

直刃ボールエンドミルの工具損傷

関谷克彦*・北川亮三*

Tool Wear of Ball-end Mill with Single Straight Cutting Edge

Katsuhiko SEKIYA and Ryozo KITAGAWA

Abstract

The ball-end milling have become the most widely used machining process for sculptured surfaces. This report presents the tool life in milling steel (JIS-S45C) with ball-end mill which has single straight cutting edge. The life and the morphology of the tool wear under the condition that the cutting speed was 100 (m/min) and the feed rate was 0.05 (mm/tooth) were compared among three kinds of tool materials: cemented carbide (JIS-K10), micro grain carbide and titanium nitride cermet.

The tool life became longer in this order: cemented carbide, micro grain carbide, titanium nitride cermet. The morphology of the tool wear of the titanium nitride cermet was adhesive, while those of the carbide tools were abrasive because the lower thermal diffusivity of the cermet makes the temperature of the cutting edge higher than the carbide tools.

1. 緒言

近年の工業製品は形状が複雑化し、3次元曲面形状を有する製品が増加している。このような形状を持つ製品は、射出成形、ダイキャスト、プレス加工等金型を利用した加工法を採ることが一般的であり、ボールエンドミルは、このような複雑形状を持つ金型製作工程の中で最も一般的な工具である。従って、この工具の摩耗は、金型の精度へ影響を及ぼすだけでなく、その寿命は生産コストにも大きな影響を与える。

一般に用いらてれるボールエンドミルは切れ刃を2枚から6枚有し、切れ刃形状も渦巻き状のものである。しかしながら、その形状が複雑であるがゆえに工具の形状を正確に測定する方法が現在においても確立されていない。このため、市販されているボールエンドミルの形状もばらつきが多く、実験の再現性が達成しに

く。例えば、2枚刃のボールエンドミルで切削抵抗を測定した場合、両切れ刃での切削抵抗が異なるのが通常である。また、渦巻き状の切れ刃を持つためその位相差から複数の切れ刃が同時に切削する時間が存在するため摩耗などの損傷機構を考える上では不都合な点が多い。

また、ボールエンドミルの先端は工具回転軸上に位置するため切削速度が0となり、切れ刃が欠損しやすくこの部分で工具寿命が尽きることが多いことから、従来よりこの部分に切れ刃を作成しないなどの工夫がなされており、更に工具形状を複雑なものとしている。一方、ユーザサイドでは、先端部分での切削を行わないような工具経路で加工するようにしてこの部分の欠損を避けている。このような観点から、かつて著者らは、工具先端での欠損を考慮して、波状に被削材を切削することにより切れ刃の使用を特定の部分に限らず、全体を平均的に使用することによって工具寿命の検討を行った²⁾。しかし、この方法では、工具材種間の差異は把握できるもののその原因を考える上では切れ刃の

*機械工学科

切削位置が逐次変化するため適当な方法とは言い難く、また、実際の加工現場における工具寿命より長い寿命を与えたものと思われる。

以上のようなことを考慮して、本研究では工具損傷の機構を考える上での基本データを得るために、1枚刃の直刃を持つボールエンドミルを超硬合金 (JIS-K10)、超微粒子超硬合金、炭化チタニウム-窒化チタニウム系サーメットの3種の工具材料を用いて特別に作成し、工具寿命の測定および損傷状態の観察を行った。

2. 実験方法

切削速度が0となる工具先端での切削を避け、同一部分の切れ刃で切削を行うために被削材を45 [deg] 傾け、傾斜に添って工具経路を採ることにより工具寿命試験を行った。Fig. 1 に寿命試験の概略図を示す。被削材は、炭素鋼 (JIS-S45C) 焼ならし材を用いた。被削材表面はあらかじめ平面研削盤にて研削を施した。また、寿命試験中もボールエンドミル削りで生じるカブス (切削痕) が次の実験に影響を与えないよう切削実験終了とともに研削盤にてカブスを除去した。

工具損傷機構を探るうえでは、切れ刃形状の管理が容易である単純な切れ刃形状を持つもので切削試験を行う必要がある。このような考えから、使用したボールエンドミルは、Fig. 2 のように全長60 [mm]、シャンク部直径8 [mm]、ボール部半径が4 [mm] のもので、直刃を1枚だけ持つものを工具メーカーの御協力により特別に作成していただいた。尚、すくい面の法線すく

い角 α_n は、切れ刃のどの位置でも0 [deg] となっている。工具材種は、超硬合金 (JIS-K10)、超微粒子超硬合金、及びTiC-TiN系サーメットの3種である。

切削条件は、工具突き出し量20 [mm]、ボールエンドミル外周の切削速度を100 [m/min]、1刃当たりの送り速度を0.05 [mm/tooth] とした。切削試験にはマシニングセンタ (日立精機、VA35型) を使用し、深さ方向の切込みを1.414 [mm] (被削材上面法線方向の切込み量は1.0 [mm] に相当)、ピック量0.3 [mm] として乾式切削を行った。

摩耗状態の観察は、適宜切削試験を中断し、工具顕微鏡により工具逃げ面の観察を行った。観察した摩耗状態は、Fig. 3 のように工具先端から外周方向に座標を定め、各位置における摩耗量を切削距離毎に記録し

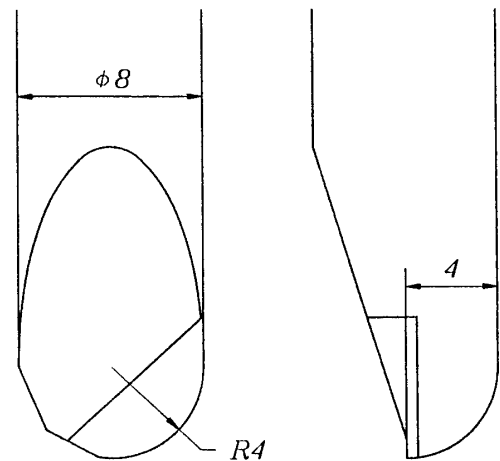


Fig. 2 Dimension of the ball-end mill.

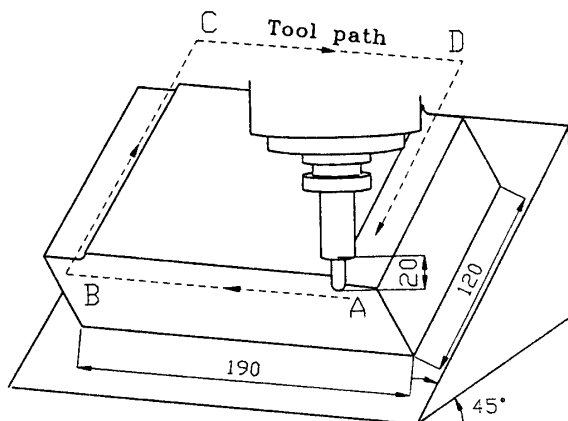


Fig. 1 Schematic of experiment. The tool path is showed in dashed line. The workpiece is milled along BC and DA. The tool is rapidly fed in AB and CD without milling.

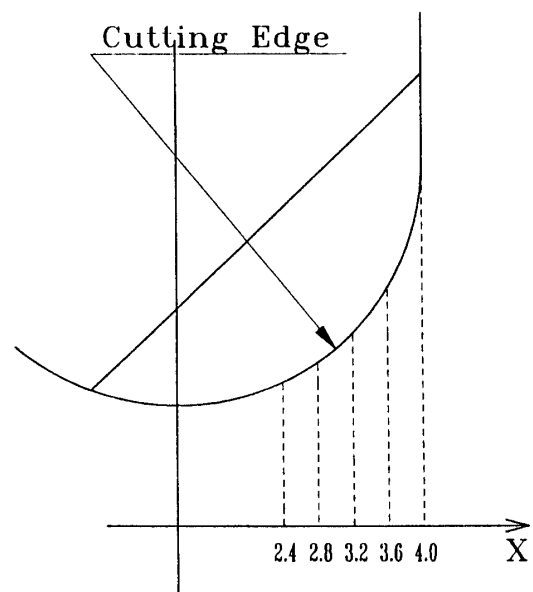


Fig. 3 Position of measurement of the flank wear.

た。また、最大摩耗幅を生じる位置は、寿命試験中必ずしも同一ではないことから切削距離毎に別に記録を行った。

工具寿命の判定は、逃げ面の最大摩耗幅が0.45[mm]に達したときをもってその工具の寿命が尽きたと判断した。

3. 結果と検討

超硬合金 (JIS-K10), 超微粒子超硬合金, TiC-TiN系サーメットの各工具材種について切削距離に対する最大逃げ面摩耗幅の変化を両対数グラフにとったものをFig. 4に示す。サーメット, 超微粒子超硬合金, 超硬合金の順に寿命が短くなっており, とくにサーメットの工具寿命が著しく長い。従来, エンドミル加工のような断続切削が行われる場合には, 硬質であるサーメットはチッピングにより短寿命となると言われてきた。これは, 従来切削速度が0となる工具先端にて切削するような寿命試験が行われてきたためであり, 今回のようなこの部分の切削を避けるような切削方式を採れば, サーメットはエンドミル材質として有望なものであることがわかる。

仕上げ面の品位という点でもサーメットによるものは超硬工具と比べて良好であることが示されており³⁾, 今回の実験でも仕上げ面が虹面を呈して良好なものとなっていた。一方, 超硬合金及び超微粒子超硬合金による仕上げ面は, 構成刃先の生成と思われる痕跡が見られ, サーメットのような仕上げ面は得られなかった。

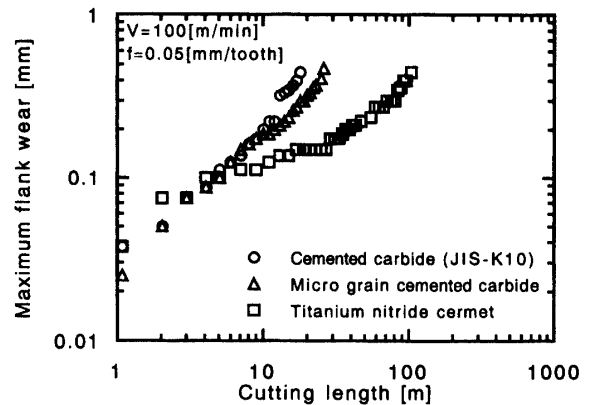


Fig. 4 Variation of maximum flank wear with respect to the cutting length. The effect of the three different tool materials is presented.

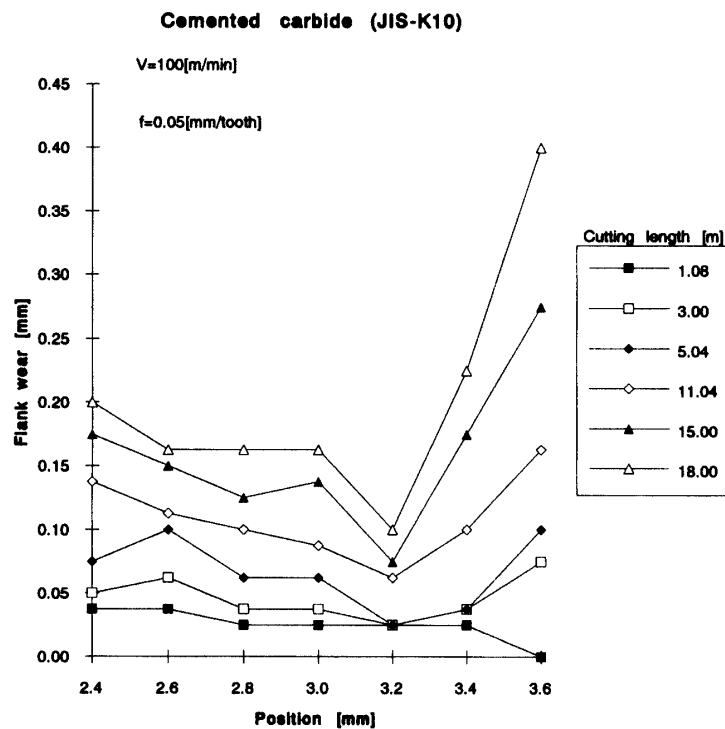


Fig. 5 Variation of the flank wear with respect to the position of the cutting edge in milling steel (JIS-S45 C) by the cemented carbide tool (JIS-K10). The largest flank wear can be seen at the outer edge ($x = 3.6$ [mm])

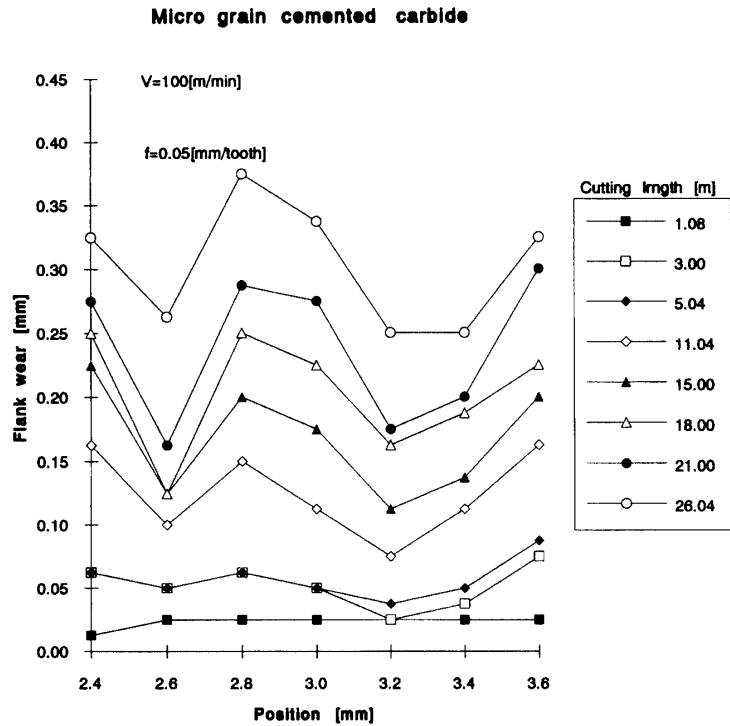


Fig.6 Variation of the flank wear with respect to the position of the cutting edge in milling steel (JIS-S45 C) by the micro grain cemented carbide tool. The large flank wear can be seen at the position near by the point at which the undeformed chip thickness is the minimum.

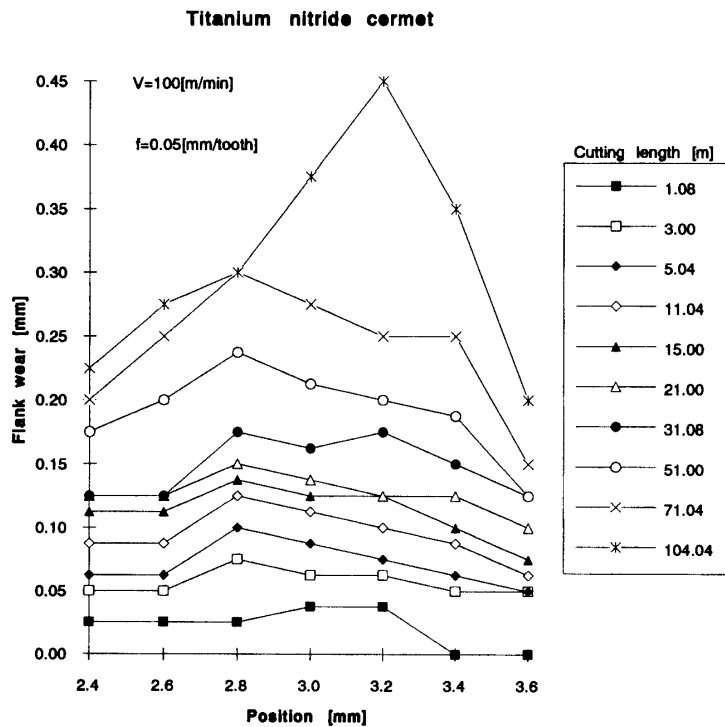


Fig. 7 Variation of the flank wear with respect to the position of the cutting edge in milling steel (JIS-S45 C) by the cermet tool. The large flank wear can be seen at the position near by the point at which the undeformed chip thickness is the minimum. The larger flank wear can be seen just inside of the outer edge (x=3.2 [mm]) at reaching to the end of tool life .

このことから、サーメットによる切削では、刃先温度が上昇していることが推察される。

Fig. 5～Fig. 7に各工具材種における、切れ刃各位置での逃げ面摩耗量の切削距離に対する推移を示す。

Fig. 5から超硬合金では、切削速度が最大となる外周部における摩耗量が大きくなることがわかる。切削速度が大きくなるとひずみ速度の増加から被削材の変形抵抗が増加し、比切削抵抗が大きくなる。このため、外周に行くに従い切れ刃上に分布する切削抵抗が増加し摩耗が大きくなったものと推察される。

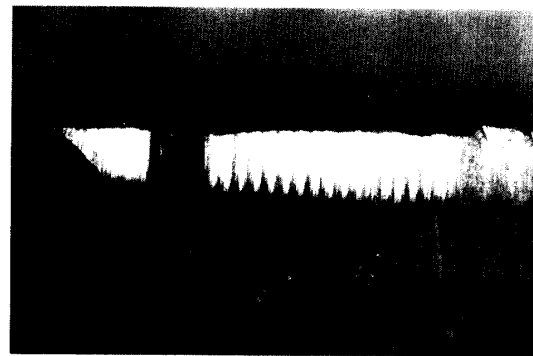
一方、超微粒子超硬合金やサーメットの摩耗では、最外周部での摩耗が大きくはならず、切れ刃位置 $x=2.8$ [mm]での摩耗が大きくなっている。この位置は、切削厚さが最も小さくなる場所であり切れ刃の先端丸味が大きく影響を与える場所である。工具材料の硬さは、超硬合金、超微粒子超硬合金、サーメットの順に大きくなる。一般に硬度が増加すると被研削性が悪化し、このため、工具刃先丸み半径はこの順に大きくなる。切削厚さが工具刃先丸み半径より小さくなると工具が食いつかず、被削材を押しならすためこの部分の摩耗が大きくなったものと思われる。

TiC-TiN系サーメットの摩耗推移を示すFig. 7では、工具寿命末期に最外周部より少し内側で大きな摩耗が生じている。工具の摩耗が進行すると刃先の鋭利性が失われ押しならし力が大きくなり切削抵抗が増加するため、工具切れ刃の温度が高くなる。このため被削材や切りくずと溶着を起こし、この溶着した部分が大きな切削抵抗により剥離し大きな損傷となる。超硬合金等と比べるとサーメットの温度伝導率は数分の1と小さいため工具切れ刃温度の上昇による溶着の影響を受けやすく、このような結果となったと推察される。

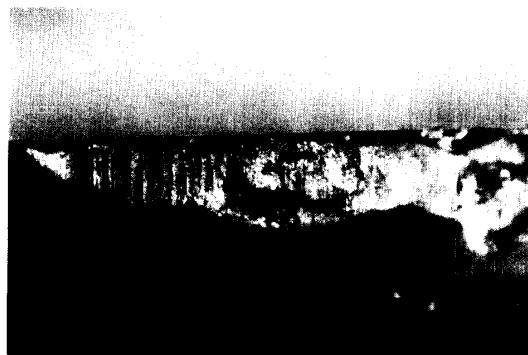
Photo. 1は、工具寿命時における逃げ面摩耗の状態である。超硬合金では、擦過痕が見られアブレッシブ摩耗が主として起こっていたと推察される。サーメット工具では前者のように擦過痕が主体ではなく溶着剥離型の損傷を呈している。超微粒子超硬合金では、超硬合金とほぼ同じ状態を呈している。これは、前述のようにサーメットの極めて低い温度伝導率のために、工具切れ刃温度が高くなったためであると考えられる。



(a)



(b)



(c)

Photo. 1 Morphologies of tool wear: (a) cemented carbide; (b) micro grain cemented carbide; (c) titanium nitride cermet. The morphology of the tool wear of the cermet tool is adhesive, while those of the other tools are abrasive.

4. 結 言

ボールエンドミルの工具損傷機構を考えるための基礎データ収集という観点から、工具形状が管理しやすい直刃ボールエンドミルを用いて寿命試験を行い、次の事が得られた。

(1) 工具寿命は、超硬合金 (JIS-K10)、超微粒子超硬合金、TiC-TiN系サーメット工具の順に長くなる。

(2) 超硬合金、及び超微粒子超硬合金は主にアブレッシブ摩耗により工具寿命に至る。

(3) サーメット工具は、温度伝導率が低いため工具刃先が高温となり、このため溶着剝離型摩耗を呈し工具寿命に至る。

謝 辞

本研究を行うに当たり、工具を特別に製作し、提供していただいた東芝タンガロイ株式会社に深く感謝します。

参考文献

- 1) 藤井・寺井：ボールエンドミルシミュレータに関する研究，精密工学会誌，2301，1988
- 2) 北川・関谷：鋼削りにおけるサーメットボールエンドミルの工具損傷，1990年度精密工学会春季大会学術講演会前刷集，1190
- 3) 中島・鳴瀧：機械加工学，コロナ社，1983
(平成5年10月15日受理)