工具刃先丸み半径が2次元微小切削現象に与える影響 第2報：鋼材の切削現象の検討

Effects of sharpness of cutting edge on orthogonal micro cutting
2nd report, Study of cutting behavior on steels

○学 池田雄一郎（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） 非 大山達雄（富山大）

Yuichiro IKEDA, University of Toyama, Gofuku3190, Toyama-shi, Toyama. Noboru MORITA, University of Toyama.
Shigeru YAMADA, University of Toyama. Noboru TAKANO, University of Toyama. Tatsuo OYAMA, University of Toyama.

Key words: Orthogonal Cutting, Micro Depth of Cut, Sharpness of Cutting Edge, High Speed Camera, Definition of Rake Angle

1. 緒言

切削加工は、古くから活用されてきた基本的な加工法の一つであり、その発達はめざましく現在ではミクロンオーダーの切込みによる加工が一般化し、 $1\mu\text{m}$ 以下の高精度微細加工もおこなわれている。しかし、このような微小単位の加工における切削現象は、従来おこなわれてきた普通切削の場合とは異なっており、とくに工具刃先丸み半径の大きさが影響を及ぼすことがわかっている。そのため、現在までに、工具の刃先丸み半径の大きさが切削現象に及ぼす影響について多くの研究がなされている。

そこで本研究では、3種類の被削材に対して刃先丸み半径の大きさの異なる5種類の工具を用いて、ミクロンオーダーの微小切込み2次元切削実験をおこなった。得られた結果から、工具刃先丸み半径の大きさが切削現象に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

図1は、本実験で使用した2次元切削可視化装置である。この装置の切削加工部は、被削材ホルダー一体型パルスステージ、くさび型切込み機構、くさび型工具ホルダーから構成される。切込み量は、ダイヤルゲージと連動したくさびを押し込み、工具固定部を前進させることにより $1\mu\text{m}$ 単位で変化させることができる。また切削抵抗は、被削材ホルダーの内部に取り付けてある水晶圧電式3成分動力計（キスラー製9601A）を用いて測定する。切りくず排出挙動は、高速度カメラ（フォトロン製FASTCAM512 PCI-NDE32KC）により撮影する。表1は、本実験で設定した実験条件である。工具として、刃先丸み半径の異なる5種類の特注の超硬チップP種A30（住友電工ハードメタル製 SMGA120408）を使用した。切込み量は、10, 20, 40, 60, 80, $100\mu\text{m}$ を共通条件とし、これに加えて各工具の刃先丸み半径の2倍の大きさとなる切込み量を設定した。S50C, NAK80およびSKD61のブリネル硬さは、それぞれ209, 372および513である。

3. 実質のすくい角の定義

ミクロンオーダーの微小切込み切削をおこなう場合、刃先丸み半径の大きさに対して切込み量が相対的に小さくなる。このとき、すくい角は実質負角に変化する。この実質のすくい角を α' とし、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と定義した。図2は、この定義において切込み量が刃先丸み半径の大きさよりも小さい場合と大きい場合のそれぞれの条件を表している。図より、実質のすくい角 α' は

Fig.1 Orthogonal cutting device

Table.1 Cutting conditions

Work material	S50C, NAK80, SKD61
Tool material	Sintered carbide
Sharpness of cutting edge	$[\mu\text{m}]$ 1, 5, 20, 35, 45
Depth of cut	$[\mu\text{m}]$ 2~100
Rake angle	$[\text{deg}]$ 0
Frank angle	$[\text{deg}]$ 7
Cutting speed	$[\text{mm/s}]$ 100
Width of cut	$[\text{mm}]$ 1
Cutting length	$[\text{mm}]$ 20
Cutting atmosphere	Dry

Fig.2 Definition of rake angle

次式で算出される。

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

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

ここで、 r は刃先丸み半径、 d は切込み量である。また、式(1)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 やせん断ひずみを算出する際には、工具設計上のすくい角ではなくこの実質のすくい角 α' を使用した。

4. 実験結果

図 3 は、 k と比切削抵抗の関係である。比切削抵抗は、 k の増加とともに増加し、硬い被削材ほどその増加量も大きくなった。また、 k 同値の場合に刃先丸み半径が大きいほど小さくなった。図 4 は、 k とせん断角の関係である。せん断角は、 k の増加とともに減少した。また、 k 同値の場合に刃先丸み半径が大きいほど大きくなった。せん断角は、被削材種による違いはみられなかった。図 5 は、 k とせん断ひずみの関係である。せん断ひずみは、 k の増加とともに増加した。また、 k 同値の場合に刃先丸み半径が大きいほど小さくなった。せん断ひずみは、被削材種による違いはみられなかった。図 6 は、 k と算術平均あらさ R_a の関係である。算術平均あらさは、 k の増加とともに減少した。また、 k 同値の場合に刃先丸み半径が大きいほど大きくなった。算術平均あらさは、3 種類のなかでは NAK80 が最も小さくなった。

図 7 は、高速度カメラにより撮影した切込み量 $10\mu\text{m}$ の場合における切りくず排出挙動である。いずれの被削材においても、刃先丸み半径が小さいほど切りくずのカールの曲率半径が大きくなった。また、刃先丸み半径が大きくなるほど、切りくずの脱落する間隔が短くなり、とくに SKD61 について顕著にみられた。

5. 結 言

本研究では、刃先丸み半径の異なる工具を用いて微小 2 次元切削実験をおこなうとともに、 k を用いて検討した結果、以下のことが明らかになった。

- 1) k の増加とともに、比切削抵抗およびせん断ひずみは増加する。
- 2) k 同値の場合に、刃先丸み半径が大きいほど、比切削抵抗およびせん断ひずみは小さくなる。
- 3) k の増加とともに、せん断角および算術平均あらさは減少する。
- 4) k 同値の場合に、刃先丸み半径が大きいほど、せん断角および算術平均あらさは大きくなる。
- 5) 刃先丸み半径が小さいほど、切りくずのカールの曲率半径は大きくなる。
- 6) 刃先丸み半径が大きくなると、切りくずの脱落間隔は短くなり、とくに SKD61 について顕著にみられる。

6. 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、工具および被削材等の提供をはじめ、多大なご協力をいただいた(株)不二越に厚く御礼申し上げます。

Fig.3 Relation between k and specific cutting force

Fig.4 Relation between k and shear angle

Fig.5 Relation between k and shear strain

Fig.6 Relation between k and arithmetic mean deviation of the profile

Fig.7 Behavior of chip flow