704

刃先丸み半径が 2 次元微小切削現象に与える影響 第 3 報:SEM (電子顕微鏡) 内での微小切削

Effects of cutting edge radius on orthogonal micro cutting 3rd report, Cutting in Scanning Electron Microscope

○学 越場 護 (富山大院) 正 森田 昇 (富山大) 正 山田 茂 (富山大) 正 高野 登 (富山大)

Mamoru KOSHIBA, University of Toyama, Gofuku3190, Toyama-shi, Toyama. Noboru MORITA, University of Toyama.
Shigeru YAMADA, University of Toyama. Noboru TAKANO, University of Toyama.

Key words : SEM, Orthogonal Cutting, Micro Depth of Cut, Cutting Edge radius, Definition of Rake Angle

1. 緒 言

加工単位がサブミクロンの高精度微細切削加工がおこなわれている。このような微小単位の加工においては、切込み量の大きさに対する工具刃先丸み半径の大きさが相対的に大きくなるため、刃先丸みの影響が無視できなくなる。

本研究では光学顕微鏡による 2 次元切削可視化装置と走査型電子顕微鏡内微小切込み切削装置の二種類の装置を試作し、二次元切削実験時の工具刃先丸み半径が微小切削現象に及ぼす影響について検討した。

2. 実験装置

図 1 は、本実験で使用した SEM 内微小切込み切削装置の外観である。本装置は工具部、試料部、駆動部の 3 部分で構成されている。工具部は、単結晶ダイヤモンド工具、工具ホルダ、水晶圧電式動力計、切込み量設定用くさび、マイクロメータヘッドから構成される。切込み量は、マイクロメータヘッドを回してくさびを押し込むことで与える。くさびの勾配は、1/50 であり、0.2 μ m 単位で切込みが設定できる。試料部は、試料ホルダおよび試料ホルダスライド機構から構成される。駆動部は、DC モータ、ギアボックス、送りねじ、てこから構成される。切削は、DC モータにより送りねじを回転させて回転運動を直進運動へと変換し、てこを介して試料ホルダスライド部を押すことで行う。

表 1 は、SEM 内切削の実験条件である。被削材にアルミニウム合金 A5052 及びマグネシウム合金 AZ31 を用い、刃先丸み半径 0.01 μ m のダイヤモンド工具を用いて切込み量を変化させて二次元切削実験を行い、切りくず生成挙動を観察した。また、工具刃先丸み半径の大きさ r と切込み量 d の比である $k(=r/d)$ が比切削抵抗やせん断角などの切削現象に及ぼす影響について 2 次元切削可視化装置を用いた実験結果¹⁾も考慮して考察した。

3. 実質のすくい角の定義

図 2 は、切込み量が刃先丸み半径より小さい場合(a)と大きい場合(b)の模式図である。ミクロンオーダの微小切込みで切削をおこなう場合、切込み量の大きさに対して刃先丸み半径の大きさが相対的に大きくなると、すくい角は実質負角へと変化する。この実質のすくい角を α' とし、図中で未切削の被削材表面の延長線が工具すくい面と交わる点 Q と工具の最下点 P を結んだ線が工具すくい面となす角であると定義した。図より、実質のすくい角 α' は、次式で

Fig.1 Orthogonal cutting device 10mm

Table.1 Setting conditions

Work material	A5052	AZ31
Tool material	Single crystal diamond	
Cutting edge radius	0.01	
Rake angle	0	
Relief angle	7	
Depth of cut	0.2~15	0.2~16.7
Cutting speed	40	
Width of cut	1	
Cutting condition	dry

Fig.2 Definition of rake angle

Fig.3 Relation between k and specific cutting force

算出される.

$$\alpha' = -\tan^{-1} \sqrt{k^2 - (k-1)^2} \quad (1)$$

$$k = r/d \quad (2)$$

ここで, r は刃先丸み半径, d は切込み量, k は刃先丸み半径 r と切込み量 d の比 ($=r/d$) である. また, 上式において $k < 1$ のときには, $(k-1)^2$ の項を 0 とすることで条件分岐させる. せん断角 ϕ を算出する際には, 工具設計上のすくい角ではなく, この実質のすくい角を適用する.

4. 実験結果

図 3 は, SEM 内切削における k と比切削抵抗 (=主分力/切削面積) の関係である. A5052 及び AZ31 とともに k が増加すると比切削抵抗は増加する. また, AZ31 の方で比切削抵抗は大きい. 図 4 は k と分力比 (=背分力/主分力) の関係である. A5052 及び AZ31 とともに k が増加すると分力比は増加する. 図 5 は k とせん断角の関係である. A5052 では, $k=0.001 \sim 0.01$ でせん断角はほぼ一定となり, $k > 0.01$ でせん断角は減少する. AZ31 では, k の増加に伴いせん断角は減少する. 図 6 は, 切込み量 $10 \mu\text{m}$ ($k=0.001$) で SEM 内切削時の, A5052 と AZ31 の切りくず排出状況の SEM 観察像である. 図から A5052 の方で切りくず厚さが大きいことが確認できる. 以上の実験結果において, k が 0.01 より大きくなる (切込み量が $1 \mu\text{m}$ より小さくなる) と切削現象に変化が見られた. これには, 被削材の結晶粒径の大きさが関係していると考えられ, 今後結晶粒の観察を行い, その要因について検討する.

次に, 刃先丸み半径が $1, 5, 8, 20, 35, 45 \mu\text{m}$ の工具を用いた 2 次元切削可視化装置による実験結果 (切削速度 100 mm/s 一定) と合わせて k が切削現象に及ぼす影響について検討した. 図 7 は k と比切削抵抗の関係である. k の増加とともに比切削抵抗は増加するが, その傾向は SEM 内切削とそうでない場合で異なる. また被削材によっても異なる. とくに, $k=0.01 \sim 0.1$ の範囲で相異が大きい. 図 8 は k と分力比の関係である. k の増加にともない分力比は増加する傾向を示す. 図 9 は k とせん断角の関係である. k の増加に伴いせん断角は減少する傾向を示すがその傾向は SEM 内切削とそうでない場合で異なる. また被削材によっても異なる.

以上の実験結果から, k の増加と切削現象には強い相関関係が存在することがわかった. A5052 材では, SEM 内切削とそうでない場合ではほぼ相似則が成り立つのに対して, AZ31 材では成り立たないことがわかった.

5. 結言

本研究では, 刃先丸み半径 r と切込み量 d の比 k を用いて切削現象を考察した結果, k が増加する (刃先丸み半径の影響が大きくなる) と, 比切削抵抗, 分力比は増加し, せん断角は減少する傾向を示すことがわかった. また, その傾向は被削材によって異なることがわかった.

参考文献

- 1) 池田 雄一郎, 森田 昇, 山田 茂ほか: 工具刃先丸み半径が 2 次元微小切削現象に与える影響, 日本機械学会講演論文集, 2009(46), 99-100, 2009-03-01

Fig.4 Relation between k and force ratio

Fig.5 Relation between k and shear angle

Fig.6 Chip flow behavior ($d=10 \mu\text{m}$, $k=0.001$)

Fig.7 Relation between k and specific cutting force

Fig.8 Relation between k and force ratio

Fig.9 Relation between k and shear angle