強化プラスチックの切削加工に関する研究*

井 上 久 弘** 井 戸 守**

Study of the Cutting Glass Fiber Reinforced Plastic

Hisahiro INOUE, Mamoru IDO

This paper describes the effect of the cutting speed on the tool wear and the surface roughness of the Glass Fiber Reinforced Plastic. This study was performed to examine the effect in the high speed range (500-2900 m/min), although the cutting F. R. P. was studied in the low speed range up to this time. The main results obtained are as follows:

- (1) The shape's variation of cutting tool caused by wear is estimated by measuring the wear value in horizontal and relief face direction from the tool edge in orthogonal cutting.
- (2) The wear of the cutting edge is increased in nearly proportion to the cutting speed.
- (3) The chips are the crack types and the higher the cutting speed, the smaller the chips become.
- (4) In general the surface roughness has a maximum value at the some cutting speed.

1. ま え が き

最近、工業材料としてプラスチックが広く利用されるようになってきた。さらにガラス繊維を充てんしたガラス繊維強化プラスチックは機械的性質がすぐれ、また耐食性、絶縁性もよく軽量であることから、ここ数年来広い範囲にわたって実用化されるようになってきた。しかしながら、さらに多様化する用途には、既成の成形法（ハンドレイアップ、スプレイアップおよびマッchedダイなど）では十分対処することができない。特に精密部品として使用する場合は機械加工をほどこす必要がある。現在ガラス繊維強化プラスチックなどの複合材料の切削加工に関する研究は若干行なわれているが^{1)~6)}、それらは被削材の相違によって傾向も違い、なかには互いに矛盾するような結果もみられる。さらに、これらは500m/min以下の低速域での切削加工についてであって、高速域での切削実験は行なわれていない。そこで筆者らはガラス繊維強化プラスチックを断続切削加工した場合、切削速度（特に高速域での切削）がバイト摩耗にいかん影響するか、またこのとき被削材の表面あらさはどのような変化をするかについて研究を行なった。

2. 実験装置および方法

実験装置は近藤製作所製円筒研削盤 GLOSS-450 H

* 原稿受付 昭和47年1月4日、昭和45年度精機学会秋季大会学術講演会（昭和45年10月8日）にて発表。

** 正 会 員 大阪府立大学工学部（堺市百舌鳥 梅町4丁 804）

型を用い、研削砥石取付け部に砥石の代わりに、図1(a)に示すようなアルミニウム製の模擬ホイールを取りつけ、切削用バイトとしては、図2(b)に示すような形状のシャンクに超硬チップ（02形、呼び番号3、JIS B 4104）のK-20種をろう付けしたものを使用した（バイトチップとして超硬合金のK種が、ポリエステル樹脂を切削するのに最適であると報告されている⁴⁾から）。バイトは工具研摩盤で研削し、その表面あらさは $R_{\max}=0.2\sim0.3\mu\text{m}$ である。バイト形状は表1に示す。また被削材はガラス繊維強化ポリエステル樹脂を用い、その基材としてはクロス（H 250）30 ply とマット（CM 365）20 ply との2種類を用いた。切削はすべて二次元乾式断続切削の上向き削りである。切削条件は切込み0.866 mm、送り3 mm/rev で、切削速度を500 m/min、1400 m/min、2200

図1 切削工具の形状

表1 切削バイトの形状

被削材	すくい角(α)	逃げ角(γ)
マット材	$\alpha=0^\circ$	$\gamma=2^\circ, 5^\circ, 15^\circ, 25^\circ$
	$\alpha=10^\circ$	$\gamma=2^\circ, 5^\circ, 15^\circ, 25^\circ$
クロス材	$\alpha=0^\circ$	$\gamma=2^\circ, 5^\circ, 15^\circ, 25^\circ$
	$\alpha=10^\circ$	$\gamma=2^\circ, 5^\circ, 15^\circ, 25^\circ$

その他の角度はすべて 0° とした

図2 刃先摩耗のモデル図

m/min および 2900 m/min の4種に変速した。切削方向は積層に垂直に切削した。

次にバイト刃先の摩耗量の測定は、次章で述べる刃先摩耗の形態から、摩耗量を図2のようにモデル化して定義して行なった。すなわち a, c をそれぞれすくい面、逃げ面の刃先後退量、 b, d をそれぞれすくい面、逃げ面の刃先摩耗幅とした。これら四つの値は投影器および工具顕微鏡を使用して直接測定し、また落射顕微鏡で写真撮影することによりこれらを詳細に検討した。これら測定された a, b, c および d の値は、試料を約 10.6 m 切削したときのバイト刃先の摩耗量である。

3. 切削後のバイト刃先摩耗の表わし方

切削後のバイト刃先の摩耗形態の一例を図3に示す。図3(a)はバイトのすくい面の摩耗を示したものである。図中 A-B 間はほぼ定常状態であるので顕微鏡の焦点を調整してこの A-B 間の刃先の横方向からのりょう線を写したのが図3(b)である。図から明らかなように、金属を切削した場合の摩耗形態とは異なり、いずれも若干の丸みを帯びている。しかしここでマット材の場合とクロス材の場合とを比較すると、被削材が違っていても刃先摩耗の形態は同じであるので、以後刃先摩耗の形態についてはマット材もクロス材も同じと考えてよいと思う。そこで摩耗量としては図3をモデル化して図2のように

クロス材 マット材

すくい角 $\alpha=0^\circ$ 逃げ角 $\gamma=25^\circ$

すくい角 $\alpha=10^\circ$ 逃げ角 $\gamma=5^\circ$

切削速度 $V=2200$ m/min

(b) バイト側面の形状

図3 バイト刃先形状

表わし、 a, b, c および d で定量的に表示したが、これらの諸量と実際の摩耗面積との関係について考えてみるため、いま図2の H, K を結んだ $\triangle OHK$ の面積を S_c とし、近似摩耗面積と呼ぶことにする。 S_c は次のようになる。

$$S_c = \frac{1}{2} \frac{\cos(\alpha+\gamma)}{\sin \gamma \sin(\alpha+\gamma)} \cdot a \cdot c = k_{\alpha\gamma} \cdot a \cdot c \quad (1)$$

ただし、 α はすくい角、 γ は逃げ角である。

一方、 a, b, c および d はそれぞれ次のような意味を持っている。まず a と c の変化は図から OK, OH の変化に相当する。したがって摩耗面積が一定で a すなわち OK が大きくなると OH が小さくなり、 θ の角度が大きくなってバイト刃先の摩耗部はフランク摩耗に似て $\alpha=0$ のすくい面に垂直な形状に近くなってくるが、 a が小さくなると逆にフランク摩耗とはまったく異なった形態を示すことになる。一方、 b, d は a, c とは異なって、刃先のすくい面および逃げ面と被削材との接触摩耗範囲の状態を示す。

図4 摩擦面積と切削速度との関係

図5 近似摩擦面積と切削速度との関係

4. 切削速度と摩耗量との関係

4.1 刃先の摩擦面積と切削速度との関係

図4, 図5に刃先の摩擦面積と切削速度との関係を示す。図4の縦軸は面積計により測定した実際の摩擦面積 S_f であり, 図5の縦軸は計算による近似摩擦面積 (図2の $\triangle OHK$ の面積) S_e である。 S_f , S_e ともに切削速度の増加につれて増している。ここで切削速度が一定の場合, 逃げ角 γ の値に対する S_f と S_e との値は全体的に逆の傾向, すなわち計算値 S_e は γ の値が小さいほど大きくなり, 実測値 S_f は γ の値が大きいほど大きくなって

表2 ka_γ の計算値

$\alpha \backslash \gamma$	2°	5°	15°	25°
0°	410	66	7.2	2.5
10°	67	21	4.1	1.7

いる。これは式(1)における係数 ka_γ の値が表2に示すように γ の変化によって大きく変化するため逆の傾向になったのであろう。したがって γ が一定であれば, 刃先の摩擦面積の変化は式(1)で与えられる近似摩擦面積 S_e の変化で表わしても定性的には同じと考えられる。すくい角 $\alpha=10^\circ$ の場合もこれらと同じ傾向を示し, 被削材の基材がクロス, あるいはマットにかかわらず切削速度が増加すると刃先の摩擦面積 (摩耗量) は増加する。

4.2 刃先後退量 (α および c) と切削速度との関係

図6はすくい面刃先後退量 a と切削速度との関係, 図7は逃げ面刃先後退量 c と切削速度との関係を示す。すくい面刃先後退量は, クロス材, マット材ともに切削速度が増加するにつれて刃先後退量が増加し, バイト形状の観点からは逃げ角 γ が大きくなるほど刃先後退量が大い。しかし,

これは γ が変化すると同時に刃先角も変化するので直接比較することができない。そこで刃先角が同じ場合 ($\alpha=0^\circ$, $\gamma=15^\circ$ と $\alpha=10^\circ$, $\gamma=5^\circ$, あるいは $\alpha=0^\circ$, $\gamma=25^\circ$ と $\alpha=10^\circ$, $\gamma=15^\circ$) を考えてみよう。この場合, 両者ともすくい角 $\alpha=10^\circ$ のときのほうがすくい面刃先後退量が小さい。すなわち, 切削後の刃先は切削速度が一定であれば, ほぼ同じ摩擦形状を示すので, 同じ長さだけ切削した場合の刃先摩擦は図8のようになる。ここで同じすくい面刃先後退量をとると考えた場合, すくい角の大きいほう ($\alpha=10^\circ$) はさらに面積 s_2 だけ摩擦しなければならない。これよりすくい面刃先後退量は,

図6 すくい面刃先退量と切削速度との関係

図7 逃げ面刃先退量と切削速度との関係

図8 刃先の摩耗

すくい角 α の大きいほうが小さい値をとるものと考えられる。

一方、逃げ面刃先退量は、マット材では切削速度の高いところですくい面刃先退量 a と似た傾向を示すのに対して、クロス材ではすくい角 α による影響は認められない。そして全体的な傾向としては両者とも、切削速度の変化に対して同じ傾向を示す。

4.3 摩耗幅 (b および d) と切削速度との関係

図9はすくい面摩耗幅と切削速度との関係、図10は逃げ面摩耗幅と切削速度との関係を示す。すくい面摩耗幅は切削速度の増加に伴って増加するが、その増加割合は切削速度が増すにつれて減少してくる。これに対して逃げ面摩耗幅は切削速度の増加にほぼ比例して増加する。しかし、これらの増加割合はクロス材のほうがマット材よりも大きい。これらの原因としては後述する(5章参照)ように、切削後被削材表面に切残されたガラス繊維束との接触による影響と考えられる。

5. 被削材の表面あらさと切りくずの形状

5.1 切りくずの形状

図11にガラス繊維を含んでいないポリエステル樹脂のみを切削した場合の切りくずを示す。図から明らかなように切りくずはすべて貝殻状の模様をしている。切削速度が速くなるにつれてこの切りくずが小さくなっているところから、切削速度が大きくなるにつれて衝撃力が大きくなり、微細なき裂が発生して切りくずが小さくなると考えられる。

図9 すくい面摩擦幅と切削速度との関係

図10 逃げ面摩擦幅と切削速度との関係

次にガラス繊維強化プラスチックを切削した場合の切りくずを図12に示す。切りくずは図11の場合と同様に低速の場合は大きく、樹脂の中にガラス繊維を含んだかたまりとして生じる。これに対して、高速の場合はガラス繊維と樹脂とがほとんど分離された小片からなっている。これは切削速度が大きくなるにつれて、被削材の切削部に生じるき裂が微細化して母材とガラス繊維との接面積が小さくなり、そのためガラス繊維と樹脂とはく離が生じやすくなるためであろう。その結果、切削速度が大きくなるにつれてガラス繊維束は表面上に残り、これが単独にバイト刃先と接触するものと考えられる。

5.2 被削材の表面あらさとその表示法

切削後の被削材の表面状態と切削速度との関係を図13に示す。図から明らかなようにガラス繊維が完全に切

すくい角 $\alpha=0^\circ$
逃げ角 $\gamma=5^\circ$

図11 ポリエステル樹脂の切りくず

削されずに表面上に残っている。これら切残されたガラス繊維束は、クロス材の場合は常に三角形の形状(切削方向に高くなっていく形状)をなしているが、マット材の場合はガラス繊維の方向が一定でないため、ガラス繊維束の形状も一定ではない。このように切削後被削材の表面にガラス繊維が残っているため、被削材の切削後の表面あらさを考える場合に、これらの残留ガラス繊維も考慮する必要があると考え、これらのガラス繊維をも含

図 14 表面あらさと切削速度との関係

下の場合とそれ以上の場合とではその差が大きく出てくる。しかし、さらに切削速度が増加した場合、マット材の現象とガラス繊維束の状態から考えて、ある切削速度のところで最大値を持つものと考えられる。以上のことより、すくい角 α の影響についてはマット材とクロス材とを比較すると、マット材はガラス繊維が小さく分散しているために母材の性質が大きく出ている。すなわちポリエステル樹脂そのものを切削した場合の現象に似ている。それに対してクロス材はガラス繊維束が格子状に配列しているので、この繊維束が切削時のクラックの伝ばを妨げるため、すくい角 α の変化による影響が出なかったのであると考えられる。一方、逃げ角 γ については、逃げ角 γ が大きいほど摩耗によって生じる刃先丸みが小さいため表面がよいのであろう。

6. 結 論

ガラス繊維強化プラスチックを超硬合金工具を使用し高速切削 (500 m/min ~ 2900 m/min) した結果、次の結論が得られた。

- (1) バイト刃先の摩耗量は、すくい面、逃げ面の刃先後退量 a , c を測定することによって刃先形態ならびに刃先摩耗面積を推測することができると同時に、 a , c の値よりバイトの寿命を決定することが

できる。

- (2) 一定距離切削した場合、バイト刃先の摩耗量は切削速度が増加するにつれて増加し、その形態は切削速度の増加につれて $\alpha = 0^\circ$ のすくい面に垂直であるフランク摩耗の形態に似てくる。
- (3) 切りくずはき裂型で切削速度の増加に伴って微細化し、樹脂とガラス繊維とははく離している。
- (4) 切削後の被削材の表面あらさはある切削速度に対して最大値を持つ。ただし、クロス材とマット材とは最大値を持つときの切削速度は異なる。また切残され

たガラス繊維束がバイト刃先摩耗に大きな影響を与えていると考えられる。

最後に、本実験を遂行するにあたり協力していただいた富士ゼロックスの山本隆雄君ならびに試料を提供していただいたスターライト工業 (株) に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) A. B. Руднев и Б. П. Штучный: Оптимальная конструкция инструмента и режимы точения неметаллических материалов типа стеклотекстолита, Станки и Инструмент, **34**, 11 (1963) 23.
- 2) A. Winkler und H. Jahnke: Untersuchung der Zerspanung von glasfaserverstärkten Epoxidharz, Plaste und Kautschuk, **15**, 12 (1968) 910.
- 3) 津枝正介, 長谷川嘉雄, 花崎伸作: 強化プラスチックの断続切削における工具摩耗, 日本機械学会論文集, **34**, 266 (1968) 1813.
- 4) 小林 昭: プラスチックの機械加工, 日刊工業新聞社 (1966).
- 5) 田島清昇: プラスチックとその切削工具, 機械と工具, **6** (1963) 19; **7** (1963) 39.
- 6) 益子正己, 隈部淳一郎, 安味貞正: 合成樹脂の切削における工具摩耗について, 日本機械学会論文集, **29**, 202 (1963) 1054.