研 究

プラスチックの切削加工の研究*

——塩化ビニール樹脂および紙入りフェノール樹脂における
工具摩耗の生成とその効果——

鴨 川 昭 夫**

Study on Cutting of Plastics

——The Formation and the Effect of the Tool Wear in the
Vinyl Resin and Paper Laminated Phenol Resin——

Akio KAMOGAWA

The first half of this study has clarified some effects of rake angle on cutting resistance, finished surface roughness, flank wear, and cutting temperature in the orthogonal cutting of Vinyl chloride resin.

1) As cutting time elapses, flank wear, horizontal force, vertical force and cutting temperature increase.

2) A larger rake angle makes the cutting temperature higher.

3) The rake angle (0 deg.) shows higher horizontal force than the one (−10 deg.)

4) The rake angle (0 deg.) shows better surface roughness than the one (−10 deg.)

The second half of this study has clarified some effect of tool materials on cutting resistance, flank wear and cutting surface roughness in the orthogonal cutting of paper-laminated phenol resin.

1) As cutting time elapses, flank wear, horizontal force, vertical force, and cutting surface roughness increase.

2) Horizontal force, flank wear, and surface roughness, depended upon tool materials.

1. 結 言

さきに論文¹⁾を発表した。これは実用的な面から考えてフェノール樹脂の中に紙を混入した材料を2次元切削し、切削速度(V)およびすくい角(α)を変えた場合における工具摩耗を切削時間・切削温度から検討したものである。

本研究は、熱硬化性樹脂であるフェノール樹脂と比較するために、不純物の入らない純粋な塩化ビニール樹脂を使用した。この樹脂は、すくい角を変えて切削時間を増大すると工具が摩耗する。そこで切削中における切削抵抗の水平方向分力(主切削抵抗)・垂直方向分力および切削温度を測定することによって工具摩耗との関連性を検討しようとしたものである。

2. 実験の方法

切削温度の測定は前報¹⁾とまったく同様であるが mV メータで直読する代りに高感度自動記録型 mV メータに

*原稿受付 昭和43年7月3日、昭和38年度春季大会学術講演会(昭和38年4月7日)にて発表。

**正 会 員 理化学研究所(埼玉県北足立郡大和町下新倉4775)

て mV を自動記録しこの値を温度に換算した。また、すくい角を変えた場合における仕上面あらさを検討した。なお、論文¹⁾とまったく同様な紙入りフェノール樹脂では工具材質・超硬合金工具(K-10・P-10)・セラミックバイト・高速度工具鋼(3種)に変えた場合における切削時間と工具摩耗量・水平方向分力および仕上面あらさ等について検討した。

実験装置は図1に示すとおりで、次の部分より成立っている。

(1)Boley社のダイヤモンド旋盤 (2)試験片 (3)切削工具 (4)増幅器 (5)ストレインメータ (6)ペン書きオシロ (7A)水平方向分力(F_c)を測定するためのストレインゲージ (7B)垂直方向分力(F_t)を測定するためのストレインゲージ (8)8角形の切削工具動力計。

3. 較 正 試 験

図1に示した8角形の切削工具動力計の力とひずみとの関係を図2・図3に示す。図2・図3からわかるように荷重を水平方向12kg・垂直方向の場合7kgまで増してゆくと F_c ・ F_t 方向のひずみは増大する。この較正試験においてゆきとかえりにおける荷重とひずみとの

図 1 切削抵抗測定装置

値はまったく一致し、必ず0点にもどる。したがって、ペン書きオシロで自動記録したこのひずみをよみとることによって $F_c \cdot F_t$ が求められる。ただし、この動力計の較正曲線において図のような曲率を示したことは8角形の厚みのむらおよび力の作用点のずれ等が関係しているものと思われるが、この曲線は弾性限界内であることは間違いない。

4. 塩化ビニール樹脂の切削

塩化ビニール樹脂を切削速度 $V=235\text{m/min}$ ・切込み 0.023mm/rev ・すくい角を $-10^\circ \cdot 0^\circ \cdot 20^\circ$ なる切削条件で切削したときの切削時間と切削抵抗 $F_c \cdot F_t$ との関係を図4に示す。

F_c は破線で、 F_t は実線で表す。おのおののすくい角で切削時間を変えたときの F_c および F_t の増大は切削時間が経過するにつれて工具の逃げ面の摩耗面積 A が増大することに起因する。ただし、おのおののすくい角における切削抵抗の大きさの順位は前の論文¹⁾の紙入りフェノール樹脂を切削したときのすくい角の関係とまったく同様でありすくい角が $0^\circ \cdot -10^\circ \cdot 20^\circ$ の順に切削抵抗 (F_c) が少なくなっている。この理由は、すくい角を $\alpha=0^\circ \cdot -10^\circ$ とを比較すると F_t 方向の分力の大

図 2 水平方向分力 (kg) とひずみ量 (δ) mm との関係

図 3 垂直方向分力とひずみ量との関係

Vinyl resin SKH3, $V=235\text{m/min}$, $t=0.023\text{mm/rev}$

Vinyl resin SKH3, $V=235\text{m/min}$, $t=0.023\text{mm/rev}$

図 4 切削時間と切削抵抗 $F_c \cdot F_t$ との関係

きな -10° は 0° よりも切削中における弾性回復率が大きく、逃げ面との接触面積が大きくなり摩耗幅が少なくなる。したがって $\alpha=0^\circ$ よりも $\alpha=-10^\circ$ の方が F_c は低くなっている。一方 $\alpha=20^\circ$ の場合には $F_c \cdot F_t$

ビニール樹脂 高速度鋼 3 種 $V=235\text{m/min}$, $t=0.023\text{mm/rev}$, $\alpha=0^\circ$

図 5 自動記録による $F_c \cdot F_t$ の変化

ビニール樹脂 高速度工具鋼 3 種 $V=235\text{m/min}$, $t=0.025\text{mm/rev}$

図 6 切削時間と切削温度との関係

ビニール樹脂 高速度鋼 3 種 $V=235\text{m/min}$

図 7 切削時間と摩耗幅との関係

がともに小さいために摩耗量は少ないものと考えられる。

ペンがきオシロにより自動記録した F_c および F_t の変

化を図 5 に示す。図 5 から $V=235\text{m/min} \cdot \alpha=0^\circ$ なる切削条件で切削時間を F_c の場合には 1 分から 15 分まで、 F_t の場合には 1 分から 17 分まで変えると逃げ面の摩耗面積が増大してゆくために $F_c \cdot F_t$ ともに漸次増大してゆく経過がみとめられる。つぎにおおののすくい角で切削時間と切削温度との関係を検討した結果を図 6 に示す。おおののすくい角で切削時間を変えると切削温度は上昇して

いる。これは、切削時間が增大することによって逃げ面の摩耗面積が増大し、 $F_c \cdot F_t$ が増すために切削温度は上昇したものと考えられる。また、すくい角の小さいほど F_t は大きくなるために切削温度は上昇する。

おおののすくい角で切削時間と摩耗幅 (B) との関係性を検討した結果を図 7 に示す。おおののすくい角によって切削時間が增大するにつれて摩耗幅が増大する。いま、このすくい角による摩耗幅の大きさを検討する。 $\alpha=-10^\circ \cdot 0^\circ$ は圧縮しながら切削している。そのときの逃げ面の接触面積の大きさは、 $\alpha=0^\circ$ よりも $\alpha=-10^\circ$ の方が大きいために F_t/A は減少し、摩耗幅 B は小さい。これに比較して $\alpha=20^\circ$ は引張りひずみを生じながら切削し、切削抵抗の $F_c \cdot F_t$ が小さいために摩耗幅 (B) が少なくなったものと解せられる。

5. 紙入りフェノール樹脂の切削 (工具材種の影響)

高速度工具鋼・セラミック・超硬合金工具 K-10, P-10 を使用し $V=235\text{m/min} \cdot \alpha=0^\circ$ で切削時間を変えるとときの切削抵抗の変化を図 8 に、切削時間と摩耗幅との関係を図 9 に示す。図 8 からわかるように、 F_c は切削工具の種類によって変化していることが明らかとなった。高速度工具鋼・セラミック超硬 K-10, P-10 は切削時間が経過すると切削抵抗は増大する。

この理由は図 9 からわかるように時間とともに工具の逃げ面摩耗幅 (B) の増大によるものである。セラミック工具の切削抵抗の増大は、工具が白色のために摩耗幅は顕微鏡のもとではよみとれなかったが、おそらく微少の摩耗幅の増大が行なわれたためであろう。また他の工具に比較して、セラミック工具は、フェノール樹脂の逃げ面溶着が激しいことから、この溶着物とフェノール樹脂との摩擦のために切削抵抗が増大したものと考えられ

紙入りフェノール樹脂 $V=235\text{m/min}$, $t=0.023\text{mm/rev}$, 切削角 90°

図 8 工具材質を変えた場合の切削時間と切削抵抗との関連性

紙入りフェノール樹脂 $V=235\text{m/min}$, $\alpha=0^\circ$

図 9 切削時間と摩耗幅との関係

る。

なお、初期の切削抵抗の大きい材料ほど、摩耗幅が増大する。

つぎに、セラミック工具・高速度工具鋼・超硬工具 (K-10, P-10) で切削速度 235m/min ・すくい角 0° ・切込み 0.023mm/rev なる切削条件で切削したときの切れ刃の状態を図10に示す。図10からわかるとおり、セラ

紙入りフェノール樹脂 $V=235\text{m/min}$, $t=0.023\text{mm/rev}$, $\alpha=0^\circ$

図10 工具材質による切れ刃の状態

ミック工具は、切れ刃の摩耗状態は不明であるが溶着が激しい。また、高速度鋼・ G_1 ・ S_1 の順に摩耗は少ない。この理由は、図8が示すように初期の切削抵抗の大きさが摩耗に影響を及ぼしているものと思われる、切削抵抗の大きな材質ほど摩耗は大きい。

高速度工具鋼・ S_1 は切れ刃の先端からシャンクの方向に一樣な摩耗を起こしている。しかしながら G_1 は切れ刃がぜい性のために若干のチッピングが認められ、しかも切れ刃にうねりを生じており、いずれも熱によるものと考えられる。

さらに、工具材質の種類によって溶着物の大きさに明らかな変化を及ぼす。すなわち、図10にみられるようにセラミック工具の場合には2分から12分まで溶着し、高速度工具鋼は2分から5分まで溶着し、超硬工具 (P-10) は2分まで溶着せず、5分からその傾向があらわ

紙入りフェノール樹脂 $V=235\text{m/min}$,
 $t=0.023\text{mm/rev}$

図11 切削時間と切削仕上面あらさとの関連性

紙入りフェノール樹脂 $V=235\text{m/min}$, $\alpha=0^\circ$

図12 工具材質による切削時間と仕上面のあらさとの関係

れ、12分から完全溶着が行なわれている。超硬工具 (K-10) 溶着現象はみとめられない。このように、溶着物の生成は切削温度とも関連してフェノール合成樹脂の摩擦にたいし大きな影響を及ぼすことがわかる。

紙入りフェノール樹脂を $V=235\text{m/min}$ ・ $\alpha=-10^\circ$ ・ 0° ・ 20° なる切削条件で切削したときのすくい角と切削仕上面あらさ (最大仕上面あらさ) との関係を図11に示す。図11からわかるように、すくい角の小さいほど切削仕上面あらさが大きい。すくい角が小さいほど垂直方向分力 F_t が大きくなるために、切削後において弾性回復が行なわれ、これが切削仕上面のあらさに影響し、すくい角の小さいほどあらさが大きくなっているものと考えられる。紙入りフェノール樹脂を高速工具鋼・セラミック・超硬合金工具 (G_1)・(S_1) を使用して、 $V=235\text{m/min}$ ・切込み 0.023mm/rev なる切削条件で切削時間

図13 工具材質による切削仕上面のあらさの変化

を約1分から20分まで増大した場合における切削仕上面あらさの変化を図12に示す。またおのおのの工具におけるあらさ曲線の変化を図13に示す。

図13からわかるとおり工具材質によって切削仕上面のあらさが異なることが明らかである。すなわちセラミック工具を除いては、切削抵抗 (F_c) の大きい工具材質ほど切削仕上面のあらさが大きく、高速工具鋼・超硬合金工具 (G_1)・(S_1) の順に切削仕上面のあらさは少なくなっている。これは多分摩擦幅が大きいと切削抵抗が増大し、切削後の仕上面のあらさが増すためであろう。なおセラミック工具のあらさが他の工具に比較して高い理由は、逃げ面にフェノール樹脂が溶着し、これとフェノール樹脂との摩擦のために仕上面のあらさが、あれたものと考えられる。つぎに、塩化ビニール樹脂について $V=235\text{m/min}$ ・ $\alpha=-10^\circ$ ・ 0° ・ 20° なる切削条件で切削したときのすくい角とあらさとの関連性を図14に示す。すくい角の小さい $\alpha=-10^\circ$ の方が $\alpha=0^\circ$ よりも F_t が大きいために弾性ひずみの大きさが増大し、したがって切削仕上面のあらさが大きくなっている。ただし $\alpha=20^\circ$ の場合においては、切削中に若干の振動がふくまれているために仕上面のあらさが $\alpha=0^\circ$ よりも大きくなり、また、 $\alpha=-10^\circ$ 同じ値を示している。 $\alpha=0^\circ$ で切削時間を変えたときの切削仕上面のあらさの変化を

ビニール樹脂 $V=235\text{m/min}$, $t=0.023\text{mm/rev}$, 高速度鋼

図14 切削時間と切削仕上面あらさとの関連性

図15に示す。図15から切削時間が2分から8分まで増大するにつれて工具の逃げ面摩耗が増大するため仕上面あらさが増している。

結 論

- 塩化ビニール樹脂の場合, $V=235\text{m/min}$ で $\alpha=-10^\circ \cdot 0^\circ \cdot 20^\circ$ とすくい角を変えて切削時間を増すとつぎのような結果を得た。
 - (1) 工具の逃げ面摩耗が増加すると切削抵抗の水平分力 (F_c) および垂直分力 (F_t) はともに増大する。
 - (2) すくい角の小さいほど切削温度は上昇する。
 - (3) F_c は $\alpha=0^\circ \cdot -10^\circ \cdot 20^\circ$ の順に小さく, F_t はすくい角の小さいほど大きい。
 - (4) 切削仕上面のあらさは $\alpha=-10^\circ \cdot 20^\circ \cdot 0^\circ$ の順に小さい。
- 紙入りフェノール樹脂の場合, $V=235\text{m/min}$ ですくい角を $\alpha=-10^\circ \cdot 0^\circ \cdot 20^\circ$ にして切削するとその仕上面のあらさはすくい角の小さいほど大きい。

ビニール樹脂 高速度鋼3種 $V=235\text{m/min}$, $t=0.023\text{mm/rev}$

図15 切削時間と切削仕上面あらさとの関連性

- 紙入りフェノール樹脂の場合, 工具材質を変えて $V=235\text{m/min} \cdot t=0.023\text{mm/rev}$ なる切削条件で切削時間を増大すると高速度鋼・セラミック・超硬合金 K-10, P-10 の順に F_c は少ない。

終りにのぞみ本研究は大越諄先生・谷口紀男先生の御指導のもとで行なわれたものであり, フェノール樹脂に関しては住友デュエス株式会社の上中三男二先生の御配慮によるものである。また, 実験に御協力下さった元精密工学研究室の三代忠雄君, および当試作工場の尾崎勲氏に厚く感謝致します。

参 考 文 献

- 鴨川昭夫: プラスチックの切削加工の研究, 紙入りフェノール樹脂の切削加工における工具摩耗について, 精密機械, 34, 6 (1968) 377.