サーメットエンドミルの開発*

岸 本 潔** 北 嶋 弘 一*** 田 中 行 雄†

Development of New Solid Cermet End Mill

Kiyoshi KISHIMOTO, Koichi KITAJIMA and Yukio TANAKA

A new solid-type end mill is the up-to-date cutting tool made from supertough cermet material, which was developed for end mill. This cermet has TiC and TiN for its main ingredients and equals cemented carbide in elastic modulus and its heat conductivity is lower than one tenth of that of cemented carbide. The tool life of cermet end mill in optimum cutting condition proves to be about two times as long as that of cemented carbide one. This end mill ensures surface roughness of $1 \mu\text{mR}_{\text{max}}$ which is equal with ground surface one. Since cermet end mill is so small as $\phi 2\text{--}12 \text{ mm}$ in tool diameter, restriction from machine tool side at cutting speed and feed rate, also, is considered, but careful consideration is paid to tool design, so that stable cutting could be capable at the cutting speed 30–100 m/min.

Key words: cermet, end mill, high cutting speed, long tool life, mirror surface-like finish

1. 緒 言

近年、機械加工の自動化が進み、CAD/CAM の導入による FA 化が志向されているなかで、生産加工の高効率化、高精度化、ローコスト化が大きな課題となっている。その達成に対して、機械加工の中心的役割を担う切削加工は重要なキーポイントとなっており、マシニングセンタやターニングセンタの導入によって、エンドミル加工の占める割合が急速に増大している¹⁾。それに伴って、切削工具の高信頼性・高寿命が要求され、しかも高速、高切込み、高送り切削においても工具寿命の長い素材が必要となっている。また、金型加工の増大とともに、高強度、耐熱、耐食、高硬度などエンドミル加工の側からすれば、いわゆる難削材の切削加工の需要が高まっている。

一方、従来から広く使用されている超硬合金の主成分は WC であるが、それに対して TiC を主成分とする合金をサーメットと呼び、超硬合金と区別している²⁾。

このサーメットは、1955 年米国フォード社の研究

によって実用化された³⁾が、超硬合金に比べて耐熱衝撃性や高温域における耐塑性変形性に劣る欠点があるため、その後それらの研究改善が活発に行われた結果、欧米よりも日本で広く普及して今日に至っている。その改善は、TiC 系から TiC-TiN 系、さらには NbC 系へとじん性の向上に大きな主眼が置かれ、旋削加工の仕上工程における切削主体の用途から、断続切削である正面フライス加工へも使用され、加工能率の向上、工具寿命の延長、仕上面の改善にと大きな効果を挙げ、使用量が急増している。すなわち、サーメットは、超硬合金に比べて高速切削に耐えることや、鉄鋼材料に対する優れた耐酸化性、耐摩耗性及び凝着不活性などの特性を有していることが、これらの切削性能の向上をもたらしたと言える。前述のようにエンドミル加工は金型加工の増大と NC 工作機械の普及によって急激に増加しているが、加工能率や加工精度などの点において改善しなければならない問題点が多くあり、これらを解決する一つの方策として、超強じん性の TiC-TiN-NbC 系サーメットの開発を機にソリッドタイプのサーメットエンドミルの開発に着手し、それに際しては超合金工具の切削性能を大幅に上回ることを開発目標とした。

2. 開 発 の 意 義

NC 工作機械の主軸の高速化、高精度化などに伴って、エンドミル加工を取り巻く技術的環境の変化から、エンドミル自身に要求される性能が極めて厳しき

* 原稿受付 平成 2 年 7 月 25 日、昭和 62 年度精密工学会春季大会学術講演会（昭和 62 年 3 月 29 日）および昭和 62 年度精密工学会北海道支部学術講演会（昭和 62 年 9 月 13 日）にて発表

** 正 会 員 （株）日立ツール大阪工場（大阪市淀川区野中北 1-13-20）

*** 正 会 員 関西大学工学部（吹田市山手町 3-3-35）

† 名誉会員 関西大学工学部

を増している。最近、10 000 rpm を超える高速回転において1 m/min 以上の高速送りに耐えられるエンドミル、精度の向上 (± 0.01 mm 以内)、磨き工数を減らして鏡面に近い仕上面精度を得る切削が可能なエンドミルなどの要望があるが、サーメットエンドミルはこれらを満足させるに十分な可能性を有する素材である。したがって、サーメットエンドミルの開発意義は、加工時間の短縮や後行程の省略など加工コストの低減化に対して大きく貢献するものがある。すなわち、ジグボーラやジググラインダに代わる高精度加工がマシニングセンタによって可能となったり、切削加工後の研削加工の工程が不要になったり、とくに金型加工において磨き工程に要する時間が不要もしくは大幅に短縮されるという多くの効果が期待できる。

金型加工に頻繁に使用されるエンドミルは、工具径として $\phi 2 \sim 50$ mm のもので、とくに $\phi 2$ mm 以下の小径サイズの使用が目立っている。したがって、エンドミルは工具素材の特性を発揮できる周速を確保するために、高速回転に耐えること、さらには片持ち状態で横送り主体の断続切削であることなど、他の切削工具にはない極めて苛酷な条件下で使用される工具である。これらの点からも、バイトや正面フライスに利用されているサーメット素材をそのままエンドミルに適用できるとは考えられない。サーメット素材の大幅なじん性の改善とともに、最適な工具形状の設計が必要となる。

3. 工具素材および工具形状の検討

サーメットエンドミル開発の動機の一つに超強じん性サーメット素材の開発があげられる。エンドミル加工に十分耐え得るだけのじん性の改善がなされ、さらには機械的性質において超硬合金に近い特性を持つサーメット素材が開発された。その新開発のサーメット素材の機械的性質を超硬合金 (K 10) および TiN 系サーメットのそれらと比較したものを表 1 に示す。これより、新開発のサーメット素材は曲げ強さが TiN 系と比べて増し、超硬合金に近い値を有しており、破壊じん性が K 10 より優れ、熱伝導率が最も低く、エンドミル素材として極めて適応性の高い性質を持つことが明らかである。

次に、ソリッドタイプのサーメットエンドミルの工具形状を決定する上で、工具素材のじん性不足を補うことを主眼として設計を行った。エンドミルの工具形状の要素としては種々のものがあるが、第 1 回の試作では工具径とねじれ角を設計要素として選択した。すなわち、工具径はその大小によってエンドミルの剛性

Table 1 Mechanical properties of newly developed cermet

Mechanical properties	Newly developed cermet	Cemented carbide K 10	TiN-cermet
Specific gravity g/cm ³	8.1	14.0	6.0
Vickers hardness HV	1 500	1 550	1 650
Bending strength kgf/mm ²	170	180	160
Young's modulus 10 ⁶ kgf/cm ²	4.3	6.4	4.4
Heat conductivity cal/cm ² •s•°C	0.02	0.26	0.03
Fracture toughness MN/m	10.5	9.5	9.0

Table 2 Characteristics of end mill

Tool material	Cermet	Cemented carbide (Micro fine structure)
Diameter mm	6	6
Total length mm	60	40
Flute length mm	12	11
Number of flute	2	2
Rake angle °	5	5
Helix angle °	0, 15, 30, 45	

Table 3 Cutting conditions

Revolution of tool rpm	680, 1 800, 4 000
Cutting speed m/min	12.8, 33.9, 75.4
Work speed mm/min	42, 133, 296
Feed rate mm/tooth	0.031, 0.037
Depth of cut mm	5 ^a × 1 ^w
Workpiece	SKD 61 (HRC 43)
Cutting fluid	Not used

を大きく左右するため、工具素材のもつじん性の影響が直接的に現れる小径を採用し、 $\phi 6$ mm とした。また、ねじれ角はその大小が刃先強度に最も大きく影響を及ぼすものと考え、ねじれ角が小さくなると切れ刃の背中のバックメタルを大きく取ることができるため、切れ刃の強度は増すが、切削抵抗は増大する⁴⁾。これらのことより、ねじれ角は0°, 15°, 30°, 45° の 4 種類を試作し、最適工具形状を切削試験より選定することにした。試作した工具形状の仕様を表 2 に示す。

4. 試作エンドミルの切削試験および検討

4.1 第 1 回試作エンドミル

ねじれ角の異なる試作工具について表 3 に示す切削条件に基づいて切削試験を実施した。その際に試作工具の切削性能の比較を行うために、同径の超硬ソリッドエンドミル (超微粒子 BRM 20) の切削試験を同時に行った。なお、被削材としては金型材料である SKD 61 の調質材 (HRC 40) を採用した。切削性能

Fig. 1 Results from first trial end mill

は、エンドミル側刃の逃げ面摩耗幅が0.2 mmに到達するまでの切削長さで評価した。

図1は、第1回試作エンドミルの試験結果を示したものである。図より、ねじれ角が小さくなると刃先の強度上有利となるが、逆に刃先に掛かる衝撃力および切削抵抗の変動割合の増加が著しくなり、この影響因子が支配的となってこのような結果が現れたものと考えられる。したがって、エンドミル切れ刃のくさび角を大きくとることによって刃先強度を増して耐摩耗性、耐欠損性を高めるより、ねじれ角を大きくとってくさび角を小さくして切れ味を高め、切削抵抗を減少させる方が工具寿命の点から優れていることが判明した。一方、従来の超硬合金のソリッドエンドミルと比較して、試作エンドミルの切削長さは10~30%増加する程度であったが、その仕上面粗さは従来の超硬合金エンドミルに比べて約1 $\mu\text{mR}_{\text{max}}$ と飛躍的な向上が見られた。さらに、じん性に優れたサーメットを工具素材として用いたが、超硬合金に比べてまだ若干劣るために、試作エンドミルは切削中にコレット内部でシャンクの破損が発生した。

4.2 第2回試作エンドミル

第1回の試作テストの結果より、良好な切削性能を示したねじれ角を30°および45°の2種類に絞り、シャンクがコレット内で破損する対策として、刃径

φ6 mmより太いφ8 mmのシャンク径とする工具形状のものを第2回試作エンドミルとして製作した。

切削試験は、表3に示した切削条件と同様の条件で行ったが、高速度域での効果を確認するために $V=100 \text{ m/min}$ に増加して行った。

図2は、第2回試作エンドミルの切削試験の結果を示す。これより、図1の結果と同様にねじれ角30°より45°の方が良好な切削性能を示すことが明らかである。

また、サーメットエンドミルは超硬合金製に比べて高速度域になるほど工具寿命の増大が認められ、両者の差異も顕著に拡大することがわかる。さらに、サーメットエンドミルはじん性不足をまだカバーしきれないため、切れ刃の摩耗の進行に伴って刃先に微小なチッピングが発生していることが確認され、これは工具寿命のばらつきに大きな影響を及ぼすものと考えられる。そこで、このチッピング対策として、外周刃に0.02~0.03 mmの円筒マージンを残すような刃先形状とすることにした。一方、シャンク径は刃径より太くしたことにより、コレット内でのその破損は皆無となった。

5. サーメットエンドミルの切削性能

前節の試作エンドミルの切削試験結果より、サー

Fig. 2 Results from second trial end mill

Table 4 Specifications of end mill mm

Diameter of end mill	Flute length	Total length	Diameter of shank
2	4	48	6
3	7		
4	10	60	8
5	12		
6	12		
7	16	68	10
8	19		
9	19		
10	22	73	12
11	22		
12	26		

メットエンドミルの工具形状としてねじれ角を45°, 切れ刃に0.02~0.03 mmの円筒マージンを設け, シャンク径を刃径より太くする仕様を決定し, 表4に示すような寸法・形状のエンドミルを製造することにした. これらのサーメットエンドミルの中で工具径φ6 mmを取り上げ, 前出のSKD 61およびプラスチック用金型としてよく用いられているS 50 Cを被削材として, エンドミルの側刃主体の側面切削およびエンド刃を主体とした底面切削を乾式で行った. 図3

Fig. 3 Relation between cutting speed and tool life in side cutting

Fig. 4 Relation between cutting speed and tool life in end cutting

に側面切削, 図4に底面切削における切削速度と工具寿命(切削長)の関係を示す.

両図より, 被削材によって最適切削速度が大きく異なることがわかる. すなわち, いずれの被削材においてもSKD 61では50~60 m/min付近, S 50 Cでは100 m/min付近に最適切削速度が存在することがわかる. この最適切削速度は, 切込み量, 1刃当たりの送り量によって変化することは言うまでもない. —

Cemented carbide end mill

Cermet end mill

Fig. 5 Comparison of finished surface

方、切れ刃の逃げ面摩耗幅が0.2 mmに達する工具寿命における切削長は、底面切削の方が側面切削に比較して短く、約1/5程度になっている。これは、切れ刃が被削材と接触する接触時間、有効切れ刃長さ、切削速度の相違などに起因するものである。一般にハイスエンドミルや超硬合金エンドミルでは側面切削における切削方向は、上向き削りより下向き削りの方が工具寿命が長い⁴⁾が、本開発のサーメットエンドミルではそれとは逆に上向き削りの方が工具寿命が長くなり、しかも仕上面精度も良好となる結果を得た。

図5は、サーメットエンドミルと超硬合金を用いて底面切削を行ったときの仕上面を比較したものである。サーメットエンドミルで切削した仕上面は送りマークもなく、鏡面を呈していることがよくわかる。

さらに、サーメットは、表1に示したように他の工具素材に比べて熱伝導率が低いので、湿式切削ではサーマルクラックによる切れ刃の欠損を発生しやすいが、本開発のエンドミルは仕上加工用であり、切込み量も小さいために切削温度も低くなることより、湿式切削においても欠損を生じることもなかった。しか

し、従来の工具素材のように湿式における工具寿命の延長や仕上面粗さの改善などは認められないため、サーメットエンドミルは乾式切削で使用するのが適していると言える。

6. 結 論

サーメットを素材とするソリッドタイプのエンドミルを開発し、次の結果を得た。

(1) サーメットエンドミルは、その剛性を考慮した刃先設計により最適切削条件下において、超硬合金のそれに比べて2倍以上の工具寿命を示し、仕上面粗さも約 $1\mu\text{mR}_{\text{max}}$ の鏡面加工が実現でき、切削時間の経過によっても安定した仕上面粗さを維持する。

(2) 本開発のエンドミルは、30~100 m/minの広範囲の切削速度が適用でき、しかも高速送りも可能できわめて高能率な精密切削が行える。

今回開発したソリッドタイプのサーメットエンドミルは、サーメットを素材とするものとして世界に先駆けて製品化されたもので、従来のハイス工具、超硬工具には見られない現象があり、今後その切削機構を解明してさらに改善できる余地がある。また、近年工作機械の高速化に急速に移行している状況にも本開発のエンドミルは十分に対応でき、今後に期待できる工具であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 竹山秀彦：機械加工の無人化に対応する切削工具，精密工学会誌，52，9（1986）1491.
- 2) 勝村祐次：サーメットの耐摩耗性，潤滑，28，11（1983）809.
- 3) M. Humenik & N. Parikh: Cermets: I, Fundamental Concepts Related to Microstructure and Physical Properties of Cermet System, J. Amer. Ceram. Soc., 39, (1956) 60.
- 4) 機械振興協会技術研究所：加工データファイル，第2巻（1977）.