平行溝砥込み型ブレーカつき工具の損傷機構*

北川 亮 三** 大草 喜太雄** 前田 俊 明***

On the Tool Wear of an Integral Obstruction Type Chip Breaker

Ryozo KITAGAWA, Kitao OKUSA and Toshiaki MAEDA

Proper chip breaking performance is always important for safety, easy for chip disposal and efficient in an automatic machining operation. There are various designs of chip breakers available. Unexpected chippings occur on the minor cutting edge of the tool insert which cause the damage of the machined surface and decrease the accuracy of workpieces, even if chip breaking performance is suitable. It is interesting to know the reason why chippings occurred frequently when an insert having proper chip breaking performance was under optimum cutting conditions. Using four integral obstruction types of chip breakers, remarkable differences were found in up-curl chip formation and the occurrence time of chipping, where the amount of flank wear (VB) and crater wear (KT) were nearly same. The appearance of chipping on the minor cutting edge becomes faster as the chip-breaker distance decreases. It was found through contour observation that the sharpened edge could no longer withstand the dynamic components of cutting forces and resulted in chipping of the cutting edge due to an increment of the minor cutting edge angle.

Key words: chip breaker, tool wear, cutting force, dynamic component, static component, tool geometry, chip formation, tool failure

1. 結 言

切りくず処理の良否は工具の材種・形状、被削材の化学成分・熱処理組織、そして切削条件とも密接に関係し、また、切削時間の経過に伴って生ずる工具の損傷形態とも関係し、切削作業の能率向上に影響を与えている。

これまでの切りくず処理に関する多くの研究^{1)~4)}の中でチップブレーカ形状と工具損傷あるいは工具寿命とに関連した系統的な研究⁵⁾⁶⁾は少なく、十分に解明されていないことも多い。一方、良く破断し、好ましい切りくずを排出している旋削作業中にブレーカつき工具の前切れ刃が突然欠ける現象について検討することも新しいブレーカの設計上必要である。

そこで、本研究では最も基本的な総研削・平行溝砥込み型ブレーカつき工具をとり挙げ、好ましい切りくずを排出する切削条件下で工具寿命試験を行って、三次元測定機によるクレータ摩耗変化の詳細な観察からブレーカ形状と工具損傷との関係について実験的に検

討し、前切れ刃の損傷機構を考察した結果を報告する。

2. 実 験 方 法

2.1 実験に用いた工具と被削材

表1に示す4種類の超硬合金スローアウェイ工具(P20)を実験に用いた。工具はJIS SNPR 432型を基本とし、実験中工具のばらつきを小さくするよう特に同一ロットの粉末を用い、同一焼結炉で焼結して製作した。焼結後JIS 432型となるよう総研削で仕上げ、ブレーカはすくい角一定とし、幅 B のみ変えたものをダイヤモンド砥石車で表1のように設けた。被削材は炭素鋼S48C(直径200 mm×長さ600 mm)で、焼きならし処理を施したのち使用した。旋削実験では被削材の直径が120 mmに減少すると新しいものに変えた。ここで用いた実験手順はすべて機械振興協会の

Table 1 Tool geometries for this investigation

	γ°	B mm	R mm
SNPR 432 C	14°	2.2	1.0
SNPR 432 D	14°	2.7	1.0
SNPR 432 E	14°	3.2	1.0
SNPR 432	14°	6.0	1.0

* 原稿受付 昭和60年5月29日、昭和56年度精機学会春季大会学術講演会(昭和56年3月27日)および昭和58年度精機学会広島地方講演会(昭和58年11月24日)にて発表

** 正 会 員 山口大学工学部(宇部市常盤台2557)

*** 正 会 員 松江工業高等専門学校(松江市西生馬町14-4)

Fig. 1 Example of contour map and definition of minor cutting edge angle
Tool; SNPR 432 C, Cutting speed; 1.67 m/s, Cutting distance; 6 000 m

「規程データ収集のための旋削工具寿命仕様書」(1973年)に準じて行った。

切りくずについては本学会で分類された逃げ面障害型折断(C型)のうちU4C型⁶⁾を好ましい切りくず形状とし、いずれの工具でもこの切りくずが排出される切削条件として切込み2 mm, 送り0.3 mm/revを選んだ。切削速度は1.67 m/s (100 m/min), 2.08 m/s (125 m/min), 2.67 m/s (160 m/min), 3.33 m/s (200 m/min)の4速度を選定し、乾式切削により各種の実験を行った。工具の名称はSNPR 432 CをC型, SNPR 432 DをD型, SNPR 432 EをE型, そしてブレーカとしての作用をしないSNPR 432型を∞型と以下略して述べる。

2.2 クレータ摩耗の測定方法

各切削時間ごとにすくい面上のクレータ摩耗の進行状態を正確に測定しなければ、ブレーカ幅と工具損傷との関係を明確に出来ない。そこで、定められた切削時間ごとにチップをとりはずして三次元測定機でクレータ摩耗の形状を測定した。図1はクレータ摩耗等深線図と前切れ刃堤防の減少角EAを示す一例である。この図はX₁軸に平行に触針を動かし、すくい面を基準に測定値をとり、0.1 mm 間隔に同様のことを繰り返した。測定データからパーソナルコンピュータとXYプロッターで等深線図と横切れ刃に平行な断面曲線を作図した。定められた切削時間ごとに作図したこれらの図は80枚であった。これらの図に基づいて実験結果の考察を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 砥込み型ブレーカつき工具の切削特性

表1に示した4種類の工具について水晶圧電型動力

Fig. 2 Chip thickness and number of chips produced by various chip breaker after 1 min of cutting

計で切削抵抗を実測し、その波形をデータレコーダに記録した。この波形はA/D変換ののち、電算機にて切削抵抗の静的成分と動的成分⁷⁾⁸⁾に分けて算出した。

図2は同時に測定した毎秒当たりに排出される切りくず個数とその切りくず厚さを示し、同時に収集した切りくずの一例を示す。この図から同一切削速度で比較すると毎秒当たりの切りくず排出個数はC, D, E型工具の順に少なくなり、切りくず厚さはC, D, E, ∞型工具の順に厚くなっている。切りくず厚さの大小は工具すくい面への切りくずの接触長さの長短と対応⁹⁾¹⁰⁾するから、この図から切りくずの接触長さはC, D, E, ∞型工具の順に長くなると考えられる。

これらの実験と同時に測定した切削抵抗の静的成分と動的成分について整理した結果が図3と図4である。C, D, E型となるほど切りくず厚さは厚くなり、切りくずの接触長さも長くなる。∞型工具では切りくずを拘束する部分がなく、切りくず厚さは前者よりも厚く、切りくずの接触長さもさらに長くなる。このことから各工具の切削抵抗の静的成分は3分力ともに切りくずの厚さ、接触長さに対応した値を示している。一方、切りくずの破断性の良い工具ほど動的成分は高い値を示し、破断しない∞型工具のそれは最も低い値を示している。図2, 図3, 図4から最も切りくず破断性の良いC型工具は4種類の工具のうちで最も低い静的成分を示しながら、最も高い動的成分を示している。

Fig. 3 Effect of the chip breaker distance on the static component of cutting force

この動的成分の高低は図5に示すような工具すくい面のクレータ摩耗の進行に伴って生ずる前切れ刃堤防の欠壊とも密接に関係するものと推察される。

このようにC, D, E型工具より排出されるU4C型切りくずを観察すると、切りくずの上向きカール半径のみ異なり、切削抵抗から求めた切りくず流出角は $36\sim 38^\circ$ 程度であることから横向きカール半径に変化は見かけられない。

これら実験を同一切削条件で比較すると平行溝砥込み型ブレーカ幅 B の変化は切りくず破断性の良否に影響し、それと共に単位時間当たりの切りくず排出個数、切削抵抗の静的成分、動的成分にも影響していることが分かった。

3.2 砥込み型ブレーカつき工具の寿命試験

工具寿命の判定基準としてクレータ摩耗深さ KT と逃げ面摩耗幅 VB の基準値がよく採用される。そこで前述の切削条件を用い、切削速度は1.67, 2.08, 2.67, 3.33 m/sで、表1に示した4種類の工具で寿命試験を行った。クレータ摩耗の寿命基準 $KT=50\mu\text{m}$ 、逃げ面摩耗の寿命基準 $VB=0.3\text{mm}$ で求めた寿命線図が図6である。この実

Fig. 4 Effect of the chip breaker distance on the dynamic component of cutting force

験結果から切りくず破断性の良否と工具寿命曲線の優劣とは明確な対応が見られない。このことは竹増らの研究⁴⁾とも良く一致する。このように工具寿命試験の結果は工具の材種と形状、被削材、切削条件などにより定まり、従来から用いられた KT , VB による寿命判定にはブレーカ幅の変化による前切れ刃損傷などの現象は表現し難い。また、この判定方法では前切れ刃損傷が起こりやすい事実を説明することにも適切でないと考える。

図7は寿命試験に用いた工具の損傷を示す写真の一

Fig. 5 Tool wear and chipping on minor cutting edge under cutting speed of 2.67 m/s
Cutting speed ; 2.67 m/s, Depth of cut ; 2 mm, Feed ; 0.3 mm/rev

Fig. 6 Tool life curves under tool life criteria
KT = 50 μ m and VB = 0.3 mm

例である。横逃げ面の損傷写真からいずれの工具もVB摩耗はほぼ同じ形態であるが、すくい面を良く見ると切りくず裏面と工具すくい面との接触長さはC, D, E, ∞ 型工具の順に長さを増している。また、いずれの工具とも前切れ刃側の堤防は弱くなっていることが図7の写真より認められる。これらの損傷写真の観察から、 ∞ , E, D, C型工具の順に前切れ刃堤防は薄くなってゆく傾向を示している。この観察結果を詳しく検討するため、定められた切削時間ごとの3次元測定機の測定結果からクレータ等深線図を作図し、さらに前述の図1のような横切れ刃に平行でクレータ中心部を通る断面曲線も合わせて作図し、時間の経過による

Fig. 7 Tool wears produced in various chip breakers after 50 min of cutting
Cutting speed; 1.67 m/s, Cutting time; 50 min, Depth of cut; 2 mm, Feed; 0.3 mm/rev

堤防減少角EAの変化が分かるように配慮した。図8は図7に示した4種類の工具について求めたクレータ等深線図の一例である。この図からブレーカ幅Bが狭いほど前切れ刃側の等深線は密になり、前切れ刃側の堤防は弱くなっていることが認められた。このことから各切削速度、各切削時間ごとに求めたクレータの堤防減少角EAから図9を作図した。この図の点はすべてクレータ等深線図を描いて得られた結果である。図9から、切削速度が高くなるほど、また、ブレーカ幅が狭くなるほど前切れ刃の堤防減少角EAは大きくなる。そして、前切れ刃堤防の強度が落ちてゆく傾向を示している。さらにクレータ摩耗の進行は切りくずのカール半径を小さくする。このため、切りくずは小さく破断し、単位時間当たりの排出個数を増す。このことはC型工具について示した切削時間1 minと50

minにおける切削抵抗の静的成分と動的成分の変化からも認められる。この関係を図10に示す。

この図から切削時間の経過に伴う静的成分の変化は小さいが、動的成分の変化は著しい。このことは堤防への衝撃を与える一因と考えられる。

3.3 切りくず破断性と工具前切れ刃損傷との関係

チップブレーカつき工具は一般の工具と同様にあらかじめ設定した寿命に達するまで使用されるが、前節のように旋削加工の途中で前切れ刃に損傷を生ずることがある。このように砥込み型ブレーカつき工具の損傷は旋削に伴って生ずるクレータ摩

Fig. 8 Contour map of tool wears formed in various chip breakers after 50 min of cutting
Cutting speed; 1.67 m/s, Cutting time; 50 min, Depth of cut; 2 mm, Feed; 0.3 mm/rev

Fig. 9 Progress of minor cutting edge angle as function of cutting distance under various cutting speed

Fig. 10 Relationship between cutting force components and tool wears under cutting speed of 1.67 m/s

耗の形態と密接に関係している。また、その形態の変化状況は前切れ刃の損傷を起こす一つの原因とも考えられる。そこで、切りくず処理に関する研究⁹⁾¹⁰⁾を参考にし、前節までの実験結果から前切れ刃の損傷生成機構について考察を行った。

図11は従来の研究³⁾⁶⁾⁷⁾と前節までの実験結果をもとにして工具すくい面に設けた各種ブレーカ幅 B_c , B_b , B_e の変化とすくい面に生ずるクレータ摩耗および切りくずの上向きカールとの関係を示す概念図である。一般に切りくず裏面と工具すくい面との接触長さ

Fig. 11 Effects of chip breaker distance on the up-curl curvature and crater wear

abは切り厚さ t_1 の値よりも長く、しかもブレーカ幅 B により定まる切りくず流出半径の影響を受ける。図11から $\triangle abc$ は「切りくずが決まる場所」であり、また、「上向きカール」はブレーカ幅により定まる。前節までに述べた実験では切込みと送りを一定とし、ブレーカ幅のみを変えているから、接触長さ ab と切りくず厚さ t_2 とは対応し、 ab が長いものほど切りくず厚さ t_2 は厚くなる傾向を示す。このように、ブレーカ幅 B は接触長さ ab と上向きカールに関係する切りくずの流出円半径の大小に影響を与える。そして、ブレーカ幅 B_c , B_b , B_e と広くなるほど、接触長さ ab は長くなり、図11に示した切りくず流出側のクレータ幅 KB は広くなってゆく傾向を示す。

次に工具すくい面に生ずるクレータ摩耗のうち前切れ刃に起こる損傷と関係して、切りくずの横向きカールも合わせて検討しなければならない。そこで、切りくずの横向きカール生成機構は中山の研究¹¹⁾を参考にした。この研究と実験結果から、切りくずの横向きカールは工具の横切れ刃、ノーズ半径、前切れ刃、切込み深さ、送りなど切りくず形態が決まる諸因子により定まり、また、切削抵抗から求めた流出角はブレーカ幅の影響をほとんど受けていないことから、本研究に用いた砥込み型ブレーカ幅の変化は切りくずの横向きカールへあまり影響しないと推察される。

Fig. 12 Progress of crater wear as function of cutting time under cutting speed of 2.08 m/s

切削時間の経過に伴うクレータ摩耗幅 KB の進行方向は入江の研究¹²⁾を良く検討すると Colwell の近似とはほぼ一致している。また、図 12 に示した実験結果から切りくずの流出方向およびクレータ摩耗幅 KB の進行方向は Colwell の近似と同じになっていることが分かった。

これまでの検討から、切りくず処理性の良い砥込み型ブレーカつき工具に生ずる前切れ刃の損傷機構は次のように考えられる。切りくずの流出円半径 R_c の変化は接触長さ ab と形成されるクレータ形態に影響される。上向きカール半径(流出円半径) R_c を小さくするブレーカ幅の工具を用いると、接触長さ ab は短くなり、図 11 に示すようにクレータ幅 KB は短くなる。一方、横向きカール現象から前切れ刃側の切りくず速度は自由面側のそれより速い。これらからクレータ内の前切れ刃堤防側の切りくず擦過速度は増し、堤防を弱化するように作用する。また、切削時間の経過でクレータ摩耗は深くなり、切りくずの破断性をさらに良くする。これにより切削抵抗の動的成分の変動を大きくする。このことから、切りくずの破断性を良くするためブレーカ幅を狭くすると、切削抵抗の着力点は横切れ刃に近づき、また、クレータ摩耗の中心位置 KM は横切れ刃に近づく。そして、前切れ刃堤防の弱化部はノーズ先端側に近づき、前切れ刃堤防減少角 EA は増加する。 $v=2.67$ m/s で $EA \approx 18^\circ$ 、 $v=3.33$ m/s で $EA \approx 15^\circ$ で前切れ刃に欠けを生じた。 EA が 15° 以上になると前切れ刃は損傷を受けやすくなる。

4. 結 言

平行溝砥込み型ブレーカつき工具で切りくず処理を

行う場合に、切りくず破断性の良い工具ほど前切れ刃の損傷は起こりやすい。この原因についてクレータ摩耗の等深線図と断面図を作成して、詳細な観察と検討を行い、次の結果を得た。

- (1) ブレーカ幅の変化は切りくず上向きカール半径に影響する。切削抵抗からみた切りくずの流出角と切削時間の経過に伴うクレータ等深線の観察から、ブレーカ幅の変化は切りくず流出角や横向きカールに影響しない。クレータ摩耗幅 KB は Colwell 近似による切りくず流出方向へ広がってゆく。
- (2) ブレーカ幅を狭くし、切りくずの破断性を改善すると前切れ刃側のクレータ堤防の弱体部はノーズ側へ近づき、ブレーカ幅を逆に広くしてゆくと堤防の弱体部はノーズ側より遠ざかる。また、前切れ刃堤防の変化状態はクレータの等深線図と断面図から求めた堤防減少角 EA の変化とも良く対応した。このようにブレーカ幅を狭くして切りくず破断性を良くすると前切れ刃の堤防は弱体化して、損傷は受けやすくなる。

本研究を行うに当たり、工具の製作は東芝タンガロイ(株)のご援助を受けた。また、クレータ摩耗の等深線図作成用の 3 次元測定機は山口県商工指導センター機械科のお世話になった。ここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 奥島啓式, 星 鉄太郎, 藤縄 孝: 鋼切削における切りくずの挙動, 日本機械学会論文集, 25, 158 (1959) 972.
- 2) 竹山秀彦, 宮坂金佳: 切りくず処理に関する研究, 精密機械, 35, 11 (1969) 700.
- 3) 中山一雄: 切りくず生成機構と切りくず処理, 精密機械, 38, 12 (1972) 1070.
- 4) 竹増正信, 山崎直樹: チップブレーカのバイト摩耗におよぼす影響について, 神戸商船大学紀要, 第 2 類 3(1966)113.
- 5) G. Boothroyd: Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools, McGraw-Hill Kogakusha, (1975) 185.
- 6) 中山一雄: 切りくず形状の分類について, 精密機械, 42, 2 (1976) 74.
- 7) 頼 光哲, 斉藤義夫, 伊東 諒: 切削抵抗の動的成分に関する研究(第 1 報), 精密機械, 47, 11 (1981) 1391.
- 8) 頼 光哲, 斉藤義夫, 伊東 諒: 切削抵抗の動的成分に関する研究(第 2 報), 精密機械, 49, 5 (1983) 642.
- 9) 中山一雄: 切りくず形状の研究(第一報), 精密機械, 38, 7 (1972) 592.
- 10) 中山一雄: チップブレーカの研究, 日本機械学会論文集, 27, 178 (1961) 833.
- 11) K. Nakayama: Origins of Side Curl of Chip in Metal Cutting, Bull. JSPE, 6, 3, (1972) 99.
- 12) 入江 督: 鋼切削における超硬バイトの摩耗について, 日本機械学会誌, 58, 439 (1955) 600.