 研 究

プラスチックの切削加工の研究*

—— き裂型切削の場合の剪断応力 ——

鴨 川 昭 夫**

A Study on Cutting of Plastics

—— Shear Stress in the Crack-type Cutting ——

Akio KAMOGAWA

By examining cutting surface profile, the shear stress of plastics in the crack-type cutting was determined, that is,

$$\tau_c = \frac{F_c}{A} \cdot \sin \phi_c \cdot \cos \phi_c$$

 τ_c = Shear stress F_c = Cutting resistance in the horizontal direction A = Area of cut ϕ_c = Fracture angle

The results show that the shear stress of epoxy-resin is lower than that of acrylic resin.

1. 緒 言

アクリル樹脂, およびエポキシ樹脂のパイプを2次元切削する場合に切削条件によってはき裂型の切りくず¹⁾を生成する。き裂型切削によってプラスチックの表面には凹部が生じる。すなわち仕上げ面あらさは非常に大となる。このあらさ曲線から切削模型を考えて近似的にき裂型切削の場合の破断面のせん断応力 τ_c ・垂直応力 σ_n を検討する。また切削条件による仕上げ面あらさの変化について述べる。

2. 実験の方法

前報²⁾と同様であり, 試験片の大きさは外径 75mm, 内径 60mm, 肉厚 7.5mm のパイプである。硬度は R_Rスケールで測定し, ポリアミド樹脂(64.5)・アクリル樹脂(94.0)・フェノール樹脂(91.1)・エポキシ樹脂(97.5)・アセタール樹脂(90.5)・ポリカーボネート樹脂(91.0)なるプラスチックを使用した。

3. 切削条件による仕上げ面あらさの変化および

び切削模型を仮定しての τ_c ・ σ_n の検討

図1はプラスチックを切削速度 V , 切込み d , すく

図1 プラスチックのき裂型の切削状態

い角 α で切削しているときの状態である。P はくぼみでAおよびBはあらさの測定方向(半径方向および円周方向)を示す。エポキシ樹脂を切削速度 56 m/min, 切削角 80° で切込みを 0.015mm から 0.05 mm まで変えたときの切削仕上げ面あらさの変化を図2にあげる。図2によれば切込み 0.015mm と 0.023 mm の場合には流れ型切削であらさは約 3 μ の値を示す。0.035 mm からはき裂型切削となり, 0.05mmにおける仕上げ面あらさはA方向(110 μ), B方向(130 μ)となる。写真1はこの切削条件における切りくずの状態を表わす。

同図から切込み 0.015mm, 0.023 mm では流れ型切りくずであり, 0.035mm, 0.05 mm ではき裂型切りくずで

* 昭和37年4月 精機学会春季大会学術講演会にて発表

** 理化学研究所 正会員

図2 切込みと切削仕上げ面あらしの関係
エポキシ樹脂, 切削速度: 56m/min, 切削角: 80°

$d=0.015\text{ mm}$

$d=0.023\text{ mm}$

$d=0.035\text{ mm}$

$d=0.05\text{ mm}$

写真1 切込みと切りくずとの関連性
エポキシ樹脂, 切削速度: 56 m/min, 切削角: 80°

あることがわかる。図2のあらしの測定記録を図3にあげる。図3から $d=0.015\text{ mm}$, $d=0.023\text{ mm}$ の場合に

は流れ型の切削で仕上げ面はなめらかである。 $d=0.035$ $d=0.05\text{ mm}$ になるとき裂型の切削となり仕上げ面にくぼみを生ずる。このようなくぼみがらつぎのような方法でき裂型切削の切削模型を組立てて見よう。すなわち $d=0.05\text{ mm}$ のA方向のあらし曲線をみると斜線の部分がエポキシ樹脂であり、破線の部分(A)がくぼみに相当する。実例によつてくぼみの深さが 0.11 mm , 幅が 0.8 mm である。つぎにB方向をみるとこれはき裂型切りくず(C)が工具(T)によつてとび出したあとの状態でありこのあらし曲線から破壊角 ϕ が測定される。B方向のあらし曲線の実際の形状を求めれば図4に示ようになる。この図から破断面上のせん断応力 τ_c および垂直応力 σ_n を求めれば近似的につぎようになる。

ϕ = き裂型切りくずの破断面 As の傾き角

A = 凹み部分における切削方向に垂直な最大切削断面積

As = 破断面の面積

σ_n = 破断面上の垂直応力

τ_c = 破断面上のせん断応力

N = As 破断面に垂直に働く力

T = As 破断面に平行に働く力

F_c = 切削抵抗の水平分力(主分力)

F_t = 切削抵抗の垂直分力

まず破断面上の力の分布は一様であると仮定すれば、力のつりあいの関係より

$$N = F_c \cdot \cos \phi + F_t \cdot \sin \phi \quad (1)$$

$$T = F_c \cdot \sin \phi - F_t \cdot \cos \phi \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \therefore \sigma_n &= \frac{N}{A} = \frac{(F_c \cdot \cos \phi + F_t \cdot \sin \phi) \cos \phi}{A \cos \phi} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \therefore \tau_c &= \frac{T}{A} = \frac{(F_c \cdot \sin \phi - F_t \cdot \cos \phi) \cos \phi}{A \cos \phi} \end{aligned} \quad (4)$$

図5はエポキシ樹脂の切削幅と切削抵抗の関係を示す線図であり、この図から図(3)dにおける切削幅(0.8 mm)に対する切削抵抗を読めば $F_c=0.2\text{ kg}$ の値が求められる。図(3)dのA方向から凹み部分の切削方向に垂直な最大切削断面積 $A=0.0840\text{ mm}^2$ が計算される。図4からは破壊角 $\phi: 16.5^\circ$ が測定される。以上のような値を $\tau_c \cdot \sigma_n$ の式の中に入れて計算すれば表1のような結果

図3 あらさ曲線におよぼす切込みの影響
エポキシ樹脂, 切削速度: 56m/min, 切削角: 80°

図4 き裂型の切削模型
エポキシ樹脂, 切削速度: 56m/min, 切削角: 80°, 切込み: 0.05mm, 拡大倍率×100

が得られる。なおすくい角が 10° 程度の場合の F_t の値は F_c に比べて小さいので測定装置の関係もあつてこの計算では省略した。

つぎにアクリル樹脂を切削角: 80° , 切削速度を56m/min から720m/min まで上昇したときの切削速度と切削抵抗および仕上げ面あらさとの関連を図6に, またその時の測定記録(横50倍, 縦500倍)の一部を図7の(a)(b)(c)(d)(e)におげる。図6から切削速度が194

図5 切削幅と切削抵抗との関係
エポキシ樹脂, 切削速度: 56m/min, 切削角: 80°, 切込み: 0.05mm

表1 $\tau_c \cdot \sigma_n$ の比較

エポキシ樹脂, 切削速度: 56m/min, 切削角: 80°, 切込み: 0.05mm

	τ_c kg/mm ²	σ_n kg/mm ²
計算値	0.65	2.2

図6 切削速度と切削抵抗および切削仕上げ面あらさの関係

アクリル樹脂, 切削角: 80° , 切込み: 0.07mm

m/min までは仕上げ面あらさおよび切削抵抗は変わらないが360m/min 以上になると仕上げ面あらさは悪くなり切削抵抗は下つてくる。この理由はき裂型切削のためであろう。このことは図7から明らかとなる。前記と同様な力学的考察をするために図7(e)のB方向から破壊角 ϕ を測定する。またあらさの測定記録を横($1/\epsilon_{50}$), 縦($1/\epsilon_{500}$)で割つて実際のあらさの形に直し全体を100倍に書表わした切削模型が図8である。図8から破壊角が 80° であることがわかる。図9はアクリル

図 10 プラスチックの種類の影響
 切削速度：480m/min，切削角：70°
 切込み：0.07 mm，A 方向

図 11 切削速度と切削仕上げ面あらさとの関連
 切削角の影響，切込み：0.07 mm

5. き裂型切削の抑制

フェノール樹脂，アクリル樹脂，ポリアミド樹脂を切込み 0.07 mm で切削速度を上昇したときの仕上げ面あらさの結果を図 11 に示し，アクリル樹脂について $\theta=100^\circ$ で切削したときのあらさの測定記録を図 12 にあげる。

図 12 切削速度と仕上げ面あらさ
 アクリル樹脂，切削角：100°，切込み：
 0.07mm

点線は $\theta=80^\circ$ の場合のフェノール樹脂・アクリル樹脂・ポリアミド樹脂であり，フェノール樹脂は $V=450$ m/min までは約 14μ のあらさで大きな変化が認められない。ポリアミド樹脂は 80 m/min までは流れ型切削で仕上げ面あらさに変化なく 280 m/min のときに 95μ と悪くなっている。アクリル樹脂の場合にも 200m/min までは流れ型切削で約 6μ のあらさであるが，360 m/min になると約 40μ と仕上げ面が悪い。しかしながら $\theta=100^\circ$ にして切削速度を低速から 720 m/min まで上昇して実験を行なうと図 11 からわかるように，アクリル樹脂の仕上げ面あらさは約 20μ から 2μ と高速になるほど良くなりポリアミド樹脂は 6μ から 4μ と若干良くなっておりき裂型切削は起こらなくなる。すなわちき裂型切削の抑制には切削角を大きくするとよい。この理由としては切削角が大きくなると (1) 圧縮応力が大きくなるために破壊が起こりにくくなること，(2) せん断領域がひろがつてひずみ速度の低下すること，(3) 切削温度の上昇などが考えられるが，いずれが主な原因かまだ明らかではない。

8. 総 括

- 1) き裂型切削が行なわれると，その仕上げ面に凹部が生成される。この凹部の形状から破壊の模型を組立て，エポキシ樹脂，アクリル樹脂の τ_c ， σ_n を求めた。
- 2) き裂型切削における τ_c ， σ_n の値は切削条件とプラスチックの種類によつて異なる。
- 3) 同一切削条件でもプラスチックの種類によつて流れ型の切削が行なわれる場合とき裂型の切削が行なわれ

る場合とがある。

4) プラスチックのき裂型切削の抑制には切削角を大きくして切削すればよく、このようにすることにより良好な面が得られる。

終わりにのぞみ本研究を御指導下さった大越諄先生、論文を校閲していただいた上原邦雄先生に厚くお礼申し上げます。(1963, 11月5日)

参考文献

- 1) A. Kobayashi, K. Saito: On the Cutting Mechanism of Plastics, Bulletin of Electrotechnical Laboratory, Vol. 26, No. 8 (1962) 7, Fig. 17.
鴨川昭夫: プラスチックの切削加工の研究 (き裂型切削), 精密機械, 28巻8号 (1962) 25, 写真2.
- 2) 鴨川昭夫: プラスチックの切削加工の研究, 精密機械, 27巻11号 (1961) 726.

—表紙写真説明— デルタ空気マイクロメータ

空気マイクロメータによるテーパ測定

工作機械, 工具などのテーパ測定は, テーパーゲージによる「当たり」をみる方法が一般的であるが, これに空気マイクロメータを導入することにより, 正確且つ迅速にテーパの測定ができる。しかも「当たり%の判定」につきものの個人差が無いのが特長である。

これはテーパ部の一定間隔の直径を測定してテーパの比較測定を行なわせるものである。

機 構

1. 軸テーパ

大端部, 中央部, 小端部にそれぞれ直径方向に設けられた3対のノズルを有する測定子(ジェット)と, 倍率調整, 零点調整を行なうための2箇1組の調整台で構成さ

図 1

れる。測定子にテーパゲージを挿入し, 2箇の調整台により空気マイクロメータの倍率調整を行なう。このときジェットの3対のノズルはそれぞれ独立した3本の指示管に連結され, ノズル端面とゲージ面のスキマの差に対応した指示が得られる。倍率調整が完了すれば, つぎに被測定物を挿入しこのとき3箇のフロートの指示がテーパゲージに対する被測定物のテーパ誤差となる訳である。

2. 孔テーパ

考え方は1項と全く同様であり図2に示す如く測定子を被測定物に挿入することによりテーパの比較測定が行なえる。

図 2

而してテーパゲージによる当たり測定に較べゲージの摩耗による誤差は, この場合ゲージは調整用として使用されるのみであるから殆ど防止される。空気マイクロメータ利用によるテーパ測定においては, 各テーパの種類, 番号毎に測定子を準備することにより空気マイクロメータ本体は互換性を有するので極めて経済的である。こうしてテーパゲージの大端部を基準として, 中央部, 小端部の直径誤差が4μ程度であれば, ほぼ

80%以上の当りに仕上がっていることがわかる。

3. デルタ空気マイクロメータ

3-1 精度規格

“デルタ” 空気マイクロメータ精度表

指示倍率		2,000倍	5,000倍	記 事
検査項目				
1	狭範囲	中間	0.0015以内	0.0008以内
	精 度	両端	0.002 以内	0.0015以内
2	広範囲精度		0.003 以内	0.0015以内
3	最大測定間隔		0.15 以上	0.08 以上
4	最 高 倍 率		4,500倍以上	10,000倍以上
5	フ ロ ー ト 安 定 度	短時間	0.001 以内	0.0003以内
		長時間	0.0015以内	0.0005以内
				正規指示点を中心としたフロート動揺範囲 同上10分間以上
6	多連式における指示変動値		0.001 以内	0.0005以内
				一個所の流量変化が他におよぼす指示変動

3-2 用 途

内径, 外径, 厚さ(幅), 高さ, 深さ, 溝幅, テーパ, 心間距離, 曲面, 真円度, 真直度, 平行度, 直角度, 平坦度, 同心度, 通気度, 気密度, 孔アライメント各種連続測定など。

株式会社

東京精密

本 社 東京都三鷹市下連雀 337 TEL. ムサシノ (0422)(3)局 5145(代)~9
東京営業所 東京都港区芝浜松町2の7朝日ビル TEL. (431) 2037, 4477
大阪出張所 大阪市北区堂島中 1-41 ニュージャパンビル TEL. (362) 5738~9
名古屋出張所 名古屋市中村区広小路西通り2-26三井物産ビル TEL. (57) 4356~8