

# 正面フライスによる円筒切削

(昭和45年5月11日 原稿受理)

機械工学教室 坂 本 正 史  
 機械工学教室 中 村 平

## Face Milling of Cylindrical Work Piece

Masafumi SAKAMOTO  
 Taira NAKAMURA

In order to machine large forged and casted cylindrical work effectively, the new machining method, Face milling of cylindrical work piece, is developed. Usefulness of this new machining method is found out by a few experiments.

### 1. 緒 言

大型鍛造品等の荒旋削においては、形状がいびつのため、どうしても断続切削になる。そこで衝撃によるバイトの損傷を少くするために、能率の悪いのを承知で、低い切削速度で加工しているのが現状である。断続切削でも適当な加工条件を選べば、チャッピングや折損が起らない加工が行なえる。本研究では能率のよい方法として、旋盤の刃物台に剛性の大きい正面フライスヘッドを取りつけ、被削材とクロスさせて、切削することを考えた。

この切削法は大きくわけて、図1(a), (b)が考えられる。カッター、被削材はともに自由に回転方向が変えられるが、(a)においては、

- (a) { カッターは右回転切削,  
 被削材は主軸方向に向いて、右回転  
 カッターを中心変位置  $x = -R$  にすれば、被削材回転方向は逆にする。
- (b) においては、
- (b) { カッターは右回転切削  
 被削材は主軸方向に向いて、右、左  
 回転自由

となる。このように中心変位置(旋盤センサーからカッター中心までの距離)と回転

方向をかえて切削することができる。しかしながら加工能率は(a)の方式が大きくなると考えたので、今後(a)切削法で切削することにした。

この加工法は大きな被削材をゆっくり回転させ、フライスは被削材に最も適した速度で回転し、1刃当りの送り  $f$  を自由に選ぶことができるので、いびつな鍛造品などでも、被削材をゆ

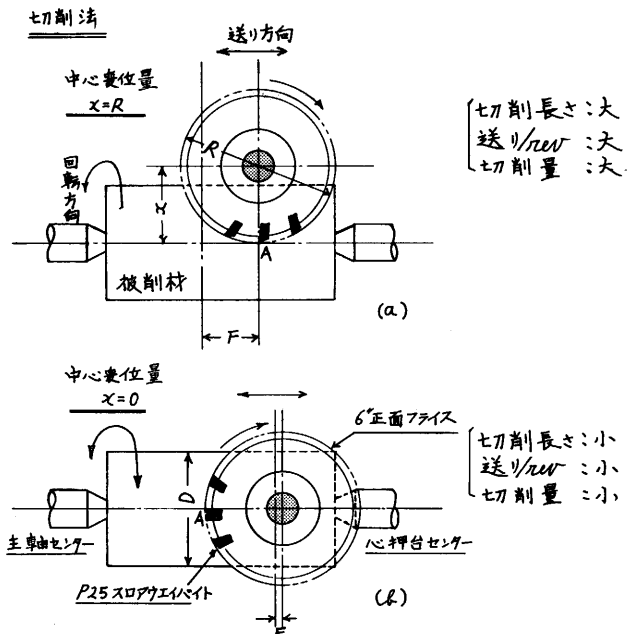


図1 中心変位置の変化による切削法

くり回転させたままで、能率を上げることができる。

加工能率を増すためには、フライスヘッドの軸方向送りをできるだけ大きくし、フライスヘッドを2個、あるいは3個つけることもできる。また切屑が一定の方向に飛びでるので、切屑の処理が容易である。しかしながらこの加工法で円筒を切削すると、円筒面に大きな波目模様が現れるのではないか、バイトの寿命が連続切削にくらべて短いのではないか、とけねんされる。本報ではこの2点について検討を加えた。

2. 試作した装置と中心変位量

図2は試作した装置と使用旋盤である。試作したカッターヘッドを旧式の、ベッド上スイング600mm、ベッド巾460mm、ベッド面までの高さ800mm、全長3mの旋盤にとりつけ、旋盤の主軸回転とカッター回転用に無段変速機をとりつけた。これによって1刃当りの $f$ が自由に選べるわけである。カッターヘッドは可能なかぎり剛性を大きくするように注意した。図3にそれを示す。図からわかるように、軸はカッター側に100φのものをうい、この部分に複列コロ軸受を、85φの軸径部分にそれぞれアンギュラコンタクト玉軸受を使用し、スラスト荷重をうけさせる構造にした。被削材1回転あたりのカッターヘッドの軸方向送り $F$ は、ねじ竿を使用し、12mmと38mmの

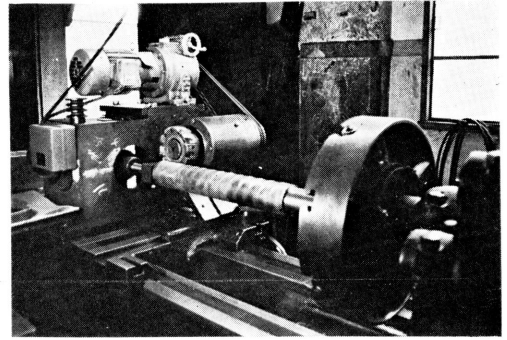


図2 試作装置

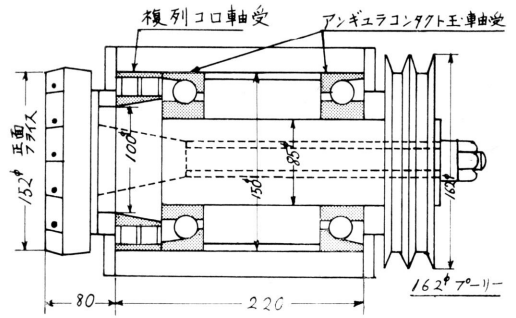


図3 試作フライスヘッド

二つで実験をすることにした。カッターの位置は被削材の上下動をおさえるために、被削材中心より上でまず切削することを考えた。正面フライスは住友電工 PGM 06 で、チップはスロアウエイタイプの P25 である。チップサイズは 15.88mm × 4.8mm である。被削材取付寸法は図4に示す通

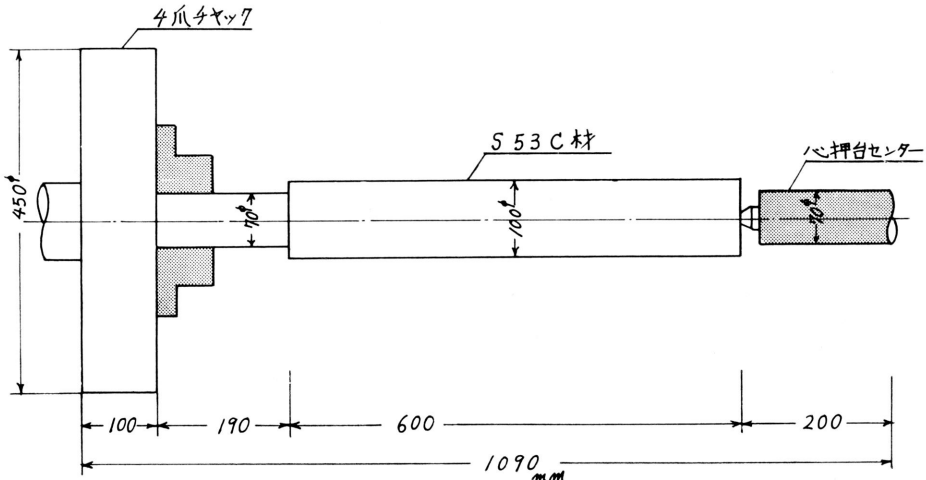


図4 被削材取付寸法

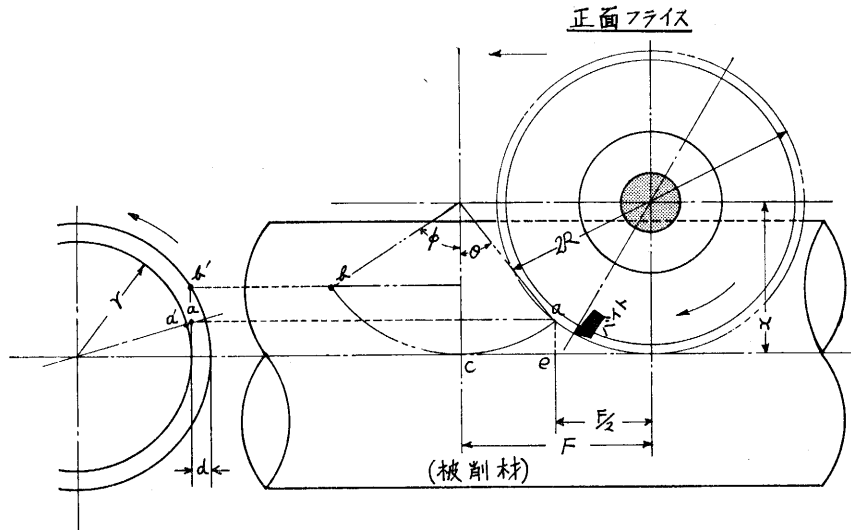


図 5  $x=R$ におけるカッターと被削材関係位置

りである。この図のように四爪チャックの大きさも我々の実験においては制振効果があったと思われる。図5は被削材とカッターの関係位置を示したものである。この図から被削材は左回転し、カッターは右回転して、送り  $F$  にて右から左に切削する方式にすると、図5においてカッターの被削材中心からの距離  $x$  は、 $x=R$  から  $x=0$  までの値をとることができるが、図のように  $x=R$  にすると、長い切屑を出すので、カッターを図のよとようにセットして実験をした。この  $x$  を中心変位量なづける。この中心変位量の変化とカッター径によって、カッター1回転による切削長さはかわるわけである。

被削材の回転方向は自由に選ぶことができるが、黒皮を削るときバイトの摩耗を少なくするために、仕上面側の  $a$  点から切削して、 $b$  点で終るような方法をとった。

### 3. 加工面形状

図5において、バイトは  $a$  点で被削材に切入み、 $c$  点を通って  $b$  点で被削材から離れる。したがって  $ab$  が切削した長さである。 $ab$  はトロコイド曲線であるが、被削材の回転数が、カッター回転数の  $1/400 \sim 1/200$  程度で切削を行うので、切削したバイトの軌跡を円弧で近似しても、その誤差は非常に小さいと考えられる。そのときの切削

長さ  $l_{x=R}$  は、

$$l_{x=R} = R(\phi + \theta) \begin{cases} \theta = \sin^{-1} \frac{F}{2R} \\ \phi = \cos^{-1} \left( 1 - \frac{r}{R} \sqrt{\frac{2d}{r}} \right) \end{cases} \quad (1)$$

$R$ : カッター半径,  $r$ : 被削材半径,

$F$ : 送り/rev,  $d$ : 切込み深さ, (単位 mm)

この切削法では  $c$  点で被削材に最も深く切込むので、 $a$  点では図5側面図からわかるように、 $\overline{aa'}$  だけ高くなる。即ち  $\overline{aa'}$  の高さの送り目が残る。今  $\overline{aa'} = ha$  とする。この  $ha$  をできるだけ小さくしたい。

能率を上げるためには、送り/tooth を大きくすることも一つの方法であるが、これは限界があるので、 $F$  を大きくすることにする。しかし  $F$  を大きくすると、図5から  $a$  点の部分に削り残しができる。これがねじ状に残る。従ってこの削り残しあまり問題にならない程度の、 $F$  でなければならぬ。理論上の削り残し高さを求めると、(2) 式のようになる。 $\overline{aa'} = ha$  とすると、

$$ha = \frac{1}{2r} \left\{ R \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{1}{R^2} \left( \frac{F}{2} - \alpha f \frac{R}{F} \right)^2} \right) + \alpha f \right\}^2 \quad (2)$$

但し  $\alpha = 0 \sim 0.5$  ( $\alpha = 0.5$  とは、図6のように、切削軌跡がずれることを意味する。)

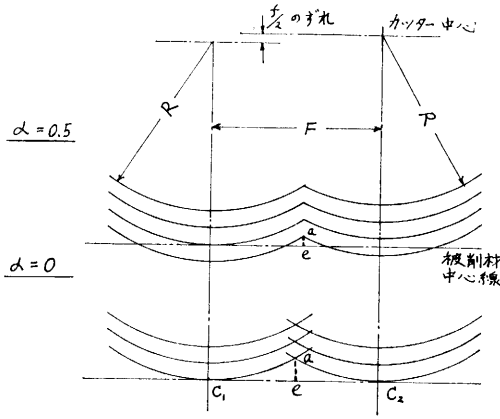


図6 (2)式  $\alpha$  の説明図

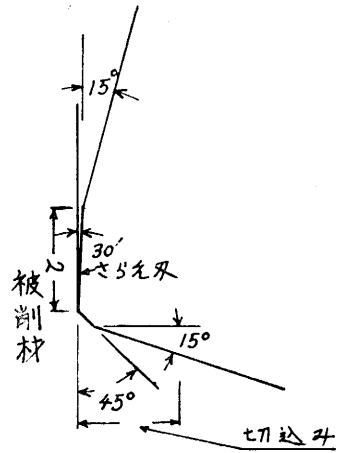


図8 さらえ刃の説明図

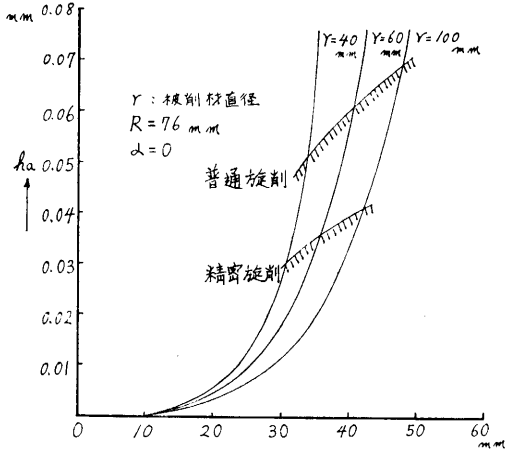


図7 1回転当りの送りによるあらさ

図7は  $\alpha=0$  のとき、即ち  $\frac{N}{n}$  が整数のときの  $ha$  である。

たとえ  $ha$  だけの形状誤差が現れても、旋削の加工精度<sup>1)</sup>と同程度、あるいはそれ以下の  $ha$  であれば、実用上さしかえないと考えられる。図7から  $r=60$  mm の場合、普通旋削と同程度の形状精度になるように送り  $F$  を求めると、 $F=40$  mm/rev となる。

又被削材が大きくなれば(2)式から  $ha$  は小さくなる。一般に被削材径と送り、それと中心変位量が定まると、使用カッター径によって交点  $a$  が定まり、 $ha$  がきまってくる。実験に使用した条件は、 $F=38$  mm/rev、 $x=R$ 、 $r=50$  mm であり、このときの  $ha$  は  $ha=0.0625$  mm である。

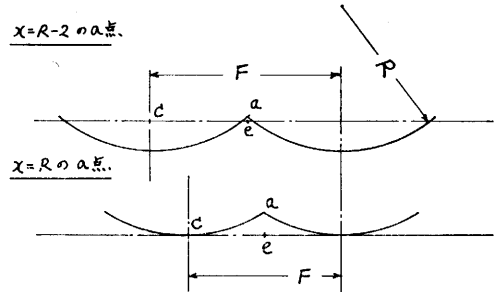


図9 さらえ刃を使用した最小あらさの交点  $a$  の位置

実験に用いたフライスのチップには、図8のように長さ 2 mm のさらえ刃がついているので、このさらえばを用いた  $ha$  を考えてみる。今図9において交点  $a$  を被削材中心線近くさらえ刃の長さだけさげると、さらえ刃の長さが 2 mm あるので、中心線より上にある交点  $a$  の  $ha$  は  $0.5^2/100$  になる。これは旋削面として問題にならない  $ha$  である。しかし図5から  $c$  点の下 2 mm の所に削り残しができる。これを考察してみることにする。実験に使用したカッターには、 $30'$  勾配のさらえ刃が 2 mm ついているので、被削材中心線の下 2 mm にカッター外径をさげると、 $c$  点の削り残し(図10から  $dE'$ ) がさらえ刃で数回削られる。図10においてさらえ刃を  $\overline{OA}$  に対して、垂直の刃と考えると  $ha$  を求めてみると、(2)式の計算において、 $ha = \frac{d^2}{2r}$  として  $d$  を  $\overline{ae}$  の長さとしたのであるから、この場合  $\overline{AE} = d$  とすると、

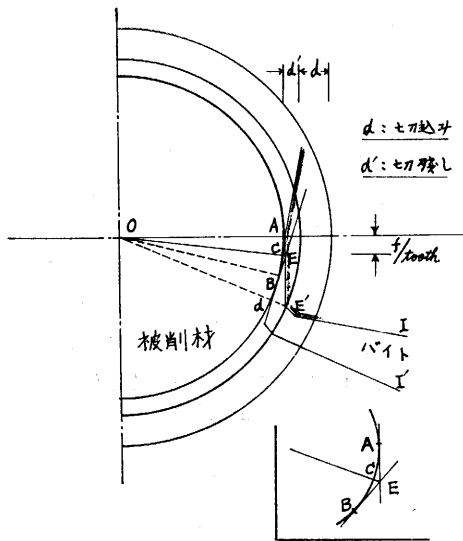


図10 さらえ刃を使用した最小あらさ切削法

$$d = 0.6 \text{ mm/tooth}, \quad r = 50 \text{ mm}$$

とすれば、

$$ha = \frac{0.6^2}{100} = 0.0036 \text{ mm}$$

となる。このように  $dE'$  の高さが、さらえ刃によって小さく削られることになる。

この結果からこの切削法では交点 a を中心線より上にださないようにすれば、 $ha$  が小さくなることがわかる。

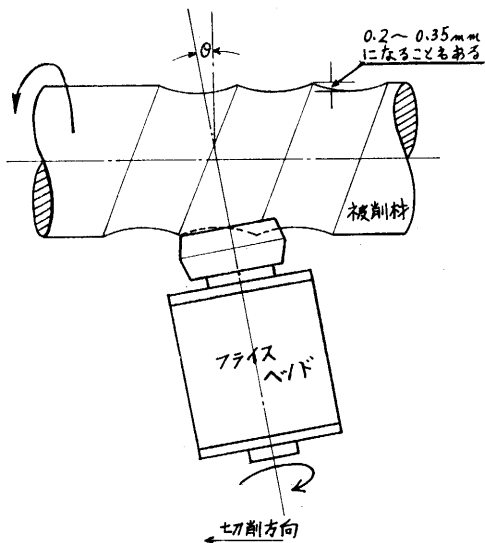


図11 フライスヘッドの傾きによる凹凸

今一つ注意すべきことは、フライスが図11のように被削材軸線に対して  $\theta$  だけ傾くと、凹凸が交点 a を被削材中心線より上に大きく出したような形状になる。

その大きさは試作した形状測定器で測定してみると、0.2~0.35 mm にもなることがある。しかしあまり傾きに対して敏感ではないので、少々注意してカッターを正しくとりつければ、この誤差はそれ程問題にしなくてもよいものと考えられる。図12は切削速度  $V=192 \text{ m/min}$ ,  $F=12 \text{ mm/rev}$ , 切込み  $d=1 \text{ mm}$ ,  $x=R$ ,  $r=50 \text{ mm}$  で実験を行ったときの軸方向と、円周方向の凹凸である。

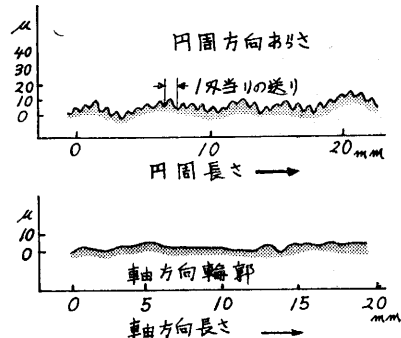


図12 あらさ実測値

#### 4. 工具 損 傷

図13'に工具摩耗形状を示す。本実験で現れた工具損傷は、低速では主にノーズ摩耗、とさらえ刃の摩耗および欠け、高速域では主にクレータ摩耗であった。主切削刃はノーズ部分やさらえ刃に比較して損傷が少かった。図13に主切削刃とノーズの摩耗の実測値を示す。ノーズの摩耗が大きいのは、図14からもわかるように、 $F$  が小さすぎて、実際に切削している長さに対して、こすっている

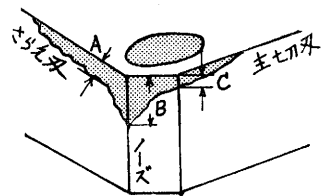


図13' A) B) C)各摩耗巾

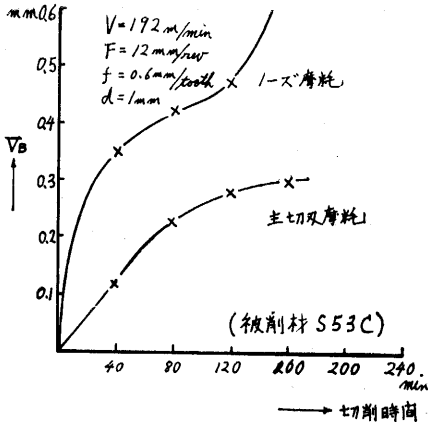


図13 主切刃の摩耗巾

長さが長くなっているためと思われる。ここで切削に関係しない長さとは図15から、前回の切削によって  $a_2 a_1 g_2$  と削られているから、 $c_1$  点を通る切削の場合は、 $a_1$  から切削が始り、 $b$  点で終るはずである。であるから  $a_1 g_1$  は切削に関係なくこすっていると考えられる。図14は送り  $F$  によって、切削長さとして長さがどのように変化するかを、示したものである。この切削に関係しない切削長さが短いほどバイト寿命は長いと考えら

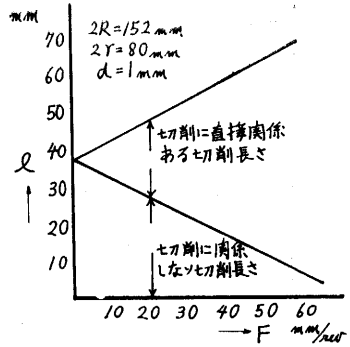


図14 1回転当りの送りによる切削長さの変化

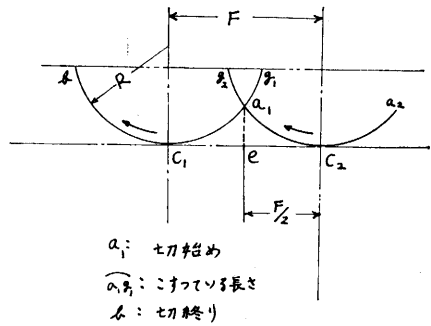


図15 切削に関係しない切削長さ  $g_1 a_1$

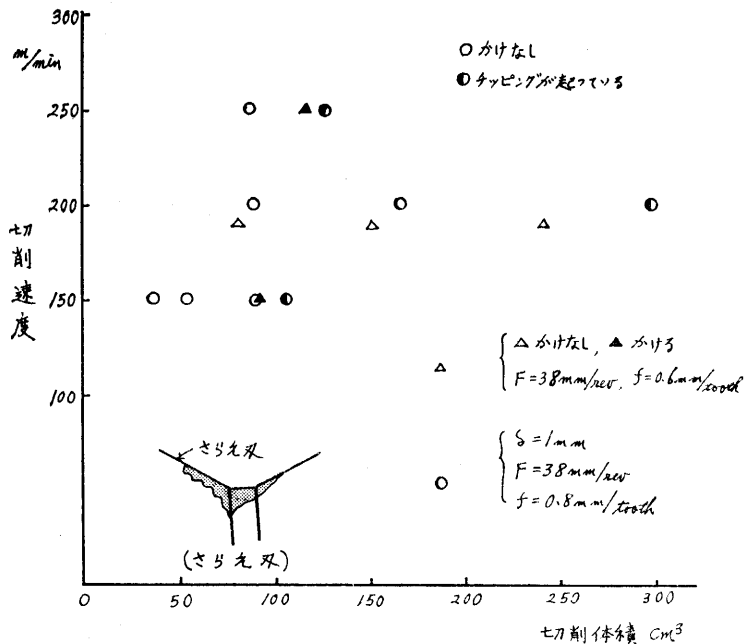


図16 切削によるかけの範囲

れる。

P25 チップを用い能率をあげるために、 $f=0.9$  mm/tooth,  $d=1.5$  mm,  $V=192$  m/min で 160 分切削したが折損は起らなかった。切削速度 250 m/min では P25 の場合、ノーズ部分の損傷が大きく、クレータ摩耗も大きく出た。

図 16 はかけのない点を示す。このように一刃当りの送り  $f$  と欠けの関係も今後しらべて行きたい。

## 5. 能率について

本切削法と旋削との能率を比較してみる。

機械試験所旋削標準より、(黒皮の旋削標準はない) S55C 焼ならし材、 $0.6$  mm/rev のときの 60分寿命における切削速度  $V_{60}$  を求めると、 $V_{60}$  ( $V_B=0.4$ ) = 120 m/min になる。単位時間当りの切削量は、 $Q_L = V \times f = 120 \times 0.6 = 720$  cm<sup>2</sup>/min、一方本法では  $Q_F = \frac{V}{2\pi R} \times Z \times f \times F \times \frac{1}{100} = 400 \times 10 \times 6 \times 5 \times \frac{1}{100} = 1200$  cm<sup>2</sup>/min となる。従って 1.7 倍この方法の方が加工能率が大きいといえる。しかも工具寿命までの切削量は、刃数を増したために、寿命時間が切刃 1 枚で切削したときの、8 割に減ったとしても、 $720 \times 60$  cm<sup>2</sup>、 $1200 \times$

$60 \times 10 \times 0.8$  cm<sup>2</sup> と単位時間当りの切削量は 13 倍になる。他の切削法、例えばピーリングと比較しても、フライスヘッドを 2 個にするだけで、同等あるいはそれ以上の能率をうる事が出来ると思される。

## 6. む す び

鍛造品などの荒削りを能率よく行う方法として、正面フライスを用いた円筒切削を行い、予想通り高能率加工が行えることを確認した。工具の損傷は 192 m/min, 0.6 mm/tooth 附近で少く、能率よく切削が行えそうである。しかし本加工法は開発したばかりであり、工具損傷、黒皮削りの問題、仕上面形状など解決しなければならない問題も多いものと思われる。これ等については、今後検討を加え本加工法を完成したい。

終りに、被削材の一部を御提供下さった住友金属工業株式会社、又実験に御協力いただいた石丸、森田両君にお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 上野：九大工学部講義プリント (図 7 ha 限界)
- 2) 機械技術協会：超硬バイトの寿命ノモグラフ