高回転高送り加工における被削材硬度の工具磨耗への影響

Influence of Work Hardness upon Tool Wear in High Feed Rate Milling

○正 宮口孝司 (新潟大) 正 榊田正美 (新潟大) 正 嶺岡悦雄 (新潟工技総研)
正 岩部洋育 (新潟大) 学 藤原亮太郎 (新潟大)

Takashi MIYAGUCHI, Masami MASUDA, Hiroyasu IWABE, Ryotaro FUJIWARA

Niigata University, 8050 Ikarashi 2-no-cho, Niigata 950-2181

Etsuo TAKEOKA

Industrial Res. Ins. of Niigata Pref., 1-11-1 Abuminishi, Niigata 950-0915

Key Word: High Speed Milling, High Feed Rate, High Rotating Speed, End Mill, Ball End Mill, Hardness, Tool Wear

1. 緒言

小径ボールエンドミルによる高硬度材の高回転高送り加工は、金型の加工においてその効率を飛躍的に高める可能性を秘めており、短納期・低価格の要求に対する解決策の一つと目されている。一方、この加工法が低硬度材に対しては良好な切削結果が得られていないのが現状である。被削材硬度による高回転高送り加工結果の差異の発生メカニズムを明らかにすることにより、より広範な被削材に対して高能率な加工が可能になると期待できる。そこで、熱間工具鋼 SKD61 の焼なまし鋼と焼入れ鋼に対する高回転高送り加工実験を行い、両者の被削性について比較検討した。

2. 実験条件及び方法

切削実験には、空気静圧軸受け主軸を搭載したたて型スライス盤 (東芝機械) を用いた (表 1)。実験に使用した (Ti,Al)N コーティングされた 2 枚刃の超硬ボールエンドミル工具の寸法を図 2 に示す。工具ホルダには弾性変形式 (大昭和精機) を用い、工具の突出し長さを 17mm とした。被削材は SKD 61 の焼入れ鋼 (40HRC) 及び焼なまし鋼 (球状化熱処理, 860°C×4 時間, 2.9HRC) を用いた。

Table 1 Specifications of machine tool

Spindle speed	min ⁻¹	5,000–50,000
Working volume	x×y×z mm	600×410×470
Maximum table speed	mm/min	20,000

2.1. 工具磨耗実験

図 1(a) に示す方法で被削材上面 (100mm×100mm) を切削し、120m (除去体積 3×10⁴mm³) 切削後のボールエンドミル切れ刃部を走査型電子顕微鏡 (SEM) により観察し、最大逃げ面磨耗幅 VBmax を測定した。切削条件は表 2 のとおりである。

2.2. 切削力の測定

3 成分切削力測定装置の外観を図 1(b) に示す。切削力はサンプリング周波数 10kHz で PC に取り込んだ。

2.3. 焼なまし鋼の組織及び硬度分布

加工による変質を検討するため、120m 切削後の焼なまし鋼の加工断面に、ピッカース圧子を用いてマトリックス状に硬さ分布を測定した。また、加工断面を硝酸 5%、エタノール 95% 溶液を用

Fig. 1 Experimental setup

Fig. 2 Dimensions of ball end mill

Table 2 Cutting conditions

Spindle speed	min ⁻¹	2,9000
Axial and Radial depth of cut	mm	0.5×0.5
Feed	mm/min	5,800

いて腐食し、金属組織を観察した。

3. 実験結果及び考察

3.1. 工具磨耗実験

120m 切削後のボールエンドミル先端部の SEM 写真を図 3 に示す。焼なまし鋼では、切れ刃稜にチッピングが生じているが、この原因は被削材の凝着による構成刃先が原因と考えられる。

(a) machined hardened steel

(b) machined annealed steel

Fig. 3 Worn cutting edges used for different work materials

焼なまし鋼の VBmax は焼入れ鋼の 1.25 倍に達しており、硬度が低いにも関わらず焼なまし鋼切削時の方が摩耗量が多い。

3.2. 切削力の測定

焼なまし鋼にチッピングの発生し逃げ面摩耗量が多い原因を探究するため、それぞれの被削材の切削力を測定することにした。図 4 (a) に未切削工具（切削距離 0m）による焼入れ鋼の切削力変動の測定結果を示す。2 枚刃による断続切削状態 3 分力が高帯域まで正確に測定されていることが分かる。切削距離 0m 及び 120m

(a) An example of Cutting force components; Hardened steel, New tool

(b) Resultant force and cutting distance

Fig.4 Cutting force with ball end mill with two teeth

(a) Hardened steel (b) Annealed steel

Fig. 5 Machined surface

Fig. 6 Cross section of machined surface; Marked with Vickers indenter – close up of metallographic structure

工具との親和性に差異がある可能性が高い。

3.3. 被削材組織及び硬度

切削により焼なまし鋼のごく表面に高硬度の部分が生成されれば摩耗が急激に進行する可能性がある、そこで、加工面の硬度と組織の変化について検討することにした。

図 5 に 120m 切削後の焼入れ鋼と焼なまし鋼の加工表面の SEM 写真を示す。焼なまし鋼の加工表面には焼入れ高に比べ顕著なバリの発生が認められる。

図 6 に焼なまし鋼の加工断面の金属組織とピッカースの圧痕を示す。金属組織はほぼ均一な球状パーライト組織となっており、加工表面は A_3 温度以上のような極度の高温にはさらされていないことがわかる。

図 6 の圧痕の解析より求めた加工表面からの距離と硬度の関係を図 7 に示す。被削材最深部で硬さは HV=180 に収束し、加工表面からの距離と硬度の関係は

$$HV = 180 + 103e^{-0.0147d} \quad \text{.....式 1}$$

と表される。加工表面すなわち $d=0\text{mm}$ における硬さは式 1 から $HV = 283$ となる。バリ部分の硬さは平均 $HV=381$ 、即ち 38.7HRC に達している。このようにバリ部分は母材に比べ硬さが非常に高い。しかし焼入れ鋼の硬さ 40HRC に比べれば低く、バリ部分での硬さ上昇が摩耗を急速に加速したとは考えにくい。焼なまし鋼では複炭化物 M_6C が球状に分散しており、高硬度の複炭化物が逃げ面摩耗量の進行に影響を与えている可能性が高いと考えられる。

4. 結言

小径ボールエンドミルによる高回転高送り加工において、SKD61 の焼入れ鋼と焼なまし鋼の切削実験を行い以下のことが明らかになった。

1. 焼なまし鋼での最大逃げ面摩耗幅は 1.25 倍に達し、切れ刃先端にはチッピングが生じる。

Fig. 7 Distribution of hardness along depth from machined surface; Indenting force: 250mN

2. 焼なまし鋼は加工により金属組織が変化すること無く硬化しているが、焼入れ鋼よりは硬さが低い。
3. 焼なまし鋼の加工表面には工具の摩耗に伴いバリが発生し、バリ部分の硬度は焼入れ鋼の硬度近くまで上昇する。

参考文献

- 1) 嶽岡悦雄：博士論文「高速空気静圧主軸による高硬度材のエンドミル加工に関する研究」 1998 年 11 月
- 2) 武藤 学, 森田 昇, 吉田嘉太郎：高硬度金属材料の高速エンドミル加工に関する研究（第 1 報）精密工学会誌 64, No.11, 1998, 1674
- 3) 岩部洋育：エンドミル加工における基本問題と高速加工における加工精度, 機械の研究 51, 7(1999)742.