



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



## 高分子材料の被削性に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-05-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 菊地, 千之, 田下, 和男 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/3171">http://hdl.handle.net/10258/3171</a>

# 高分子材料の被削性に関する研究

菊地千之・田下和男\*

## A Study of the Machinability of High Polymeric Materials

Kazuyuki Kikuchi and Kazuo Tashimo

### Abstract

'High Polymeric Materials' have been recently used, instead of metallic materials, for some parts of the machines and structures. The properties of these materials are very different from those of metallic materials in point of physical or chemical properties. When these materials are used in the mechanical industries, the accuracy and smooth surface of products are, above all things, demanded. But, so long as we follow the conventional molding, they are not to be obtained. When metallic materials are used, on the other hand, the working cost of them becomes too expensive. Then, there naturally arises a question as to the cutting ability of a machine.

Therefore, we tried to make researches on several things as to the machinability of high polymeric materials. As the method of our experiment, we adopted the 'two dimensional-dry cutting', and then we measured the cutting force  $F_c$  and  $F_f$  with dynamometer, observing the chip formation and frictional phenomena, and calculated 'shear angle'.

The results of our experiment are as follows: the frictional coefficient of high polymeric materials is less than the coefficient of metallic materials; the cutting force  $F_f$  of the former has negative value; and chip formation is different from the latter.

### I. 緒 言

近年プラスチック工業が時代の脚光をあびるようになり、その性質や製法についての研究が大いになされている。しかしその加工法については工業材料として比較的新しいために研究があまりなされておらない。

プラスチックは金属材料に較べて種々の特性を有しているが、従来の成型加工による製法では、ある程度までしか製品の精度を得ることができない。成型加工法では金型の製作費が高価であるため、小数部品の製作には不適當であるため機械加工によらなければならない。しかるに機械加工を行なうについて基礎的な資料となる切削機構についての理論的、実験的研究はあまりなされておらない。わずかに小林<sup>1)</sup>、斎藤<sup>2)</sup>、鴨川<sup>3)</sup>等の研究があるのみである。

本研究ではプラスチックを切削したときどのような機構で切削され、どのようにして切屑が生成されてゆくかを知るために、切削条件を広範囲に変えた場合の切屑性状の観察と切削抵抗の測定、すくい面上の摩擦現象等をもとにしてプラスチックの最適切削条件について検

\* 室蘭工業大学短期大学部講師

討を行なった。

## II. 実験装置および実験方法

工作機械および切削方式：万能工具研磨盤のテーブル送りをを用いた平板端面二次元切削  
 工具：高速度鋼4種完成バイト(SKH 4), 刃先形状：[Var., 0, 6, 0, 0, 0, 0] Var.： $-20^{\circ} \sim 50^{\circ}$   
 の12種。

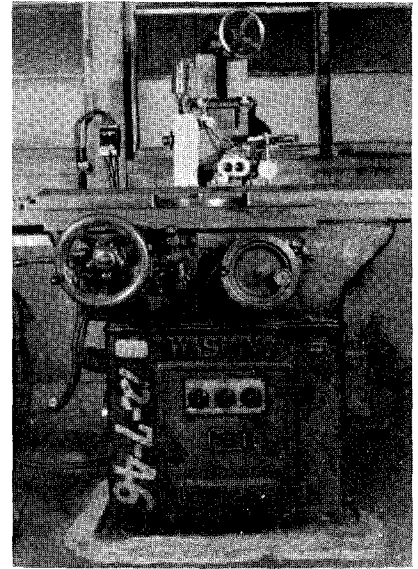
被削材：塩化ビニール樹脂(PVA), スチロール樹脂(PSL), ポリエチレン樹脂(PEL), 板厚：1.95 mm。

切削速度：108, 240, 426, 768 mm/min で使用機械の関係上高速切削は不可能なため以上4種の切削速度で行なった。

切込み：0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0 mm 以上7種の切込みをダイヤルゲージを使用して決定した。切削剤：乾燥。

切削抵抗の測定には弾性リングと電気抵抗線歪計による工具動力計とペン書オンログラフを用い、各種切削速度に対応する切屑を採集して其の厚さをマイクロメーターおよび工具顕微鏡を用いて測定した。これらの測定値より切削速度と切屑厚さ或いは切屑比とすくい角の関係を求めた。

切屑性状の観察は万能工具顕微鏡を用い拡大投影してスケッチを行ない、すくい角と切込み或いは速度との関係を求めた。Phot. 1 は装置の外観を示した。



Phot. 1. Set-up of two dimensional cutting experiment.

## III. 実験結果並びに考察

### 1) 切削速度のせん断角におよぼす影響

Fig. 1 に示すような二次元切削模型において、切込み切屑厚さ、すくい角およびせん断角の間には次のような関係がある。

$$r_c = \frac{t_1}{t_2} \quad (1)$$

$$\tan \phi = \frac{r_c \cos \alpha}{1 - r_c \sin \alpha} \quad (2)$$

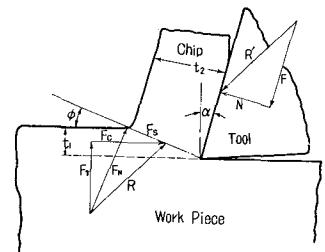


Fig. 1. Two dimensional cutting model.

$r_c$ : 切屑比       $t_1$ : 切込み mm       $t_2$ : 切屑厚さ mm  
 $\alpha$ : すくい角 deg     $\phi$ : せん断角 deg

(1)式において切込みを一定にして切削を行ない、その切屑を採集して切屑厚さ  $t_2$  を測定すれば切屑比  $r_c$  が求まる。従って(2)式からせん断角  $\phi$  が計算される。

Fig. 2 に切込み 0.2 mm と一定にとった場合の切屑比の逆数  $1/r_c$  と切削速度の関係を示した。これによると切削速度の増加とともに、いずれの切削条件においても  $1/r_c$  は減少している。このことは切削速度の増加にともなって切屑厚さが減少することを示している。従ってせん断角も増加するということになる。

Fig. 3, Fig. 4 に PVA, PSL を切削した場合の切削速度とせん断角の関係を示した。いずれの材料の場合においても Fig. 2 から明らかのように、せん断角が増加することを示している。又 Fig. 2 から明らかのようにすくい角  $\alpha$  の値が正から負になるにしたがって切屑厚さ  $t_2$  は切込み量  $t_1$  の値よりも大きくなる傾向を示している。このことはすくい角が負になるほど工具が被削材にくい込む傾向を示すためではないかと思われる。

Fig. 5, Fig. 6 にすくい角の値を正から負に変化させた場合せん断角の減少する状態を示した

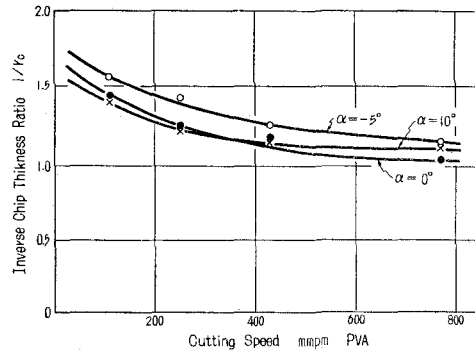


Fig. 2. Variation inverse chip thickness ratio with cutting speed for different rake angle.  
 Cutting condition; Material, PVA.  
 Tool, H.S.S. SKH-4 [Var., 0, 6, 0, 0, 0]. Depth of cut, 0.2 mm. Cutting fluid, dry.

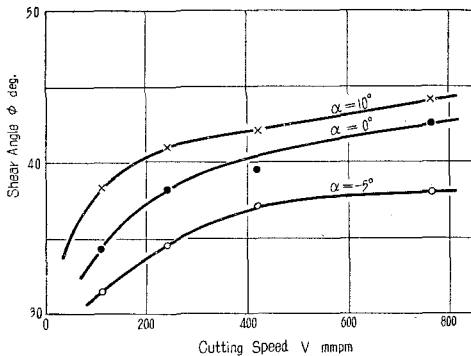


Fig. 3. Variation of shear angle with cutting speed for different rake angle.  
 Cutting condition; Material, PVA.  
 Tool, H.S.S. SKH-4 [Var., 0, 6, 0, 0, 0]. Depth of cut, 0.2 mm. Cutting fluid, dry.

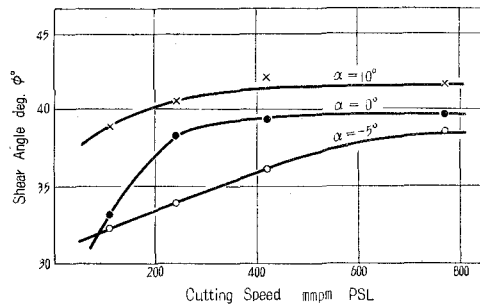
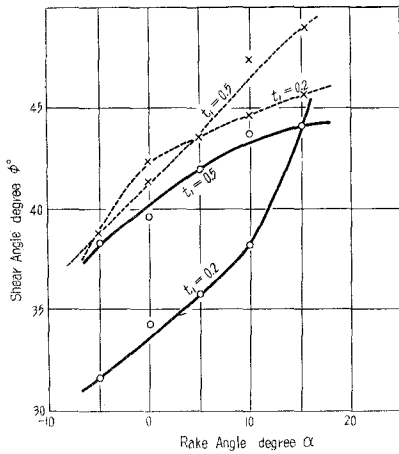
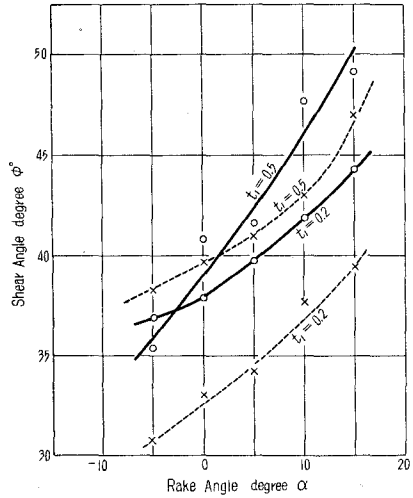


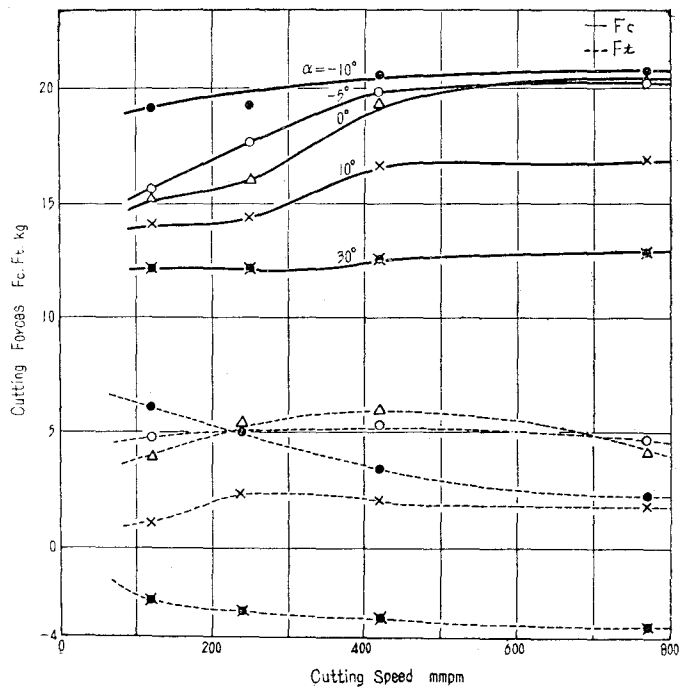
Fig. 4. Variation of shear angle with cutting speed for different rake angle.  
 Cutting condition; Material, PSL.  
 Tool, H.S.S. SKH-4 [Var., 0, 6, 0, 0, 0]. Depth of cut, 0.2 mm. Cutting fluid, dry.



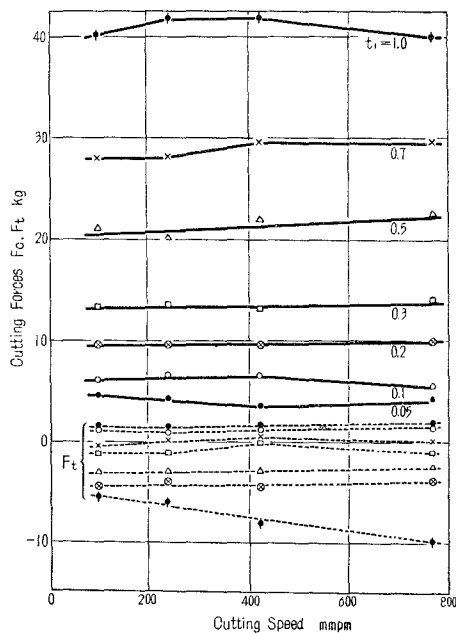
**Fig. 5.** Variation of shear angle with rake angle for different depth of cut.  
Cutting condition; Material PVA. Cutting speed  $V=108$  mmpm. Tool, H.S.S. SKH-4. [Var., 0, 6, 0, 0, 0, 0].



**Fig. 6.** Variation of shear angle with rake angle for different depth of cut.  
Cutting condition; Material, PVA. Tool, H.S.S. SKH-4. [Var., 0, 6, 0, 0, 0, 0]. Cutting speed  $V=768$  mmpm.



**Fig. 7.** Variation of cutting force  $F_c$ ,  $F_t$  with cutting speed for different rake angle.  
Cutting condition; Material, PVA. Tool, H.S.S. SKH-4 [Var., 0, 6, 0, 0, 0, 0]. Depth of cut, 0.2 mm.



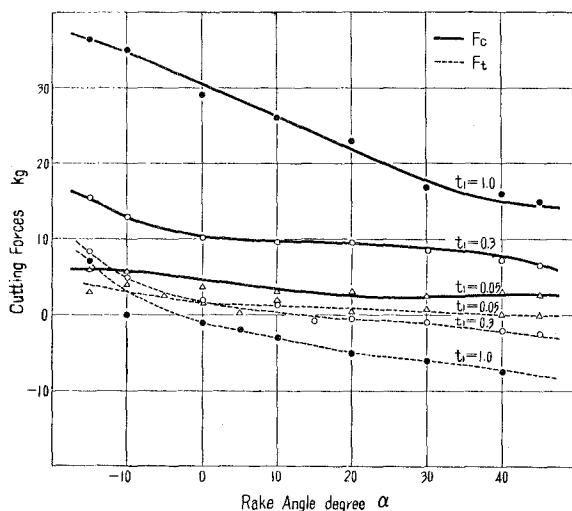
**Fig. 8.** Variation of cutting force  $F_c, F_t$  with cutting speed for different depth of cut. Cutting condition; Material, PVA. Tool, H.S.S. SKH-4 [Var., 15, 0, 6, 0, 0, 0, 0].

ものである。

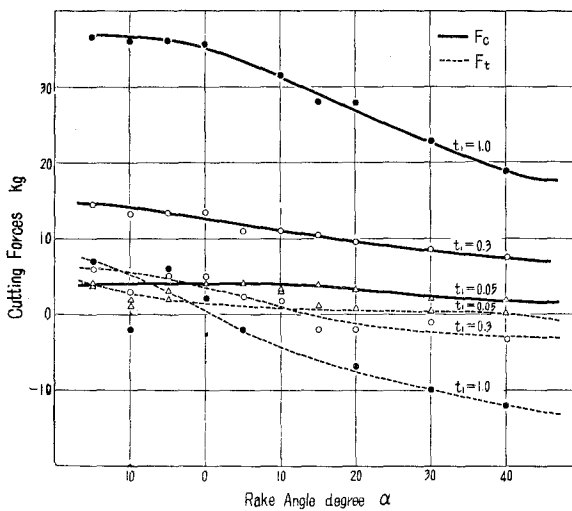
2) 切削速度の切削抵抗におよぼす影響

Fig. 7, Fig. 8 に切削速度と切削抵抗の関係を示した。これによると切削速度が増加するにしたがい切削抵抗は増加する。しかしすくい角の大きい場合には増加の傾向がいちぢるしくない。すなわちすくい角  $30^\circ$  の場合に較べすくい角  $0^\circ, -5^\circ$  の場合に切削速度の増加につれて切削抵抗の変化が大きい。

このことは材料の受ける変形の大きさおよび変形の起る領域が広がっているためであると思われる。材料の特性としてこの場合には粘弾性変形による破断のためと考えることが出来る。切削抵抗におよぼす、すくい角の影響を知るために Fig. 9 にこれを示した。



**Fig. 9 (A).** Variation of cutting force  $F_c, F_t$  with rake angle for different depth of cut. Cutting condition; Material, PVA. Tool, H.S.S. SKH-4 [Var., 0, 6, 0, 0, 0, 0]. Cutting speed  $V=108$  mmpm.



**Fig. 9 (B).** Variation of cutting force  $F_c, F_t$  with rake angle for different depth of cut. Cutting condition; Material, PVA. Tool, H.S.S. SKH-4 [Var., 0, 6, 0, 0, 0, 0]. Cutting speed  $V=768$  mmpm.

これによるとすくい角が負から正に変化するにしたがい切削抵抗は減少している。切込み量の大きい程減少の度合いが大きい。この図から知れるように背分力において金属切削にはみられない特異な現象がみられる。それはすくい角によって背分力が正から負に変化することである。すなわち被削材料を工具が押しつける方向に力が働くことになる。そのため、あらかじめ与えられた切込み量よりも大きな切削がなされ被削材料は工具によって圧縮変形を受けることになり、被削材料の一部は工具の刃先下をくぐって逃げることになるため正確な切込み量を維持することができない。又背分力が正から負にかわるため背分力が零となる場合が存在することになる。この場合には被削材に対して圧縮力が作用しない場合であるため上述のような被削材料にくいこむと云うような現象が起らなくなる。

### 3) 工具すくい面における摩擦係数

すくい面上における摩擦現象は金属における摩擦現象と良く似てはいるが、金属の場合は冷間溶着あるいは凝着が接触部に起きて、この部分をせん断するに要する力が摩擦力となるが高分子材料においては強い凝着が生じて接合部というよりは軟かい方の材料内部でせん断が起ると考えられている。

本実験においては被削材料の工具への移着は明りようではなく工具すくい面上の被削材料の凝着は認められなかった。

Fig. 1 の二次元切削模型において動力計により測定出来る主分力  $F_c$  と背分力  $F_t$  よりすくい面に働く切線力  $F$  および垂直力  $N$ 、その面上での摩擦係数  $\mu$  は次式で計算により求められる。

$$\mu = \frac{F}{N} = \frac{F_c \sin \alpha + F_t \cos \alpha}{F_c \cos \alpha - F_t \sin \alpha} \quad (3)$$

但し  $\alpha$  は工具すくい角である。

Fig. 10 は工具すくい角を広い範囲に変えた場合すくい面に働く切線力  $F$  および垂直力  $N$ 、摩擦係数  $\mu$  との関係を示したものである。

これによると高分子材料の摩擦係数は金属材料に比して小さく、その値は 0~0.3 程度であることが知れる。すくい角が小さくなるにつれて垂直力  $N$  は増加し、すくい面摩擦係数は小さくなる。さらにすくい角を小さくしてゆくと、切線力  $F$  は 0 となり負となって

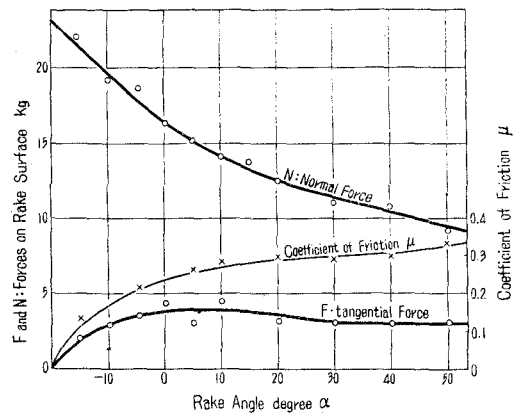


Fig. 10. Variation of normal force  $N$  tangential force  $F$  and coefficient of friction  $\mu$  with rake angle.

Cutting condition; Cutting speed 240 mmpm. Depth of cut 0.5mm. Material, PVA. Tool, H.S.S. SKH-4 [Var., 0, 6, 0, 0, 0, 0].

摩擦係数が負となる。すくい角が小さくなることによって工具前面の切削部分において、せん断領域でのせん断変形が高分子材料の特性として持っている粘弾性変形のためせん断変形が起りにくくなる。このために接線力  $F$  が零又は負となり、垂直力が急激に増加することになる。このため摩擦係数が零又は負になるものと考えられる。

4) 高分子材料における切屑の性状

Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13 は切削時に採集した切屑を観察し、切込み量と工具すくい角を変えた場合に切屑の性状がいかに変化するかを示すものである。一般的に云えることはすくい角を大きくするにしたがい排出される切屑は流れ型となり、切込み量を大きくすると流れ型の領域が増大する。流れ型の切屑生成に対する速度効果は低い領域においていちぢるしい。

Phot. 2, Phot. 3 は工具すくい角を変えた場合の切屑性状の変化を示したものである。工具すくい角が大きい値の場合にはきれいな流れ型を示しているがすくい角  $-15^\circ$ ,  $-20^\circ$  ではせん断型からむしり型になるのがみられる。

PVA の切屑性状は工具すくい角が  $0^\circ$  以上の場合、流れ型の切屑を生成するがすくい角が負になるとせん断型となり、 $-20^\circ$  になると切込みの大小には関係なくむしり型となる。又同じ工具すくい角に対しては切込み量が大きい場合が流れ型に近い切屑を生成する。

PSL では切込み量が  $0.3 \text{ mm}$  以下の場合工具すくい角  $-15^\circ$  から  $40^\circ$  まで広範囲にわたって流れ型となるが、切込み量  $0.5 \text{ mm}$  以上の場合には流れ型の切屑を生成する範囲が小さくなる。

PEL では工具すくい角が正の場合ほとんど流れ型の切屑を生成するが、切込み量が小さい場合にはすくい角  $10^\circ$  以下でむしり型の切屑となる。負のすくい角では被削材がやわらかなためと前項でのべた理由によって切刃の下に逃げて切削が不可能であった。

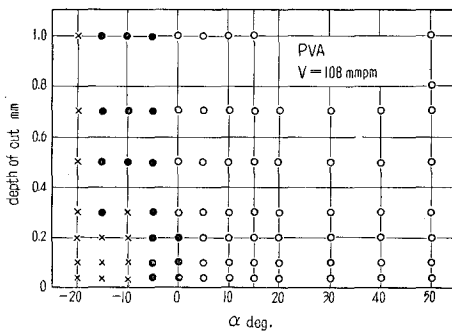


Fig. 11 (A)

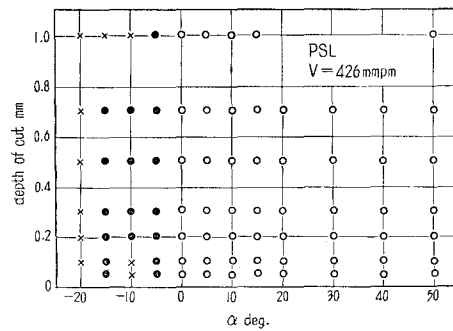


Fig. 11 (B)

Fig. 11~13. Variation of chip formation with rake angle and depth of cut for different cutting speed.

○ Flow type. ● Shear type. × Tear type.



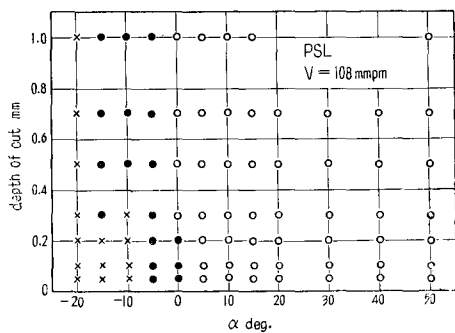


Fig. 12 (A)

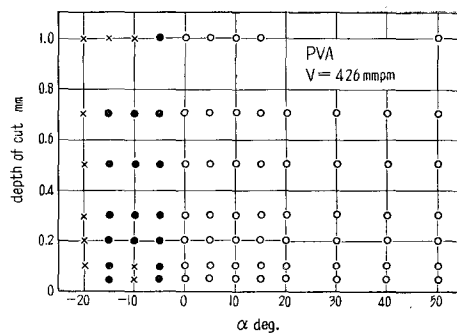


Fig. 12 (B)

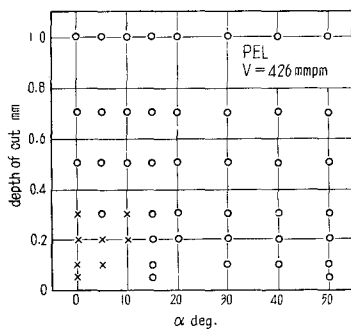
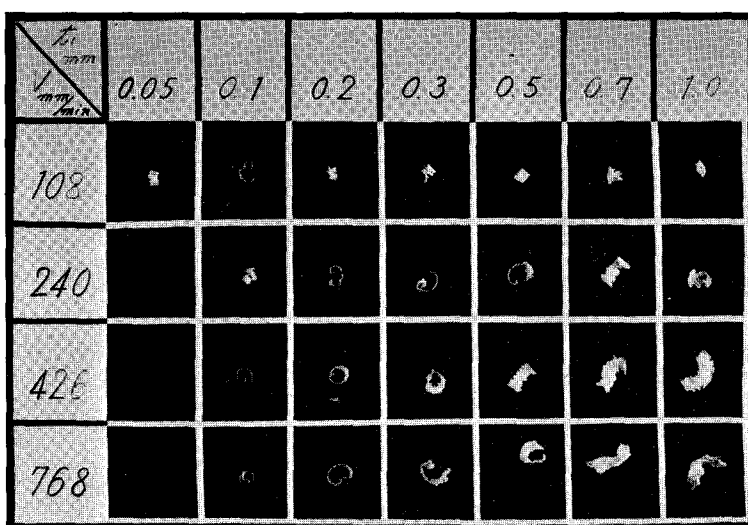
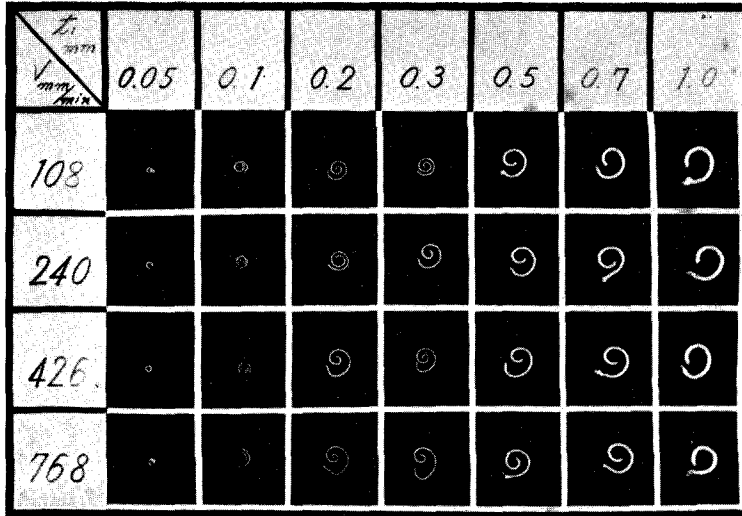


Fig. 13.

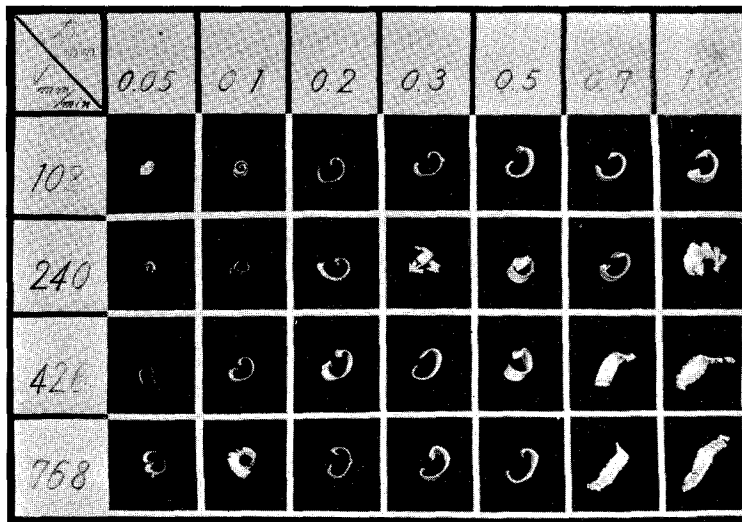


(A) P.V.A. Rake Angle  $\alpha = -20^\circ$

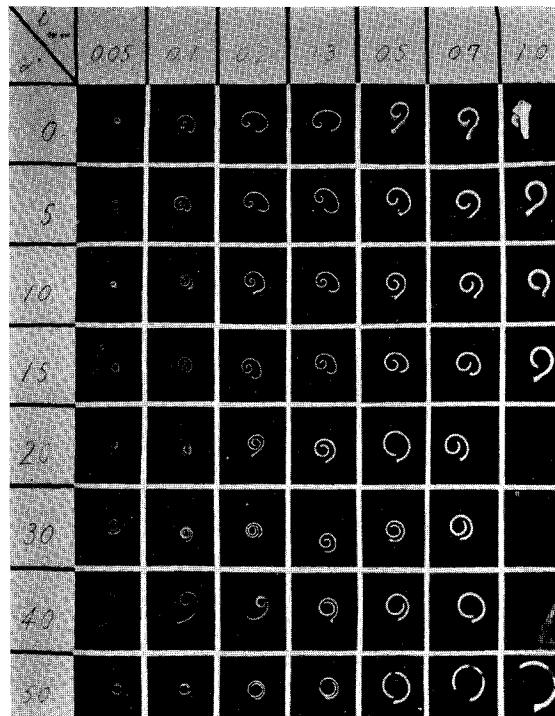
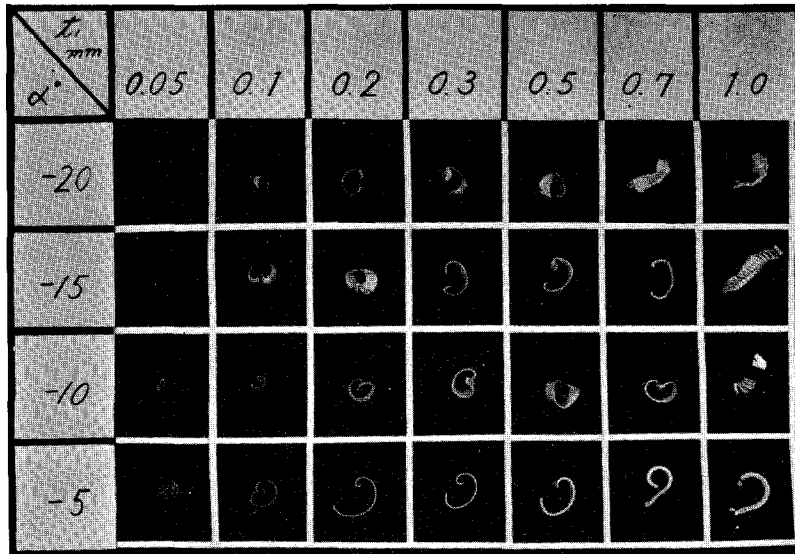
Phot. 2. Photographs of chips produced in machining P.V.A.



(B) P.V.A. Rake Angle  $\alpha = -15^\circ$

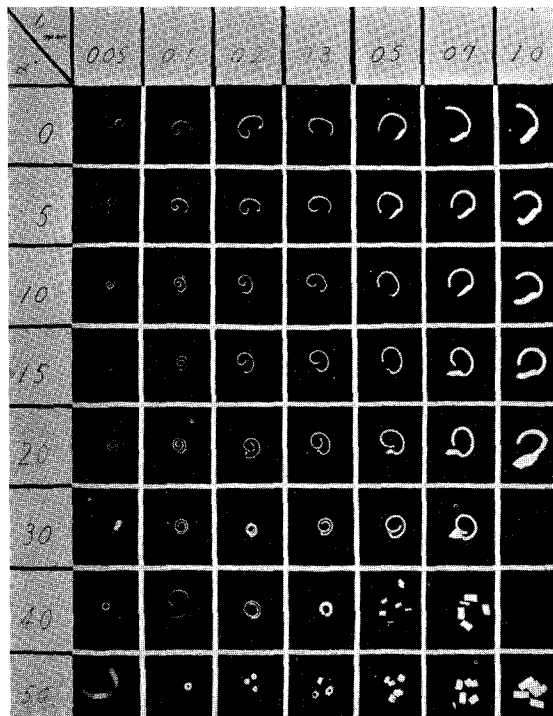
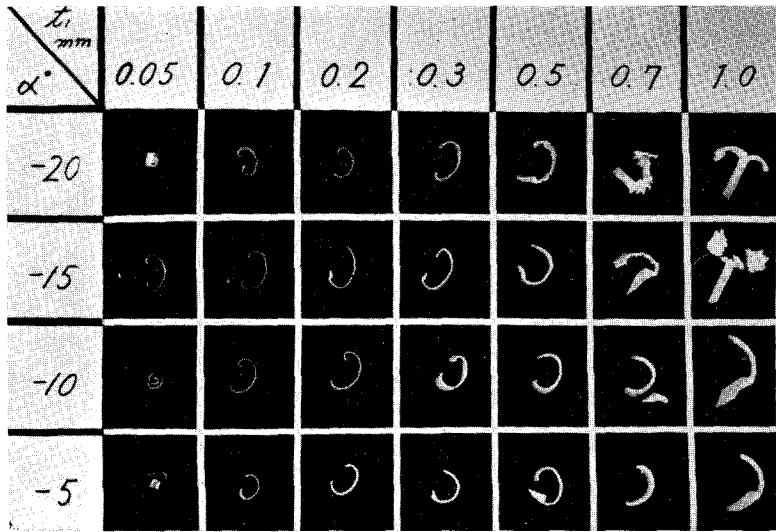


(C) P.V.A. Rake Angle  $\alpha = 10^\circ$

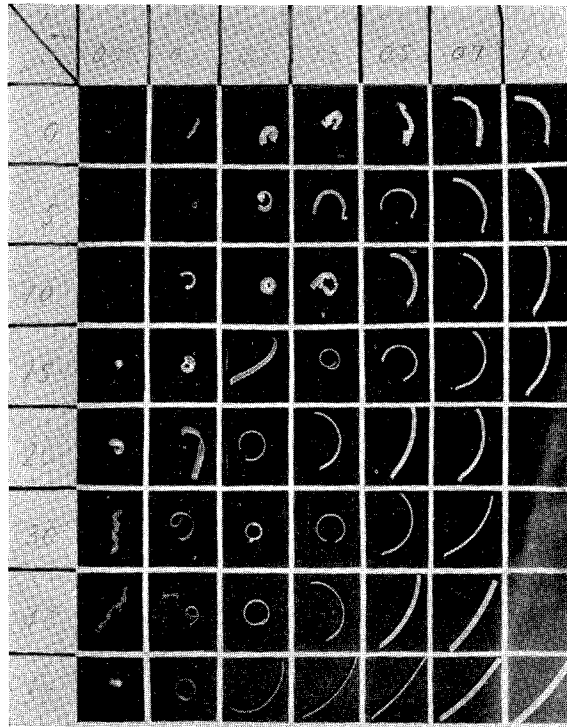


(A) P.V.A. Cutting speed  $V=768$  mm pm.

Phot. 3. Photographs of chips produced in machining different materials.



(B) P.S.L. Cutting speed  $V=768$  mm p.m.

(C) P.E.L. Cutting seed  $V=768$  mmpm.

#### IV. 結 言

以上の考察を要約すると次の通りである。

1) せん断角はすくい角の増大に対してかなり大きく変化し、切削速度の増加に対してせん断角は増加し、すくい角の値が正から負になるにしたがって切屑厚さ  $t_2$  は切込み量  $t_1$  の値より大きくなる傾向を示している。

2) 切削抵抗は主分力、背分力ともにすくい角が負から正の方向に増加するにしたがって減少する。このことは切込み量の大きい程減少している。又背分力について金属切削においてみられない特異な現象がみられる。すなわち背分力が零になるすくい角が存在することである。

3) 摩擦係数の値は比較的小さな値を示している。すくい角が小さくなると接線力  $F$  が零と成り負となって摩擦係数が負の値となる。

4) 切屑性状は被削材の種類によっても異なるが、PVA においては大部分の切削条件において流れ型となっている。又比較的軟かい PEL において流れ型の切屑を生成する。しかし PSL においてはすくい角  $-15^\circ \sim 30^\circ$  の範囲で流れ型の切屑となるが、すくい角  $40^\circ$  あるいは  $50^\circ$  と大きくなるとせん断型あるいはきれつ型の切屑を生成する。又すくい角の小さな  $-10^\circ$ ,

-20° という小さなすくい角になるとむしれ型の切屑が生成される。軟かい PEL においては +5° 附近になると流れ型から急にむしれ型に変わり 0° 以下になるとほとんどがむしれ型になる。

5) 金属切削とかなり異なる点として、工具前方の被削材は工具の進行に伴って圧縮されかなりの変形を示す。従って切込み小なる範囲では切屑が生成されず、工具の下をくぐって工具の後方へ逃げてしまう現象がみられた。

それならば実際に高分子材料を切削する場合の切削条件はどのようになるか各材料について検討してみると次の如くなる。

PSL: 切屑の性状から工具すくい角を変化させると Phot. 2, Phot. 3 から知れるように切屑の性状は変化する。すくい角 40°, 50° と大きい場合にはクラックを生じ仕上面を悪くする。又すくい角が小さく負の範囲では切屑はむしれ型となる。それゆえ 30°~10° 位の範囲が適当な値となる。切削速度の効果を考慮に入れて PSL を切削する場合には切込み量 0.1~0.5 mm で、すくい角は前記の値をとればよい。

PVA: 工具のすくい角が負の領域では切屑はむしり型で仕上面は当然悪くなる。すくい角を大きくすれば流れ型となり仕上面も良くなる。すくい角は 20°~40° の範囲が良い。

PEL: 工具のすくい角が負の領域では切屑は工具の横あるいは下に逃げて切削が不可能となる。すくい角が 30° 以上で切込み量は 0.3 mm 以上にとって切削することが必要である。小さな切込み量で良好な仕上面を得るにはすくい角を 40° 以上にとるべきである。

最後に本研究を実施するに当り種々協力を惜しまなかった日立精機株式会社樋口勲君、東芝機械株式会社三谷興基君に感謝の意を表する次第である。

(昭和 37 年 4 月 30 日受理)

## 文 献

- 1) 小林 昭: 精密機械, 20, No. 9 (1955).  
精密機械, 21, No. 10 (1955).
- 2) 斎藤勝政: 精機学会昭和 35 年度春季大会学術諸演会前刷.
- 3) 鴨川昭夫: 精機学会昭和 37 年度春季大会学術講演会前刷.
- 4) 荒井溪吉外 2 名: 機械工業のための繊維・高分子材料, 85, 共立出版.  
高分子学会: 高分子の物性 I), 223, 共立出版.