

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5614511号
(P5614511)

(45) 発行日 平成26年10月29日 (2014. 10. 29)

(24) 登録日 平成26年9月19日 (2014. 9. 19)

(51) Int. Cl.	F 1
B 2 3 C 5/10 (2006. 01)	B 2 3 C 5/10 C
B 2 3 C 5/20 (2006. 01)	B 2 3 C 5/20

請求項の数 20 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2014-506654 (P2014-506654)	(73) 特許権者	000233066
(86) (22) 出願日	平成25年9月19日 (2013. 9. 19)		日立ツール株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2013/075286		東京都港区芝浦一丁目2番1号
(87) 国際公開番号	W02014/057783	(74) 代理人	100080012
(87) 国際公開日	平成26年4月17日 (2014. 4. 17)		弁理士 高石 橋馬
審査請求日	平成26年2月10日 (2014. 2. 10)	(72) 発明者	木内 康博
(31) 優先権主張番号	特願2012-224872 (P2012-224872)		千葉県成田市新泉13番地の2 日立ツ
(32) 優先日	平成24年10月10日 (2012. 10. 10)		ル株式会社成田工場内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	長島 由光
(31) 優先権主張番号	特願2012-264058 (P2012-264058)		千葉県成田市新泉13番地の2 日立ツ
(32) 優先日	平成24年12月3日 (2012. 12. 3)		ル株式会社成田工場内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	小林 由幸
早期審査対象出願			千葉県成田市新泉13番地の2 日立ツ
			ル株式会社成田工場内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ボールエンドミル及びインサート

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

エンドミル本体の先端部に、正面視でS字状に湾曲して最先端から最外周点まで延びる円弧状切れ刃と、前記円弧状切れ刃になめらかに連結するねじれ形状を有する外周切れ刃と、前記円弧状切れ刃の回転方向前方の凸曲面状すくい面とを有するボールエンドミルであって、

前記円弧状切れ刃の放射方向すくい角が $\beta < \alpha \leq \gamma$ (ただし、 α は放射角度が 5° における放射方向すくい角であり、 β は放射角度が 90° における放射方向すくい角であり、 γ は前記円弧状切れ刃の回転方向最凸点における放射方向すくい角である。) の条件を満たし、

前記円弧状切れ刃の放射方向すくい角の最大値が前記最先端から前記回転方向最凸点の間で、 $15 \sim 40^\circ$ の放射角度の範囲内にあり、かつ

前記放射方向すくい角が前記最大値から前記回転方向最凸点を経て前記最外周点まで徐々に減少するなめらかな曲線に沿って変化することを特徴とするボールエンドミル。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のボールエンドミルにおいて、前記放射方向すくい角 γ が正角であることを特徴とするボールエンドミル。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載のボールエンドミルにおいて、前記放射方向すくい角 β が 0° 以上

の正角であることを特徴とするボールエンドミル。

【請求項 4】

請求項 1～3 のいずれかに記載のボールエンドミルにおいて、前記放射方向すくい角 α と前記放射方向すくい角 β との差が $2 \sim 6^\circ$ であり、前記放射方向すくい角 γ と前記放射方向すくい角 α との差が $0 \sim 2^\circ$ であり、前記放射方向すくい角 γ と前記放射方向すくい角 β との差が $2 \sim 6^\circ$ であり、前記放射方向すくい角の最大値と前記放射方向すくい角 γ との差が $0.1 \sim 1.0^\circ$ であることを特徴とするボールエンドミル。

【請求項 5】

請求項 1～4 のいずれかに記載のボールエンドミルにおいて、前記円弧状切れ刃の放射方向すくい角の最大値が $15 \sim 30^\circ$ の放射角度の範囲内にあることを特徴とするボールエンドミル。

10

【請求項 6】

請求項 1～5 のいずれかに記載のボールエンドミルにおいて、前記放射角度が $30 \sim 47^\circ$ となる位置に前記円弧状切れ刃の回転方向最凸点があることを特徴とするボールエンドミル。

【請求項 7】

請求項 1～6 のいずれかに記載のボールエンドミルにおいて、前記円弧状切れ刃の放射方向すくい角が $\theta_1 < \theta_2$ (ただし、 θ_1 は前記回転方向最凸点から前記最外周点までの範囲内における放射方向すくい角であり、 θ_2 は前記回転方向最凸点から前記最先端までの範囲内における放射方向すくい角である。) の関係を満たすことを特徴とするボールエンドミル。

20

【請求項 8】

請求項 1～7 のいずれかに記載のボールエンドミルにおいて、前記円弧状切れ刃上の軸方向すくい角が、前記最先端から前記回転方向最凸点までの範囲内では負であり、前記回転方向最凸点を過ぎて前記最外周点までの範囲内では正であることを特徴とするボールエンドミル。

【請求項 9】

正面視で S 字状に湾曲して最先端から最外周点まで延びる円弧状切れ刃と、前記円弧状切れ刃になめらかに連結するねじれ形状を有する外周切れ刃と、前記円弧状切れ刃の回転方向前方の凸曲面状すくい面とを有するインサートであって、

30

前記円弧状切れ刃の放射方向すくい角が $\beta < \alpha \leq \gamma$ (ただし、 α は放射角度が 5° における放射方向すくい角であり、 β は放射角度が 90° における放射方向すくい角であり、 γ は前記円弧状切れ刃の回転方向最凸点における放射方向すくい角である。) の条件を満たし、

前記円弧状切れ刃の放射方向すくい角の最大値が前記最先端から前記回転方向最凸点の間で、 $15 \sim 40^\circ$ の放射角度の範囲内にあり、かつ

前記放射方向すくい角が前記最大値から前記回転方向最凸点を経て前記最外周点まで徐々に減少するなめらかな曲線に沿って変化することを特徴とするインサート。

【請求項 10】

40

請求項 9 に記載のインサートにおいて、前記放射方向すくい角 γ が正角であることを特徴とするインサート。

【請求項 11】

請求項 9 又は 10 に記載のインサートにおいて、前記放射方向すくい角 β が 0° 以上の正角であることを特徴とするインサート。

【請求項 12】

請求項 9～11 のいずれかに記載のインサートにおいて、前記放射方向すくい角 α と前記放射方向すくい角 β との差が $2 \sim 6^\circ$ であり、前記放射方向すくい角 γ と前記放射方向すくい角 α との差が $0 \sim 2^\circ$ であり、前記放射方向すくい角 γ と前記放射方向すくい角 β との差が $2 \sim 6^\circ$ であり、前記放射方向すくい角の最大値と前記放射方向すくい角 γ との差

50

が $0.1 \sim 1.0^\circ$ であることを特徴とするインサート。

【請求項13】

請求項9～12のいずれかに記載のインサートにおいて、前記円弧状切れ刃の放射方向すくい角の最大値が $15 \sim 30^\circ$ の放射角度の範囲内にあることを特徴とするインサート。

【請求項14】

請求項9～13のいずれかに記載のインサートにおいて、前記放射角度が $30 \sim 47^\circ$ となる位置に前記円弧状切れ刃の回転方向最凸点があることを特徴とするインサート。

【請求項15】

請求項9～14のいずれかに記載のインサートにおいて、前記円弧状切れ刃の放射方向すくい角が $\theta_1 < \theta_2$ （ただし、 θ_1 は前記回転方向最凸点から前記最外周点までの範囲内における放射方向すくい角であり、 θ_2 は前記回転方向最凸点から前記最先端までの範囲内における放射方向すくい角である。）の関係を満たすことを特徴とするインサート。

10

【請求項16】

請求項9～15のいずれかに記載のインサートにおいて、前記円弧状切れ刃上の軸方向すくい角が、前記最先端から前記回転方向最凸点までの範囲内では負であり、前記回転方向最凸点を超えて前記最外周点までの範囲内では正であることを特徴とするインサート。

【請求項17】

請求項9～16のいずれかに記載のインサートにおいて、前記インサートの平板部の厚さ T （mm）に対して前記最外周点 S における前記インサートの厚さ T_S （mm）が $0.4T \leq T_S < 0.5T$ の条件を満たすことを特徴とするインサート。

20

【請求項18】

請求項9～17のいずれかに記載のインサートにおいて、前記外周切れ刃の後端点 R と前記回転方向最凸点 Q とを結ぶ線分と前記回転軸線との交差角 δ_1 が $15 \sim 30^\circ$ であり、かつ前記最外周点 S と前記後端点 R とを結ぶ線分と前記回転軸線との交差角 δ_2 より小さいことを特徴とするインサート。

【請求項19】

請求項9～18のいずれかに記載のインサートにおいて、前記外周切れ刃の長さが $0.2T \sim 0.5T$ 〔ただし、 T は前記インサートの平板部の厚さ（mm）である。〕の条件を満たすことを特徴とするインサート。

【請求項20】

30

請求項9～19のいずれかに記載のインサートが、エンドミル本体の半球状先端部に設けられたスリットに固定されていることを特徴とする刃先交換式ボールエンドミル。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被削材の三次元仕上げ加工に好適な一体的又は刃先交換式のボールエンドミル、及び刃先交換式ボールエンドミルに装着するインサートに関する。

【背景技術】

【0002】

金型等の被削材に平面及び曲面を含む三次元加工を行うために従来からボールエンドミルが使用されている。ボールエンドミルを用いた被削材の三次元仕上げ加工で良好な加工面粗さとするために、ビビリ振動の発生を抑制するとともに、切屑の排出性を向上させて、切れ刃にチッピングや欠損が発生しないようにする必要がある。このためには、ボールエンドミルの円弧状切れ刃のすくい角が重要である。そのため、従来から円弧状切れ刃のすくい角に関する種々の提案がされている。

40

【0003】

特開平10-80815号は、すくい角を、外周切れ刃近傍では切れ刃強度を強化するために $-2^\circ \sim -20^\circ$ に設定し、軸心近傍では切屑排出性を良くするために $0^\circ \sim +10^\circ$ に設定した、金型等の三次元曲面加工に適するボールエンドミルを開示している。具体的には、最先端近傍のすくい角を $+3^\circ$ にし、外周切れ刃近傍のすくい角を -10° にした例を記載してい

50

る。しかし、この切れ刃の最突出位置におけるすくい角が負であるので、被削材の高精度の仕上げ切削加工における切削性に劣るという問題がある。

【0004】

特開2008-110437号は、ボール刃及び外周刃を有し、ボール刃の法線方向すくい角が $R10^\circ$ で $-5^\circ \sim -15^\circ$ 、 $R50^\circ \sim R70^\circ$ の範囲で $-5^\circ \sim +3^\circ$ でかつピークを有し、 $R90^\circ$ で $-10^\circ \sim 0^\circ$ であり、もってボール刃全体のチップングを抑制して長寿命としたCBNボールエンドミルを提案している。ボール刃の法線方向すくい角の具体例は、 $R10^\circ$ で -10° 、 $R60^\circ$ で 0° でピークであり、かつ $R90^\circ$ で -5° であり、 $R10^\circ$ から $R60^\circ$ にかけて漸次プラス方向に変化し、 $R60^\circ$ から $R90^\circ$ にかけて漸次マイナス方向に変化する。しかし、このボールエンドミルは、法線方向すくい角が $R50^\circ \sim R70^\circ$ の範囲でピークであり、かつ $R90^\circ$ より $R10^\circ$ の方が法線方向すくい角が負側に大きいので、被削材の高精度の仕上げ切削加工における切削性に劣るという問題がある。

10

【0005】

特開平8-118133号は、木材、非鉄金属等の比較的柔らかい被削材を平滑かつ高精度に切削加工するボールエンドミルとして、曲線状切削刃を有し、切削刃のすくい角が先端部（底刃部）で $10 \sim 30^\circ$ で、外周部で $20 \sim 40^\circ$ であり、かつコーナ部が底刃部のすくい角及び外周部のすくい角から連続的に変化する中間のすくい角を有するボールエンドミルを提案している。すくい角の一例は、先端部が 10° で、外周部が 20° であり、別の例は先端部が 20° で、外周部が 30° である。このように、このボールエンドミルの切削刃のすくい角は、(a) 外周部の方が先端部より大きく、かつ(b) コーナ部のすくい角が先端部及び外周部のすくい角の中間であるので、金型等の硬度が高い（ロックウェル硬さ：40 HRC以上）被削材に仕上げ加工をするボールエンドミルとして使用できない。

20

【0006】

特開2004-181563号は、ボール刃の中心刃がすくい面同士で形成されており、ボール刃の逃げ角が中心刃の逃げ角より小さく、ボール刃の法線方向すくい角が中心から外周方向に漸次正側に大きくなり、もって強度及び切屑排出性が向上したボールエンドミルを提案している。例えば、ボール刃の中心刃の法線方向すくい角は -45° であり、中心から外周方向に -10° まで漸次正側に大きくなる。しかし、このボールエンドミルは、中心刃の法線方向すくい角が大きな負角であるので、被削材の高精度の仕上げ切削加工における切削性に劣るという問題がある。

30

【0007】

実公昭62-12503号は、先端視でS字状のボール刃を有するボールエンドミルであって、ボール刃の法線方向すくい角を回転軸心で負とし、それより外周側のすくい角を徐々に正で増大させたボールエンドミルを提案している。しかし、このボールエンドミルは、切屑排出性及び切れ刃強度の向上のために、ボール刃のすくい角が回転軸心から外周側に徐々に正で増大しているので、被削材の高精度の仕上げ切削加工における切削性に劣るという問題がある。

【0008】

特開2004-291096号は、ねじれた円弧状切れ刃を有するスローアウェイチップであって、回転軸線に直交する位置でのチップ本体の厚さが $0.5 D \sim 0.9 D$ [Dはチップ本体の平板部の厚さ (mm) である。] の範囲内であり、回転方向最凸点における放射角度が $40 \sim 70^\circ$ に設定されたスローアウェイチップを提案している。しかし、特開2004-291096号は、スローアウェイチップのすくい角の放射角度に応じた変化を全く開示していない。その上、このスローアウェイチップは、円弧状切れ刃の後端に連結するねじれ形状を有する外周切れ刃を有さない。従って、立ち壁面を有する被削材を良好な表面粗さで三次元仕上げ加工するのに適さない。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

従って、本発明の第一の目的は、立ち壁面を有する被削材を良好な表面粗さで三次元仕

50

上げ加工できる一体的又は刃先交換式のボールエンドミル、及び刃先交換式ボールエンドミルに装着するインサートを提供することである。

【0010】

本発明の第二の目的は、切屑が切れ刃と被削材との間隙に噛み込むのを防止した一体的又は刃先交換式のボールエンドミル、及び刃先交換式ボールエンドミルに装着するインサートを提供することである。

【0011】

本発明の第三の目的は、切削抵抗及びその振幅の低減させて振動を抑えた一体的又は刃先交換式のボールエンドミル、及び刃先交換式ボールエンドミルに装着するインサートを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明のボールエンドミルは、エンドミル本体の先端部に、正面視でS字状に湾曲して最先端から最外周点まで延びる円弧状切れ刃と、前記円弧状切れ刃になめらかに連結するねじれ形状を有する外周切れ刃と、前記円弧状切れ刃の回転方向前方の凸曲面状すくい面とを有し、

前記円弧状切れ刃の放射方向すくい角が $\beta < \alpha \leq \gamma$ （ただし、 α は放射角度が 5° における放射方向すくい角であり、 β は放射角度が 90° における放射方向すくい角であり、 γ は前記円弧状切れ刃の回転方向最凸点における放射方向すくい角である。）の条件を満たし、

前記円弧状切れ刃の放射方向すくい角の最大値が $15 \sim 40^\circ$ の放射角度の範囲内にあり、かつ

前記放射方向すくい角が前記回転方向最凸点から前記最外周点にかけて連続的に減少することを特徴とする。

【0013】

本発明のインサートは、正面視でS字状に湾曲して最先端から最外周点まで延びる円弧状切れ刃と、前記円弧状切れ刃になめらかに連結するねじれ形状を有する外周切れ刃と、前記円弧状切れ刃の回転方向前方の凸曲面状すくい面とを有し、

前記円弧状切れ刃の放射方向すくい角が $\beta < \alpha \leq \gamma$ （ただし、 α は放射角度が 5° における放射方向すくい角であり、 β は放射角度が 90° における放射方向すくい角であり、 γ は前記円弧状切れ刃の回転方向最凸点における放射方向すくい角である。）の条件を満たし、

前記円弧状切れ刃の放射方向すくい角の最大値が $15 \sim 40^\circ$ の放射角度の範囲内にあり、かつ

前記放射方向すくい角が前記回転方向最凸点から前記最外周点にかけて連続的に減少することを特徴とするインサート。

【0014】

前記放射方向すくい角 γ は正角であるのが好ましい。

【0015】

前記放射方向すくい角 β は 0° 以上の正角であるのが好ましい。

【0016】

前記放射方向すくい角 α と前記放射方向すくい角 β との差は $2 \sim 6^\circ$ であるのが好ましい。

【0017】

前記放射方向すくい角 γ と前記放射方向すくい角 α との差は $0 \sim 2^\circ$ であるのが好ましい。

【0018】

前記放射方向すくい角 γ と前記放射方向すくい角 β との差は $2 \sim 6^\circ$ であるのが好ましい

10

20

30

40

50

。

【0019】

前記放射方向すくい角の最大値と前記放射方向すくい角 γ との差は $0.1 \sim 1.0^\circ$ であるのが好ましい。

【0020】

前記放射方向すくい角 α 、 β 及び γ はそれぞれ $2^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ$ 、 $0^\circ \leq \beta \leq 6^\circ$ 、及び $3^\circ \leq \gamma \leq 14^\circ$ の条件を満たすのが好ましい。

【0021】

前記放射角度は $30 \sim 47^\circ$ となる位置に前記円弧状切れ刃の回転方向最凸点があるのが好ましい。

10

【0022】

前記円弧状切れ刃の放射方向すくい角は、 $\theta 1 < \theta 2$ （ただし、 $\theta 1$ は前記回転方向最凸点から前記最外周点までの範囲内における放射方向すくい角であり、 $\theta 2$ は前記回転方向最凸点から前記最先端までの範囲内における放射方向すくい角である。）の関係を満たすのが好ましい。

【0023】

前記円弧状切れ刃上の軸方向すくい角は、前記最先端から前記回転方向最凸点までの範囲内では負であり、前記回転方向最凸点を超えて前記最外周点までの範囲内では正であるのが好ましい。

【0024】

前記インサートの平板部の厚さ T (mm) に対して、前記最外周点 S における前記インサートの厚さ T_s (mm) は $0.4 T \leq T_s < 0.5 T$ の条件を満たすのが好ましい。

20

【0025】

前記外周切れ刃の後端点 R と前記回転方向最凸点 Q とを結ぶ線分と前記回転軸線との交差角 $\delta 1$ は $15 \sim 30^\circ$ であり、かつ前記最外周点 S と前記後端点 R とを結ぶ線分と前記回転軸線との交差角 $\delta 2$ より小さいのが好ましい。

【0026】

前記外周切れ刃の長さは $0.2 T \sim 0.5 T$ [ただし、 T は前記インサートの平板部の厚さ (mm) である。] の条件を満たすのが好ましい。

【0027】

本発明の刃先交換式ボールエンドミルは、上記インサートがエンドミル本体の半球状先端部に設けられたスリットに固定されていることを特徴とする。

30

【発明の効果】

【0028】

本発明の一体的又は刃先交換式のボールエンドミル及びインサートは、円弧状切れ刃の放射方向すくい角 α 、 β 及び γ が $\beta < \alpha \leq \gamma$ の条件を満たすので、円弧状切れ刃の全領域にわたって切削抵抗が小さく、切屑排出性が良好である。そのため、ビビリ振動の発生が抑制され、被削材の三次元仕上げ加工に好適である。

【0029】

円弧状切れ刃の軸方向すくい角を最先端 P から回転方向最凸点 Q までは負とし、回転方向最凸点 Q では 0° とし、回転方向最凸点 Q から最外周点 S までは正とすると、円弧状切れ刃が回転方向最凸点 Q で被削材と最初に接触し、その後切れ刃の回転により、被削材との接触領域が最先端 P 及び最外周点 S の両方へ広がるので、切削抵抗の低減される。

40

【0030】

円弧状切れ刃の放射方向すくい角を最先端 P から回転方向最凸点 Q にかけて連続的に増加させることにより、軸方向すくい角が負であっても、切削抵抗を低減化できる。

【0031】

円弧状切れ刃の軸方向すくい角を最外周点 S 近傍で正 ($+20^\circ$ 程度) とすると、切屑は円弧状切れ刃の回転軌跡の接線と垂直な方向へ放出される。このように良好な切屑排出性により切屑詰りが抑制され、被削材の傾斜面の仕上げ面粗さが良好になる。

50

【0032】

回転軌跡の接線方向外方で、加工面の斜め上方に切屑を排出するので、切屑が切れ刃と被削材との間隙に噛み込む不具合を回避である。

第二の効果は、切れ刃の耐欠損性、耐チップング性の向上を図り、切れ刃の劣化を回避して、長寿命化を図ることができる。

第三の効果は、切削抵抗が低減されるだけでなく、その振幅の低減によりビビリ振動が抑えられ、被削材表面の加工面粗さを向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】本発明の一実施形態による刃先交換式ボールエンドミルを示す斜視図である。

10

【図2】図1の刃先交換式ボールエンドミルにおいて、インサートを装着していない状態の先端部を示す正面図である。

【図3】図1の刃先交換式ボールエンドミルにおいて、インサートを装着していない状態の先端部を示す側面図である。

【図4】図1の刃先交換式ボールエンドミルにおいて、インサートを装着していない状態の先端部を図3と直交する方向から示す側面図である。

【図5】本発明の一実施形態によるインサートを示す斜視図である。

【図6(a)】図5のインサートを示す平面図である。

【図6(b)】図5のインサートを示す正面図である。

【図6(c)】図5のインサートを示す側面図である。

20

【図7】本発明のインサートの円弧状切れ刃について、放射方向すくい角と放射角度との関係を示す概略図である。

【図8】本発明の一実施形態によるインサートにおいて、放射方向すくい角と放射角度との関係を示すグラフである。

【図9】本発明のインサートの円弧状切れ刃について、軸方向すくい角と放射角度との関係を示す側面図である。

【図10】本発明の一実施形態によるインサートにおいて、軸方向すくい角と放射角度との関係を示すグラフである。

【図11】本発明の一実施形態によるインサートを示す側面図である。

【図12】図1の刃先交換式ボールエンドミルを示す正面図である。

30

【図13】図1の刃先交換式ボールエンドミルの先端部を示す側面図である。

【図14】図1の刃先交換式ボールエンドミルの先端部を図13と直交する方向から示す側面図である。

【図15】実施例及び比較例のインサートを装着した刃先交換式ボールエンドミルを用いて切削加工した被削材の傾斜壁面を示す顕微鏡写真である。

【図16】実施例1のインサートを装着した刃先交換式ボールエンドミルを用いて切削加工したときの切削抵抗の動的变化を示すグラフである。

【図17】比較例1のインサートを装着した刃先交換式ボールエンドミルを用いて切削加工したときの切削抵抗の動的变化を示すグラフである。

【図18】比較例2のインサートを装着した刃先交換式ボールエンドミルを用いて切削加工したときの切削抵抗の動的变化を示すグラフである。

40

【図19】実施例1のインサートを装着した刃先交換式ボールエンドミルを用いて切削加工したときの切屑を示す写真である。

【図20】比較例1のインサートを装着した刃先交換式ボールエンドミルを用いて切削加工したときの切屑を示す写真である。

【図21】比較例2のインサートを装着した刃先交換式ボールエンドミルを用いて切削加工したときの切屑を示す写真である。

【発明を実施するための形態】

【0034】

本発明の実施形態を添付図面を参照して以下詳細に説明するが、勿論本発明はそれらに

50

限定されることはなく、本発明の技術的思想の範囲内で種々の変更及び追加をすることができる。また、各実施形態に関する説明は、特に断りがなければ他の実施形態にも適用できる。

【0035】

一体的なボールエンドミルは、エンドミル本体と切れ刃を有するインサートとが一体化したもので、形状自体は刃先交換式ボールエンドミルと異ならない。従って、刃先交換式ボールエンドミル及びインサートに関する以下の説明は、そのまま一体的なボールエンドミルにも適用される。

【0036】

[1] 刃先交換式ボールエンドミル

図1～図4は本発明の一実施形態による刃先交換式ボールエンドミル1を示し、図5はその刃先交換式ボールエンドミル1に装着するインサートを示す。図1に示すように、刃先交換式ボールエンドミル1は、回転軸線Lを中心として回転するエンドミル本体2と、エンドミル本体2の後端に一体的に連結するシャンク部3と、エンドミル本体2の先端にテーパ部7を介して一体的に連結する半球状先端部4とを具備する。図2及び図3に示すように、半球状先端部4は、インサート5を受容するように回転軸線Lと直交する方向（半径方向）に延在するスリット8と、インサート5を固定するために半球状先端部4をスリット8と直交する方向に貫通するネジ穴10（その中心線は回転軸線Lと交差する）とを具備する。ネジ穴10にはインサート5を着脱自在に固定するクランプネジ6が螺合する。エンドミル本体2、シャンク部3及び半球状先端部4は、例えばSKD61等の合金工具鋼からなる。

【0037】

図3に示すように、スリット8は、回転軸線Lを中心として平行に延在する2つの内面8a、8bと、底面8cとを有する。半球状先端部4はスリット8により半径方向に分割され、一对の先端半体部4a、4bを構成する。

【0038】

[2] インサート

図5及び図6に示すように、インサート5は、一对の平行かつ平坦な側面51a1、51a2を有する厚さTの平板状で、一对の側面51a1、51a2を連結する円弧面を有する半円状部51と、半円状部51の後端部に一体的に連結する三角形状部52とからなる。

【0039】

半円状部51は、一对の側面51a1、51a2を連結する端面を形成する第一の逃げ面51b1、51b2及び第二の逃げ面51c1、51c2と、凸曲面状のすくい面51e1、51e2と、第一の逃げ面51b1、51b2とすくい面51e1、51e2との稜線に沿って形成された円弧状切れ刃51d1、51d2と、各円弧状切れ刃51d1、51d2に点Sでなめらかに（変曲点なく）連なる一对のねじれ形状を有する外周切れ刃51k1、51k2と、円弧状切れ刃51d1、51d2の円弧中心点Oに位置する中心を有するクランプネジ6を挿通させるための貫通穴51pとを有する。円弧中心点Oは貫通穴51pの中心線の中点（インサート5の厚さ方向の中点）に位置する。点Sは円弧中心点Oを通り回転軸線L1と直交する直線Mが切れ刃と交差する点であり、各円弧状切れ刃51d1、51d2の最外周点である。すなわち、各円弧状切れ刃51d1、51d2の外径は点Sで最大である。また、円弧状切れ刃51d1、51d2が交差する点はインサート5の中心軸線（回転軸線）L1と交差する最先端Pである。回転軸線L1は、インサート5の最先端P及び円弧中心点Oを通る。インサート5をエンドミル本体2のスリット8に装着すると、インサート5の回転軸線L1はエンドミル本体2の回転軸線Lと一致し、インサート5の最先端Pはエンドミル本体2の回転軸線L上に位置する。

【0040】

三角形状部52は、一对の平行かつ平坦な三角形状側面52a1、52a2と、三角形状側面52a1、52a2を連結する傾斜底面52b1、52b2とを有し、傾斜底面52b1、52b2はスリット8の底面8cと密着する。

【0041】

図5及び図6に示すように、各円弧状切れ刃51d1、51d2は刃先交換式ボールエンドミル1

10

20

30

40

50

の回転方向Rの前方方向に凸状で、かつ正面から見ると最先端Pを中心としてほぼS字状である。図6(b)に示すように、円弧状切れ刃51d1, 51d2が回転方向Rに最も凸な位置は点Qにある。従って、点Qを「回転方向最凸点」と呼ぶ。なお、図6(a)に示すKは円弧中心点Oと回転方向最凸点Qとを結ぶ直線である。

【0042】

ねじれ形状を有する外周切れ刃51k1, 51k2は、図6(a)の平面図では回転軸線L1と平行な直線状であり、図9の側面図では回転軸線L1に対して傾斜している。従って、スリット8に装着したインサート5が回転すると、一对の外周切れ刃51k1, 51k2の回転軌跡は円筒状である。ねじれ形状を有する外周切れ刃51k1, 51k2は、特に被削材の隅部加工の際に、立ち壁面を良好な面粗さで仕上げ加工するように機能する。これに対して一对の外周切れ刃が半径方向に円弧状であると、切削抵抗の低減化には有効であるが、加工面に切削による段部が残り、面粗さが低下する。

10

【0043】

また、外周切れ刃51k1, 51k2が円筒面上に位置する〔図6(a)では直線状である〕ので、インサート5の切れ刃に繰り返し再研磨することができる。これに対して、外周切れ刃が半径方向に円弧状であると、再研磨により切れ刃の外径が減少するため、再研磨できない。

【0044】

(A) 円弧状切れ刃のすくい角の条件

円弧状切れ刃51d1, 51d2のすくい角には、放射方向すくい角と軸方向すくい角がある。「放射方向すくい角」は、円弧中心点Oから円弧状切れ刃51d1, 51d2に向かって放射状に延びる直線（放射直線）に対するすくい面51e1, 51e2の角度であり、「法線方向すくい角」と呼ぶこともある。また「軸方向すくい角」は、図9に示すインサート5の側面において、円弧状切れ刃51d1, 51d2の接線が回転軸線L1となす角度である。

20

【0045】

(1) 放射方向すくい角

正の放射方向すくい角では、図7に示すように、すくい面51e1は、円弧中心点Oと円弧状切れ刃51d1とを結ぶ直線より回転方向R後方に位置する（回転方向R前方に傾斜している）。負の放射方向すくい角では、その逆である。

【0046】

図7は、一方の切れ刃51d1について、円弧状切れ刃51d1の最先端Pから後端点Sまでの間で回転軸線L1からそれぞれ5°、15°、30°、45°、60°、75°及び90°の放射角度だけずれた位置におけるすくい角の例を示す。例えば、5°の放射角度の位置P5°におけるすくい角は、円弧中心点Oと円弧状切れ刃51d1の点P5°を結ぶ直線に対する、位置P5°におけるすくい面51e1の傾斜角である。図7に示す例では、5°、15°、30°、45°、60°、75°及び90°の放射角度における放射方向すくい角はそれぞれ+7.0°、+7.5°、+7.5°、+7.0°、+6.0°、+4.5°及び+3.0°である。

30

【0047】

図8は、図7に示す放射方向すくい角と放射角度との関係を曲線F₁で示す。本発明では、図8から明らかなように、最先端P近傍（放射角度=5°）の放射方向すくい角αは、放射角度が90°の最外周点Sにおける放射方向すくい角βより大きく、かつ回転方向最凸点Qにおける放射方向すくい角γは最先端P近傍の放射方向すくい角αと同じか、それより大きい。ここで、放射角度は放射直線が回転軸線L1となす角度である。また、最先端Pではすくい面がほとんどないので、本発明では最先端Pの近傍として最先端Pから放射角度が5°の位置における放射方向すくい角αを用いる。上記関係は下記式により表される。

40

$$\beta < \alpha \leq \gamma$$

【0048】

$\beta < \alpha$ とする理由は、円弧状切れ刃51d1の最先端P近傍での切削抵抗を小さくして被削材への食付き性を良好にするとともに、円弧状切れ刃51d1の最外周点Sでは切屑の厚さが増大するために十分な切れ刃強度を確保するためである。また、回転方向最凸点Qにお

50

る放射方向すくい角 γ を最先端P近傍のすくい角 α 以上にする理由は、被削材と最初に接触する回転方向最凸点Qの円弧状切れ刃の切削抵抗を小さくして、被削材への食付き性を良好にするためである。

【0049】

回転方向最凸点Qにおける放射角度は $30\sim 47^\circ$ の範囲内にあるのが好ましい。回転方向最凸点Qにおける放射角度が 47° 以下であると、円弧状切れ刃51d1の最先端Pから回転方向最凸点Qまでの範囲で、軸方向すくい角（アキシャルレーキ）が負となる領域が短くなり、切屑の薄片化による切削抵抗の低減化に有効である。また、回転方向最凸点Qから点Rまでの範囲でアキシャルレーキが正となる領域を長くでき、切屑排出性の向上に有効である。すなわち、工具回転軌跡の接線の外方で被削材加工面の斜め上方に切屑を排出し（切れ刃からの切屑離れを良好にし）、切屑が切れ刃と被削材との間隙に噛み込む不具合を回避できる。

10

【0050】

回転方向最凸点Qにおける放射角度が 47° を超えると、回転方向最凸点Qが最先端Pから離れすぎ、回転方向最凸点Qにおいて円弧状切れ刃が被削材との衝突で受ける衝撃が増大するだけでなく、切屑も厚くなり、切屑の排出性が低下する。一方、回転方向最凸点Qにおける放射角度が 30° 未満であると、最先端Pから回転方向最凸点Qまでを結ぶ軸方向すくい角における負の値の絶対値が大きくなり、切削抵抗が増大すると同時に、切れ刃の回転中心近傍からの切屑排出性が劣化する。回転方向最凸点Qにおける放射角度は $35\sim 40^\circ$ の範囲内にあるのがより好ましい。

20

【0051】

放射方向すくい角 α と放射方向すくい角 β との差は $2\sim 6^\circ$ であるのが好ましい。また、放射方向すくい角 γ と放射方向すくい角 α との差は $0\sim 2^\circ$ であるのが好ましい。さらに、放射方向すくい角 γ と放射方向すくい角 β との差は $2\sim 6^\circ$ であるのが好ましい。さらに、放射方向すくい角の最大値と放射方向すくい角 γ との差は $0.1\sim 1.0^\circ$ であるのが好ましい。上記関係を満たすと、放射方向すくい角は、最先端P近傍から最大値まで比較的大きく増大し、最大値から回転方向最凸点Qを経て最外周点Sまで徐々に減少するなめらかな曲線に沿って変化することになる。

【0052】

放射方向すくい角 α 、 β 及び γ のうち、少なくとも放射方向すくい角 γ は正角であるのが好ましい。他の放射方向すくい角 α 及び β は負角でも良い。球状黒鉛鋳鉄のように切削性の良い被削材の仕上げ加工に用いる場合、切削抵抗が小さくビビリ振動も小さいので、被削材への食付き性を良好にするために放射方向すくい角 α 、 β 及び γ は全て正角とするのが好ましい。具体的には、 $2^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ$ 、 $0^\circ \leq \beta \leq 6^\circ$ 、及び $3^\circ \leq \gamma \leq 14^\circ$ の条件を満たすのが好ましい。放射方向すくい角を正角にすると切れ刃の耐欠損性が低下するが、仕上げ加工では切込み量が小さいので、耐欠損性の問題はない。

30

【0053】

$2^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ$ により、最先端P近傍（放射角度 $=5^\circ$ ）での切削抵抗が小さく、被削材への食付き性を良好に保ちつつ、十分な切れ刃強度を確保できる。これに対して、 $\alpha < 2^\circ$ にすると、最先端P近傍での切削抵抗が大きく、被削材への食付き性が劣る。また、切屑排出性の低下によりボールエンドミルの先端部に切屑が詰まり、切屑の溶着や加工面の劣化等の問題が起こるおそれがある。また $\alpha > 10^\circ$ にすると、最先端P近傍での円弧状切れ刃の強度が不十分になる。

40

【0054】

$0^\circ \leq \beta \leq 6^\circ$ により、最外周点Sでの十分な切れ刃強度を確保しつつ、切削抵抗を小さくして良好な加工面性状が得られる。これに対して、 $\beta < 0^\circ$ にすると、最外周点Sでの切削抵抗が大きくなり、ビビリ振動が発生して加工面性状が低下する。また $\beta > 6^\circ$ にすると、最外周点Sでの円弧状切れ刃の強度が不十分になる。

【0055】

$3^\circ \leq \gamma \leq 14^\circ$ により、切れ刃が被削材と最初に接触する回転方向最凸点Qにおける切削

50

抵抗が小さくなり、被削材への食付き良くなる。これに対して、 $\gamma < 3^\circ$ にすると、回転方向最凸点Qにおける切削抵抗が大きくなり、被削材への食付き性が低下する。また $\gamma > 14^\circ$ にすると、回転方向最凸点Qにおける切れ刃強度が不十分になる。

【0056】

しかし、高硬度の被削材の切削加工の場合には切削抵抗が大きいので、切れ刃強度を高めるために放射方向すくい角 β 、放射方向すくい角 α 及び放射方向すくい角 γ の順に負角にするのが好ましい。この場合、被削材への食付き性を良好にするために、放射方向すくい角 γ は負角のときでも 0° に近いのが好ましい。切削抵抗が比較的大きい高硬度の被削材を切削する場合、放射方向すくい角 α 、 β 及び γ は、 $\beta < \alpha \leq \gamma$ の関係を満たしつつ、 $-6^\circ \leq \alpha \leq -0.5^\circ$ 、 $-10^\circ \leq \beta \leq -2^\circ$ 、及び $-6^\circ \leq \gamma \leq -0.5^\circ$ の条件を満たすのが好ましい。

10

【0057】

放射方向すくい角 α 、 β 及び γ を負角にすることにより、円弧状切れ刃全体が強化され、ロックウェル硬さが45 HRC以上の高硬度被削材の切削加工における切れ刃の耐欠損性が改善される。放射方向すくい角を負角にすると切れ刃の切削抵抗が大きくなり、かつ切屑排出性が低下するが、高硬度被削材の仕上げ加工では切込み量が荒加工及び中仕上げ加工より小さいので、切削抵抗の増大幅が小さく、切屑排出性も問題はない。

【0058】

$-6^\circ \leq \alpha \leq -0.5^\circ$ の条件を満たすことにより、最先端P及びその近傍での切削抵抗を過大にせず、かつ高硬度被削材への食付き性を良好に保ちつつ、高硬度被削材の仕上げ加工に必要な切れ刃強度を確保できる。これに対して、 $\alpha > -0.5^\circ$ の場合、最先端Pでの切れ刃強度不十分であるので、切れ刃の欠損等が起こる。また $\alpha < -6^\circ$ の場合、最先端P及びその近傍での円弧状切れ刃の切削抵抗が過大になり、切れ刃の磨滅、切屑の溶着、被削材の加工面性状の悪化等の不都合が生じる。

20

【0059】

$-10^\circ \leq \beta \leq -2^\circ$ の条件を満たすことにより、最外周点Sで高硬度被削材の仕上げ加工に必要な切れ刃強度を確保できる。これに対して、 $\beta > -2^\circ$ の場合、最外周点Sでの切れ刃強度が不十分である。また $\beta < -10^\circ$ の場合、最外周点Sでの切削抵抗が過大であり、ビビリ振動の発生や発熱が顕著になるので、被削材の加工面性状が劣化する。

【0060】

$-6^\circ \leq \gamma \leq -0.5^\circ$ の条件を満たすことにより、切れ刃が被削材に最初に接触する回転方向最凸点Qで高硬度被削材の仕上げ加工に必要な切れ刃強度を確保でき、工具軸心方向にかかる背分力を適正に制御して、特に高硬度材の仕上げ切削加工時に工具姿勢を安定化できる。これに対して、 $\gamma > -0.5^\circ$ の場合、回転方向最凸点Qで高硬度被削材の仕上げ加工に必要な切れ刃強度を確保できない。また $\gamma < -6^\circ$ の場合、回転方向最凸点Qでの切削抵抗が過大であり、高硬度被削材への食付き性が不十分である。

30

【0061】

円弧状切れ刃の放射方向すくい角は、円弧状切れ刃の最先端P近傍（放射角度 $= 5^\circ$ ）から回転方向最凸点Qの間で最大であり、回転方向最凸点Qから最外周点Sにかけて連続的に減少する。具体的には、円弧状切れ刃の放射方向すくい角の最大値は放射角度が 15~ 40° の間にあり、好ましくは $15 \sim 30^\circ$ の間にある。この構成により、被削材への食付き性と切れ刃強度とに良いバランスが得られる。

40

【0062】

円弧状切れ刃は回転方向最凸点Qで被削材と最初に接触し、その後切れ刃の回転により、被削材との接触領域は最先端P側及び最外周点S側の両方に広がる。このため、先端P近傍（放射角度 $= 5^\circ$ ）から回転方向最凸点Qの間で放射方向すくい角を最大にすると、軸方向すくい角が負でも切削抵抗の低減できる。回転方向最凸点Qから最外周点Sにかけて放射方向すくい角を連続的に減少させると、切れ刃の強度を十分に確保できるとおもに、切削抵抗を低減できる。

50

【0063】

円弧状切れ刃が回転方向R前方に最も凸な点（回転方向最凸点）Qの位置は、放射角度が $30\sim 47^\circ$ の範囲内にあるのが好ましい。これにより、正面視でS字状をなす円弧状切れ刃の軸方向すくい角が正の領域を広くでき（負の領域を狭くでき）、切削抵抗が高くても円弧状切れ刃の十分な強度を確保できる。また、軸方向すくい角が正となる領域が広くなると、円弧状切れ刃の強度を十分に確保しつつ切屑の排出を良好にできる。

【0064】

円弧状切れ刃の放射方向すくい角は $\theta 1 < \theta 2$ [ただし、 $\theta 1$ は回転方向最凸点Qから最外周点Sまでの範囲内における放射方向すくい角であり、 $\theta 2$ は回転方向最凸点Qから最先端P近傍（放射角度 $=5^\circ$ ）までの範囲内における放射方向すくい角である。] の関係を満たすのが好ましい。図10に示すように、放射方向すくい角 $\theta 1$ を有する範囲（回転方向最凸点Qから最外周点Sまでの範囲）は軸方向すくい角が正の範囲に相当し、放射方向すくい角 $\theta 2$ を有する範囲（回転方向最凸点Qから最先端P近傍までの範囲）は軸方向すくい角が負の範囲に相当する。 $\theta 1 < \theta 2$ の条件を満たすことにより、(a) 軸方向すくい角が負の領域で切削抵抗を小さくし、切屑が薄い場合の切れ味を確保するだけでなく、(b) 切屑が厚い最外周点S近傍での円弧状切れ刃の強度を十分に確保することができる。

【0065】

(2) 軸方向すくい角

本発明のインサートでは、軸方向すくい角も放射角度に応じて変化する。一方の切れ刃51d1について図9に示す例では、 15° 、 30° 、 45° 、 60° 及び 75° の放射角度における軸方向すくい角はそれぞれ -48.409° 、 -18.257° 、 0° 、 $+12.069^\circ$ 及び 19.38° である。

【0066】

円弧状切れ刃上の軸方向すくい角は、最先端Pから回転方向最凸点Q直前までの範囲内では負であり、回転方向最凸点Qでは0であり、回転方向最凸点Qを超えて最外周点Sまでの範囲内では正であるのが好ましい。最先端Pから回転方向最凸点Qまでの範囲では、負の軸方向すくい角は漸次正方向に増加し、回転方向最凸点Qを超えて最外周点Sまでの範囲は、正の軸方向すくい角は漸次増加する。図10に示すように、最先端P近傍における軸方向すくい角は $-70^\circ \sim -80^\circ$ 程度が好ましく、最外周点Sにおける軸方向すくい角は $+20^\circ$ 程度が好ましい。

【0067】

最外周点Sの軸方向すくい角を $+20^\circ$ 程度とすることにより、切屑は工具回転軌跡の接線と垂直な方向へ放出され、切屑排出性が良好となる。これに対して、最外周点S近傍における軸方向すくい角が $+20^\circ$ より小さいと切屑排出性が低下し、 $+20^\circ$ より大きいと切れ刃が薄くなりすぎて、剛性を確保できない。

【0068】

最先端P近傍の軸方向すくい角を $-70^\circ \sim -80^\circ$ 程度とすることにより、被削材の切削加工時の応力は回転軸線L方向のエンドミル本体2側に作用するので、切屑の排出を困難にすることなく、エンドミル本体2のたわみを低減することができる。

【0069】

円弧状切れ刃の放射方向すくい角及び軸方向すくい角は非接触式三次元デジタイザ等を用いて測定する。また、放射方向すくい角及び軸方向すくい角に関する上記説明はいずれの円弧状切れ刃51d1、51d2にも当てはまる。

【0070】

(B) その他の条件

図11に示すように、円弧状切れ刃51d1の回転方向最凸点Qと外周切れ刃51k1の後端点Rとを結ぶ線分Nが回転軸線L1と交差する角度 $\delta 1$ は、円弧状切れ刃51d1の最外周点Sと外周切れ刃51k1の後端点Rとを結ぶ線分Hが回転軸線L1と平行な直線L2と交差する角度 $\delta 2$ より小さいのが好ましい。すなわち、 $\delta 1 < \delta 2$ であるのが好ましい。これにより、円弧状切れ刃51d1と被削材との接触時の衝撃を緩和し、切れ刃の耐欠損性及び耐チッピング性を高めることができる。逆に、 $\delta 1 \geq \delta 2$ であると、円弧状切れ刃51d1と被削材との接触時の衝撃が

大きくなり、円弧状切れ刃51d1の耐欠損性及び耐チップング性が低下する。

【0071】

線分Nの傾斜角 $\delta 1$ は $15 \sim 30^\circ$ の条件を満たすのが好ましい。これにより、切削加工時の切屑を工具外方でかつ被削材加工面の斜め上方に排出し（インサート切れ刃からの良好な切屑離れを確保し）、切屑が切れ刃と被削材との間隙入り込むのを回避できるだけでなく、切削抵抗及びその振幅の低減できる。すなわち、切れ刃の良好な切削排出性により切削抵抗を低減させるとともに、切削抵抗の振幅の低減化により工具の振動を抑え、被削材加工面の面粗さを向上させることができる。

【0072】

線分Nの傾斜角 $\delta 1$ が 15° 未満では、切屑の排出方向が工具の回転軌跡の接線方向とほぼ重なり、工具が切屑を追いかけるように進行するため、切屑が切れ刃と被削材との間隙に噛み込んでしまう不具合を生じる。この不具合は、特に等高線加工における隅部加工時に現れる。一方、線分Nの傾斜角 $\delta 1$ が 30° を超えると、ねじれ形状を有する外周切れ刃を十分に長くできないだけでなく、外周切れ刃の肉厚が薄くなり、切れ刃の強度が低下する。さらに、切削抵抗の振幅が大きくなって切削時にビビリ振動が発生し、被削材の面粗さが劣化する。 $\delta 1$ は $20 \sim 30^\circ$ がより好ましい。

【0073】

切れ刃の再研磨回数を多くするために、外周切れ刃51k1（線分H）の長さF（mm）は $0.2 T \leq F \leq 0.5 T$ の条件を満たすのが好ましい。Fが $0.2 T$ 未満であると、外周切れ刃51k1が短かすぎ、再研磨回数が少ない。一方、Fが $0.5 T$ 超であると、外周切れ刃51k1が必要以上に長すぎ、切削抵抗が急激に上昇し、切削加工時のビビリ振動の発生を誘発する。

【0074】

最外周点Sにおけるインサート5の厚さ T_s （mm）は $0.4 T \leq T_s < 0.5 T$ の条件を満たすのが好ましい。 T_s が $0.4 T$ 未満であると切れ刃の剛性が低すぎる。一方、 T_s が $0.5 T$ 以上であると、切れ刃の切削抵抗及びその振幅が大きすぎ、切削時の工具振動が大きくなるおそれがある。 T_s は $0.45 T \sim 0.49 T$ がより好ましい。

【0075】

このような形状のインサート5は、例えば、炭化タングステン（WC）とコバルト（Co）を含む超硬合金により形成することができる。

【0076】

[3] インサートの製造方法

WC基超硬合金製のインサート5は、例えば次の手順より製造することができる。まず、炭化タングステン粉末とコバルト粉末と、必要に応じて添加物を加えた混合物からなる造粒粉を、粉末成形法等により成形する。成形時にネジ挿通穴も形成する。成形体は $20 \sim 30\%$ の焼結収縮の分だけ大きく製造する。成形体を約 $1300 \sim 1400^\circ\text{C}$ で焼結する。

【0077】

得られた焼結体にNC制御による三次元研磨加工を行い、円弧状切れ刃51d1、51d2、ねじれ形状を有する外周切れ刃51k1、51k2、傾斜底面52b1、52b2を形成する。円弧状切れ刃に放射方向すくい角及び軸方向すくい角を設けるには、薄い円板状のダイヤモンド回転砥石等を用いたNC制御加工を行う。

【0078】

得られたインサート5のネジ挿通穴を除く表面に耐摩耗性及び耐熱性を付与する被膜をPVD法により形成する。被膜は、例えばTi-Al系窒化物、Ti-Si系窒化物、Ti-B系窒化物等からなる。

【0079】

エンドミル本体2にも上記と同じ被膜を形成することにより、刃先交換式ボールエンドミルを長寿命化する。特に切屑との摩擦抵抗を低減するために、エンドミル本体2の表面に耐摩耗性に加えて潤滑性も有するTi-B系窒化物を形成するのが好ましい。

【0080】

[4] 刃先交換式のボールエンドミル

10

20

30

40

50

図12、図13及び図14は、エンドミル本体2のスリット8にインサート5をクランプネジ6で固定した刃先交換式ボールエンドミル1を示す。スリット8にインサート5をクランプネジ6で固定すると、インサート5の両側面51a1, 51a2がスリット8の両内面8a, 8bに密着するとともに、インサート5の傾斜底面52b1, 52b2がスリット8の底面8cと密着するので、インサート5は高精度で位置決めされる。

【0081】

インサート5の最先端Pは回転軸線Lに沿ってスリット8から若干突出し、さらに一对の円弧状切れ刃51d1, 51d2及び一对の外周切れ刃51k1, 51k2からなる切れ刃、及び第一及び第二の逃げ面51b1, 51b2, 51c1, 51c2もスリット8から若干突出する。インサート5の厚さT (mm) は、エンドミルの外径D (mm) に対して、 $0.2 D \sim 0.5 D$ の条件を満たすのが好ましい。これにより、円弧状切れ刃の強度を十分に確保しながら刃溝を十分に深くできる。一对の切れ刃を有する一つのインサート5を装着した刃先交換式ボールエンドミル1は、二枚刃のボールエンドミルに相当する。

【0082】

[5] ソリッド型のボールエンドミル

本発明は刃先交換式ボールエンドミルに限定されず、一体的な（ソリッド型の）ボールエンドミルにも適用できる。ソリッド型のボールエンドミルは、基本的にインサートがエンドミル先端部と一体的である以外、刃先交換式ボールエンドミルと異なることはない。ただし、円弧状切れ刃の放射方向すくい角及び軸方向すくい角について、ソリッド型のボールエンドミルは以下の特徴を具備するのが好ましい。

【0083】

本発明を以下の実施例によりさらに詳細に説明するが、本発明はそれらに限定されるものではない。

【0084】

実施例1

刃先径30 mm、シャンク径32 mm、全長250 mm、及び首下長さ180 mmのシャンクタイプのエンドミル本体の先端部のスリットに装着する超合金製のインサートとして、7.2 mmの厚さTを有し、半径15 mmの円弧状切れ刃及び長さ3.0 mmのねじれ形状を有する外周切れ刃を有し、図5及び図6に示す外形を有する3種類のインサート1～3を作製した。各インサートについて、各放射角度における円弧状切れ刃の放射方向すくい角及び軸方向すくい角を非接触式三次元デジタイザにより測定した。各放射角度における放射方向すくい角及び軸方向すくい角を表1に示す。インサート1～3の最外周点S（放射角度90°）における放射方向すくい角はそれぞれ0°、+3.0°及び+6.0°とした。

【0085】

球状黒鉛鋳鉄（FCD700）の被削材の傾斜角85°の壁面を切削加工するために、エンドミル本体に装着したインサートの円弧状切れ刃の最外周点S近傍の切れ刃を使用するように、マシニングセンタを制御した。

【0086】

【表1-1】

インサート	放射方向すくい角 (°)					
放射角度	5°	30°	45°	60°	85°	90°
1	+4.0	+4.5	+4.0	+3.0	+0.5	0
2	+7.0	+7.5	+7.0	+6.0	+3.5	+3.0
3	+10.0	+10.5	+10.0	+9.0	+6.5	+6.0

【0087】

【表 1 - 2】

インサート	軸方向すくい角 (°)					
放射角度	5°	30°	45°	60°	85°	90°
1	-75.5	-18.3	0	+12.1	+20.0	+22.0
2	-75.5	-18.3	0	+12.1	+20.0	+22.0
3	-75.5	-18.3	0	+12.1	+20.0	+22.0

10

【0088】

被削材の切削条件は下記の通りである。

加工方法： 乾式切削（エアブロー）
 切削速度（Vc）： 754 m／分
 回転数： 8000 rpm
 送り速度（Vf）： 7500 mm／分
 1刃当たりの送り量（fz）： 0.47 mm／tooth
 径方向切込み量ae： 0.15 mm及び0.3 mmの二通り
 ピックフィード（pf）： 0.5 mm
 工具突き出し量（OH）： 180 mm

20

【0089】

径方向切込み量aeが0.15 mm及び0.3 mmの場合における切削加工面の表面粗さRyを図15の光学顕微鏡写真（18倍）に示す。なお、図15は被削材の壁面の加工距離が5 mに達したときの表面粗さRyを示す。

【0090】

図15から明らかなように、一般に自動車外板成形用金型の仕上げ加工面の表面粗さRyの目標は10 μm以下であるが、径方向切込み量aeが0.15 mm及び0.3 mmの切削加工で目標以下の表面粗さRyが達成された。また、径方向切込み量aeが0.15 mmの方が加工面の表面粗さは良好であった。

30

【0091】

放射方向すくい角βを+3.0°に設定したインサート2を装着した刃先交換式ボールエンドミルによる加工面の表面粗さRyは、径方向切込み量aeを0.3 mmとした切削加工では4.3 μm、径方向切込み量aeを0.3 mmとした切削加工では4.4 μmであり、他のインサート1及び3を使用した場合より小さかった。これから、自動車外板成形用金型を想定したFCD700からなる被削材の傾斜壁面の仕上げ切削加工では、放射方向すくい角βを3°程度にするのが好ましいと言える。

【0092】

実施例2

実施例1と同じエンドミル本体に、放射角度が5°、30°、45°、60°、85°及び90°における放射方向すくい角がそれぞれ+1.0°、+1.5°、+1.0°、0°、-2.5°及び-3.0°である以外実施例1と同じインサートを装着し、ロックウェル硬さが60 HRCのSKD11からなる硬質被削材の傾斜角85°の壁面を以下の条件で切削加工した。得られた加工面の表面粗さRyは2～3 μmであり、硬質の被削材でも高い仕上げ精度で切削加工できることが分った。

40

加工方法： 乾式切削（エアブロー）
 切削速度（Vc）： 400 m／分
 回転数： 4244 rpm
 送り速度（Vf）： 2550 mm／分
 1刃当たりの送り量（fz）： 0.3 mm／tooth

50

径方向切込み量 a_e : 0.1 mm
 ピックフィード (pf) : 0.3 mm
 工具突き出し量 (OH) : 120 mm

【0093】

実施例3

実施例1と同じエンドミル本体に、放射角度が 5° 、 30° 、 45° 、 60° 、 85° 及び 90° における放射方向すくい角がそれぞれ -2.5° 、 -2.0° 、 -2.5° 、 -3.5° 、 -6.0° 及び -6.5° である以外実施例1と同じインサートを装着し、ロックウェル硬さが60 HRCのSKD11からなる硬質被削材の傾斜角 85° の壁面を以下の条件で切削加工した。得られた加工面の表面粗さ R_y は $2\sim 3\ \mu\text{m}$ であり、硬質の被削材でも高い仕上げ精度で切削加工できることが分った。

10

加工方法 : 乾式切削 (エアブロー)
 切削速度 (V_c) : 400 m/分
 回転数 : 4244 rpm
 送り速度 (V_f) : 2550 mm/分
 1刃当たりの送り量 (f_z) : 0.3 mm/tooth
 径方向切込み量 a_e : 0.1 mm
 ピックフィード (pf) : 0.3 mm
 工具突き出し量 (OH) : 120 mm

【0094】

20

実施例4、及び比較例1及び2

表2に示すパラメータ以外実施例1と同じ形状の超合金製インサートを製造した。

【表2】

例 No.	半径 ⁽¹⁾ (mm)	$T^{(2)}$ (mm)	逃げ角 ($^\circ$)	$\delta 1$ ($^\circ$)	$\delta 2$ ($^\circ$)	$\kappa^{(3)}$ ($^\circ$)	$\alpha < \gamma$	T_s (mm)	F (mm)
実施例 4	15	7.2	15	20	25	45	○	0.48 T	0.42 T
比較例 1	15	7.2	15	8	18	60	○	0.80 T	0.42 T
比較例 2	15	7.2	15	6	6	90	×	0.98 T	0.42 T

30

注：(1) 円弧状切れ刃の半径。

(2) インサートの厚さ。

(3) 回転方向最凸点Qにおける放射角度。

【0095】

実施例4、及び比較例1及び2の各インサートを、刃先径30 mm、シャンク径32 mm、全長20 mm、及び首下長さ120 mmのシャンクタイプのエンドミル本体の先端部のスリットに装着して、刃先交換式ボールエンドミルを得た。各刃先交換式ボールエンドミルをフライス盤の主軸に装着し、下記切削条件で片削り加工を行い、切削抵抗の動的变化を切削動力計〔キスラー社 (Kistler) 製〕により測定した。切削抵抗及び切屑の形状を表3に示し、切削抵抗の動的变化を、X軸、Y軸及びZ軸方向の切削抵抗の分力として、それぞれ図16～図18に示す。図中Y軸は工具の送り方向であり、X軸はY軸に直交する方向 (回転の接線方向) であり、Z軸は回転軸線方向である。

40

被削材 : S50C (硬さ、220 HB)
 加工方法 : 乾式片削り加工 (エアブロー)
 切削速度 (V_c) : 200 m/分
 回転数 : 2122 rpm
 送り速度 (V_f) : 849 mm/分
 1刃当たりの送り量 (f_z) : 0.2 mm
 径方向切込み量 a_e : 0.5 mm

50

切込み量： 15 mm
 工具突き出し量 (OH)： 180 mm

【0096】

【表3】

例 No.	切削抵抗 (kgf)	切屑の形状
実施例 4	100	大きなねじれ有り
比較例 1	140	小さなねじれ有り
比較例 2	250	ねじれなし

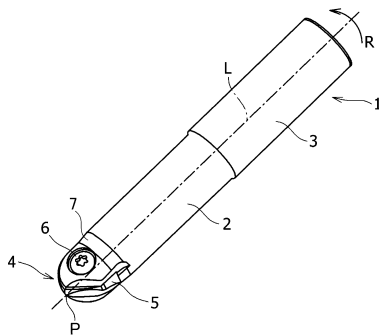
【0097】

切削抵抗の動的变化は、実施例4が比較例1及び2より小さかった。特に、実施例4におけるX軸方向の切削抵抗 (100 kgf) は目標を満足した。実施例4の切削抵抗は比較例2の切削抵抗 (250 kgf) より60%低かった。

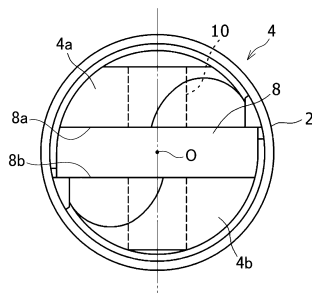
【0098】

図19～図21は、実施例4、及び比較例1及び2の切削加工で排出された切屑を示す。実施例4における切屑は比較例1及び2における切屑よりねじれていた。これは、円弧状切れ刃の軸方向すくい角 (アキシヤルレーキ) が正の領域が広いこと、またねじれ角が大きいことによる。また、切屑形状から切屑生成方向が加工面の斜め上方であることが分る。すなわち、実施例4では切屑が切れ刃と被削材との間隙に噛み込む不具合が防止された。一方、比較例1及び2のインサートでは切屑は切れ刃と被削材との間隙に噛み込んだ。

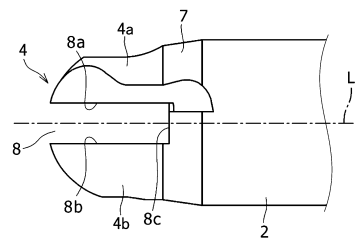
【図1】



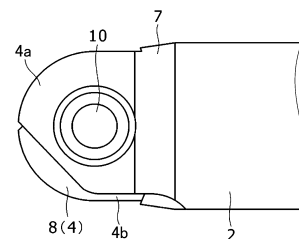
【図2】



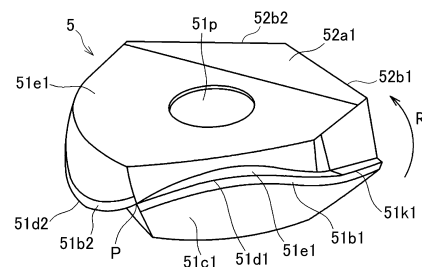
【図3】



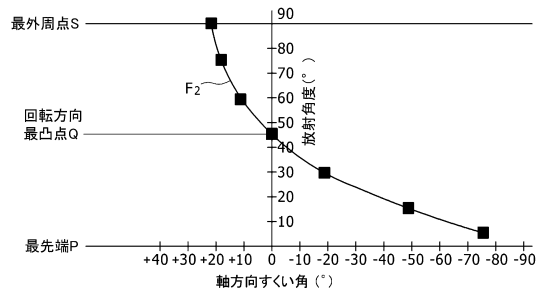
【図4】



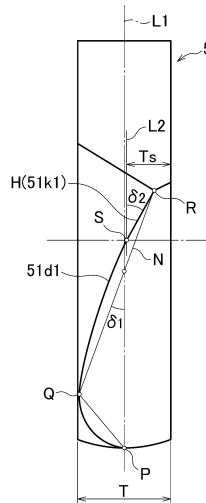
【図5】



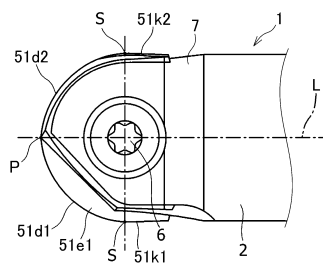
【図 10】



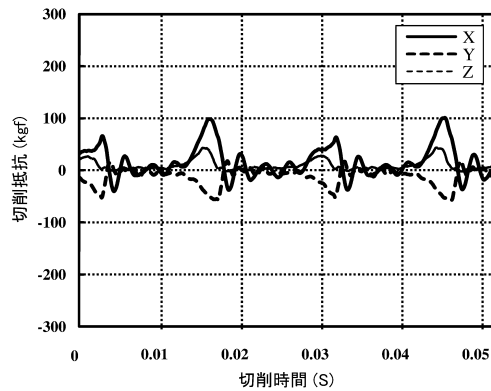
【図 11】



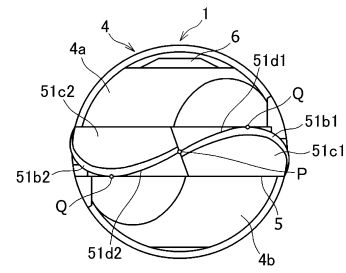
【図 14】



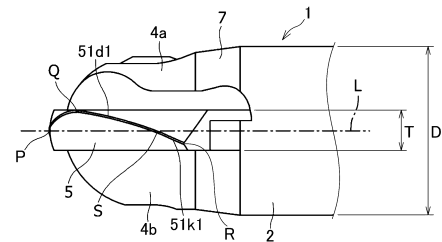
【図 16】



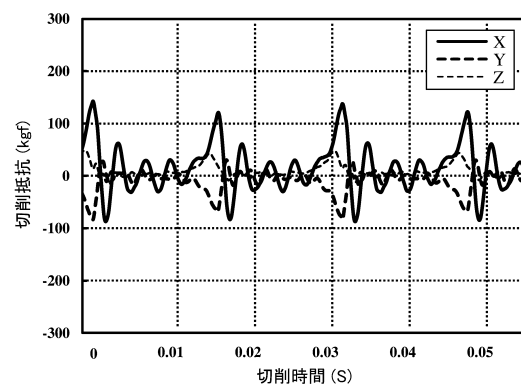
【図 12】



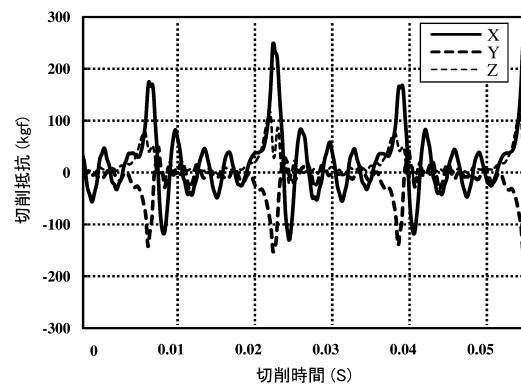
【図 13】



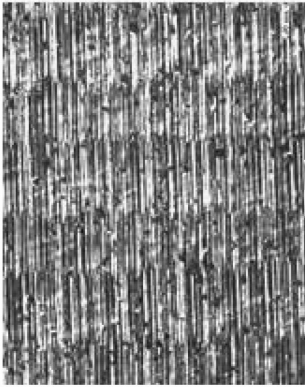
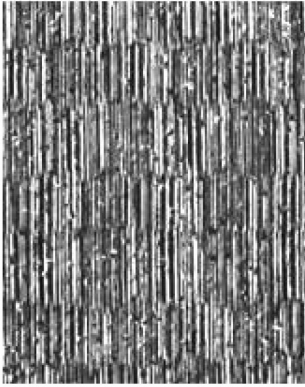
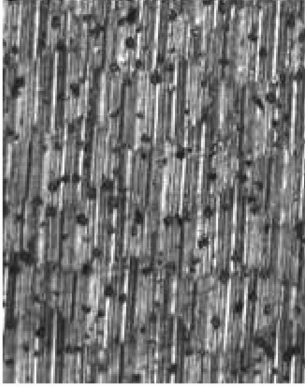
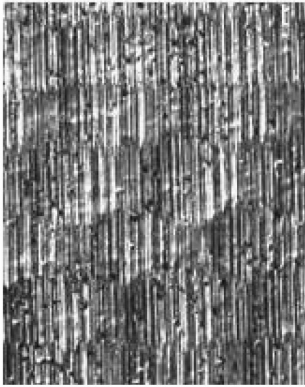
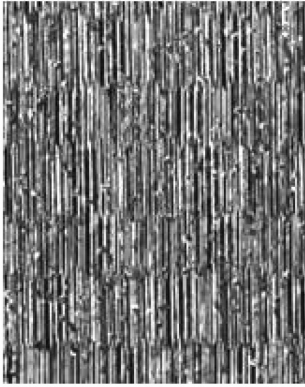
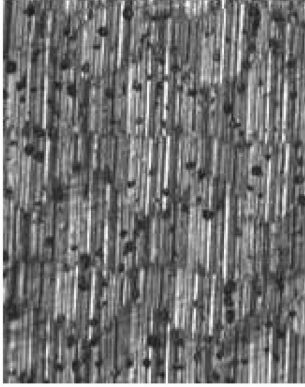
【図 17】



【図 18】



【図 15】

径方向 切込み量	放射角度 90° における放射方向すくい角		
	インサート 1 (0°)	インサート 2 (3°)	インサート 3 (6°)
0.15 mm	 $Ry = 5.5 \mu m$	 $Ry = 4.3 \mu m$	 $Ry = 4.4 \mu m$
0.3 mm	 $Ry = 6.0 \mu m$	 $Ry = 4.4 \mu m$	 $Ry = 4.5 \mu m$

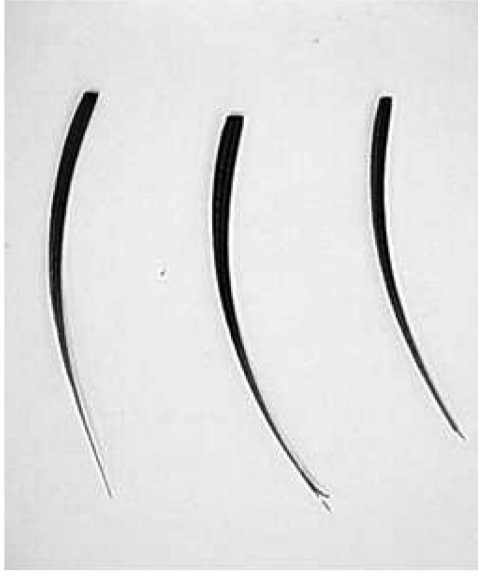
【図 19】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

(72)発明者 林 裕貴

千葉県成田市新泉13番地の2 日立ツール株式会社成田工場内

審査官 小川 真

(56)参考文献 特開平10-080815 (JP, A)

特開平11-156624 (JP, A)

特開2004-291096 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23C 5/10

B23C 5/20