

工具損傷におよぼすブレーカ形状の影響について

北川亮三*・前田秀治**・藤田武男***

The Effect of Chip Breakers on Tool Wear

Ryozo KITAGAWA, Shyuji MAEDA and Takeo FUJITA

Abstract

In continuous cutting operation, the use of chip breakers has become virtually important and much effort has been put into the development of a wide range of breakers to suit a wide cutting condition.

Unexpected chipping will occur on the minor cutting edge, when as insert that has proper chip breaking performance is under optimum cutting condition. Then, the effect of chip breakers on the wear and chipping of inserts have been experimentally investigated.

The progress of crater wear is studied in details with the contour observation of five different chip breakers.

The main results obtained are as follow ;

- (1) The chip breaker patterns of tool face affect feed force and thrust force. In the case of the grooved chip breaker, the thrust force is larger than the obstruction type breaker. The chip breaker patterns do not affect the side flow angle if the cutting conditions are the same.
- (2) The forms of crater wear minor cutting edge chipping are significant influenced with the chip breaker patterns. If the projection of chip breakers is properly worn away with the progress of cutting time, the center of crater of the tool face moves away from the major and the minor cutting edges. The chipping of the minor cutting edge is easy to appear with a decrement in the wear of chip breaker projection.

1. 諸 言

切削加工の自動化、省力化を進めるうえで、鋼削りにおける切りくず処理は解決せねばならない重要な課

題の一つである。この切りくず処理の方法のうち工具に設けられたチップブレーカによる方法が簡単であり、加工現場でも多く使用されている。

工具側で切りくずの処理を行なう場合に、切りくず破断性の良否は切りくずの上向きカール半径、流出角、見かけの厚さなどの影響される。このため、広範囲の切削条件で切りくずの破断条件を満たし、摩耗と破損に強いチップブレーカ形状を持つ工具の開発が要請されている。この要求を満足させるため、最近の粉末冶

*生産機械工学科

**山口県商工指導センター 技術第一部

***工業短期大学部 機械工学科

金技術の進歩は超合金工具のすくい面に各種の突起などを設けることを可能とし、多種類のブレードつき工具が設計され、切削加工における切りくず処理に供されて鋼系材料の切削加工能率向上に寄与している。

これまでの切りくず処理に関する研究^{1),2),3),4)}では平行溝型ブレードつき工具について切りくず破断までの過程とその機構解明に重点が置かれてきた。しかし、工具すくい面に設けられた種々のブレード形状と工具損傷との関係^{5),6),7),8)}は研究も少なく、すくい面の損傷を三次元的に観察した例も余り見かけない。一方、ブレードつき工具の寿命時間は平面のすくい面を持つ工具のそれと比べ短いとの報告⁶⁾も見られ、信頼性の高い工具を開発するうえで、ブレード形状と工具損傷との関係を解明しなければならない。これらのことから、ブレードつき工具の損傷機構⁹⁾を解明することは切りくず処理性も良く、破損の少ない、信頼性の高いブレード形状を持つ切削工具の設計資料を提供することに役立つと考えられる。

本研究では良好な切りくず破断条件下で工具寿命試験を行ない、工具すくい面に設けられた各種ブレード形状と工具摩耗・破損との関係を三次元測定機による損傷形態の詳細な観察を通じて調べ、ブレードとしての突起などが工具損傷にどのような影響を与えるかについて検討した結果を報告する。

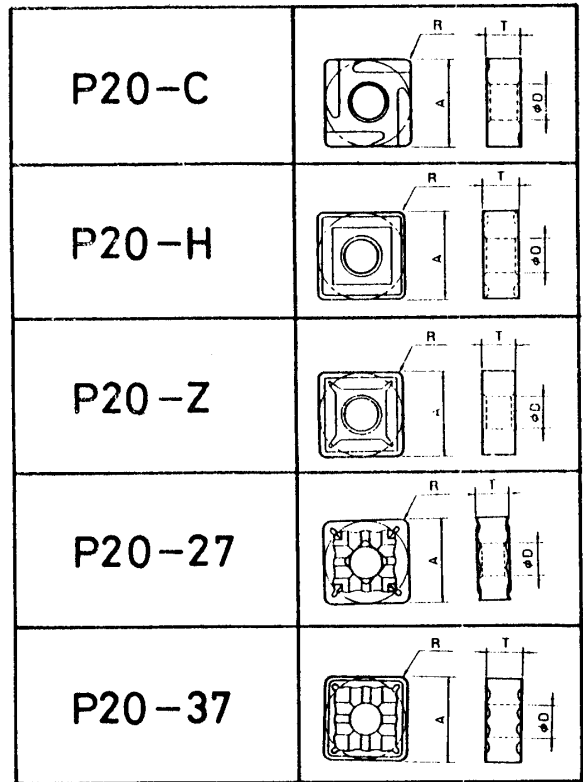
2. 使用した工具と実験方法

ブレードつき工具は切り込み、送り、切削速度の広範囲な領域で良好な切りくず破断性を要求される。そこで、本研究ではブレードつき工具に要求される条件、(i)切りくず破断の範囲が広いこと、(ii)切削抵抗が高くならないこと、(iii)切れ刃の強度が十分で、取りつけ精度を保てるものなどを考え、次の5種類の形状を選んだ。使用した超硬材種P20で、ロット間の性能のばらつきを避けるため、同一ロットの超合金粉末を用い、同一炉で特別に焼結して実験に供した。

5種類の超硬工具にはそれぞれ記号をつけ、本文ではこの記号により工具の実験番号として表わした。

- (a) 平行溝研削型.....P20-C
- (b) 全周溝型.....P20-H
- (c) 全周溝型で、その中に突起をもつ.....P20-Z
- (d) 全周溝型で、すくい面に突起と波形...P20-37
- (e) すくい面に小さい突起と凹凸の波形...P20-27

これら工具の形状をFig. 1に示す。この工具はJIS432型で、刃部形状が $-5^{\circ}, -5^{\circ}, 5^{\circ}, 5^{\circ}, 15^{\circ}, 15^{\circ}, 0.8$ となるホルダーに取りつけて旋削実験を行なった。工具すく



A=12.7, T=4.76, D=5.2, R=0.8

Fig. 1 Five chip breakers used in this experiment.

い面は総研削のものと焼結肌のものがある。この両者の相異は工具摩耗状態に相異を与えることが心配される。そこで、この問題は別途に実験する予定で工具を準備中である。

被削材は焼ならしの炭素鋼S48Cで、その寸法は長さ600mm、直径200mmである。多くのブレードつき工具の切削条件は切り込み1~4mm、送り0.1~0.4mm/revである。そこで、精密工学会で定められた切りくず形状の分類¹⁰⁾からU4C型となるよう切削条件を選定し、切込み2mm、送り0.3mm/rev、切削速度1.67m/s, 2.08m/s, 2.72m/s, 3.33m/s、乾式旋削とした。旋削実験は定められた時間ごとに工具顕微鏡で逃げ面摩耗幅VBを実測し、切削距離1000mmごとに3次元測定機でクレータ摩耗形態の詳細な測定を行なった。各旋削実験は3回繰返して行なった。切削抵抗の測定はスイスKistler社製の水晶圧電型切削動力計を用い、切削抵抗の静的・動的成分^{11),12)}を実測した。なお、実験の手順は機械振興協会の「標準データ収集のための旋削工具寿命仕様書(1973年)」に準じた。

3. 実験結果と考察

3.1 使用した超硬工具の切削特性

使用したブレーカつき超硬工具の切削特性を知るため切削抵抗を実測し、同時に単位時間当りに排出される切りくずの個数を求めた。Fig. 2は5種類の超硬工具

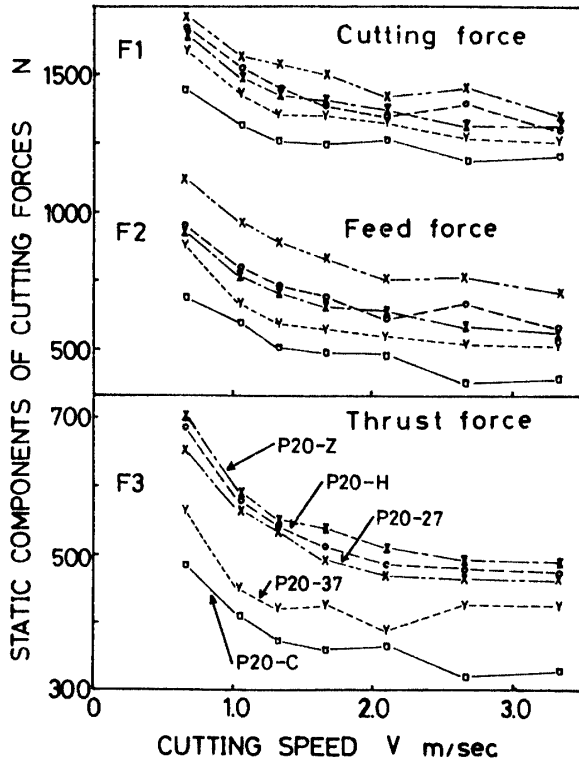


Fig. 2 Effect of the chip breaker geometries on the static components of cutting forces.

について切削開始後10秒から25秒まで15秒間の切削抵抗を記録し、分析して求めた切削速度と静的な切削抵抗との関係である。この実験から、すくい角の大きいP20-C工具は三分力とも最低の値を示している。切削三分力について最高値と最低値の相違を見ると主分力では約14%、送り分力では約36%、背分力では約34%の違いを生じている。このように切削抵抗はすくい角、ブレーカ幅、切りくずの上向きカール半径¹⁾などの影響を受けるので、ブレーカ相互間の関係を明確にできなかった。しかし、工具すくい面の形態は送り分力や背分力に影響を与えることが認められた。

送り分力と背分力から切りくずの流出方向を求める中山の研究¹³⁾を参考にして、本実験に使用した5種類の超硬工具について切りくずの流出方向を求めた。上述

の切削抵抗より送り分力の最高値と最低値を求め、その時のそれぞれの背分力を求めて作図した。Fig. 3は切削速度2.08m/sにおける切りくず流出方向と切りくずの形態を示す。Fig. 3から、切りくずが細くなるほど流出方向に変化が見られる。流出角は36°から40°までであるが、P20-37だけは30°から40°まで変化している。この図から切りくずの流出角は工具すくい面の形状すなわち全周に堤防を持つか否か、突起を持つか否かなどにほとんど影響を受けず、工具のノーズ半径、切込み、送りにより影響されることが認められた。ただし、切りくずの上向きカール半径はブレーカの位置により定まることがFig. 3より判かる。Fig. 3に示した上向きカー

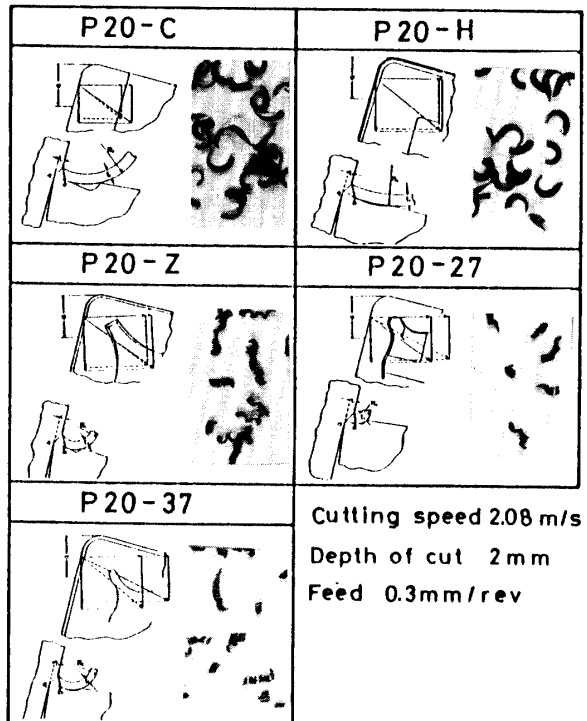


Fig. 3 Direction of chip flow and chip patterns when turned with tested tools.

ル半径はすくい面と切りくず裏面との接触長さを実験で求め、その点からブレーカ肩を通る円弧をえがいたものである。このようにカール半径の小さいものほど切削抵抗は高くなるとの研究結果¹¹⁾とも符合し、Fig. 2の実験結果とも合っている。これら突起などのブレーカによる切りくずの上向きカール半径が小さいほど、切りくず裏面は突起を強く擦過し、摩擦を起こしやすくなるものと推察される。

上述のように切りくず流出方向は5種類の工具ともほぼ同じであり、クレータ摩耗のトレーリング側への

進行方向は切りくずの流出方向へ進むものと予想される。

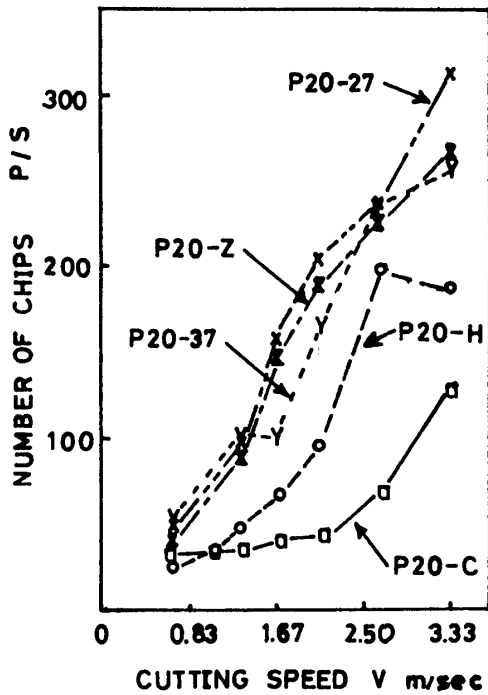


Fig. 4 Relationship between cutting speed and number of chips when the five chip breakers are used.

Fig. 4 は切削抵抗の測定と同時に求めた切削速度と単位時間当りの切りくず排出個数との関係である。この図から実験に供した5種類の超硬工具の切りくず破断性の良否を判定できる。この実験から同一切削速度で比較した単位時間当りの切りくず排出個数は $P20-27 > P20-37 > P20-Z > P20-H > P20-C$ の順に少なくなっている。このように切りくず排出個数の多いものは上向きカール半径も小さく、切削抵抗も高くなっている。

これらの実験から、切削抵抗の特徴、切りくず破断性の良否は工具すくい面や切れ刃稜線の形状に大きく影響されるが、切りくずの流出方向はいずれの超硬工具とも同じ方向になることが認められた。

3.2 工具の寿命試験

Fig. 1 に示した5種類の超硬工具を用いて寿命試験を行なった。これらの超硬工具を逃げ面から観察すると切れ刃の稜線は直線のものも曲線のものがある。そこで寿命試験の結果は切込みの中央部における逃げ面摩耗幅VBの値で整理した。

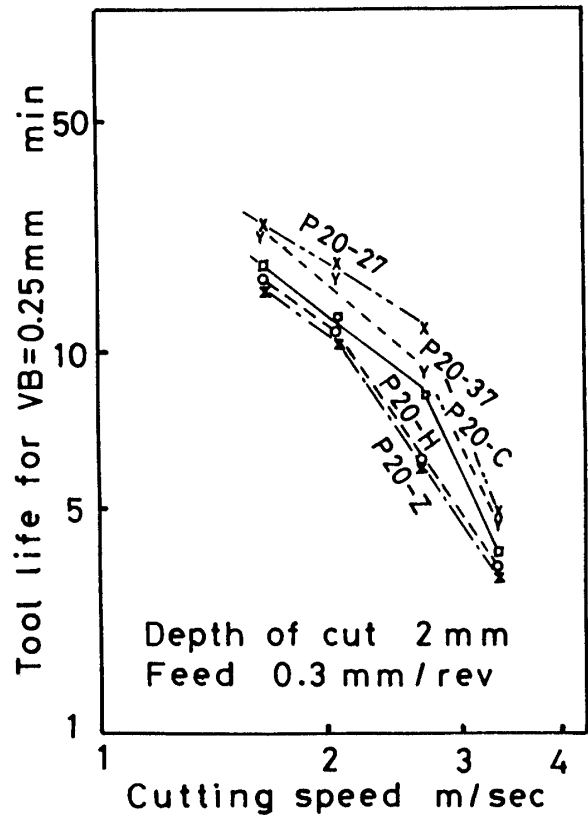


Fig. 5 Tool life curves under tool life criteria $VB=0.25\text{mm}$

Fig. 5 は寿命基準 $VB=0.25\text{mm}$ で求めた各工具の寿命線図である。工具すくい面や切れ刃稜線の形状に相異があり、各超硬工具の寿命曲線はわずかな相異を生じている。平行溝研込型ブレードカ工具の溝幅を変えたものの工具寿命試験⁹⁾では $VB \cdot KT$ 寿命基準で求めた寿命曲線に差異が認められなかった。また、切削条件と被削材が同一であれば、切削温度はブレード形状にほとんど影響されないとの研究⁸⁾もあり、 VB 摩耗は工具すくい面上の各種突起や切れ刃稜線の形状にあまり影響を受けないと推察される。しかし、Fig. 6 の切削速度 3.33 m/s 、切削距離 1000m で求めたクレータ摩耗立体図を見ると、 $P20-C$ 工具は前切れ刃部に大きな脱落部を生じて切削不能になっている。一方、 $P20-H$ 工具や $P20-Z$ 工具は同一切削条件でも工具の全周に堤防を持つため、前切れ刃に損傷も受けにくく、欠損に強い工具であることが認められる。

このようにブレードつき工具の損傷は VB 摩耗による工具寿命試験では十分に評価できず、クレータ形態や前切れ刃損傷などの観察をしなければならない事が判った。

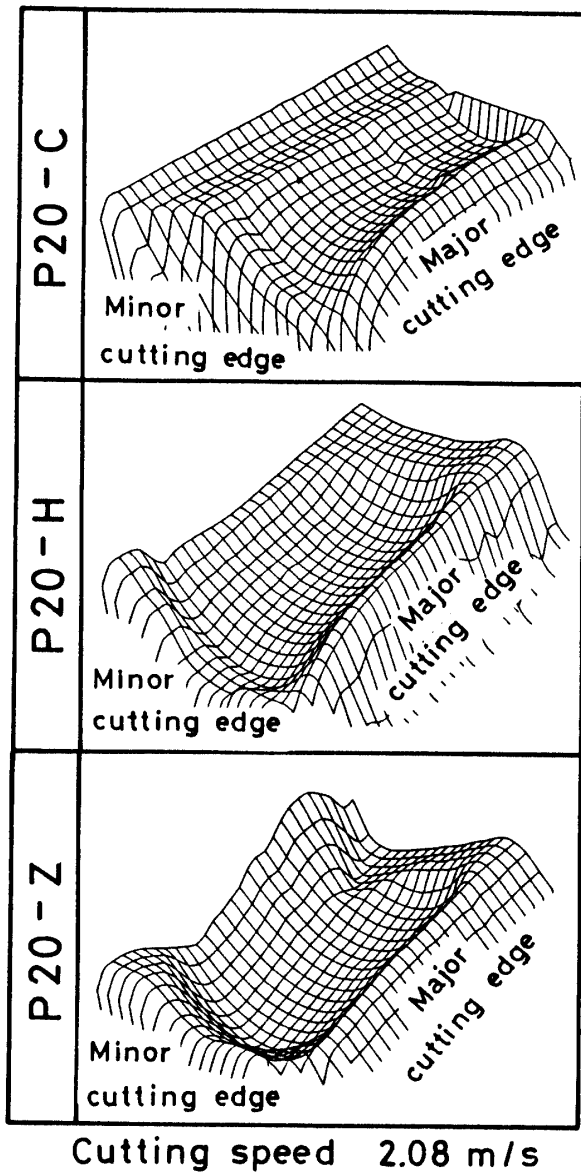


Fig. 6 Typical wear patterns of minor cutting edge after 1000m cutting operation.

3.3 工具損傷におよぼすブレーカ形状の影響

5種類のブレーカつき工具について、切削抵抗を測定し、工具寿命試験の過程での三次元測定機によるクレータ摩耗の観察と測定を行ない、工具損傷におよぼすすくい面上の突起物などの影響について調べた。

損傷の観察は切削速度2.08m/sの場合を中心に述べる。Fig. 7は切削開始直後と切削距離3000m(切削時間24分)における主分力・送り分力・背分力などの動的成分^{11),12)}の変化状態を示したものである。この図からブレーカ肩や突起などが摩耗し難い工具ほど切削距離の増加に伴う切削抵抗動的成分の三分力は著しい増加を

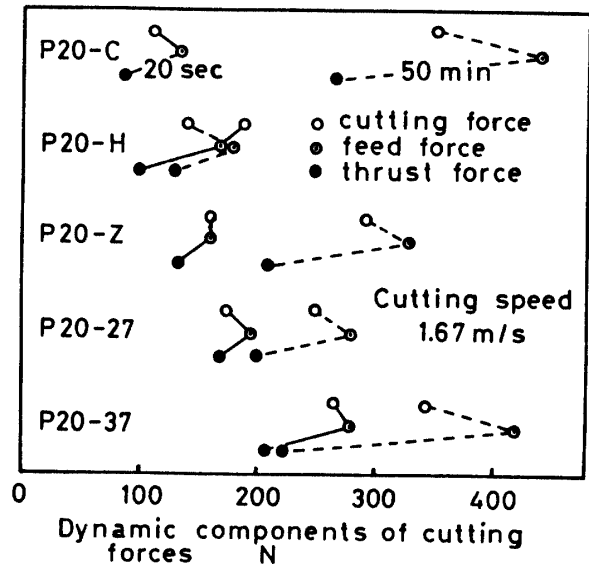


Fig. 7 Relationship between dynamic cutting forces and tool wears under cutting speed of 1.67m/s

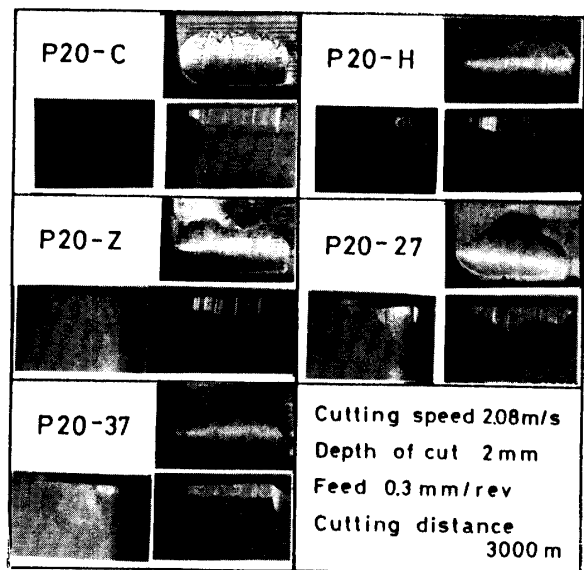


Fig. 8 Tool wears produced in various chip breakers after 24 min of cutting

示している。

Fig. 8はFig. 7と同じ切削条件で切削距離3000m削った時の損傷写真である。この図から、5種類の超硬工具のクレータ摩耗はブレーカ肩や突起の影響を受けた形態を示している。

そこで、この時の各超硬工具を三次元測定機にて形状測定し、クレータ等深線図を作成した一例がFig. 9である。すくい面が完全な平面を持つP20-C工具のクレー

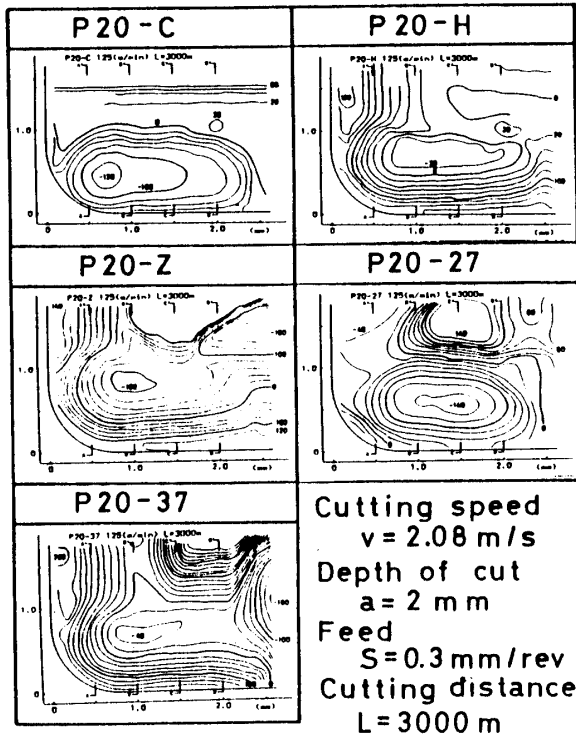


Fig. 9 Typical contour maps showing crater wear of five chip breakers.

タ形態は損傷写真と良く一致している。しかし、突起のあるP20-Z, P20-27, P20-37やP20-Hなどはすくい面が平面でなく、損傷写真と一部異なって見える。

これは工具を切削時と同じ形状になるよう三次元測定機に治具で固定し、損傷しないすくい面の最も低い位置を基準と定めて作図したためである。しかし、クレータ等深線図からクレータ摩耗が最も進行している場所と前切れ刃側に生ずる堤防の損傷状態を詳しく知ることができる。

Fig. 9を見るとブレーカが摩耗し難いP20-Cのクレータ中心は前切れ刃側へ近づき、切りくずのカール半径が大きくなるP20-Hではクレータ中心が前切れ刃側より離れている。P20-ZやP20-37工具は突起の摩耗に影響され、クレータ中心は前切れ刃側に近づいている。一方、P20-27工具は突起が適度に摩耗するためクレータの中心は前切れ刃側より離れている。このようにクレータ摩耗の最深部位置はブレーカ形状の影響を受けることが認められた。このことは前切れ刃側の堤防が損傷を受けやすいか否かと密接に関係する。

そこで、前切れ刃堤防の損傷を考えるため、これらの等深線図から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た。そして、切削距離の増加に伴う前切れ刃堤防減少角EA⁹⁾をそれぞれの超硬

工具と切削速度1.67m/s, 2.08m/sについて求めたものがFig.10である。

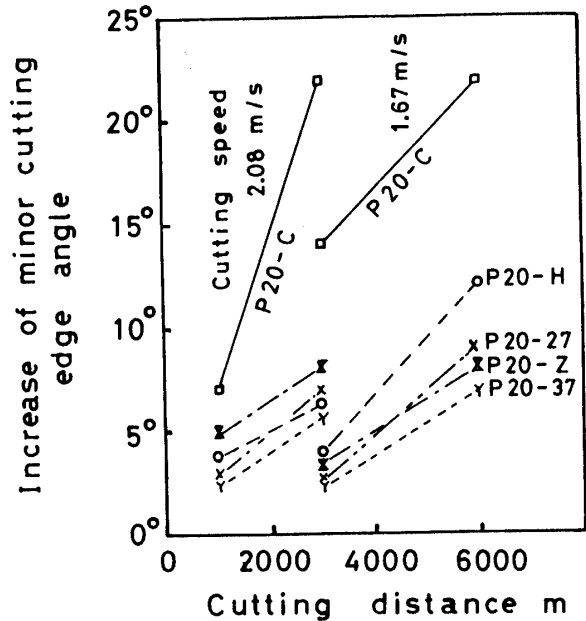


Fig. 10 Progress of minor cutting edge angle as function of cutting distance under various cutting speed

P20-C工具を除く他の工具はいずれも切れ刃稜にチャンファ部を持ち、これが前切れ刃損傷に影響をおよぼすと推察される。Fig.10を見ると前切れ刃堤防減少角EAの減少はブレーカ肩の影響を受けるP20-C工具が大きい。一方、ブレーカ幅の広い溝型のP20-H工具や突起が適度に摩耗するP20-27工具などはEAの減少割合は小さく、前切れ刃損傷を受けにくい。

このように工具すくい面に設けられた種々のブレーカは前切れ刃の損傷やクレータ摩耗の形態に大きく影響している。これはブレーカによる切りくずの上向きカールと切りくずの擦過で工具に設けられた突起などを摩耗し、切りくず流出方向にクレータ摩耗に進行する。このブレーカの摩耗状態がクレータ摩耗のトレーリング側への進み方を支配するためと考えられる。

つぎに、Fig.11は切削速度1.67m/sにおける切削距離とクレータ幅KBとの関係を示したものである。この図からクレータ摩耗のトレーリング側への進行状態はブレーカの形状に影響されることが認められた。また、Fig.12は切削距離1000mで求めた切削速度別のクレータ摩耗幅KBの変化である。この図も前図の実験結果と同様の傾向を示し、切削速度の増加でもクレータの摩耗形態はブレーカ形状に影響されることが判った。

上述の実験結果から、すくい面に設けられた突起な

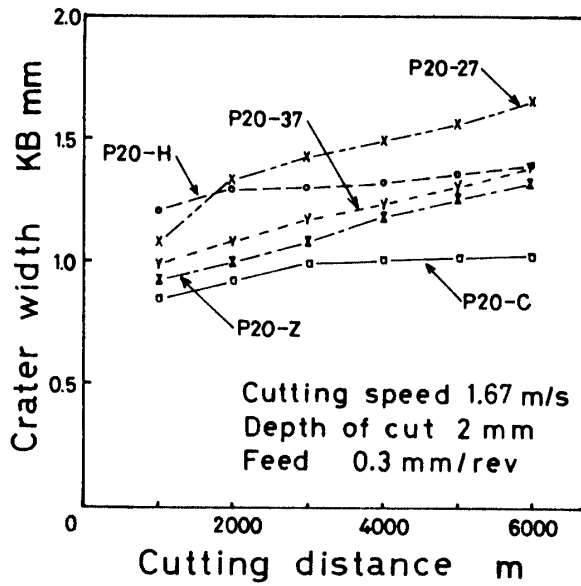


Fig. 11 Development of crater width.

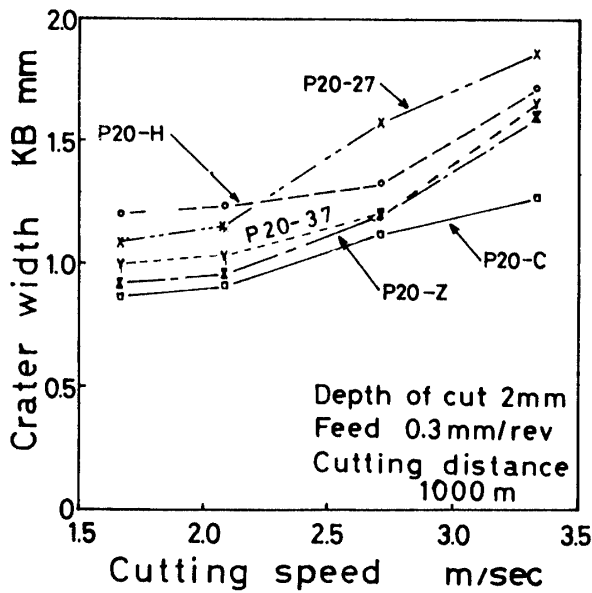


Fig. 12 Relationship between cutting speed and crater width when turned with tested tools.

どのブレードが前切れ刃損傷やクレータ摩耗の形態に影響をおよぼす機構は次のように考えられる。

従来の研究^{1),3),9)}と実験結果をもとにして工具すくい面に設けられたブレードとすくい面に生ずるクレータ摩耗形態および切りくずの上向きカールとの関係を検討する。

Fig. 3 から切りくず裏面と工具すくい面の接触長さ ab は切りとり厚さ t_1 よりも長く、切りくず厚さ t_2 と対応す

る。そして、ブレードの位置は接触長さ ab と上向きカールに関する切りくずの流出円半径 R_c の大小に影響する。切りくず流出円半径が小さくなれば、ブレードに加わる切削抵抗は大きくなる⁷⁾。このことから、切りくず流出円半径の大小はブレードに加わる切削抵抗の高低と密接に関係し、同一切込み、送りで考えればブレードの位置とその摩耗とは関係する。

平行溝研込型ブレード工具 P20-C では切削時間の経過に伴うブレード肩の摩耗は小さい。これは Fig. 3 の写真のような切りくずとなり、この切りくず裏面とブレード肩との接触幅も広く、ブレードに加わる単位長さ当りの切削抵抗は低減される。このため、ブレードは摩耗し難いので、トレーリング側で見たクレータ摩耗の位置と形状はブレードの位置に拘束される。このことから、クレータ最深部は前切れ刃側に近づき、それとともなうクレータ堤防は弱くなり、切削時に生ずる何かの衝撃力で前切れ刃損傷を受ける。

P20-Z などの突起を有する工具は Fig. 3 に示したように切りくず流出半径も小さく、このためブレードに加わる切削抵抗も大きく、切りくず裏面より突起も集中荷重を受けるので、突起は摩耗を生ずる。このことからクレータ摩耗幅 KB は広くなり、クレータ堤防に対し安全側に作用する。P20-C を除く他の工具は全周にチャンファを持ち、横切れ刃や前切れ刃とも正のすくい角を持つため、前切れ刃損傷と関係するクレータ最深部の位置はノーズ部より遠ざかるようになる。このように全周にチャンファを持つ工具は前切れ刃損傷を低減し、欠損の発生を防ぐことに寄与していることが判った。

4. 結 言

工具損傷におよぼすブレード形状の影響について、クレータ摩耗の等深線図と断面図などを作成して、詳しい観察と検討を行ない、次の結言を得た。

- (1) ブレード形状は切りくず流出円半径に影響し、送り分力の高低に影響する。また、全周にチャンファを持つ工具は高い背分力を示す。送り分力と背分力より求めた切りくず流出角は同一切削条件と同一ノーズ半径で比べるとブレード形状に影響されない。
- (2) 工具すくい面に生ずるクレータ摩耗の形態はブレード形状に影響される。突起などのブレードが切削時間の経過とともに適度に摩耗する工具ではクレータ摩耗幅は広くなり、クレータ中心位置は前切れ刃側より遠ざかる方向に動き、前切れ刃堤

防の損傷を低減する。

参 考 文 献

- 1) 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.
- 2) A. R. Trim and G. Boothroyd : Action of the Obstruction Type Chip Former, Int. Jnl. Prod. Res., 6, 3 (1968) 227.
- 3) B. Worthington and A. H. Redford : Chip Curl and the Action of the Groove Type Chip Former, Int. Jnl. Mach. Tool Des. Res., 13 (1973) 257.
- 4) B. Worthington and M. H. Rahman : Prediction breaking with Groove Type Breakers, Int. Jnl. Mach. Tool Des. Res., 19 (1979) 121.
- 5) A. B. Walton and B. Worthington : The Performance of Cutting Tool with Unusual Forms, The 21st Proceedings of MTDR (1980) 411.
- 6) G. Boothroyd and L. E. Reinhart : Effect of Chip Forming Devices on Tool Wear in Metal Cutting, Proc. 1st No. Amer. Metalworking Res. Conf. 2 (1973) 13.
- 7) 中山一雄, 新井 実, 近藤猛男, 鈴木 宏：曲面すくい面をもつ切削工具, 精密機械47, 11 (1982) 92.
- 8) A. H. Redford : The Effect on Cutting Tool Wear of Various Types of Chip Control Device, Annals of CIRP, 29, 1 (1980) 67.
- 9) 北川 亮三, 大草喜太雄, 前田俊明：平行溝砥込型ブレーカつき工具の損傷機構, 精密工学会誌52, 4 (1986) 106.
- 10) 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.
- 11) 頼 光哲, 齊藤義夫, 伊東 諠：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.
- 12) 頼 光哲, 齊藤義夫, 伊東 諠：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.
- 13) K. Nakayama and M. Arai : On the Strage of Date on Metal Cutting Forces, Annals of CIRP, 25, 1 (1976) 13.

(昭和62年1月27日受理)

謝 辞

この研究を行なうに当り, 超硬工具の製作は東芝タングロイ(株)のご援助を受けた。また, クレータ摩耗の等深線図の作成には山口県商工指導センターの3次元測定機を拝借するとともに内山機械科長のお世話になった。ここに感謝の意を表します。