 のさらに望ましい範囲は工具先端側の丸み半径 R_1 の 1.5 倍 ~ 2.0 倍である。

[0144] ただし、ここで記載したニックの工具先端側の丸み半径 R_1 や工具シャンク側の丸み半径 R_2 の効果、及び必要に応じて考慮するニック溝の形状の効果は、単独でニック付き超硬合金製エンドミルにおいて発揮されるものでもなく、ニック形状の全体の要件、特にニックの位相ずらし量の適正化によって、初めて従来よりはるかに高速切削可能という効果が、実用的にチッピング発生が無いという安心した状況下で満足されて発揮されるものである。

[0145] 次に、本発明の位相のずれ量が不均一であるニック付き超硬合金製エンドミルと、従来の位相からのずれの無いニック付き超硬合金製エンドミルのニック付き外周刃の位相とニックのピッチを比較するために図 2 3 ないし図 2 5 を用いて説明をする。図 2 3 ないし図 2 5 で示されるニック断面形状は、工具シャンク側の丸みからニック溝の底端へ、連続してニック溝に対して凸状の曲線で繋がっている形状である。

[0146] 図 2 3 は従来の位相からのずれの無いエンドミルのニック付き外周刃の位相とピッチを示す展開図、図 2 4 は本発明ニック付き超硬合金製エンドミルのニック付き外周刃の位相とピッチを示す展開図、図 2 5 は、本発明の一実施例を示し、隣接するニック付き外周刃のうち 1 組の前記ニック付き外周刃はニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ位相からのずれ量が無

く、1刃に前記ずれ量があることを示す展開図である。なお、図23ないし図25では外周刃とニックの交点の位置を丸印で示している。

[0147] 図23のように、従来のエンドミルでは図の一番上に示される第1ニック付き外周刃を基準形状外周刃10として、基準形状外周刃10の外周刃とニックの交点20から次の外周刃とニックの交点20までのニックのピッチ8を4等分したそれぞれの位相14（言い換えれば、基準形状外周刃10の1/4ピッチごと）に、連続して次の第2ニック付き外周刃17、第3ニック付き外周刃18及び第4ニック付き外周刃19の外周刃とニックの交点20が来るように等間隔にニック付き外周刃がそれぞれ配置されている。

[0148] このような配置はニック付き外周刃の外周刃とニックの交点20の位相14が一定であり、エンドミルによって切削される被加工材の切削量は各ニック付き外周刃で同一となる。各刃で切削される被加工材の切削量が同一であれば、従来技術で説明した等分割エンドミルと同様に、切削加工中に共振が起こり、びびり振動が生じやすい。

[0149] これに対して、本発明では図24に示すように、基準形状外周刃10の次に配置される第2ニック付き外周刃17と第4ニック付き外周刃19の外周刃とニックの交点20の位置は、基準形状外周刃10のニックのピッチ8を4等分した位相14から工具軸方向へずれ量15だけずれて配列されている。

[0150] そして、第2ニック付き外周刃17と第4ニック付き外周刃19のニック付き外周刃の位相14からのずれ量15は、少なくとも一刃が基準形状外周刃10のニックのピッチ8を4等分したそれぞれの位相14を基準にして、基準形状外周刃10のニックのピッチ8の0%を含まない5%以下の範囲の幅で工具軸方向へ配設されている。

[0151] 図24の本発明のニック付き超硬合金製エンドミルの一例として、基準形状外周刃10のニックのピッチ8を1mmとし4枚の刃数で割った値で等間隔に並んだそれぞれのニック付き外周刃の位相14からのずれ量15は、第2ニック付き外周刃17はニックのピッチ8の2%である0.02mm、第

3 ニック付き外周刃 18 では 0 mm、第 4 ニック付き外周刃 19 ではニックのピッチ 8 の 2 % である 0.02 mm の位相からのずれがある。ここで前記ずれ量 15 はプラスを工具シャンク側 3 の方向とし、マイナスを工具先端側 2 の方向とする。

[0152] また、本発明では図 25 に示すように、基準形状外周刃 10 の次に配置される第 2 ニック付き外周刃 17 の外周刃とニックの交点 20 の位置は、基準形状外周刃 10 のニックのピッチ 8 を 4 等分した位相 14 から工具軸方向へずれ量 15 だけずれて配列され、隣接する第 3 ニック付き外周刃 18 と第 4 ニック付き外周刃 19 の位相からのずれ量が無いように配列されている。

[0153] そして、基準形状外周刃 10 以外のニック付き外周刃の位相 14 からのずれ量 15 は、少なくとも一刃が基準形状外周刃 10 のニックのピッチ 8 を 4 等分したそれぞれの位相 14 を基準にして、基準形状外周刃 10 のニックのピッチ 8 の 0 % を含まない 5 % 以下の範囲の幅で工具軸方向へ配設されている。

[0154] 1 刃だけがずれ量 15 を有する例として、小径エンドミルでの被加工材を溝切削する場合、切屑排出の確保のため刃数が奇数となる 3 枚刃を用いることが多く、この場合、特許文献 1 の仕様では、互いの隣接する外周刃の位相 14 からのずれ量 15 はすべて異ならせることとなるが、本発明を用いれば、1 刃だけの位相 14 からのずれ量 15 を異ならせることでよい。

[0155] 更に、刃数が奇数となる 5 枚刃の場合においても、前記特許文献 1 の仕様では、基準形状外周刃からの位相 14 からのずれ量 15 は 2 つの種類が必要となる。しかしながら、本発明では 1 つの種類の位相 14 からのずれ量 15 だけでも、びびり振動の抑制と共に、高速切削による高能率加工が可能となり、さらに長寿命に加工が行える。

[0156] ニックの位相からのずれ量を不均一にした外周刃で超硬合金製の高速切削用エンドミルを実現するためには、位相からのずれ量の適正な決定はとても大切であり、さらに、ニックの断面における形状の最適化と合わせて、ニック付き超硬合金製エンドミルの実用化に不可欠な要件である。

- [0157] 本発明の超硬合金製エンドミルにおいて、従来よりも大きい単位時間当たりの切り屑排出量を達成したいときには、底刃のギャッシュ形状を最適化するのが良い。図1などに示すような外周刃が波形状外周刃で、さらに底刃にギャッシュを設ける場合の実施形態を図12、図13に基づいて説明する。
- [0158] 図12は、図1の底刃近傍の拡大図である。図12に示す本発明の超硬合金製エンドミルのギャッシュには、底刃のすくい面である第1ギャッシュ面51、エンドミルの工具軸の回転中心側に第2ギャッシュ面52、エンドミルの外周側に第3ギャッシュ面53が設けられている。
- [0159] 図13は第1ギャッシュ面と平行な平面で切断したギャッシュ形状を簡易的に表す、12のC-C'部分断面図である。なお、図13の斜線部は断面を示す。
- [0160] 図13において、第1ギャッシュ面と第2ギャッシュ面の交差部54と軸線に直交する平面とのなす角度を第1ギャッシュ角55、第1ギャッシュ面と第3ギャッシュ面の交差部56と軸線に直交する平面とのなす角度を第2ギャッシュ角57としたときに、第1ギャッシュ角55を $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 、第2ギャッシュ角57は $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ であり、第2ギャッシュ面と第3ギャッシュ面のつなぎ部の長さ58は工具回転軸から工具径Dの5%以上20%未満とするとよい。ここで、つなぎ部の長さ58とは、回転軸中心と第2ギャッシュ面52と第3ギャッシュ面53のつなぎ部までの長さをいう。
- [0161] 図12、図13では外周刃が波形状外周刃で、さらに底刃にギャッシュを設ける場合の実施形態を説明したが、図14などに示すような外周刃がニック付き外周刃である本発明の超硬合金製エンドミルにおいても、底刃のギャッシュ形状を最適化するのが良い。その場合も図12、図13に示すようなギャッシュ形状、すなわちギャッシュを複数の面から構成し、底刃のすくい面である第1ギャッシュ面、エンドミルの工具軸の回転中心側に第2ギャッシュ面、エンドミルの外周側に第3ギャッシュ面として設け、前記第1ギャッシュ面と第2ギャッシュ面の交差部54と軸線に直交する平面との成す角度を第1ギャッシュ角55、前記第1ギャッシュ面と第3ギャッシュ面の交

差部 56 と工具軸線に直交する平面とのなす角度を第 2 ギャッシュ角 57 としたとき、第 1 ギャッシュ角 55 は $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 、第 2 ギャッシュ角 57 は $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ に設けられ形状になるようにギャッシュを構成すると良い。

[0162] このようなギョッシュの構成により、位相をずらした外周刃を、加工で縦送り、横送り、あるいは傾斜切削しても、縦送り又は傾斜切削時の底刃から排出される切り屑処理は良好であり、横送り又は傾斜切削時の高速切削に耐え、かつびり振動を最小にすることができる。

[0163] 第 1 ギャッシュ角 55 を $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ としたことにより、工具回転軸付近の剛性が確保でき、切り屑の排出性が良好になる。第 1 ギャッシュ角 55 が 15° 未満の場合は、工具回転軸中心部付近のチップポケットが狭くなるため、切り屑づまりによる欠損が生じる。また、第 1 ギャッシュ角 55 が 35° を超える場合、底刃の中心付近の剛性不足により欠損が生じる。

[0164] さらに第 2 ギャッシュ面 52 と第 3 ギャッシュ面 53 のつなぎ部の長さ 58 は工具回転軸から工具径の 5% 以上 20% 未満としたことにより、底刃の工具回転軸付近の剛性を確保し、外周の溝への切り屑の排出が良好になる。第 2 ギャッシュ面 52 と第 3 ギャッシュ面 53 のつなぎ部の長さ 58 が工具回転軸から工具径の 5% 未満の場合、第 3 ギャッシュ面 53 が工具回転軸付近より近く設けられることになり、底刃の工具回転軸付近の剛性が低くなり、底刃の工具回転軸付近での欠損が生じやすくなる。

[0165] また、前記つなぎ部の長さ 58 が工具回転軸から 20% 以上の場合、底刃によって生成された切り屑が第 2 ギャッシュ面 52 に押し付けられる時間が長くなり、高速切削の場合、第 2 ギャッシュ面 52 に滞留して切り屑排出性が悪くなり、切り屑づまりが生じやすく底刃の欠損につながる。

[0166] 次に、第 2 ギャッシュ角 57 を $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ としたのは、縦送り切削及び傾斜切削の際に、底刃で生成された切り屑の排出性を検討した結果である。第 2 ギャッシュ角 57 が 40° 未満の場合、第 2 ギャッシュ面 52 に押し付けられた切り屑は、第 3 ギャッシュ面 53 によって外周の刃溝に流れにく

く、工具の外側に飛ばされる。特に、縦送り加工においては、工具の外側はすべて加工穴の壁面であり、また、傾斜切削でも一部に加工済みの壁面があり、切り屑を工具外側へ排出することが困難となる。よって、第2ギャッシュ角 γ_2 が 40° 未満の場合は、底刃から排出された切り屑は外周の溝への流れが悪くなり、切り屑づまりが生じやすくなる。

[0167] また、第2ギャッシュ角 γ_2 が 60° を超えた場合、切り屑排出用のチップポケットは大きくなり、底刃によって生成された切り屑は外周の刃溝へ流れやすくなり、切り屑の排出は問題ないが、工具先端付近の剛性が弱くなるため、欠損が生じやすい。

[0168] 前記のように第1ギャッシュ角 γ_1 と第2ギャッシュ角 γ_2 を最適な範囲に設定することで、縦送り切削及び傾斜切削を行った際の、底刃で生成された切り屑の排出性が良好となる。このとき、底刃で生成された切り屑の排出性は、外周刃の形状に影響を受けないため、外周刃が波形状外周刃の場合でもニック付き外周刃であるエンドミルを用いた場合においても、同様の効果が得られる。

[0169] 特に切削が不安定になりやすい傾斜切削を高速切削による高能率な安定加工を行うには、切り屑の排出性と工具剛性を両立する必要がある。切り屑の排出性を重視すれば、工具剛性が劣り、欠損や折損などが生じやすくなる。また、工具剛性を重視すると切り屑の排出性が劣り、欠損や折損などが生じやすくなる。本発明の内、ギャッシュ付き刃型のものは、切り屑の排出性とエンドミルの剛性を重視した刃型となり、外周刃の波形状やニックを最適な配列として、びびり振動が抑制できるため、欠損や折損などが生じにくく、安定した高能率な傾斜切削が行える。従来のエンドミルであれば、傾斜角度が大きくても 5° 程度で行う傾斜切削であったが、本発明の超硬合金製エンドミルであれば、 20° 以上での傾斜切削が可能である。

[0170] 図27は本発明の一実施例を示し、切れ刃部と工具保持部が着脱できるエンドミルの全体概観図である。超硬合金製の切れ刃部29を工具保持部30から分離可能な着脱式にすることにより、切れ刃が切削加工により摩耗した

場合には切れ刃部 29 を交換するだけで良くなるため、使用コストを抑えることができる。工具保持部 30 の材質は切れ刃部 29 と同じ超合金でも良いが、工具保持部 30 の材質を SCM440 や SKD61 等の合金鋼を用いることによって、製造コストを抑えることが可能となる。

[0171] 図 28 は従来の彫り込み加工を行う場合と、本発明例で彫り込み加工を行う場合を比較したフローチャートを示す図である。従来の方法でポケット形状の彫り込み加工を行う場合、まずドリルで穴加工を行う。その後工具交換し、段取りを行いエンドミルで繰り広げ加工となる。本発明例の形状の新規なエンドミルを用いると、従来のエンドミルに比べ傾斜角が 20° 以上となる高能率な傾斜切削での加工が可能であるため、工具交換なしでポケット加工が可能となる。本発明の切削加工方法によれば、1 本のエンドミルで縦送り切削、傾斜切削及び横送り切削を組み合わせる加工ができるため、段取りの工数を減らし、大幅に工程を短縮することが出来る。

[0172] 次に、本発明の硬質皮膜被覆エンドミルに適する代表的な硬質皮膜の種類について説明する。本発明はエンドミルの形状として新規な形状を有するので、そのみでも従来のエンドミルより高速化できるという効果を発揮するが、硬質皮膜を被覆することで、実施例に示すようにさらに性能が向上する。硬質皮膜は耐酸化性重視では TiN 系の皮膜が、耐摩耗性重視では TiCN 系の皮膜が選択できる。しかし、本発明のエンドミルの使用環境は刃先温度が 800°C 以上に上昇する条件であり、この場合には前述の TiN や TiCN より酸化開始温度で評価される耐酸化性と硬度特性に優れた TiAlN 系の硬質皮膜を選択すると良い。

[0173] 図 26 は硬質皮膜が被覆された本発明の超合金製エンドミルにおける図 1 の外周刃 A-A' 断面の拡大図に相当する図であり、(a) は波形状外周刃の拡大図を示し、(b) はニック付き外周刃としたときのニック付き外周刃の拡大図を示す。図 26 (a) に示す波形状外周刃には硬質皮膜 31 が被覆されている。また、図 26 (b) に示すニック付き外周刃にも同様に硬質皮膜 31 が被覆されている。図 26 (a)、(b) に示すように外周刃の硬

質皮膜を被覆することで、さらなる性能の向上が可能となる。

[0174] 硬質皮膜は耐酸化性重視ではTiN系の皮膜が、耐摩耗性重視ではTiCN系の皮膜が選択できる。しかし、本発明のエンドミルの使用環境は刃先温度が800℃以上に上昇する条件であり、この場合には前述のTiNやTiCNより酸化開始温度で評価される耐酸化性と硬度特性に優れたTiAlN系の硬質皮膜を選択すると良い。

[0175] 図29は硬質皮膜の最上層及び硬質皮膜の最下層からなる本発明の硬質皮膜被覆エンドミルに適する硬質皮膜の層構造の一例を示す図である。図29における下側が母材66であり、母材66に硬質皮膜の最下層62、硬質皮膜の最上層61の2層からなる硬質皮膜が被覆されている。

[0176] 図30は硬質皮膜の最下層から、硬質皮膜の最上層まで実質的に最下層の組成と最上層の組成の1回以上の繰り返しで積層された複合層からなる本発明の硬質皮膜被覆エンドミルに適する硬質皮膜の層構造の一例を示す図である。図30における下側が母材66であり、母材66に硬質皮膜の最下層62、硬質皮膜の最上層と同じ組成を有する皮膜64、硬質皮膜の最下層と同じ組成を有する皮膜63、硬質皮膜の最上層31の4層からなる硬質皮膜が被覆されている。硬質皮膜の最上層と同じ組成を有する皮膜34及び硬質皮膜の最下層と同じ組成を有する皮膜33は交互に複数回繰り返されるような複合層としても良い。

[0177] 図31は硬質皮膜の最上層、硬質皮膜の最下層及び中間層からなる本発明の硬質皮膜被覆エンドミルに適する硬質皮膜の層構造の一例を示す図である。図31における下側が母材66であり、母材66に硬質皮膜の最下層62、中間層65、硬質皮膜の最上層61の3層からなる硬質皮膜が被覆されている。

[0178] TiAlN系の硬質皮膜では、TiとAlの組成比によって酸化開始温度を制御でき、刃先温度が800℃乃至900℃前後の条件にはAlの添加量を増加して、金属のみの成分の原子比でAlがTiに対して50乃至70%程度とするのが望ましい。TiAlN系とは窒化物を意味するが、TiやA

I 以外の非金属元素として、窒素単独にかかわらず、Ti と Al を主成分とした化合物として窒化物、炭窒化物（例えば (Ti Al) CN）、酸窒化物（例えば (Ti Al) ON）、酸炭窒化物（例えば (Ti Al) CON）であればよい。以下、これらの化合物を総称して、窒素系 Ti Al 化合物という。

[0179] 硬質皮膜の層構造としては、エンドミルのニック付き外周刃の表面に接する硬質皮膜の最下層から、硬質皮膜の最上層まで実質的に最下層の組成と最上層の組成の 1 回以上の繰り返して積層された複合層、または、前記最下層と最上層の間に一層以上の中間層を含む複合層となり、皮膜の最下層の組成が金属元素として Ti と Al を主成分とし含有し、前記金属元素の窒化物、炭窒化物、酸窒化物、酸炭窒化物の何れかであり、皮膜の最上層の組成が、Si を含有した硬質皮膜を被覆することにより、より安定した切削加工が可能になり、長寿命化が達成できる。

[0180] より具体的な化合物は金属元素として Ti と Si を主成分として含有し、前記金属元素の窒化物、炭窒化物、酸窒化物、酸炭窒化物の何れかから成る構造が望ましい。

[0181] Si を含有した最上層用の硬質皮膜の中でも最適な硬質皮膜の成分系は Ti Si の窒化物であり、Si 含有量が原子比で 5 ~ 30 %、残 Ti で構成された窒化物が良い。また、Si 含有量が原子比で 1 ~ 15 %、残 Ti およびもしくは Cr、Al から選択される Ti Al Si の窒化物、Al Cr Si の窒化物でも本発明のニック付き超硬合金製エンドミルの性能を大きく改善する効果を発揮する。

[0182] さらに Ti Si の窒化物、Ti Al Si の窒化物、Al Cr Si の窒化物から選択される積層膜はより、優れた耐久性を発揮する。これら硬質皮膜は Ti N、Cr N、Ti Al N、Al Cr N 等の皮膜から選択される 1 種以上の皮膜と積層しても同様に本発明のニック付き超硬合金製エンドミルの切削性能が向上する。

[0183] 上記に具体的な組成として挙げた硬質皮膜の製造方法は物理蒸着法である

ことが耐久性向上の観点から好ましく、アーク放電式イオンプレーティング法、スパッタリング法の何れでも良い。この硬質皮膜は、ニック付き超硬合金製エンドミルの外周刃にも適用できる。

[0184] 他の硬質皮膜として望ましい形態は、本発明の波形状外周刃、又はニック付き超硬合金製エンドミルのニック付き外周刃表面に接する硬質皮膜の最下層から、硬質皮膜の最上層まで実質的に最下層の組成と最上層の組成の1回以上の繰り返して積層された複合層、または、前記最下層と最上層の間に一層以上の中間層を含む複合層であり、前記皮膜の最下層の組成は金属元素がAl、Cr、Ti、Siから選択される1種以上の窒化物であり、中間層はAl、Cr、Ti、Siから選択される1種以上の金属元素とN、B、C、Oから選択される1種以上の元素との化合物であり、皮膜の最上層は金属元素がTi、Siから選択される1種以上の金属元素とN、S、C、Bから選択される1種以上の元素との化合物からなる形態が望ましい。

[0185] この場合に、上記の窒素系TiAl化合物への最上層皮膜として窒素系TiSi化合物を積層した皮膜構造にするか、窒素系TiAl化合物と窒素系TiSi化合物をそれぞれ一層以上つつ交互に積層し、窒素系TiAl化合物はエンドミルの母材の直上に来るようにし、硬質皮膜の最上層は窒素系TiSi化合物となるようにするのが望ましい。

[0186] 前記窒素系TiSi化合物を例示すると、TiとSiを主成分とした化合物として、例えばTiSiNなどの窒化物、(TiSi)CNなどの炭窒化物、(TiSi)ONなどの酸窒化物、(TiSi)CONなどの酸炭窒化物であればよい。以下、これらの化合物を総称して、窒素系TiSi化合物という。

[0187] 前記窒素系TiAl化合物と窒素系TiSi化合物の間には主に相互の皮膜の密着性を考慮した中間層を入れて積層することも可能である。中間層の種類としては窒素系TiAl化合物と類似した皮膜や、窒素系TiSi化合物に類似した皮膜が適し、前者にはB、Si、Cr、Nb、V、Hfを微量添加した窒素系TiAl化合物、後者にはB、Al、Cr、Nb、V、Hf

を微量添加した窒素系 Ti-Si 化合物が好ましい中間層皮膜として挙げられる。

[0188] 上記のように積層した皮膜構造により、本発明に使用する硬質皮膜は外周刃の母材表面直上から最下層と最上層で積層された複合層、または、前記最下層と最上層の間に一層以上交互に積層された層や中間層を含む複合層となり、前記最上層は前記最下層と比較して相対的に耐酸化性と耐摩耗性が大きい硬質皮膜とすることができる。

[0189] さらに本発明のニック付き超硬合金製エンドミルに適した硬質皮膜として、以下のものが推奨される。それは、窒素系 Ti-Al 化合物を主体とした多層硬質皮膜で、前記化合物の主要金属元素である Ti と Al の割合を変化させて多層化するものである。

[0190] より具体的には、前記で定義した窒素系 Ti-Al 化合物を $(Ti \times Al^{1-x}N)$ で表わすときに、最下層皮膜も最上層皮膜も $(Ti \times Al^{1-x}N)$ の組成で成るが、Ti と Al の割合は、最下層皮膜はチタンリッチの $0.5 < x \leq 1$ であり、最上層皮膜はアルミニウムリッチの $0 \leq x < 0.5$ である多層硬質皮膜である。

[0191] 多層硬質皮膜は最下層皮膜と最上層皮膜の組成を数ナノメートルから数十ナノメートルの厚みで周期的に積層するか、前期の最下層の皮膜と最上層の皮膜の組成の間に中間層として TiN、又は窒素系 Ti-Al 化合物の金属元素として Al または Ti の一部を Cr または Si に置換した中間層を積層しても良い。いずれの場合にも最下層皮膜はチタンリッチとし、最上層皮膜はアルミニウムリッチとすることは必要である。硬質皮膜全体の膜厚はいずれの場合も $2 \mu m \sim 10 \mu m$ が望ましい。

[0192] 次に本発明のニック付き超硬合金製エンドミルを硬質皮膜で被覆する方法についていくつか例示するが、上記に記載する硬質皮膜が得られればよく、必ずしも以下の被覆方法に限定されるものではない。また、被覆方法は特に限定されるものではないが、ニック付き超硬合金製エンドミルへの皮膜の密着性、および最下層から最上層までの皮膜内の整合性を確保することを考慮

しなければならない。

- [0193] 工具の疲労強度も考慮すると、比較的低温で被覆でき、皮膜に圧縮応力が残留するアーク放電式イオンプレーティング法、又はスパッタリング法など物理蒸着法が望ましい。この場合にニック付き超硬合金製エンドミル側にバイアス電圧を印加する。
- [0194] アーク放電式イオンプレーティング法での具体的な実施条件を挙げると、最下層が窒素系TiAl化合物（例えば(TiAl)N, (TiAl)CN, (TiAlCr)Nなど）で、最上層を窒素系TiSi化合物（例えば(TiSi)N, (TiSi)CN, (TiSiCr)Nなど）系の皮膜とする場合に、例えば具体的な条件として、被覆するニック付き超硬合金製エンドミルの温度を400℃程度、反応ガス圧力を3.0Paとし、バイアス電圧の印加を-10V~-100Vの範囲で比較的低い値とすれば最下層から最上層まで界面における結晶格子の整合性を取りながら密着性の良い皮膜が得られる。
- [0195] 最下層の皮膜と最上層の皮膜の組成が異なる場合には、蒸着用ターゲットを異なった組成にするが、中間層のターゲットは前記の組成の異なったターゲットを同時に稼動して被覆することが好ましい。これにより、硬質皮膜の中間層は、最下層の皮膜と最上層の皮膜の組成の中間的な組成に制御して積層することが可能となり、組成的に特定の成分を漸増、漸減させることも容易となる。
- [0196] 本発明の超硬合金製エンドミルは、荒加工または中仕上げ加工での高能率・高速加工を前提にしているので、密着性の良い硬質皮膜は皮膜の剥がれなどの突発的事故を防止するために必須の特性であり、その目的の達成のために中間層の結晶格子の整合性を十分取るためには本方法は有効である。
- [0197] 本発明の最良の実施の形態としては、波形状外周刃、又はニック付き外周刃の位相ずらし量を不均一にした本発明での外周刃形状の最適なものを用い、切り屑の排出が問題になりそうな場合には、先に述べたギャッシュの形状を形成した超硬合金製エンドミルとするのが特に推奨される。たいていの切

削条件の場合において、先に述べた硬質皮膜の適用が推奨される。

実施例

[0198] 以下、本発明を下記の実施例により詳細に説明するが、それらにより本発明が限定されるものではない。

[0199] 実施例は、目的別に5つのグループからなり、それぞれA実施例、B実施例、C実施例、D実施例、及びE実施例という。具体的には次のグループである。

A実施例：本発明のエンドミル外周刃の最適形状を確認した実施例（A実施例1乃至A実施例6）

B実施例：本発明のニックの形状を最適化するための実施例（B実施例1乃至B実施例2）

C実施例：本発明に最適なギャッシュ形状を確認した実施例（C実施例1乃至C実施例4）

D実施例：本発明に最適な表面処理を確認した実施例（D実施例1乃至D実施例6）

E実施例：本発明の切削方法を確認した実施例（E実施例1）

[0200] 以下の表と説明にある各実施例では、実施例のグループごとに本発明、従来例、比較例を区分して示し、試料番号は4つのグループの実施例の範囲内で、本発明例、従来例、比較例ごとに連続の通し番号で記載した。よって、試料番号は表に示したグループごとに、例えば「A本発明例1」や、「A比較例1」のように読むものとする。

[0201] （A実施例1）

A実施例1は特に波形状外周刃の最適な位相からのずれ量を確認するために行った実施例である。A本発明例1として、第1刃を基準形状外周刃として、基準形状外周刃の波ピッチを4等分したそれぞれの波形状外周刃の位相からのずれ量を、第2波形状外周刃は波ピッチの1%とした0.01mm、第3波形状外周刃は波ピッチの0%とした0mm、第4波形状外周刃は波ピッチの1%とした0.01mmのものを作製した。

[0202] A本発明例2は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相の前記ずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mm、第3波形状外周刃は波ピッチの0%とした0mm、第4波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mmのものを作製した。

[0203] A本発明例3は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相の前記ずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mm、第3波形状外周刃は波ピッチの3%とした0.03mm、第4波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mmのものを作製した。

[0204] A本発明例4は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相の前記ずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの5%とした0.05mm、第3波形状外周刃は波ピッチの3%とした0.03mm、第4波形状外周刃は波ピッチの4%とした0.04mmのものを作製した。

[0205] A本発明例5は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相の前記ずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mm、第3波形状外周刃は波ピッチの0%とした0mm、第4波形状外周刃は波ピッチの0%とした0mmのものを作製した。

[0206] A比較例1として、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相からのずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの6%とした0.06mm、第3波形状外周刃は波ピッチの0%とした0mm、第4波形状外周刃は波ピッチの6%とした0.06mmとしたものを作製した。

[0207] A従来例1として、基準形状外周刃の1/4ピッチごとのそれぞれの波形状外周刃の位相からのずれ量の無い波ピッチの0%とした位相が一定のものを作製した。

A従来例2として不等分割を採用し、各刃の分割角が $95^{\circ} \cdot 85^{\circ} \cdot 95^{\circ} \cdot 85^{\circ}$ で、各刃の前記位相からのずれ量の無い波ピッチの0%とした位相が一定のものを作製した。

[0208] A従来例3として、特許文献1で紹介された位相からのずれ量を同比率として算出し、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位

相からの前記ずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの6%とした0.06mm、第3波形状外周刃は波ピッチの0%とした0mm、第4波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mmのものを作製した。

また、A本発明例1～5、A比較例1、A従来例1及び3は各刃の分割角が等分割とした。

[0209] A実施例1として、前記9種類のエンドミルで、硬さHRC40の熱間ダイス鋼SKD61を被加工材として切削を行った。切削条件は回転数を6000回転/min（切削速度150m/min）、送り速度を1600mm/min（1刃送り量0.06mm）とし、軸方向切り込みを4mm・径方向切り込みを4mmとして、寿命テストを行った。評価として、5m毎に外周刃を観察し、50mまで切削を行い欠損及びチッピングの無いものを良好として、その時の摩耗幅を測定した。また、50mまでに外周刃を観察し欠損及びチッピングが生じたものはその時点で終了し、切削長を記録した。その結果を表A1に示す。

[0210] [表A1]

試料番号	各刃の分割	ずれ量(mm)			ずれ量(%)	切削長	摩耗幅	評価
		第2波形状外周刃	第3波形状外周刃	第4波形状外周刃				
A本発明例	1 等分割	0.01	0	0.01	1%	50m	0.09mm	良好
	2 等分割	0.02	0	0.02	2%	50m	0.07mm	良好
	3 等分割	0.02	0.03	0.02	3%	50m	0.08mm	良好
	4 等分割	0.05	0.03	0.04	5%	50m	0.12mm	良好
	5 等分割	0.02	0	0	2%	50m	0.07mm	良好
A比較例	1 等分割	0.06	0	0.06	6%	30m	—	チッピング
A従来例	1 等分割	0	0	0	0%	20m	—	欠損
	2 不等分割	0	0	0	0%	40m	—	チッピング
	3 等分割	0.06	0	0.02	6%	30m	—	チッピング

[0211] その結果、A本発明例1～5はびびり振動も小さく、安定した切削が行え、50m切削しても正常摩耗であった。特にA本発明例1～3及び5は50m切削後の摩耗幅は0.10mm以下と小さかった。A比較例1及びA従来例3は位相からのずれ量が大きいため、ずれ量が多い波形状外周刃に切削

負荷が大きくかかり30mでチップングが生じる結果となった。A従来例1においては等間隔の波ピッチのため、びびり振動が大きく、20m切削時に欠損が生じ、寿命となった。不等分割品であるA従来例2は分割角度が小さい溝の波形状外周刃が40m切削時にチップングが生じた。

[0212] (A実施例2)

A実施例2として、A実施例1と同様のテストをニック付き外周刃で行った。試料は波形状外周刃との切削性を比較するために位相からのずれ量はA実施例1で用いた試料に準じた。

A本発明例6として、第1刃を基準形状外周刃として、基準形状外周刃のニックのピッチを4等分したそれぞれのニック付き外周刃の位相からのずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの1%とした0.01mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの1%とした0.01mmとしたものを作製した。

[0213] A本発明例7として、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mmとしたものを作製した。

[0214] A本発明例8として、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの3%とした0.03mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mmとしたものを作製した。

[0215] A本発明例9として、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの5%とした0.05mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの3%とした0.03mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの4%とした0.04mmとしたものを作製した。

[0216] A本発明例10として、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニッケ付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニッケ付き外周刃はニッケのピッチの2%とした0.02mm、第3ニッケ付き外周刃はニッケのピッチの0%とした0mm、第4ニッケ付き外周刃はニッケのピッチの0%とした0mmとしたものを作製した。

[0217] A比較例2として、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニッケ付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニッケ付き外周刃はニッケのピッチの6%とした0.06mm、第3ニッケ付き外周刃はニッケのピッチの0%とした0mm、第4ニッケ付き外周刃はニッケのピッチの6%とした0.06mmとしたものを作製した。

[0218] A従来例4として、基準形状外周刃の1/4ピッチごとのそれぞれのニッケ付外周刃の位相からのずれ量の無いニッケのピッチを0%とした位相が一定のものを作製した。

A従来例5として不等分割を採用し、各刃の分割角が $95^{\circ} \cdot 85^{\circ} \cdot 95^{\circ} \cdot 85^{\circ}$ で、各刃の前記位相からのずれ量の無い波ピッチの0%とした位相が一定としたものを作製した。

[0219] A従来例6として、特許文献1で紹介された位相からのずれ量が同比率で第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニッケ付き外周刃はニッケのピッチの6%とした0.06mm、第3ニッケ付き外周刃はニッケのピッチの0%とした0mm、第4ニッケ付き外周刃はニッケのピッチの2%とした0.02mmのものを作製した。

[0220] A本発明例6～10、A比較例2、A従来例4及び6は各刃の分割角が等分割とした。

用いた試料以外は、A実施例1と同様に、硬さHRC40の熱間ダイス鋼SKD61を被加工材として切削を行った。切削条件、評価方法はA実施例1と同じであり、その結果を表A2に示す。

[0221]

[表A2]

試料番号	各刃の分割	ずれ量(mm)			ずれ量 (%)	切削長	摩耗幅	評価
		第2ニック付き 外周刃	第3ニック付き 外周刃	第4ニック付き 外周刃				
A本発明例	6 等分割	0.01	0	0.01	1%	50m	0.10mm	良好
	7 等分割	0.02	0	0.02	2%	50m	0.08mm	良好
	8 等分割	0.02	0.03	0.02	3%	50m	0.09mm	良好
	9 等分割	0.05	0.03	0.04	5%	50m	0.12mm	良好
	10 等分割	0.02	0	0	2%	50m	0.08mm	良好
A比較例	2 等分割	0.06	0	0.06	6%	25m	-	チップング
A従来例	4 等分割	0	0	0	0%	15m	-	欠損
	5 不等分割	0	0	0	0%	35m	-	チップング
	6 等分割	0.06	0	0.02	6%	25m	-	チップング

[0222] その結果、A本発明例6～10はびびり振動も小さく、安定した切削が行え、50m切削しても正常摩耗であった。特にA本発明例6～8及び10は、A実施例1と同様に50m切削後の摩耗幅は0.10mm以下と小さかった。しかし、同条件でテストを行ったA実施例1の結果と合わせると、ニック付き外周刃が波形状外周刃と比較して僅かに摩耗が大きくなり、熱間ダイス鋼等の被加工物では波形状外周刃が優位の結果となった。

[0223] A比較例2及びA従来例6は位相からのずれ量が大きいため、ずれ量が大きいニック付き外周刃に切削負荷が大きく掛かり、A比較例2及びA従来例6は25mでチップングが生じた。A従来例4においては等間隔のニックのピッチのため、びびり振動が大きく、15m切削時に欠損が生じ、寿命となった。不等分割品であるA従来例5は分割角度が小さい溝のニック付き外周刃が35m切削時にチップングが生じ、A実施例1と同様の傾向が得られた。

[0224] (A実施例3)

A実施例3は本発明の高速条件での切削を行い、A実施例1との寿命比較を行ったものである。

A実施例3として、A本発明例11はA実施例1で用いたA本発明例2、A本発明例12はA実施例1で用いたA本発明例3、A本発明例13は実施

例 1 で用いた A 本発明例 4 と同仕様のエンドミルを作製した。

[0225] 被加工材は硬さ HRC 40 の熱間ダイス鋼 SKD 61 を被加工材として用い、切削を行った。切削条件は回転数を A 実施例 1 の 1.5 倍の 9000 回転/min (切削速度 226 m/min)、送り速度を 2160 mm/min (1 刃送り量 0.06 mm) とし、軸方向切り込みを 4 mm、径方向切り込みを 4 mm とし、テストを行った。評価は A 実施例 1 と同様で 50 m までの切削を行った。結果を表 A 3 に示す。

[0226] [表 A3]

試料番号		各刃の分割	ずれ量(mm)			ずれ量 (%)	切削長	摩耗幅
			第2波形状 外周刃	第3波形状 外周刃	第4波形状 外周刃			
A本発明例	11	等分割	0.02	0	0.02	2%	50m	0.1mm
	12	等分割	0.02	0.03	0.02	3%	50m	0.1mm
	13	等分割	0.05	0.03	0.04	5%	50m	0.14mm

[0227] 結果として、A 本発明例 11～13 は、安定した切削が行え、50 m 切削しても正常摩耗であり高速切削を行っても A 実施例 1 と同切削距離の加工が可能であった。特に、望ましい位相からのずれ量の範囲である A 本発明例 11 及び 12 は摩耗幅が 0.1 mm となり、A 本発明例 13 より小さい摩耗幅であった。

[0228] (A 実施例 4)

A 実施例 4 として、製造時の研削時間の比較を行った。不等分割品に関しては刃溝研削において、分割角度を調整するため研削時間が多くなり、さらに、ランド幅を均一にするための、研削する箇所が多くなり研削時間が多くなる。ここで、特に研削時間の異なる刃溝研削の時間を測定した。A 実施例 1 で用いた A 本発明例 1 と不等分割を採用した A 従来例 2 のエンドミルを作製するときの 1 本当たりの刃溝研削の研削時間の測定を行った。結果を表 A 4 に示す。

[0229]

[表A4]

試料番号	各刃の分割	ずれ量(mm)			ずれ量 (%)	研削時間
		第2波形状 外周刃	第3波形状 外周刃	第4波形状 外周刃		
A本発明例 1	等分割	0.02	0	0.02	2%	11分
A従来例 2	不等分割	0	0	0	0%	15分

[0230] 不等分割品に関しては刃溝研削で切れ刃の分割角を調整するため、研削時間が多くなり、さらに、ランド幅を均一にするための、研削する箇所が多くなり研削時間が多くなる。A従来例2の不等分割品に関してはA本発明例1より研削時間が約1.4倍の4分長くなった。

[0231] (A実施例5)

A実施例5として切り屑の排出性を確認するため、溝切削による切削テストを行った。A本発明例13としてA実施例1で用いたA本発明例1と同仕様、A従来例5として、A実施例1で用いたA従来例1と同仕様、A従来例6としてA実施例1で用いたA従来例2と同仕様の不等分割品のエンドミルを使用し、被加工材を構造用鋼として送り限界テストを行った。切削条件は回転数を8000回転/min(切削速度200m/min)、送り速度を2000mm/min(1刃送り量0.06mm)とし、軸方向切り込みを8mmとした。評価は1m切削毎に400mm/min送り速度を上げていき途中折損したところを記録した。加工後に問題なければ○を記し、折損または各送り速度で1m切削後に欠損又はチッピングが生じていれば×を示し送り速度3200mm/min以上のものは良好とした。結果を表A5に示す。

[0232] [表A5]

試料番号	各刃の分割	送り速度(mm/min)				評価
		2000	2400	2800	3200	
A本発明例 14	等分割	○	○	○	○	良好
A従来例 7	等分割	○	○	○	×	欠損
A従来例 8	不等分割	○	○	×		折損

[0233] 結果として、A従来例8の不等分割品は、溝切削にて送りを上げて加工すると切り屑が大きくなっていき小さい刃溝であれば切り屑詰まりを生じ、刃欠けや欠損となる。A本発明例14は送り速度が3200mm/minまで問題なく加工できたのに対し、A従来例7は振動が大きく送り速度が3200mm/min時に欠損が生じた。A従来例8の不等分割品に関しては送り速度が2800mm/min時に折損した。折損後の工具を観察すると、分割角が小さくなる刃溝に切り屑の擦れた溶着が見られ、切り屑詰まりによる折損が確認された。

[0234] (A実施例6)

A実施例6は被加工材として溶着しやすいステンレス鋼SUS304を用い、外周刃形状の異なる波形状外周刃とニック付き外周刃の比較を行った。A本発明例14としてA実施例1で用いたA本発明例2と同仕様、A本発明例15として実施例2で用いたA本発明例7と同仕様のもを使用し、切削を行った。

[0235] 切削条件は回転数を5000回転/min（切削速度125m/min）、送り速度を1200mm/min（1刃送り量0.06mm）とし、軸方向切り込みを4mm・径方向切り込みを1mmとして、寿命テストを行った。評価として、5m毎に外周刃を観察し、30mまで切削を行い欠損及びチッピングの無いものを良好として、その時の摩耗幅を測定した。その結果を表A6に示す。

[0236] [表A6]

試料番号	外周刃形状	ずれ量(mm)			ずれ量(%)	切削長	摩耗幅	評価
		第2波形状 (ニック付き) 外周刃	第3波形状 (ニック付き) 外周刃	第4波形状 (ニック付き) 外周刃				
A本発明例	15 波形状外周刃	0.02	0	0.02	2%	30m	0.14mm	良好
	16 ニック付き外周刃	0.02	0	0.02	2%	30m	0.13mm	良好

[0237] 結果として、A本発明例15及び16は30m切削しても正常摩耗であり、ステンレス鋼などの溶着しやすい被加工物でも加工ができることが実証できた。しかしながら、A本発明例15の波形状外周刃は0.14mmで、ニック付き外周刃は0.13mmと僅かに本発明例16の摩耗幅が小さい結果となったため、ステンレス鋼などの溶着しやすい被加工物はニック付き外周刃が優位の結果となった。

[0238] (B実施例1)

B実施例1は特にニック付き外周刃の最適な位相からのずれ量を確認するために行った実施例である。B本発明例1及び2、B比較例1、B従来例1及び2においては基材はCo含有量が8重量パーセント、WC平均粒径が0.8μmの超硬合金で、工具径8mm、刃長16mm、ねじれ角は45°、全長70mm、シャンク径8mmで刃数は4枚とした。

[0239] B本発明例1及び2、B比較例1、B従来例1及び2においてニックの形状は、ニックのピッチを1mm、工具先端側のニックの丸み半径R1を0.025D（実寸で0.2mm、以下同じ）、工具シャンク側のニックの丸み半径R2を半径R1の1.6倍（0.32mm）、ニック深さをDの0.03倍（0.24mm）、またギャッシュを複数の面から構成させ、第1ギャッシュ角を25°、第2ギャッシュ角を50°として仕様を統一したものを作製した。また、ニック溝の底端と工具シャンク側の丸み半径R2は直線で繋いだ。用いた試料にはすべて中間層としてTiAlSiN、最下層をTiAlN、最上層をTiSiNの成分である硬質皮膜を被覆した。

[0240] B本発明例1として、第1刃を基準形状外周刃として、基準形状外周刃のニックのピッチを4等分したそれぞれのニック付き外周刃の位相からのずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの1%とした0.01mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの1%とした0.01mmとしたものを作製した。

[0241] B本発明例2として、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッ

チの2%とした0.02mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mmとしたものを作製した。

[0242] B本発明例3として、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの3%とした0.03mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mmとしたものを作製した。

[0243] B本発明例4として、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの5%とした0.05mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの3%とした0.03mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの4%とした0.04mmとしたものを作製した。

[0244] B本発明例5として、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mmとしたものを作製した。

[0245] B比較例1として、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの6%とした0.06mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの6%とした0.06mmとしたものを作製した。

[0246] B従来例1として、基準形状外周刃の1/4ピッチごとのそれぞれのニック付外周刃の位相からのずれ量の無いニックのピッチを0%とした位相が一定のものを作製した。

[0247] B従来例2として不等分割を採用し、各刃の分割角が $95^{\circ} \cdot 85^{\circ} \cdot 95^{\circ} \cdot 85^{\circ}$ で、各刃の前記位相からのずれ量の無いニックのピッチの0%

とした位相が一定としたものを作製した。

[0248] B従来例3として、特許文献1で紹介された位相からのずれ量が同比率で第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの6%とした0.06mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mmのものを作製した。

B本発明例1～5、B比較例1、B従来例1及び3は各刃の分割角が等分割とした。

[0249] テストは、硬さHRC40の熱間ダイス鋼SKD61を被加工材として切削を行った。従来では切削速度は100m/minでも高速であるが、1.5倍である150m/min（回転数6000回転/min）に設定し、送り速度を1600mm/min（1刃送り量0.06mm）とした。軸方向切り込みを4mm、径方向切り込みを4mmとして、寿命テストを行った。

[0250] 評価として、5m毎に外周刃を観察し、50mまで切削を行い欠損及びチッピングの無いものを良好として、その時の摩耗幅を測定した。また、50mまでに外周刃を観察し欠損及びチッピングが生じたものはその時点で終了し、切削長を記録した。その結果を表B1に示す。

[0251] [表B1]

試料番号	各刃の 分割	ずれ量(mm)			ずれ量 (%)	切削長 (m)	摩耗幅 (mm)	評価
		第2 ニック付き 外周刃	第3 ニック付き 外周刃	第4 ニック付き 外周刃				
日本発明例	1 等分割	0.01	0	0.01	1	50	0.1	良好
	2 等分割	0.02	0	0.02	2	50	0.08	良好
	3 等分割	0.02	0.03	0.02	3	50	0.09	良好
	4 等分割	0.05	0.03	0.04	5	50	0.12	良好
	5 等分割	0.02	0	0	2	50	0.08	良好
B比較例	1 等分割	0.06	0	0.06	6	25	-	チッピング
B従来例	1 等分割	0	0	0	0	15	-	欠損
	2 不等分割	0	0	0	0	35	-	チッピング
	3 等分割	0.06	0	0.02	6	25	-	チッピング

[0252] その結果、B本発明例1～5はびびり振動も小さく、安定した切削が行え、50m切削しても正常摩耗であった。特にB本発明例1～3及び5は、50m切削後の摩耗幅は0.10mm以下と小さかった。B比較例1及びB従来例3は位相からのずれ量が大きいため、ずれ量が大きいニック付き外周刃に切削負荷が大きく掛かり、B比較例1及びB従来例3は25mでチッピングが生じた。B従来例1においては等間隔のニックのピッチのため、びびり振動が大きく、15m切削時に欠損が生じ、寿命となった。不等分割品であるB従来例2は分割角度が小さい溝のニック付き外周刃が35m切削時にチッピングが生じた。

[0253] (B実施例2)

B実施例2は特にニック付き外周刃の最適なニックの形状を確認するために行った実施例である。B本発明例6～23、B比較例2、3及びB従来例4～7においては基材はCo含有量が8重量パーセント、WC平均粒径が0.8 μ mの超硬合金で、工具径10mm、刃長20mm、ねじれ角は45°、全長90mm、シャンク径10mmで刃数は4枚とした。

[0254] 基準形状外周刃のニックのピッチを4等分したそれぞれのニック付き外周刃の位相からのずれ量は、第1ニック付き外周刃を基準形状外周刃として、第2ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mmとして仕様を統一したものを作製した。用いた試料にはすべて中間層としてTiAlSiN、最下層をTiAlN、最上層をTiSiNの成分である硬質皮膜を被覆した。

[0255] ニック付き超硬合金製エンドミルのニックの工具先端側の丸み半径R1、ニックの工具シャンク側の丸み半径R2、ニック深さを変化させたもの、ニックのニック溝の底端と工具シャンク側の丸みとの繋ぐ形状を変えたものをB本発明とB比較例として、特許文献3、特許文献4に記載している形状のものをB従来例として作製した。

- [0256] 表B2のうち、B本発明例6、7、8、21は工具先端側のニックの丸み半径 R_1 を $0.02D$ （実寸で 0.2 mm 、以下同じ）、工具シャンク側のニックの丸み半径 R_2 を半径 R_1 の 1.7 倍（ 0.34 mm ）、ニック深さを D の 0.025 倍（ 0.25 mm ）とし、ニック溝の底端と工具シャンク側の丸みとの繋ぐ形状を変えたものである。
- [0257] B本発明例9～20、23はニック溝の底端と工具シャンク側の丸み半径 R_2 を直線で繋いだものであり、B本発明例9は工具先端側のニックの丸み半径 R_1 を $0.01D$ （ 0.1 mm ）、工具シャンク側のニックの丸み半径 R_2 を半径 R_1 の 1.6 倍（ 0.16 mm ）、ニック深さを D の 0.025 倍（ 0.25 mm ）とした。
- [0258] B本発明例10は工具先端側のニックの丸み半径 R_1 を $0.03D$ （ 0.3 mm ）、工具シャンク側のニックの丸み半径 R_2 を半径 R_1 の 1.6 倍（ 0.48 mm ）、ニック深さを D の 0.025 倍（ 0.25 mm ）とした。
- [0259] B本発明例11は工具先端側のニックの丸み半径 R_1 を $0.02D$ （ 0.2 mm ）、工具シャンク側のニックの丸み半径 R_2 を半径 R_1 の 1.5 倍（ 0.3 mm ）、ニック深さを D の 0.025 倍（ 0.25 mm ）とした。
- [0260] B本発明例12は工具先端側のニックの丸み半径 R_1 を $0.02D$ （ 0.2 mm ）、工具シャンク側のニックの丸み半径 R_2 を半径 R_1 の 2 倍（ 0.4 mm ）、ニック深さを D の 0.025 倍（ 0.25 mm ）とした。
- [0261] B本発明例13は工具先端側のニックの丸み半径 R_1 を $0.02D$ （ 0.2 mm ）、工具シャンク側のニックの丸み半径 R_2 を半径 R_1 の 1.7 倍（ 0.34 mm ）、ニック深さを D の 0.01 倍（ 0.1 mm ）とした。
- [0262] B本発明例14は工具先端側のニックの丸み半径 R_1 を $0.02D$ （ 0.2 mm ）、工具シャンク側のニックの丸み半径 R_2 を半径 R_1 の 1.7 倍（ 0.34 mm ）、ニック深さを D の 0.05 倍（ 0.5 mm ）とした。
- [0263] B本発明例15は工具先端側のニックの丸み半径 R_1 を $0.007D$ （ 0.07 mm ）、工具シャンク側のニックの丸み半径 R_2 を半径 R_1 の 1.7 倍（ 0.12 mm ）、ニック深さを D の 0.025 倍（ 0.25 mm ）とし

た。

[0264] B本発明例 16 は工具先端側のニックの丸み半径 R_1 を $0.033D$ (0.33 mm)、工具シャンク側のニックの丸み半径 R_2 を半径 R_1 の 1.6 倍 (0.52 mm)、ニック深さを D の 0.025 倍 (0.25 mm) とした。

[0265] B本発明例 17 は工具先端側のニックの丸み半径 R_1 を $0.02D$ (0.2 mm)、工具シャンク側のニックの丸み半径 R_2 を半径 R_1 の 1.3 倍 (0.26 mm)、ニック深さを D の 0.025 倍 (0.25 mm) とした。

[0266] B本発明例 18 は工具先端側のニックの丸み半径 R_1 を $0.02D$ (0.2 mm)、工具シャンク側のニックの丸み半径 R_2 を半径 R_1 の 2.5 倍 (0.5 mm)、ニック深さを D の 0.025 倍 (0.25 mm) とした。

[0267] B本発明例 19 は工具先端側のニックの丸み半径 R_1 を $0.02D$ (0.2 mm)、工具シャンク側のニックの丸み半径 R_2 を半径 R_1 の 1.7 倍 (0.34 mm)、ニック深さを D の 0.008 倍 (0.08 mm) とした。

[0268] B本発明例 20 は工具先端側のニックの丸み半径 R_1 を $0.02D$ (0.2 mm)、工具シャンク側のニックの丸み半径 R_2 を半径 R_1 の 1.7 倍 (0.34 mm)、ニック深さを D の 0.07 倍 (0.7 mm) とした。

[0269] B本発明例 21 は工具先端側のニックの丸み半径 R_1 を $0.02D$ (0.2 mm)、工具シャンク側のニックの丸み半径 R_2 を半径 R_1 の 1.7 倍 (0.34 mm)、ニック深さを D の 0.025 倍 (0.25 mm) とし、さらにギャッシュを複数の面から構成させ、第 1 ギャッシュ角を 20° 、第 2 ギャッシュ角を 45° としたものを作製した。

[0270] B本発明例 22 は、ニック溝の底端と工具シャンク側の丸み半径 R_2 を凹状の円弧で繋いだものであり、工具先端側のニックの丸み半径 R_1 を $0.01D$ (0.1 mm)、工具シャンク側のニックの丸み半径 R_2 を半径 R_1 の 1.3 倍 (0.13 mm)、ニック深さを D の 0.025 倍 (0.25 mm) とした。

[0271] B比較例 2 は、工具シャンク側の丸み半径 R_2 を工具先端側の丸み半径 R

1と同じでDの0.025倍(0.25mm)とした以外は、本発明例6と同仕様として作製した。比較例3は、工具先端側の丸み半径R1をDの0.034倍(0.34mm)、工具シャンク側の丸み半径R2を0.2mmとして工具先端側の丸み半径R1より小さく設けた以外は、本発明例6と同仕様として作製した。

[0272] B従来例4は、ニックと外周刃との繋がりが鋭いエッジ形を有する特許文献3に記載されたニック形状であり、その形状を図19に示す。ニックの工具先端側と工具シャンク側に丸みを設けない以外は、本発明例6と同仕様として作製した。

[0273] B従来例5は、図19のニック形状において、該ニック形状に丸みを設けてもよいと特許文献3に記載されたニック形状である。その形状を図20に示す。ニックの工具先端側の丸み半径R1をDの0.005倍(0.05mm)、工具シャンク側の丸みの半径R2を半径R1の1倍(0.05mm)に設けた以外は、従来例4と同仕様として作製した。

[0274] B従来例6はニックと外周刃との繋がりを、ニック溝を形成する凹円弧形状の半径より小さい丸みとし、該丸みの大きさを工具先端側と工具シャンク側とが同じとした特許文献4に記載されたニック形状である。その形状を図21に示す。ニックと外周刃との繋がりを凹状円弧とし、ニックの工具先端側の丸み半径R1をDの0.02倍(0.2mm)、工具シャンク側の丸み半径R2を工具先端側の丸み半径R1と同じに設けた以外は、B本発明例6と同仕様として作製した。

[0275] B従来例7は、ニック溝の底端と工具シャンク側の丸みとの繋がりが、ニック溝に向かって凹状円弧の曲線とした従来のニック付き超硬合金製エンドミル形状のものである。ニックの工具先端側と工具シャンク側に丸みを設けない以外は、B本発明例6と同仕様として作製した。

[0276] 表B2で、ニック形状が「直線連結」とは直線でニック溝の底端と工具シャンク側の丸み半径R2を繋いだもの、「凸形曲線」とはニック溝に向かって凸状の曲線で工具シャンク側の丸み半径R2とニック溝の底端とを繋いだ

もの、「直線＋凸形曲線」とはニック溝に向かって直線と凸状の曲線との組合せで工具シャンク側の丸み半径 R_2 とニック溝の底端とを繋いだもの、「凹状円弧」とは従来例として、凹状の円弧あるいは凹状の曲線でニックの工具シャンク側の丸み半径 R_2 とニック溝の底端とを繋いだ図18に例示されるものである。

[0277] 切削試験条件としては、いずれの試料も統一した条件で行った。被削材はステンレスSUS304のブロック材を用意し、ニック付き超合金製エンドミルの回転数は4000回転/min（切削速度120m/min）、軸方向切り込み量10mm、径方向切り込み量4mmとし、潤滑液は水溶性切削液を使用した。

[0278] 従来のこの種のニック付き超合金製エンドミルでは、平均加工面粗さを確保した場合の平均的な送り速度は500mm/min前後なので、本発明の加工能率を評価するために、送り速度500mm/min（一刃送り量0.03mm/min）から送り速度を徐々に上げて、送り速度の限界を探った。したがって、送り速度が1000mm/min以上となり、チッピング発生や加工面粗さの劣化の問題がなければ、加工能率が従来の2倍以上である高能率加工の目標を達成したといえる。

[0279] 評価として、チッピングなどの不具合が生じた時点、若しくは、被削材の加工面の平均面粗さ R_a が4 μ m以上に達した時点で切削を中止し、その時の送り速度を限界送り速度（mm/min）として記録した。

[0280] 限界送り速度が1000mm/minの時点で、チッピングなどの不具合が無く、加工面の平均加工面粗さ R_a が4 μ m以下のものを「良好」として○印で表わした。限界送り速度が1500mm/minの時点で、チッピングなどの不具合が無く、加工面の平均加工面粗さ R_a が4 μ m以下のものを「高送り良好」とし◎印で表わした。限界送り速度が1000mm/min未満でチッピング若しくは平均面粗さ R_a が4 μ mを超えるものは、その時点での加工面の平均加工面粗さ R_a を測定し×印とした。各試料の仕様と結果を表B2に示す。

[0281] [表B2]

試料番号		R1 (mm)	R2 (mm)	ニック底端と ニックの工具 シャンク側の 丸みとの繋ぎ形状	ニック 深さ (mm)	限界送り 速度 (mm/min)	限界送り 速度での 加工面粗さ Ra (μm)	限界送り速度 での停止原因	結果 評価
本発明例	6	0.2	0.34	直線連結	0.25	2000	1.28	高送り良好	◎
	7	0.2	0.34	凸状曲線	0.25	1800	1.12	高送り良好	◎
	8	0.2	0.34	直線+凸状曲線	0.25	1400	1.33	高送り良好	◎
	9	0.1	0.16	直線連結	0.25	1600	1.42	高送り良好	◎
	10	0.3	0.48	直線連結	0.25	1700	1.57	高送り良好	◎
	11	0.2	0.3	直線連結	0.25	1800	1.31	高送り良好	◎
	12	0.2	0.4	直線連結	0.25	1700	1.43	高送り良好	◎
	13	0.2	0.34	直線連結	0.1	1500	2.02	高送り良好	◎
	14	0.2	0.34	直線連結	0.5	1700	1.64	高送り良好	◎
	15	0.07	0.12	直線連結	0.25	1400	2.74	良好	○
	16	0.33	0.52	直線連結	0.25	1300	2.85	良好	○
	17	0.2	0.26	直線連結	0.25	1200	3.51	良好	○
	18	0.2	0.5	直線連結	0.25	1300	2.92	良好	○
	19	0.2	0.34	直線連結	0.08	1200	3.21	良好	○
	20	0.2	0.34	直線連結	0.7	1300	3.14	良好	○
	21	0.2	0.34	凹状円弧	0.25	1100	3.38	良好	○
	22	0.1	0.13	凹状円弧	0.25	1100	3.46	良好	○
	23	0.2	0.34	直線連結	0.25	2200	1.25	高送り良好	◎
比較例	2	0.2	0.2	直線連結	0.25	800	4.82	チッピング発生	×
	3	0.34	0.2	直線連結	0.25	500	4.58	加工面粗さ悪化	×
従来例	4	0	0	直線連結	0.25	500	4.54	チッピング発生	×
	5	0.05	0.05	直線連結	0.25	700	4.26	チッピング発生	×
	6	0.2	0.2	凹状円弧	0.25	800	5.18	チッピング発生	×
	7	0	0	凹状円弧	0.25	400	4.99	チッピング発生	×

[0282] その結果、B本発明例6～23では全て、限界送り速度が1000mm/minの時点で、チッピングや欠損がなく平均面粗さRaが4 μm 以下で高送り加工ができた。特に、B本発明例6～14、23では、更に限界送り速度が1500mm/minの時点で、チッピングなどの不具合が無く、加工面の平均加工面粗さRaが2.0 μm 以下となり、高送りでの高能率と高い精度の加工面を確保できた。さらにギャッシュを複数の面から構成させたB本発明例23では限界送り速度が2200mm/minとなり最も良好な結果となった。

[0283] またB本発明例6～8、21の結果から、ニック溝の底端と工具シャンク

側の丸み半径 R_2 を繋ぐ方法により、限界送り速度が大きく変わり、ニック溝の底端と工具シャンク側の丸み半径 R_2 を直線で繋いだものが最も良い結果となった。

[0284] B比較例2では、送り速度が800mm/minの時点でチッピングが発生した。このことは、ニックの工具先端側と工具シャンク側の丸みが同じで、 R_2 が0.2mmと小さいため、強度が不足したことを示す。B比較例3では、送り速度が500mm/minで切削後、被削材の加工面に筋を残し、平均面粗さ R_a が4.58 μ m(4 μ m超)となった。これは、ニックの工具先端側の丸みが工具シャンク側の丸みより大きいいため、加工面を工具シャンク側に押し付ける力が大きくなり、加工面に筋を残し、平均面粗さ R_a が大きくなったことを示す。

[0285] B従来例4では、送り速度500mm/minで加工した際に、チッピングが発生して、平均面粗さ R_a が4.54 μ mとなった。また、B従来例7では、送り速度400mm/minで加工した際に、チッピングが発生して、平均面粗さ R_a が4.54 μ mとなった。このことは、ニックの工具先端側と工具シャンク側に丸みを設けていないため、高送り加工では強度が弱くチッピングが発生したことを示す。

[0286] B従来例5は、B従来例4のニック形状のものに工具先端側と工具シャンク側に丸みを設けた場合で、送り速度700mm/minで加工した際に、チッピングが発生した。B従来例6では、送り速度800mm/minで加工した際に、ニックの工具シャンク側にチッピングが発生した。これは、ニックの工具シャンク側の丸み半径 R_2 が工具先端の丸み半径 R_1 と同じで、より弱い強度になっていること、また、ニックと外周刃との繋がりが凹状となって更なる強度不足となり、チッピングが発生したことを示す。

[0287] B実施例1及びB実施例2の結果から、最適な位相からのずれ量とニックの形状の相乗効果により、びびり振動が抑制でき、耐チッピング性が向上しているため、高速切削による高能率加工が安定して行えることが解った。また、従来よりもはるかに高い送り速度で切削するには、ニックの工具先端側

と工具シャンク側に丸みを設け、さらにニック溝の形状も最適化する必要がある事がわかった。

[0288] (C実施例1)

C実施例1は本発明である第2ギャッシュ面と第3ギャッシュ面を有する超硬合金製エンドミルで、ギャッシュの最適な形状を確認するために行った実施例である。また、従来の超硬合金製エンドミルである第3ギャッシュ面の無いもの、特許文献5に記載の超硬合金製エンドミルであるギャッシュノッチ角を規定したもの、及び特許文献6に記載の超硬合金製エンドミルである外周側のギャッシュ角を回転中心側のギャッシュ角より大きく設けたものと比較した。

[0289] C本発明例1～12、C従来例1～3、C比較例1～6においては母材はC_o含有量が8重量パーセント、WC平均粒径が0.8 μ mの超硬合金で、工具径8mm、刃長16mm、全長70mm、シャンク径8mmで刃数は4枚とした。外周刃の形状は波刃形とし、波ピッチを1mmで、ねじれ角は45°とし、用いた試料はすべて(TiAl)N系にSiを含有させた硬質皮膜を施した。

[0290] また、外周刃は波形状外周刃とし、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相からの前記ずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mm、第3波形状外周刃は波ピッチの0%とした0mm、第4波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mmとした。

[0291] C本発明例1～5及びC比較例1、2は、第2ギャッシュ角を50°、第2ギャッシュ面と第3ギャッシュ面のつなぎ部の長さ58が工具回転軸から工具径の9%とした0.72mmとし、第1ギャッシュ角をC本発明例1～5において15°、20°、25°、30°、35°、C比較例1、2において10°、40°とした。

[0292] C本発明例6～9及びC比較例3、4は、第1ギャッシュ角を25°、第2ギャッシュ面と第3ギャッシュ面のつなぎ部の長さ58が工具回転軸から工具径の9%とした0.72mmとし、第2ギャッシュ角をC本発明例6～

9において 40° 、 45° 、 55° 、 60° 、C比較例3、4において 35° 、 65° とした。

[0293] C本発明例10～12及びC比較例5～6は、第1ギャッシュ角を 25° 、第2ギャッシュ角を 50° とし、第2ギャッシュ面と第3ギャッシュ面のつなぎ部の長さ58はC本発明例10～12において工具回転軸から工具径の5%、10%、15%、C比較例5～6において工具回転軸から工具径の0%、3%とした。

[0294] C従来例1として、第1ギャッシュ角が 25° で第3ギャッシュ面がないもの、C従来例2として、特許文献6に記載のものと同仕様とした、第2ギャッシュ面と第3ギャッシュ面のつなぎ部の長さ58が工具回転軸から工具径の20%とした1.6mmで、第1ギャッシュ角が 25° 、第2ギャッシュ角が 50° のもの、C従来例3として、特許文献5の図1に記載のものと同仕様とした、第2ギャッシュ面と第3ギャッシュ面のつなぎ部の長さ58が工具回転軸から工具径の23.5%とした1.76mmで、第1ギャッシュ角が 25° 、第2ギャッシュ角が 50° のものを作製した。

[0295] C実施例1として、前記21種類のエンドミルで、硬さHRC40のプリハードン鋼を被加工材として幅50mm、長さ50mm、深さ24mmの凹形状を加工した。テストは、傾斜切削で深さ8mmまで切削し、次に横送りで繰り広げて幅50mm、長さ50mmまでの切削を3回繰り返し、深さ24mmまで加工する方法で比較した。

[0296] 従来HRC40の被加工材を切削する場合は切削速度は $100\text{m}/\text{min}$ でも高速であるが、切削条件は回転数を6000回転 $/\text{min}$ （切削速度 $150\text{m}/\text{min}$ ）、送り速度を $1920\text{mm}/\text{min}$ （1刃送り量0.08mm）とし、軸方向切り込みを8mm、径方向切り込みを2mm、傾斜切削時の送り速度は $1200\text{mm}/\text{min}$ とし、傾斜角 10° とした。

[0297] 評価として、前記形状が1個加工できたものを良好とし、加工終了後に欠損及び加工途中で折損したものはその結果を記録した。その結果を表C1に示す。

[0298] [表C1]

試料番号		第1 ギャッシュ角(°)	第2 ギャッシュ角(°)	つなぎ部の長さ (mm)	比率 (%)	摩耗幅 (mm)	評価
C本発明例	1	15	50	0.72	9	0.05	良好
	2	20	50	0.72	9	0.04	良好
	3	25	50	0.72	9	0.03	良好
	4	30	50	0.72	9	0.04	良好
	5	35	50	0.72	9	0.05	良好
	6	25	40	0.72	9	0.06	良好
	7	25	45	0.72	9	0.05	良好
	8	25	55	0.72	9	0.04	良好
	9	25	60	0.72	9	0.06	良好
	10	25	50	0.4	5	0.08	良好
	11	25	50	0.8	10	0.05	良好
	12	25	50	1.2	15	0.06	良好
C従来例	1	25	-	-	-	-	折損
	2	25	50	1.6	20	-	欠損
	3	25	50	1.76	23.5	-	欠損
C比較例	1	10	50	0.72	9	-	欠損
	2	40	50	0.72	9	-	欠損
	3	25	35	0.72	9	-	欠損
	4	25	65	0.72	9	-	欠損
	5	25	50	0	0	-	欠損
	6	25	50	0.24	3	-	欠損

[0299] 結果として、C本発明例1～12は切り屑づまりがなく、傾斜切削・横送り共に安定した加工が行えた。しかし、C従来例1は第3ギャッシュ面が無いため、底刃のチップポケットが狭く切り屑詰まりが生じ、加工開始直後の傾斜切削時に折損した。C従来例2、3は凹形状を1個加工できたが、第2ギャッシュ面と第3ギャッシュ面のつなぎ部の長さ58が長く、切り屑づまりにより底刃の工具回転軸付近から大きく欠損していた。

[0300] C比較例1は第1ギャッシュ角が10°と小さいため、底刃のチップポケットが狭く切り屑づまりが生じ、加工開始直後の傾斜切削時に折損した。C比較例2は第1ギャッシュ角が40°と大きく、剛性不足により、横送り時に底刃外周付近が大きく欠損した。C比較例3は第2ギャッシュ角が35°と小さいため、切り屑が外周の刃溝に流れにくく、切り屑詰まりにより、横送り時に外周刃が欠損した。C比較例4は第2ギャッシュ角が65°と大き

く、剛性不足により横送り時に外周刃が底刃から大きく欠損した。C比較例5及び6は第2ギャッシュ面と第3ギャッシュ面のつなぎ部の長さが短いため、底刃の工具軸中心付近の剛性がなく、加工終了後に欠損していた。

[0301] (C実施例2)

C実施例2は最適な位相からのずれ量の検討を行った実施例である。C本発明例13～17、C従来例4～7、C比較例7は第1ギャッシュ角を25°、第2ギャッシュ角を50°、中心からのつなぎ部の長さ58が工具回転軸から工具径の9%の0.72mmとして仕様を統一した。

[0302] C本発明例13は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相からの前記ずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの1%とした0.01mm、第3波形状外周刃は波ピッチの1%とした0.01mm、第4波形状外周刃は波ピッチの0%とした0mmのものを作製した。

[0303] C本発明例14は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相からの前記ずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mm、第3波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mm、第4波形状外周刃は波ピッチの0%とした0mmのものを作製した。

[0304] C本発明例15は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相からの前記ずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mm、第3波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mm、第4波形状外周刃は波ピッチの3%とした0.03mmのものを作製した。

[0305] C本発明例16は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相からの前記ずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの5%とした0.05mm、第3波形状外周刃は波ピッチの4%とした0.04mm、第4波形状外周刃は波ピッチの3%とした0.03mmのものを作製した。

[0306] C本発明例17は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相からの前記ずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mm、第3波形状外周刃は波ピッチの0%とした0mm、第4波形状外周刃は波ピッチの0%とした0mmのものを作製した。

- [0307] C従来例4は、位相からのずれ量の無いものを作製した。従来例5は、位相からのずれ量が無いが、各切れ刃の分割角度を 85° 、 95° 、 85° 、 95° とし、不等分割としたものを作製した。
- [0308] C従来例6は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相からの前記ずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの6%とした0.06mm、第3波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mm、第4波形状外周刃は波ピッチの0%とした0mmのものを作製した。
- [0309] C従来例7は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相からの前記ずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの6%とした0.06mm、第3波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mm、第4波形状外周刃は波ピッチの0%とした0mmのものを作製した。
- [0310] C比較例7は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相からの前記ずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの6%とした0.06mm、第3波形状外周刃は波ピッチの6%とした0.06mm、第4波形状外周刃は波ピッチの0%とした0mmのものを作製した。
- [0311] C本発明例13~17、C従来例4~6、C比較例7においては母材はC含有量が8重量パーセント、WC平均粒径が $0.8\mu\text{m}$ の超硬合金で、C従来例7においては母材は高速度工具鋼とした。仕様としては全てのエンドミルで工具径8mm、刃長16mm、全長70mm、シャンク径8mmで刃数は4枚とした。また、外周刃の形状は波刃形とし、波ピッチを1mmで、ねじれ角は 45° とし、用いた試料はすべて(TiAl)N系にSiを含有させた硬質皮膜を施した。
- [0312] 被加工物・切削条件・加工形状はC実施例1と同様で、評価としてC実施例1と同様に行い、凹形状を1個加工終了時に底刃の摩耗幅の測定を行い記録した。高速度工具鋼製であるC従来例7については、超硬合金製よりはるかに切削条件が低く、切削条件は回転数を1200回転/min(切削速度30m/min)、送り速度を150mm/min(1刃送り量0.03mm)とし、軸方向切り込みを8mm・径方向切り込みを2mmとした。傾斜

切削時の送り速度は70mm/minとし、傾斜角10°とした。これらの結果を併せて表C2に示す。

[0313] [表C2]

試料番号		エンドミルの 母材	各刃の 分割	ずれ量(mm)			ずれ量 (%)	摩耗幅 (mm)	評価
				第2 波形状 外周刃	第3 波形状 外周刃	第4 波形状 外周刃			
C本発明例	13	超硬合金	等分割	0.01	0.01	0	1	0.10	良好
	14	超硬合金	等分割	0.02	0.02	0	2	0.08	良好
	15	超硬合金	等分割	0.02	0.02	0.03	3	0.09	良好
	16	超硬合金	等分割	0.05	0.04	0.03	5	0.12	良好
	17	超硬合金	等分割	0.02	0	0	2	0.08	良好
C従来例	4	超硬合金	等分割	0	0	0	0	-	欠損
	5	超硬合金	不等分割	0	0	0	0	-	チッピング
	6	超硬合金	等分割	0.06	0.02	0	6	-	チッピング
	7	高速度工具鋼	等分割	0.06	0.02	0	6	-	折損
C比較例	7	超硬合金	等分割	0.06	0.06	0	6	-	チッピング

[0314] 結果として、C本発明例13～17は安定した加工ができ、凹形状を1個加工できた。特に位相からのずれ量が1～3%のものは、摩耗幅が0.1mm以下と小さい値であった。

[0315] C従来例4は最適なギャッシュ形状であるにも関わらず、横送り時にびびり振動が生じ、外周刃凹形状1個加工後に底刃が欠損していた。C従来例5は、不等分割により、びびり振動は抑制でき、凹形状を1個加工できたが、傾斜切削時に底刃によって生成された切り屑が小さい外周の刃溝にたまり、チッピングが生じた。

[0316] C従来例6として、位相からのずれ量が6%と大きいため、負荷の最も大きくなる外周刃にチッピングが生じていた。C従来例7として、高速度工具鋼製であるため、工具剛性が弱く、切削開始直後の傾斜切削時に折損した。C比較例7はC従来例6と同様に位相からのずれ量が6%と大きいため、負荷の最も大きくなる外周刃にチッピングが生じていた。

[0317] (C実施例3)

C実施例3は従来例との送り限界テストを行った実施例である。C本発明例18として、C実施例1のC本発明例3と同仕様のもの、C従来例8として、C実施例1のC従来例3と同仕様のもの、C従来例9としてC実施例2で用いたC従来例5と同仕様の不等分割品のエンドミルを使用し、被加工材を構造用鋼として送り限界テストを行った。

[0318] C本発明例18、C従来例8～9においては母材はC_o含有量が8重量パーセント、WC平均粒径が0.8 μ mの超硬合金とした。仕様としては工具径8mm、刃長16mm、全長70mm、シャンク径8mmで刃数は4枚とした。また、外周刃の形状は波刃形とし、波ピッチを1mmで、ねじれ角は45°とし、用いた試料はすべて(TiAl)N系にSiを含有させた硬質皮膜を施した。切削条件は回転数を8000回転/min(切削速度200m/min)、送り速度を2800mm/min(1刃送り量0.09mm)とし、軸方向切り込みを4mmとした。

[0319] 評価は1m切削ごとに350mm/min送り速度を上げていき途中折損したところを記録した。加工後に問題がなければ○を記し、折損または各送り速度で1m切削後に欠損又はチッピングが生じていれば×を記し、送り速度4200mm/min以上で切削を行い、問題がなかったものは良好とした。結果を表C3に示す。

[0320] [表C3]

試料番号		各刃の分割	第1 ギャッシュ角 (°)	第2 ギャッシュ角 (°)	比率 (%)	ずれ量 (%)	送り速度(mm/min)					評価
							2800	3150	3500	3850	4200	
C本発明例	18	等分割	25	50	9	2	○	○	○	○	○	良好
C従来例	8	等分割	25	50	23.5	2	×					欠損
	9	不等分割	25	50	9	0	○	×				折損

[0321] 結果として、C本発明例18は送り速度が4200mm/minまで問題なく加工できたのに対し、C従来例8は送り速度が2800mm/min時に欠損、C従来例9は送り速度が3150mm/min時に折損した。本発

明を適用したエンドミルは従来のエンドミルより、1.5倍以上の送り速度で加工することができた。

[0322] (C実施例4)

C実施例4はC実施例2と同様に、ニック付き外周刃で最適な位相からのずれ量の検討を行った実施例である。C本発明例19~23、C従来例10~13、C比較例8は第1ギャッシュ角を 25° 、第2ギャッシュ角を 50° 、中心からのつなぎ部の長さが工具回転軸から工具径の9%の 0.72 mm として仕様を統一した。

[0323] C本発明例19は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの1%とした 0.01 mm 、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの1%とした 0.01 mm 、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした 0 mm のものを作製した。

[0324] C本発明例20は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした 0.02 mm 、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした 0.02 mm 、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした 0 mm のものを作製した。

[0325] C本発明例21は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした 0.02 mm 、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした 0.02 mm 、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの3%とした 0.03 mm のものを作製した。

[0326] C本発明例22は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの5%とした 0.05 mm 、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの4%とした 0.04 mm 、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの3%とした 0.03 mm のものを作製した。

- [0327] C本発明例23は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mmのものを作製した。
- [0328] C従来例10は、位相からのずれ量の無いものを作製した。
- C従来例11は、位相からのずれ量が無いが、各切れ刃の分割角度を85°、95°、85°、95°とし、不等分割としたものを作製した。
- [0329] C従来例12は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの6%とした0.06mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mmのものを作製した。
- [0330] C従来例13は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの6%とした0.06mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mmのものを作製した。
- [0331] C比較例8は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの6%とした0.06mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの6%とした0.06mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mmのものを作製した。
- [0332] C本発明例19~23、C従来例10~12、C比較例8においては母材はCo含有量が8重量パーセント、WC平均粒径が0.8μmの超硬合金で、C従来例13においては母材は高速度工具鋼とした。仕様としては全てのエンドミルで工具径8mm、刃長16mm、全長70mm、シャンク径8mmで刃数は4枚とした。また、外周刃の形状はニック付き外周刃とし、ニッ

クのピッチを1 mmで、ねじれ角は45°とし、用いた試料はすべて(TiAl)N系にSiを含有させた硬質皮膜を施した。

[0333] 被加工物・切削条件・加工形状はC実施例1と同様で、評価としてC実施例1と同様に行い、凹形状を1個加工終了時に底刃の摩耗幅の測定を行い記録した。高速度工具鋼製であるC従来例13については、超合金製よりはるかに切削条件が低く、切削条件は回転数を1200回転/min(切削速度30m/min)、送り速度を150mm/min(1刃送り量0.03mm)とし、軸方向切り込みを8mm・径方向切り込みを2mmとした。傾斜切削時の送り速度は70mm/minとし、傾斜角10°とした。これらの結果を併せて表C4に示す。

[0334] [表C4]

試料番号		エンドミルの 母材	各刃の 分割	ずれ量(mm)			ずれ量 (%)	摩耗幅 (mm)	評価
				第2 ニッケ付き 外周刃	第3 ニッケ付き 外周刃	第4 ニッケ付き 外周刃			
C本発明例	19	超硬合金	等分割	0.01	0.01	0	1	0.10	良好
	20	超硬合金	等分割	0.02	0.02	0	2	0.09	良好
	21	超硬合金	等分割	0.02	0.02	0.03	3	0.09	良好
	22	超硬合金	等分割	0.05	0.04	0.03	5	0.14	良好
	23	超硬合金	等分割	0.02	0	0	2	0.08	良好
C従来例	10	超硬合金	等分割	0	0	0	0	-	欠損
	11	超硬合金	不等分割	0	0	0	0	-	チッピング
	12	超硬合金	等分割	0.06	0.02	0	6	-	チッピング
	13	高速度工具鋼	等分割	0.06	0.02	0	6	-	折損
C比較例	8	超硬合金	等分割	0.06	0.06	0	6	-	チッピング

[0335] C実施例4の結果として、C本発明例19～23は安定した加工ができ、凹形状を1個加工できた。特に位相からのずれ量が1～3%のものは、摩耗幅が0.1mm以下と小さい値であった。C従来例10は最適なギャッシュ形状であるにも関わらず、横送り時にびびり振動が生じ、外周刃凹形状1個加工後に底刃が欠損していた。従来例11は、不等分割により、びびり振動は抑制でき、凹形状を1個加工できたが、傾斜切削時に底刃によって生成された切り屑が小さい外周の刃溝にたまり、チッピングが生じた。

[0336] C従来例12として、位相からのずれ量が6%と大きいため、負荷の最も大きくなる外周刃にチッピングが生じていた。C従来例13として、高速度工具鋼製であるため、工具剛性が弱く、切削開始直後の傾斜切削時に折損した。C比較例10はC従来例12と同様に位相からのずれ量が6%と大きいため、負荷の最も大きくなる外周刃にチッピングが生じていた。ニック付き外周刃を有する超硬合金製エンドミルでも、波形状外周刃を有するエンドミルで行ったC実施例2とほぼ同様の結果が得られた。

[0337] 以下の表中にある各D実施例では、本発明、従来例、比較例を区分として示し、試料番号は本発明例、従来例、比較例ごとに、連続の通し番号で記載した。また後述の表D1、表D2及び表D3において、それぞれ、最下層、最上層及び中間層を構成する硬質皮膜の組成式表示について、カッコ内は原子%表示、カッコ外は原子比表示である。例えば、後述の表D1の資料番号1の最下層を構成する硬質皮膜の組成式表示は(Ti45-A155)Nである。この表示は、(Ti45原子%-A155原子%)のTi:A1元素と、カッコ外のN元素とが原子比で1:1の組成物を形成していることを意味する。

[0338] (D実施例1)

D実施例1は各種の表面処理を被覆したエンドミルで、特に波形状外周刃の最適な位相からのずれ量を確認するために行った実施例である。

D本発明例1乃至12、D比較例1、2及びD従来例1乃至3においては、いずれも基材はCo含有量が8重量パーセント、WC平均粒径が $0.8\mu\text{m}$ の超硬合金で、工具径8mm、刃長16mm、全長70mm、シャンク径8mmで刃数は4枚とした。外周刃の形状は波刃形とし、波ピッチを1mmで、ねじれ角は 45° とし、切削試験に用いた。D従来例4は高速度工具鋼製のエンドミルであり、工具径8mm、刃長16mm、全長70mm、シャンク径8mmで刃数は4枚、外周刃の形状は波刃形とし、波ピッチを1mmで、ねじれ角は 45° とし、切削試験に用いた。

[0339] D本発明例1乃至5、D比較例1、及びD従来例1乃至4はエンドミルの

波形状外周刃の形状の効果を確認するために、表面処理の種類を基本的には揃え、D本発明例4で中間層としてTiAlSiNを用いた以外は、硬質皮膜の最下層をTiAlN、最上層をTiSiNで統一した。表面処理はいずれもアーク放電式イオンプレーティング法で複合層とした。また、D比較例2は表面処理を行わなかった。

[0340] D本発明例1は、第1刃を基準形状外周刃として、基準形状外周刃の波ピッチを4等分したそれぞれの波形状外周刃の位相からのずれ量を、第2波形状外周刃は波ピッチの1%とした0.01mm、第3波形状外周刃は波ピッチの0%とした0mm、第4波形状外周刃は波ピッチの1%とした0.01mmのものを作製した。

[0341] D本発明例2は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相からの前記ずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mm、第3波形状外周刃は波ピッチの0%とした0mm、第4波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mmのものを作製した。

[0342] D本発明例3は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相からの前記ずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mm、第3波形状外周刃は波ピッチの3%とした0.03mm、第4波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mmのものを作製した。

[0343] D本発明例4は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相からの前記ずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの5%とした0.05mm、第3波形状外周刃は波ピッチの3%とした0.03mm、第4波形状外周刃は波ピッチの4%とした0.04mmのものを作製した。

[0344] D本発明例5は、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相からの前記ずれ量を第2波形状外周刃は波ピッチの2%とした0.02mm、第3波形状外周刃は波ピッチの0%とした0mm、第4波形状外周刃は波ピッチの0%とした0mmのものを作製した。

[0345] D本発明例6乃至12は、波形状外周刃の位相からのずれ量(%)を本発明の望ましい範囲である2%乃至3%に統一し、表面処理の種類を変えて、

切削試験を行なった例である。表面処理はいずれもアーク放電式イオンプレーティング法で複合層とし、表 D 1 に記載する硬質皮膜の最下層、最上層、中間層の組合せとした。中間層に記載のないものは、最下層と最上層の組成からなる 2 層か、前記組成の繰り返しで積層し、少なくとも最下層と最上層には表で記載される組成となるようにした。

[0346] D 比較例 1 として、第 1 刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相からのずれ量を第 2 波形状外周刃は波ピッチの 6 % とした 0. 06 mm、第 3 波形状外周刃は波ピッチの 0 % とした 0 mm、第 4 波形状外周刃は波ピッチの 6 % とした 0. 06 mm としたものを作製した。D 比較例 2 は、D 本発明例 2 と同仕様の形状のものを作製した。

[0347] D 従来例 1 として、基準形状外周刃の 1 / 4 ピッチごとのそれぞれの波形状外周刃の位相からのずれ量が無い波ピッチ 0 % とした位相が一定のものを作製した。

D 従来例 2 として不等分割を採用し、各刃の分割角が $95^{\circ} \cdot 85^{\circ} \cdot 95^{\circ} \cdot 85^{\circ}$ で、各刃の位相からの前記ずれ量の無い波ピッチの 0 % とした位相が一定のものを作製した。

[0348] D 従来例 3 として、特許文献 2 に記載される高速度工具鋼製エンドミルで位相からのずれ量が 6 % のものを硬質皮膜被覆エンドミルとして作製した。今回の切削試験では、第 1 刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相からの前記ずれ量を第 2 波形状外周刃は波ピッチの 6 % とした 0. 06 mm、第 3 波形状外周刃は波ピッチの 0 % とした 0 mm、第 4 波形状外周刃は波ピッチの 2 % とした 0. 02 mm のものとした。

[0349] D 従来例 4 は D 従来例 3 と同仕様の高速度工具鋼製エンドミルを作製した。このことは本発明に適用する硬質皮膜の被覆をして超合金製と比較評価したものである。

また、D 本発明例 1 ~ 12、D 比較例 1、2、D 従来例 1、3 及び 4 は各刃の分割角は等分割とした。

[0350] D 実施例 1 として、前記 D 従来例 4 である高速度工具鋼製を除く 16 種類

のエンドミルで、硬さHRC40の熱間ダイス鋼SKD61を被加工材として切削試験を行った。切削条件は回転数を6000回転/min（切削速度150m/min）、送り速度を1600mm/min（1刃送り量0.06mm）とし、軸方向切り込みを4mm・径方向切り込みを4mmとした。評価として、5m毎に外周刃を観察し、摩耗幅を測定した。

[0351] 50mまで切削を行い摩耗幅は0.15mm以下で、折損、欠損及びチッピングの無いものを良好とした。また、50mまでに外周刃の摩耗幅が0.15mmを超えたものはその観察時点で終了し切削長と摩耗幅を記録した。折損、欠損、チッピングが生じたものはその観察時点で終了し、そのときの切削長を記録した。

[0352] 高速度工具鋼製であるD従来例4については、超硬合金製よりはるかに切削条件の低い切削条件は回転数を1200回転/min（切削速度30m/min）、送り速度を150mm/min（1刃送り量0.03mm）とし、軸方向切り込みを4mm・径方向切り込みを4mmとした。これらの結果を併せて表D1に示す。

[0353] [表D1]

試料番号		エンドミルの 母材	各刃の 分割角	ずれ量(mm)			ずれ量 (%)	表面処理の種類			切削長	摩耗幅 (mm)	評価
				第2 波形状 外周刃	第3 波形状 外周刃	第4 波形状 外周刃		最下層	最上層	中間層			
D本発明例	1	超硬合金	等分割	0.01	0	0.01	1%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S20)N	-	50m	0.08	良好
	2	超硬合金	等分割	0.02	0	0.02	2%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S20)N	-	50m	0.07	良好
	3	超硬合金	等分割	0.02	0.03	0.02	3%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S20)N	-	50m	0.08	良好
	4	超硬合金	等分割	0.05	0.03	0.04	5%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S20)N	(Ti45-A150-S15)N	50m	0.12	良好
	5	超硬合金	等分割	0.02	0	0	2%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S20)N	-	50m	0.07	良好
	6	超硬合金	等分割	0.02	0	0.02	2%	(Ti45-A155)N	(Al60Cr37Si3)N	(Al70-Cr30)N	50m	0.07	良好
	7	超硬合金	等分割	0.02	0	0.02	2%	(Ti40-A155-S15)N	(Ti40-A155-S15)N	(Ti80-S20)N	50m	0.07	良好
	8	超硬合金	等分割	0.02	0	0.02	2%	(Ti45-A155)N	(Al70-Cr30)N	-	50m	0.08	良好
	9	超硬合金	等分割	0.02	0	0.02	2%	(Ti45-A155)N	(Al70-Cr30)O	(Al70-Cr30)O	50m	0.08	良好
	10	超硬合金	等分割	0.02	0	0.02	2%	(Ti40-A155-S15)N	(Cr92-Si3-B5)N	-	50m	0.10	良好
	11	超硬合金	等分割	0.02	0.03	0.02	3%	(Ti60-A140)N	(Ti40-A160)N	-	50m	0.08	良好
	12	超硬合金	等分割	0.02	0	0	2%	(Ti70-A130)N	(Ti30-A170)N	(Ti40-A155-S15)N	50m	0.10	良好
D比較例	1	超硬合金	等分割	0.06	0	0.06	6%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S20)N	-	30m	-	チッピング
	2	超硬合金	等分割	0.02	0	0.02	2%	-	-	-	20m	0.17	摩耗大
D従来例	1	超硬合金	等分割	0	0	0	0%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S20)N	-	20m	-	欠損
	2	超硬合金	不等分割	0	0	0	0%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S20)N	-	40m	-	チッピング
	3	超硬合金	等分割	0.06	0	0.02	6%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S20)N	-	30m	-	チッピング
	4	高速度工具鋼	等分割	0.06	0	0.02	6%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S20)N	-	10m	-	折損

[0354] その結果、D本発明例1～5はびびり振動も小さく、安定した切削が行え、50mm切削しても正常摩耗であった。特にD本発明例1～3及び5は50mm切削後の摩耗幅はいずれも0.10mm以下と小さかった。D本発明例5のように位相のずれ量が5%になると摩耗量が相対的にやや大きくなるが、問題になる程度ではない。

[0355] D比較例1及びD従来例3は位相からのずれ量が大きいため、ずれ量が多い波形状外周刃に切削負荷が大きくかかり、硬質皮膜が被覆してあるにもかかわらず、30mmでチッピングが生じる結果となった。超合金製のエンドミルにおける位相のずらし量は、これらの実施例から明らかなように、それほど大きくしてはならず、位相からのずれ量は大きくても5%が限界値であることが分かる。

[0356] D比較例2はびびり振動がなく安定した加工ができていたが、表面処理が行われていないため、20mm切削時に摩耗幅が0.17mmとなり、0.15mmを超えたため切削を終了した。D従来例1においては等間隔の波ピッチのため、びびり振動が大きく、20mm切削時には欠損が生じており、寿命となった。不等分割品であるD従来例2は分割角度が小さい溝の波形状外周刃が40mm切削時にチッピングが生じていた。

[0357] 高速度工具鋼製エンドミルを使用したD従来例4は、超合金と比較して耐熱性及び耐摩耗性の劣る高速度工具鋼を用いているため、40HRC以上の高硬度材を切削するのは困難であり、硬質皮膜が被覆してあるにもかかわらず、10mmで折損する結果となった。

[0358] また、位相からのずれ量を2%乃至3%に統一して表面処理の種類を変えたD本発明例6乃至12については、いずれも50mmの切削長まで異常はなく、摩耗幅も0.10mm以下で、満足のいく結果が得られた。

[0359] (D実施例2)

D本発明例13として、第1刃を基準形状外周刃として、基準形状外周刃のニックのピッチを4等分したそれぞれのニック付き外周刃の位相からのず

れ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの1%とした0.01mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの1%とした0.01mmとしたものを作製した。

[0360] D本発明例14として、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mmとしたものを作製した。

[0361] D本発明例15として、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの3%とした0.03mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mmとしたものを作製した。

[0362] D本発明例16として、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの5%とした0.05mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの3%とした0.03mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの4%とした0.04mmとしたものを作製した。

[0363] D本発明例17として、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mmとしたものを作製した。

[0364] D比較例3として、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれのニック付き外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの6%とした0.06mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの6%とした0.0

6 mmとしたものを作製した。

- [0365] D従来例5として、基準形状外周刃の1/4ピッチごとのそれぞれのニック付外周刃の位相からのずれ量が無いニックのピッチを0%とした位相が一定のものを作製した。

D従来例6として不等分割を採用し、各刃の分割角が $95^{\circ} \cdot 85^{\circ} \cdot 95^{\circ} \cdot 85^{\circ}$ で、各刃の前記位相からのずれ量の無い波ピッチの0%とした位相が一定としたものを作製した。

- [0366] D従来例7として、特許文献2に記載される高速度工具鋼製エンドミルで位相からのずれ量が6%のものを硬質皮膜被覆エンドミルとして作製した。今回の切削試験では、第1刃を基準形状外周刃として、それぞれの波形状外周刃の位相からの前記ずれ量を第2ニック付き外周刃はニックのピッチの6%とした0.06 mm、第3ニック付き外周刃はニックのピッチの0%とした0 mm、第4ニック付き外周刃はニックのピッチの2%とした0.02 mmのものとした。

D本発明例13~17、D比較例3、D従来例5及び7は各刃の分割角を等分割とした。

- [0367] D本発明例18乃至24は、ニック付き外周刃の位相からのずれ量(%)を本発明の望ましい範囲である2乃至3%に統一し、表面処理の種類を変えて、切削試験を行なった例である。各外周刃のニック付き外周刃の位相からのずれ量、及び表面処理の種類は、波形状外周刃の場合と切削試験の結果を比較するために同一に揃えた。

- [0368] すなわち、表面処理方法としては、波形状外周刃とニック付き外周刃を有する2種類のエンドミルで、位相からのずれ量が同一のものをアーク放電式イオンプレーティング炉に挿入し各々の表面処理の種類ごとに同一処理して複合層の被覆とした。ニック付き外周刃の位相のずれ量や表面処理の種類は表D2に示すとおりである。

- [0369] D実施例2として、D実施例1と同様に、硬さHRC40の熱間ダイス鋼SKD61を被加工材として切削試験を行った。切削条件、評価方法はD実

施例 1 と同じであり、その結果を切削長、外周刃の摩耗幅、評価として表 D 2 に示す。

[0370] 外周刃などに 50 m 切削長で折損、欠損及びチップングの無いものを良好として、その時の摩耗幅を測定した。また、50 m までに外周刃を観察し折損、欠損及びチップングが生じたものはその観察時点で終了し、そのときの切削長を記録した。これらの結果を併せて表 D 2 に示す。

[0371] [表D2]

試料番号	各刃の 分割角	ずれ量(mm)			ずれ量 (%)	表面処理の種類			切削長	摩耗幅 (mm)	評価
		第2ニッケ 付き外周刃	第3ニッケ 付き外周刃	第4ニッケ 付き外周刃		最下層	最上層	中間層			
D本発明例	13 等分割	0.01	0	0.01	1%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S120)N	-	50m	0.10	良好
	14 等分割	0.02	0	0.02	2%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S120)N	-	50m	0.08	良好
	15 等分割	0.02	0.03	0.02	3%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S120)N	-	50m	0.09	良好
	16 等分割	0.05	0.03	0.04	5%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S120)N	(Ti45-A150-S15)N	50m	0.12	良好
	17 等分割	0.02	0	0	2%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S120)N	-	50m	0.08	良好
	18 等分割	0.02	0	0.02	2%	(Ti45-A155)N	(A160Cr37S13)N	(A170-Cr30)N	50m	0.09	良好
	19 等分割	0.02	0	0.02	2%	(Ti40-A155-S15)N	(Ti40-A155-S15)N	(Ti80-S120)N	50m	0.08	良好
	20 等分割	0.02	0	0.02	2%	(Ti45-A155)N	(A170-Cr30)N	-	50m	0.09	良好
	21 等分割	0.02	0	0.02	2%	(Ti45-A155)N	(A170-Cr30)O	(A170-Cr30)O	50m	0.10	良好
	22 等分割	0.02	0	0.02	2%	(Ti40-A155-S15)N	(Cr92-S13-B5)N	-	50m	0.10	良好
	23 等分割	0.02	0.03	0.02	3%	(Ti60-A140)N	(Ti40-A160)N	-	50m	0.10	良好
	24 等分割	0.02	0	0	2%	(Ti70-A130)N	(Ti30-A170)N	(Ti40-A155-S15)N	50m	0.10	良好
D比較例	3 等分割	0.06	0	0.06	6%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S120)N	-	30m	-	チップング
D従来例	5 等分割	0	0	0	0%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S120)N	-	15m	-	欠損
	6 不等分割	0	0	0	0%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S120)N	-	30m	-	欠損
	7 等分割	0.06	0	0.02	6%	(Ti45-A155)N	(Ti80-S120)N	-	20m	-	欠損

[0372] その結果、D本発明例 13～17 はびびり振動も小さく、安定した切削が行え、50 m 切削しても正常摩耗であった。特にD本発明例 13～15 及び 17 は、D実施例 1 と同様に 50 m 切削後の摩耗幅は 0.10 mm 以下と小さかった。しかし、同条件でテストを行ったD実施例 1 の結果と合わせると、ニッケ付き外周刃が波形状外周刃と比較して僅かに摩耗が大きくなる例が多く、熱間ダイス鋼等を被加工材とするときは波形状外周刃が優位の結果となった。

[0373] D比較例 3 及びD従来例 7 は位相からのずれ量が 6 % と大きく、ずれ量の大きいニッケ付き外周刃に切削負荷が大きくなり、D比較例 3 では 30 m

でチッピングが生じ、D従来例7では20mで欠損が生じていた。D従来例5においては等間隔のニックのピッチのため、びびり振動が大きく、15m切削時点で欠損が生じて、寿命となった。不等分割品であるD従来例6は分割角度が小さい溝のニック付き外周刃が30m切削時点で欠損が生じていた。

[0374] また、位相からのずれ量を2%乃至3%に統一して表面処理の種類を変えたD本発明例18乃至24については、いずれも50mの切削長まで異常はなく、摩耗幅も0.10mm以下で、波形状外周刃での摩耗幅と比較しても遜色ない結果が得られた。

[0375] (D実施例3)

D実施例3は本発明のD実施例1との比較で、さらに高速条件での切削を行い、D実施例1との結果と寿命の比較を行ったものである。

D実施例3として、D本発明例25はD実施例1で用いたD本発明例2、D本発明例26はD実施例1で用いたD本発明例3、D本発明例27はD実施例1で用いたD本発明例4、D本発明例28はD実施例1で用いたD本発明例6、D本発明例29はD実施例1で用いたD本発明例8、D本発明例30はD実施例1で用いたD本発明例10、D本発明例31はD実施例1で用いたD本発明例12と表面処理の種類も含めて同仕様のエンドミルを作製した。

[0376] 被加工材は硬さHRC40の熱間ダイス鋼SKD61を被加工材として用い、切削を行った。切削条件は回転数をD実施例1の1.5倍の9000回転/min(切削速度226m/min)、送り速度を2160mm/min(1刃送り量0.06mm)とし、軸方向切り込みを4mm、径方向切り込みを4mmとして、テストを行った。評価はD実施例1と同様で50mまでの切削を行った。結果を表D3に示す。

[0377]

[表D3]

試験番号	すれ量(mm)				すれ量(%)	表面処理の種類	評価
	第2 波形状	第3 波形状	第4 波形状	第4 波形状			
25	0.02	0	0.02	2%	(T45-A45)N	(T80-S20)N	50m 0.10 良好
26	0.02	0.03	0.02	3%	(T45-A45)N	(T80-S20)N	50m 0.10 良好
27	0.05	0.03	0.04	5%	(T45-A45)N	(T80-S20)N	50m 0.14 良好
28	0.02	0	0.02	2%	(T45-A45)N	(A160Cr37S13)N	50m 0.12 良好
29	0.02	0	0.02	2%	(T45-A45)N	(A170-Cr30)N	50m 0.10 良好
30	0.02	0	0	2%	(T40-A45-S45)N	(Cr92-S13-B5)N	50m 0.12 良好
31	0.02	0	0	2%	(T70-A130)N	(T130-A170)N	50m 0.11 良好

[0378] 結果として、日本発明例 25～31 は、安定した切削が行え、50m 切削しても正常摩耗であり高速切削を行っても D 実施例 1 と同切削距離の加工が可能であった。特に、望ましい位相からのすれ量の 2%乃至 3%の範囲である、前記すれ量が限界値である 5%の日本発明例 27 の結果と比較して小さい摩耗幅であった。

[0379] (D 実施例 4)

D 実施例 4 として切り屑の排出性を確認するため、溝切削による切削テストを行った。D 本発明例 32 として D 実施例 1 で用いた D 本発明例 1 と同仕様、D 従来例 8 として、D 実施例 1 で用いた D 従来例 1 と同仕様、D 従来例 9 として D 実施例 1 で用いた D 従来例 2 と同仕様の不等分割品のエンドミルを使用し、被加工材を構造用鋼として送り限界テストを行った。

[0380] 切削条件は回転数を 8000 回転/min (切削速度 200m/min)、送り速度を 2000mm/min (1刃送り量 0.06mm) とし、軸方向切り込みを 8mm とした。評価は 1m 切削毎に 400mm/min 送り速度を上げていき途中折損したところを記録した。加工後に問題なければ○を記し、折損または各送り速度で 1m 切削後に欠損又はチップングが生じていれば×を示し送り速度 3200mm/min 以上のものは良好とした。結果を表 D4 に示す。

[0381] [表D4]

試料番号		各刃の分割	送り速度(mm/min)				評価
			2000	2400	2800	3200	
D本発明例	32	等分割	○	○	○	○	良好
D従来例	8	等分割	○	○	○	×	欠損
	9	不等分割	○	○	×		折損

[0382] 結果として、D従来例9の不等分割品は、溝切削にて送りを上げて加工すると切り屑が大きくなっていき小さい刃溝であれば切り屑詰まりを生じ、刃欠けや欠損となる。D本発明例32は送り速度が3200mm/minまで問題なく加工できたのに対し、D従来例8は振動が大きく送り速度が3200mm/min時に欠損が生じた。D従来例9の不等分割品に関しては送り速度が2800mm/min時に折損した。折損後の工具を観察すると、分割角が小さくなる刃溝に切り屑の擦れた溶着が見られ、切り屑詰まりによる折損が確認された。

[0383] (D実施例5)

D実施例5は被加工材として溶着しやすいステンレス鋼SUS304を用い、外周刃形状の異なる波形状外周刃とニック付き外周刃の比較を行った。上記の各種の実施例から分かるように、位相からのずれ量は2%程度が波形状外周刃でもニック付き形状外周刃でも望ましい切削結果が得られた。よって、D本発明例33としてD実施例1で用いたD本発明例2と同仕様、D本発明例34としてD実施例2で用いたD本発明例14と同仕様のもを使用し、切削を行った。

[0384] 切削条件は回転数を5000回転/min（切削速度125m/min）、送り速度を1200mm/min（1刃送り量0.06mm）とし、軸方向切り込みを4mm・径方向切り込みを1mmとして、寿命テストを行った。評価として、5m毎に外周刃を観察し、30mまで切削を行い欠損及びチッピングの無いものを良好として、その時の摩耗幅を測定した。その結果を

表 D 5 に示す。

[0385] [表D5]

試料番号	外周刃形状	ずれ量(mm)			ずれ量 (%)	切削長	摩耗幅	評価
		第2波形状 (ニック付き) 外周刃	第3波形状 (ニック付き) 外周刃	第4波形状 (ニック付き) 外周刃				
D本発明例	33	波形状外周刃	0.02	0	0.02	2%	30m	0.14mm 良好
	34	ニック付き外周刃	0.02	0	0.02	2%	30m	0.13mm 良好

[0386] 結果として、D本発明例 3 3 及び 3 4 は 3 0 m 切削しても正常摩耗であり、ステンレス鋼などの溶着しやすい被加工材でも加工ができることが実証できた。しかしながら、D本発明例 3 3 の波形状外周刃は 0. 1 4 mm で、D本発明例 3 4 のニック付き外周刃は 0. 1 3 mm と僅かに D本発明例 3 3 と比較して摩耗幅が小さい結果となったため、ステンレス鋼などの溶着しやすい被加工材はニック付き外周刃が優位の結果となった。

[0387] 本発明の波形状外周刃を有する硬質皮膜被覆エンドミルとニック付き外周刃を有する硬質皮膜被覆エンドミルは、構造用鋼、構造用合金鋼、冷間ダイス鋼、熱間ダイス鋼などの溶着しにくい被加工材の加工では波形状外周刃が望ましく、ステンレス鋼、チタン合金、超耐熱合金などの溶着しやすい被加工材の加工ではニック付き外周刃が望ましいといえる。

[0388] (E 実施例 1)

E 実施例 1 では、本発明例と従来の方法でポケット形状の彫り込み加工を行い加工時間（段取り時間を含む）の比較を行った。本発明の切削加工方法に用いた工具は A 本発明例 1 と同仕様のものを用いた。従来例の切削加工方法に用いた工具は刃長が 2 5 mm とし、その他の仕様は C 従来例 1 と同仕様のものを用いた。

[0389] 加工形状は C 実施例 1 と同様であり、本発明の超硬合金製エンドミルによる本発明の加工方法と従来例の加工方法で、炭素鋼を被加工材として幅 5 0 mm、長さ 5 0 mm、深さ 2 4 mm の凹形状のポケット切削加工の結果を比較

した。本発明例での切削加工は、C実施例1と同様に、傾斜切削で深さ8mmまで切削し、次に横送りで繰り広げて幅50mm、長さ50mmとなる切削を3回繰り返し、深さ24mmまで加工し、従来の方法はドリルを用いて中心部に深さ24mmまで穴をあけ、その後エンドミルで繰り広げる方法と比較した。

[0390] 本発明例のエンドミルによる本発明の加工方法は、横送り切削および傾斜切削の2種の切削を連続して行う切削加工方法である。切削条件は6000回転/min（切削速度150m/min）、送り速度を1920mm/min（1刃送り量0.08mm）とし、軸方向切り込みを8mm、径方向切り込みを4mm、傾斜切削時の送り速度は1200mm/minとし、傾斜角は20°とした。

従来方法ではエンドミルでの傾斜切削は大きくても傾斜角度が5°程度であるため、加工時間が掛かってしまう。したがって、従来方法ではドリルで下穴の加工を行い、エンドミルを用いて繰り広げて加工を行う。従来方法のエンドミルの切削条件は4000回転/min（切削速度100m/min）、送り速度を1280mm/min（1刃送り量0.08mm）とし、軸方向切り込みを8mm、径方向切り込みを1mmとした。

[0391] 評価方法は本発明例と従来方法において、ポケット形状の彫り込み加工を行うための各工程にかかった時間を計測し、その合計時間が10分以下となる方法を良好とした。評価結果を表E1に示す。

[0392] [表E1]

	ドリル		工具交換	エンドミル		合計時間
	段取り	加工		段取り	加工	
本発明例	-	-	-	5分	2分	7分
従来方法	5分	3分	1分	5分	6分	20分

[0393] 結果として、本発明例である切削加工方法は、1本の工具で傾斜角が20°となる高能率な傾斜切削と高能率な横送り切削が可能のため、合計時間は

10分以下である7分で完了し、従来方法の約1/3の短時間で加工することが出来た。

これに対し、従来のエンドミルは傾斜切削が可能な傾斜角が大きくても5°程度であるため、従来方法ではドリルで穴あけを行ってからエンドミルにて繰り広げ加工を行う方法を用いた。しかし従来のエンドミルは切削条件を高く設定することが出来ないため、ドリルでの段取り及び加工時間や、従来のエンドミルの加工時間から発生する時間のロスが蓄積し、合計時間は20分となった。

産業上の利用可能性

[0394] 本発明の新しい形状を特徴とする超硬合金製エンドミル及びそれを用いた切削加工方法によれば、金型加工や部品加工などの加工分野において、被削対象材として構造用鋼、構造用合金鋼、冷間ダイス鋼、熱間ダイス鋼、ステンレス鋼、チタン合金及び超耐熱合金のエンドミルの荒加工で現状よりも1.5倍程度以上の高能率加工が達成できる。

さらにこの分野では、HRC40程度以上の調質鋼や焼入鋼について、縦切削加工、横切削加工、及び傾斜切削加工を含む複雑な形状の加工を一本のエンドミルで高能率荒で行いたいというニーズが急速に高まっているので、本発明はこのような市場のニーズに応じられる超硬合金製エンドミルを初めて提供できるものである。

符号の説明

- [0395]
- 1 外周刃
 - 2 工具先端側
 - 3 工具シャンク側
 - 4 波ピッチ
 - 5 波高さ
 - 6 山部
 - 7 谷部
 - 8 ニックのピッチ

9 ニックの深さ

1 0 基準形状外周刃

1 1 第2波形状外周刃

1 2 第3波形状外周刃

1 3 第4波形状外周刃

1 4 位相

1 5 ずれ量

1 6 刃溝

1 7 第2ニック付き外周刃

1 8 第3ニック付き外周刃

1 9 第4ニック付き外周刃

2 0 外周刃とニックの交点

3 1 硬質皮膜

3 4 ニック

3 5 工具先端側の丸み

3 6 工具シャンク側の丸み

3 7 ニック溝の底部

3 8 ニック溝の底端

3 9 ニック溝

4 0 直線

4 1 凸状の曲線

4 2 凹円弧形状の曲線

4 3 エッジ部分

5 1 第1ギャッシュ面

5 2 第2ギャッシュ面

5 3 第3ギャッシュ面

5 4 第1ギャッシュ面と第2ギャッシュ面の交差部

5 5 第1ギャッシュ角

- 5 6 第 1 ギヤッシュ面と第 3 ギヤッシュ面の交差部
- 5 7 第 2 ギヤッシュ角
- 5 8 つなぎ部の長さ
- 5 9 切れ刃部
- 6 0 工具保持部
- 6 1 硬質皮膜の最上層
- 6 2 硬質皮膜の最下層
- 6 3 硬質皮膜の最下層と同じ組成を有する皮膜
- 6 4 硬質皮膜の最上層と同じ組成を有する皮膜
- 6 5 中間層
- 6 6 母材
- D 工具径
- R 1 工具先端側の丸み半径
- R 2 工具シャンク側の丸み半径
- R 3 凹部の半径 R
- θ 工具外周刃のねじれ角

請求の範囲

- [請求項1] 工具の外周刃の径方向に山部と谷部を繰り返す複数の波形状の外周刃、および、工具の外周刃の径方向に切り屑を分断させる複数のニックを有する複数の外周刃より選ばれるいずれかの外周刃を有するエンドミルにおいて、ある外周刃を基準形状外周刃としたときに、その他の少なくとも一刃の外周刃の位相の工具軸方向へのずれ量が、前記外周刃の波またはニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ前記基準形状外周刃のそれぞれの位相から前記ピッチの0%を含まない5%以下の幅で工具軸方向にずれていることを特徴とする超硬合金製エンドミル。
- [請求項2] 前記ずれ量が、前記外周刃の波またはニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ前記基準形状外周刃のそれぞれの位相から前記ピッチの1%乃至3%の幅で工具軸方向にずれていることを特徴とする請求項1に記載の超硬合金製エンドミル。
- [請求項3] 3枚以上の前記外周刃を有し、隣接する各外周刃のうち少なくとも1組の前記外周刃は、前記外周刃の波またはニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ前記基準形状外周刃のそれぞれの位相からのずれ量が無く、その他の組の前記外周刃は互いに位相からのずれ量が不均等であることを特徴とする請求項1に記載の超硬合金製エンドミル。
- [請求項4] 前記外周刃は複数のニックを有し、前記ニックと前記外周刃をエンドミルのねじれ角と平行の切断面で見たときに、それぞれの前記ニックの両端は丸みによって滑らかに前記ニックに隣接する外周刃と連なり、それぞれの前記ニックの工具先端側の丸み半径が前記ニックの工具シャンク側の丸み半径より小さいことを特徴とする請求項1に記載の超硬合金製エンドミル。
- [請求項5] 前記ニックの溝の底端が工具シャンク側の丸みと直線若しくはニック溝に向かって凸状の曲線で繋がるか、又は前記直線と前記ニック溝

に向かって凸状の曲線との組合せで繋がっていることを特徴とする請求項4に記載の超硬合金製エンドミル。

[請求項6] ニック付き超硬合金製エンドミルの工具直径をDとしたときに、ニックの工具先端側の丸み半径が $0.01D \sim 0.03D$ 、ニックの工具シャンク側の丸み半径はニックの工具先端側の丸み半径の $1.5 \sim 2$ 倍で、ニックの深さが $0.01D \sim 0.05D$ であることを特徴とする請求項4に記載の超硬合金製エンドミル。

[請求項7] 前記超硬合金製エンドミルは、複数の前記外周刃と、底刃と、複数のギャッシュ面からなるギャッシュとを有し、前記複数のギャッシュ面は、底刃のすくい面である第1ギャッシュ面、エンドミルの工具軸の回転中心側に設けられた第2ギャッシュ面、及びエンドミルの外周側に設けられた第3ギャッシュ面を有し、前記第1ギャッシュ面と第2ギャッシュ面の交差部と工具軸線に直交する平面とのなす角度を第1ギャッシュ角、前記第1ギャッシュ面と第3ギャッシュ面の交差部と工具軸線に直交する平面とのなす角度を第2ギャッシュ角としたとき、第1ギャッシュ角は $15^\circ \sim 35^\circ$ 、第2ギャッシュ角は $40^\circ \sim 60^\circ$ に設けられ、第2ギャッシュ面と第3ギャッシュ面のつなぎ部の長さは、工具回転軸から工具径の5%以上20%未満であることを特徴とする請求項1から請求項6のいずれかに記載の超硬合金製エンドミル。

[請求項8] 被削対象材として、構造用鋼、構造用合金鋼、冷間ダイス鋼、熱間ダイス鋼、ステンレス鋼、チタン合金及び超耐熱合金を切削する工具であることを特徴とする請求項1から請求項6のいずれかに記載の超硬合金製エンドミル。

[請求項9] 前記波形状外周刃には硬質皮膜が被覆されていることを特徴とする請求項1から請求項6のいずれかに記載の超硬合金製エンドミル。

[請求項10] 前記硬質皮膜は、外周刃表面側に接する硬質皮膜の最下層と硬質皮膜の最上層からなるか、実質的に前記最下層の組成と前記最上層の組

成の繰り返しで積層された複合層からなるか、または、前記最下層と最上層の間に少なくとも一層以上の中間層を含む複合層であり、前記最上層は前記最下層と比較して相対的に耐酸化性と耐摩耗性が大きいことを特徴とする請求項 9 に記載の超硬合金製エンドミル。

[請求項11] 前記硬質皮膜の最下層の組成が金属元素として Ti と Al を主成分とし含有し、前記金属元素の窒化物、炭窒化物、酸窒化物、酸炭窒化物の何れかであり、硬質皮膜の最上層の組成が、金属元素として Ti と Si を主成分として含有し、前記金属元素の窒化物、炭窒化物、酸窒化物、酸炭窒化物の何れかから成ることを特徴とする請求項 10 に記載の超硬合金製エンドミル。

[請求項12] 前記硬質皮膜の最下層の組成は金属元素が Al、Cr、Ti、Si から選択される 1 種以上の窒化物であり、中間層は Al、Cr、Ti、Si から選択される 1 種以上の金属元素と N、B、C、O から選択される 1 種以上の元素との化合物であり、硬質皮膜の最上層は金属元素が Ti、Si から選択される 1 種以上の金属元素と N、S、C、B から選択される 1 種以上の元素との化合物からなることを特徴とする請求項 10 に記載の超硬合金製エンドミル。

[請求項13] 前記硬質皮膜の窒素系 Ti-Al 化合物を $(\text{Ti}_x\text{Al}_{1-x}\text{N})$ で表わすときに、最下層の硬質皮膜も最上層の硬質皮膜も $(\text{Ti}_x\text{Al}_{1-x}\text{N})$ の組成から成り、Ti と Al の割合は、最下層の硬質皮膜はチタンリッチの $0.5 < x \leq 1$ であり、最上層の硬質皮膜はアルミニウムリッチの $0 \leq x < 0.5$ である多層硬質皮膜であることを特徴とする請求項 10 に記載の超硬合金製エンドミル。

[請求項14] 前記超硬合金製エンドミルは、被削対象材として、構造用鋼、構造用合金鋼、冷間ダイス鋼、熱間ダイス鋼、ステンレス鋼、チタン合金及び超耐熱合金を切削する工具であり、複数の前記外周刃と、底刃と、複数のギャッシュ面からなるギャッシュとを有し、前記複数のギャッシュ面は、底刃のすくい面である第 1 ギャッシュ面、エンドミルの

工具軸の回転中心側に設けられた第2ギャッシュ面、及びエンドミルの外周側に設けられた第3ギャッシュ面を有し、前記第1ギャッシュ面と第2ギャッシュ面の交差部と工具軸線に直交する平面とのなす角度を第1ギャッシュ角、前記第1ギャッシュ面と第3ギャッシュ面の交差部と工具軸線に直交する平面とのなす角度を第2ギャッシュ角としたとき、第1ギャッシュ角は $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 、第2ギャッシュ角は $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ に設けられ、第2ギャッシュ面と第3ギャッシュ面のつなぎ部の長さは、工具回転軸から工具径の5%以上20%未満であることを特徴とする請求項1から請求項6のいずれかに記載の超硬合金製エンドミル。

[請求項15]

前記超硬合金製エンドミルは、複数の前記外周刃と、底刃と、複数のギャッシュ面からなるギャッシュとを有し、前記複数のギャッシュ面は、底刃のすくい面である第1ギャッシュ面、エンドミルの工具軸の回転中心側に設けられた第2ギャッシュ面、及びエンドミルの外周側に設けられた第3ギャッシュ面を有し、前記第1ギャッシュ面と第2ギャッシュ面の交差部と工具軸線に直交する平面とのなす角度を第1ギャッシュ角、前記第1ギャッシュ面と第3ギャッシュ面の交差部と工具軸線に直交する平面とのなす角度を第2ギャッシュ角としたとき、第1ギャッシュ角は $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 、第2ギャッシュ角は $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ に設けられ、第2ギャッシュ面と第3ギャッシュ面のつなぎ部の長さは、工具回転軸から工具径の5%以上20%未満であり、前記波形状外周刃には硬質皮膜が被覆されていることを特徴とする請求項1から請求項6のいずれかに記載の超硬合金製エンドミル。

[請求項16]

前記硬質皮膜は、外周刃表面側に接する硬質皮膜の最下層と硬質皮膜の最上層からなるか、実質的に前記最下層の組成と前記最上層の組成の繰り返しで積層された複合層からなるか、または、前記最下層と最上層の間に少なくとも一層以上の中間層を含む複合層でなり、前記最上層は前記最下層と比較して相対的に耐酸化性と耐摩耗性が大きい

ことを特徴とする請求項 15 に記載の超硬合金製エンドミル。

[請求項17] 前記硬質皮膜の最下層の組成が金属元素として Ti と Al を主成分とし含有し、前記金属元素の窒化物、炭窒化物、酸窒化物、酸炭窒化物の何れかであり、硬質皮膜の最上層の組成が、金属元素として Ti と Si を主成分として含有し、前記金属元素の窒化物、炭窒化物、酸窒化物、酸炭窒化物の何れかから成ることを特徴とする請求項 16 に記載の超硬合金製エンドミル。

[請求項18] 前記硬質皮膜の最下層の組成は金属元素が Al、Cr、Ti、Si から選択される 1 種以上の窒化物であり、中間層は Al、Cr、Ti、Si から選択される 1 種以上の金属元素と N、B、C、O から選択される 1 種以上の元素との化合物であり、硬質皮膜の最上層は金属元素が Ti、Si から選択される 1 種以上の金属元素と N、S、C、B から選択される 1 種以上の元素との化合物からなることを特徴とする請求項 16 に記載の超硬合金製エンドミル。

[請求項19] 前記硬質皮膜の窒素系 Ti Al 化合物を $(Ti_x Al_{1-x} N)$ で表わすときに、最下層の硬質皮膜も最上層の硬質皮膜も $(Ti_x Al_{1-x} N)$ の組成から成り、Ti と Al の割合は、最下層の硬質皮膜はチタンリッチの $0.5 < x \leq 1$ であり、最上層の硬質皮膜はアルミニウムリッチの $0 \leq x < 0.5$ である多層硬質皮膜であることを特徴とする請求項 16 に記載の超硬合金製エンドミル。

[請求項20] 工具保持部と、超硬合金製からなる切れ刃部が自在に着脱可能であることを特徴とする請求項 15 に記載の超硬合金製エンドミル。

[請求項21] 工具保持部と、超硬合金製からなる切れ刃部が自在に着脱可能であることを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれかに記載の超硬合金製エンドミル。

[請求項22] 工具の外周刃の径方向に山部と谷部を繰り返す複数の波形状の外周刃、および、工具の外周刃の径方向に切り屑を分断させる複数のニックを有する複数の外周刃より選ばれるいずれかの外周刃を有するエン

ドミルにおいて、複数の前記外周刃と、底刃と、複数のギャッシュ面からなるギャッシュとを有し、前記複数のギャッシュ面は、底刃のすくい面である第1ギャッシュ面、エンドミルの工具軸の回転中心側に設けられた第2ギャッシュ面、及びエンドミルの外周側に設けられた第3ギャッシュ面を有し、前記第1ギャッシュ面と第2ギャッシュ面の交差部と工具軸線に直交する平面とのなす角度を第1ギャッシュ角、前記第1ギャッシュ面と第3ギャッシュ面の交差部と工具軸線に直交する平面とのなす角度を第2ギャッシュ角としたとき、第1ギャッシュ角は $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 、第2ギャッシュ角は $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ に設けられ、第2ギャッシュ面と第3ギャッシュ面のつなぎ部の長さは、工具回転軸から工具径の5%以上20%未満であることを特徴とする超硬合金製エンドミル。

[請求項23]

工具の外周刃の径方向に山部と谷部を繰り返す複数の波形状の外周刃、および、工具の外周刃の径方向に切り屑を分断させる複数のニックを有する複数の外周刃より選ばれるいずれかの外周刃と、底刃と、複数のギャッシュ面からなるギャッシュと、を有し、前記外周刃には硬質皮膜が被覆されており、

前記複数のギャッシュ面は、底刃のすくい面である第1ギャッシュ面、エンドミルの工具軸の回転中心側に設けられた第2ギャッシュ面、及びエンドミルの外周側に設けられた第3ギャッシュ面を有し、前記第1ギャッシュ面と第2ギャッシュ面の交差部と工具軸線に直交する平面とのなす角度を第1ギャッシュ角、前記第1ギャッシュ面と第3ギャッシュ面の交差部と工具軸線に直交する平面とのなす角度を第2ギャッシュ角としたとき、第1ギャッシュ角は $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 、第2ギャッシュ角は $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ に設けられ、第2ギャッシュ面と第3ギャッシュ面のつなぎ部の長さは、工具回転軸から工具径の5%以上20%未満であり、

前記外周刃は、ある外周刃を基準形状外周刃としたときに、その他

の少なくとも一刃の外周刃の位相の工具軸方向へのずれ量が、波またはニックのピッチを刃数で割った値で等間隔に並んだ前記基準形状外周刃のそれぞれの位相から前記ピッチの0%を含まない5%以下の幅で工具軸方向にずれて設けられた超硬合金製エンドミルを用い、

縦送り切削、横送り切削および傾斜切削から選ばれる少なくとも2種以上の切削を連続して行うことを特徴とする切削加工方法。