

バレル型エンドミルによる金型用鋼の切削特性

東京農工大学 ○越井 亮一, ◎笹原 弘之
株式会社牧野フライス製作所 遠藤 健

要 旨

本報告ではプラスチック金型に用いられるプリハードン鋼をバレル型エンドミルで加工する際の加工能率を向上するために、その切削特性を明らかにすることを目的とする。バレル型エンドミルで工具の送り速度、ピックフィード幅、切り込み深さを変化させ加工し、表面の粗さ、残留応力から切削特性を明らかにした。また、バレル型エンドミルの加工面創成シミュレーションを開発し、実加工面との比較を行った。

1. 緒 言

近年の多品種少量生産化の流れに伴い、金型の需要の増加と共に金型加工ではリードタイムの短縮とコストの削減が強く求められている。バレル工具はインペラやブリス加工で使われてきたが金型加工において一般的ではない¹⁾。バレル工具の場合、側面刃プロファイルの曲率半径 R が大きいので、幾何学的な粗さは $a_e^2/8R$ で近似できる。 R が大きければピックフィードを大きくしても実現できるため加工能率が上がる²⁾。しかし、実際にどのような条件で加工をすればよいか具体的なデータがない。本研究においては各金型用途（プラスチック金型、プレス金型など）に応じた要求面粗さと加工精度に対し、バレル工具を使用した時の最適送り速度・面粗さ・加工精度・加工方法の関係を明らかにする。また、バレル型エンドミルの加工面のシミュレーションを行い、加工面の粗さを予測し、実加工面との比較を行う。

2. バレル型エンドミルによる切削試験

図1に本研究で使用した工具を示す。側面刃半径 50 mm のバレル型エンドミル、5 mm の 2 枚刃および 4 枚刃ボールエンドミルの三種類の工具を用いた。加工する面はバレル型エンドミルの側面刃の中央付近で加工を行えるように斜面の角度を 10.18° と決め、立形マシニングセンタで加工を行った。被削材にはプラスチック金型に用いられるプリハードン鋼を使用した。

図2に切削加工の様子を示す。切削はダウンカットで、送り方向は X 正方向の一方向、ピックフィードは送りに垂直な下向きの方向である。加工面の粗さ、硬さ、残留応力に及ぼす一刃送り量とピックフィードの影響を調べた。表1に実験条件を示す。また、工具の振れは 3 μm 以下になるようにした。

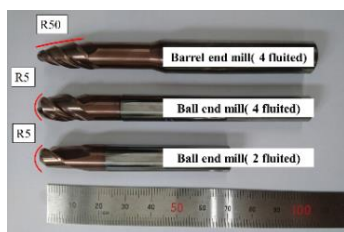


Fig.1 Tested tools

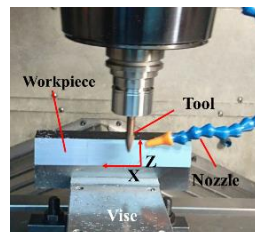
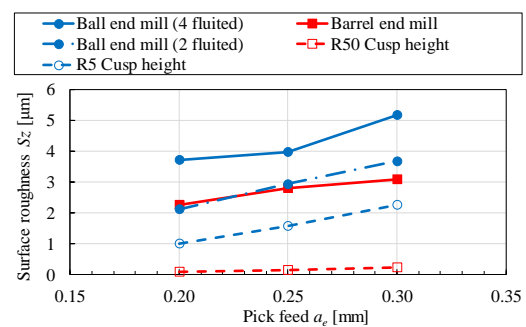


Fig.2 Experimental set up

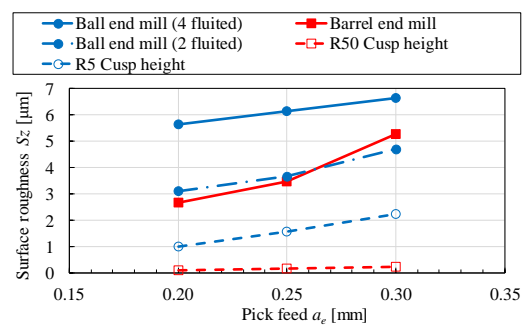
Table 1 Machining conditions

Work piece			Preghardon steel (NAK80)
Spindle speed	S	min^{-1}	8000
Depth of cut	a_p	mm	0.05
Feed per tooth	f_z	mm/tooth	0.10, 0.15
Pick feed	a_e	mm	0.20, 0.25, 0.30
Grinding fluid	Mist blow		

図3に加工面の表面粗さ S_z および切れ刃の半径が 5 mm と 50 mm の時のカスプ高さ（理想面粗さ）を示す。どのピックフィード幅、工具送りにおいても、バレル型エンドミルは 4 枚刃ボールエンドミルよりも粗さの小さい加工面が得られた。しかし、バレル型エンドミルと 2 枚刃ボールエンドミルの粗さはほぼ変わらなかった。これは 2 枚刃ボールエンドミルのほうが各切れ刃の振れ、高さのばらつきが小さいためである。また、バレル型エンドミルは側面刃プロファイルの曲率半径 R が大きいので、理想的なカスプ高さは小さいが、実際の加工面の粗さは一刃送りが 0.1 mm/tooth のとき粗さが 2 μm から 3 μm、0.15 mm/tooth のとき 3 μm から 5 μm とかなり大きい。



(a) $f_z = 0.10$ mm/tooth



(b) $f_z = 0.15$ mm/tooth
Fig.3 Surface roughness

そこで切れ刃先端に着目した。図4にバレル型エンドミルの加工面を創成する部分の切れ刃の走査型電子顕微鏡写真を示す。切れ刃には凹凸があり、最大で 1.54 μm あることがわかる。凹凸と工具の振れによりカスプ高さをよりも表面粗さが粗くなったと考えられる。

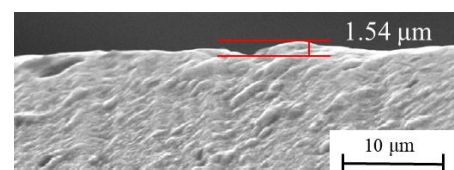


Fig.4 SEM images of cutting edge (Barrel end mill)

次に、図5に各条件での残留応力を示す。いずれの工具においてもピックフィード幅が大きくなると、残留応力は引張方向に増加することがわかる。一方で、パレル型エンドミルは他の2種の工具とは違い圧縮残留応力となった。図3、図5から圧縮残留応力を確保しつつ加工能率を高くするには、パレル型エンドミルを使用し加工するのが好ましいことがわかる。

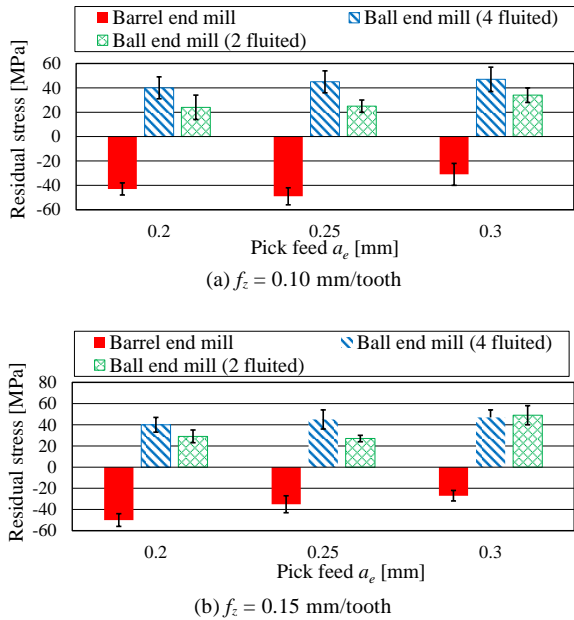


Fig.5 Residual stress on machined surface

3. パレル型エンドミルの加工面シミュレーション

まず、2枚刃のボールエンドミルにより加工した加工面の形状のシミュレーションを行った。表2に実際に切削加工面とシミュレーションの共通の切削条件を示す。図6に1刃あたりの工具送りを実際の切削加工面とシミュレーションによる切削加工面を示す。両者を比べると、実際の加工面の加工痕の数はシミュレーションの場合の半分となっている。これは工具の振れにより、最終的な仕上げ面は黒で囲まれた1枚の切れ刃が創成しているものと考えられる。また、 S_z を比較すると実際の加工面のほうが粗さは大きい。図4で示した切れ刃のエッジの凹

Table2 Cutting conditions in simulation

Spindle speed	S	min^{-1}	8000
Depth of cut	a_p	mm	0.05
Feed per tooth	f_z	mm/tooth	0.3
Pick feed	a_e	mm	0.3

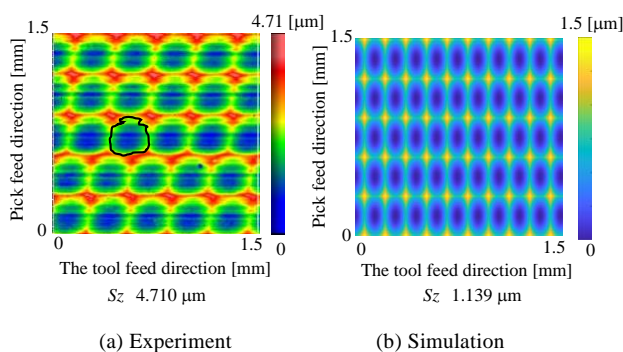


Fig.6 Machined surface by ball end mill (2 fluted)

凸が、図6(a)の加工痕の横筋として表れており、カスプ高さと同程度の高さになっていると考えられる。

次に、パレル型エンドミルより工具の振れがなく、パス毎に位相差のない理想的な加工面の形状のシミュレーションを行った。表2にシミュレーションの切削条件を示す。図7に1パスのシミュレーションと実切削加工面の結果を示す。

実加工面には加工痕内に横筋が見られるが、この原因としては図4で示した切れ刃にある凹凸によるものと考えられる。これより、実際の加工面はシミュレーションの粗さよりも粗さが大きくなった。

また、各切れ刃の工具送り方向の加工痕の数、ピックフィード幅は実加工面とシミュレーションの結果は一致している。実加工面において、工具1回転分の4つの加工痕を白線で囲んで示す。シミュレーションの結果とは違い、ピックフィード方向と工具の送り方向に切れ刃ごとに幅が異なる。これは工具の振れにより、切れ刃ごとの切りとり厚さが異なるためである。また、パス毎に位相差が生じるので、黒線で囲んだ2つの加工痕のようにピックフィード方向でずれが観察された。

Table 3 Cutting conditions in simulation

Spindle speed	S	min^{-1}	8000
Depth of cut	a_p	mm	0.05
Feed per tooth	f_z	mm/tooth	0.2
Pick feed	a_e	mm	0.5

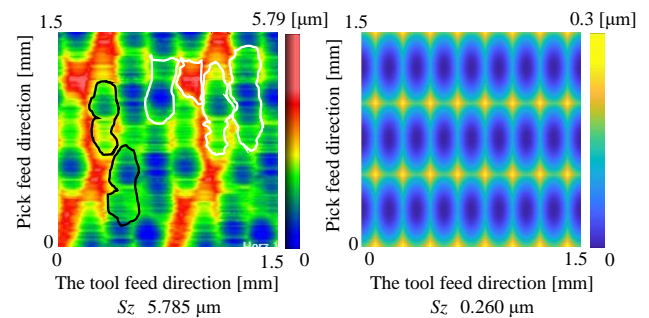


Fig. 7 Machined surface by barrel type end mill

4. 結言

- 1) パレル型エンドミルで加工を行う場合に、ピックフィード幅を小さくし、1刃あたりの工具送りを小さくすることで、加工面の粗さは小さくなり、残留応力は圧縮残留応力となる。
- 2) パレル型エンドミルの加工面の粗さは、理想的なカスプ高さにならず、工具の振れ、切れ刃の凹凸による影響が大きい。
- 3) パレル型エンドミルの加工面のシミュレーションし、加工面の予測が可能であることを示した。

参考文献

- (1) Fan-Jun Meng, Zhi-Tong Chen, Ru-Feng Xu, Xun Li "Optimal barrel cutter selection for the CNC machining of blisk" *Computer-Aided Design*, Vol. 53, (2014), pp. 36-45.
- (2) 堤田規之, 江川康夫, 黒田基文, 渡部健, 伊井良治, ボールエンドミル加工における表面粗さの生成過程の解析, *精密工学会誌*, Vol59, (1993), pp.129-134