

# 磨きレス加工が可能な金型用 CCM加工システムの開発研究 (第1報) —内側円弧加工の影響を考慮した工具寿命の評価とそのトロコイド溝加工への適用—

大塚裕俊\*・垣野義昭\*\*・大坪 寿\*\*\*・中川元彦\*\*\*\*

\*生産技術部・\*\*京都大学工学部・\*\*\*安田工業(株)・\*\*\*\*(株)戸高製作所

## Development of Integrated CCM System by Intelligent Machining Center for Manufacturing Dies and Molds with Fine Surfaces (1st Report)

Hirotooshi OHTSUKA\*・Y. KAKINO\*\*・H. OHTSUBO\*\*\*・M. NAKAGAWA\*\*\*\*

\*Production Engineering Division・\*\*Kyoto University・\*\*\*Yasuda Precision Tools K.K.・\*\*\*\*Todaka Corporation

### 要旨

高硬度材のエンドミル加工について、切削抵抗一定の条件下での工具寿命の評価とそのトロコイド溝加工への適用について研究を行った。まず直線切削と切りくずの形状(最大切りくず厚さと切削円弧長)が常に等しくなる曲線切削での工具寿命の等価性について確かめたうえで、切削抵抗一定条件の下で工具摩耗試験を行った結果、切削関与角が $35^\circ$ 以上となる切削条件では工具寿命が急速に短くなることがわかった。また切削関与角の増大とともに工具逃げ面温度が工具摩耗の進展にもなって急激に増大することがわかった。

### 1. はじめに

近年、焼入鋼の切削に適したエンドミル(A1, Ti)Nコーティッド超硬工具により、HRC53程度までの高硬度材からなる金型の高精度切削加工が可能となっている。しかし高硬度材のエンドミル加工では比較的微小な切込み量でも大きな切削抵抗が生じ、過大な切削抵抗がすぐに工具に重大な損傷を与える可能性があるため、適切な加工条件や工具経路を選択することが非常に重要である。これについては送り速度を場所ごとに適切に与えることで切削抵抗を一定化し<sup>1)</sup>、とりわけ内側コーナ加工で起こる過大な切削抵抗を避けようとする方法がある。

また、金型加工においては複雑な幾何形状が対象とされると同時に高効率と高精度な加工が要求されるため、工具経路のプログラミングと加工条件の設定は工程設計と呼ばれる非常に複雑で包括的な過程を経る。従ってたとえCAMシステムを用いたとしても、目的に応じた加工工程の信頼性の向上と最適化は非常に重要であるが、非熟練者にとってそれは困難な作業である。

このような工程設計へのアプローチの方法の一つとして固定サイクルがあり、すでにドリル加工などには適用されている。固定サイクルは、ある特定の工具経路パターンを持ち、ある特定のタイプの幾何形状を除去するための切削指令の集合(マクロ指令)と定義される。エンドミル加工用の固定サイク

ルとしてトロコイド溝加工があるが、これはパターン化された円弧切削と直線切削加工の交互の組み合わせにより構成されている。これら固定サイクルの利点は、幾何的な単純化により考慮すべき加工条件のパラメータ数を操作可能な規模にまで減じることができるため、数理的方法によって容易に工程設計が可能となることである。

加えて前述の送り速度制御による切削抵抗一定の条件のもとで、さらにエンドミル加工の工具寿命の評価が可能となれば、加工工程の信頼性の向上が保証されるだけでなく、目的に応じた固定サイクルによる工程設計が可能となる。

本論文では、切削抵抗以外で工具寿命に大きな影響を与える要因として切削時の工具逃げ面温度に着目し、これがエンドミル切削加工の幾何的パラメータの一つである切削関与角に大きく依存していることを示す。またこれを基にエンドミル切れ刃の擦過距離に基づく工具寿命評価式について検討し、これをトロコイド溝加工の固定サイクルに適用することで本評価式が有効であることを示す。

### 2. 切削抵抗一定化のための送り速度制御

これまでの研究によれば、式(1)に示す2次多項式モデルにより、2次元平面内のエンドミル加工において切削抵抗の予測と制御が可能となっている<sup>1)</sup>。ここで $F_{x,y}$ は2次元平面内での切削抵抗の合力の時

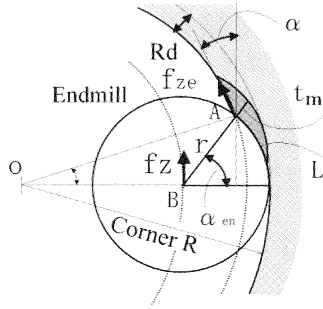


Fig. 1 Geometrical relationship in concave contour end milling

間平均値であり、 $t_m$  と  $L$  はそれぞれ変形前の最大切りくず厚さと切削円弧長である。6つの係数 $\beta$ は、最小二乗法を利用して切削抵抗の測定実験により決定される。

$$F_{xy} = \beta_0 + \beta_1 t_m + \beta_2 L + \beta_{11} t_m^2 + \beta_{22} L^2 + \beta_{12} t_m L \quad (1)$$

半径  $R$  の内側円弧部において、径方向切込み量  $R_d$  とエンドミル中心での一刃当り送り量  $f_z$  が与えられたときのエンドミル加工における各パラメータの幾何学的関係を図 1 に示す。 $r$  はエンドミル半径、 $\alpha_{en}$  は切削円弧長  $L$  に対応する切削関与角、 $f_{ze}$  は刃先での一刃当り送り量であり、幾何学的関係から式(2)~(3)が成り立つ。

$$t_m = f_z \cdot \sin(\alpha_{en}) \quad (2)$$

$$L = r \cdot \alpha_{en} \quad (3)$$

切削抵抗の一定化は、式(1)の切削抵抗予測式と図 1 の幾何学的関係から、切削抵抗の目標値に対するエンドミル中心の送り量  $f_z$  を決定することで行う。後述する標準切削条件(表 2)を基準として得られた切削抵抗  $F_{xy}$  の一定の線 ( $F_{xy}=540N$ ) を図 2 に示す。点  $S$  は標準切削条件(表 2)による直線切削に対応し、それを通る曲線上の他の点は、径方向切込み量  $R_d=0.5mm$  および工具半径を一定としたときの半径比  $K_r$  の異なる内側円弧切削に対応する。なお半径比  $K_r = \text{円弧部半径} / \text{工具半径}$  である。すなわち、これらの点に対応する最大切りくず厚さ  $t_m$  と切削円弧長  $L$  により式(2)~(3)から切削抵抗一定化のためのエンドミル中心での一刃当り送り量  $f_z$  が決定される。内側円弧部における切削抵抗一定化の条件では、半径比  $K_r$  の減少とともに直線切削よりも一刃当り送り量  $f_z$  が小さくなる。

なお、上記の最大切りくず厚さ  $t_m$  と切削円弧長  $L$  の各々の組み合わせについて、これら2つのパラメータを同じ値に保った等価的な直線切削を想定することができる。すなわち図 1 で  $R=\infty$  として直線切削

としたとき、幾何学的関係から次の式(4)が成り立つことから、対応する径方向切込み量  $R_d$  と一刃当り送り量  $f_z$  による等価的な直線切削が導かれる。

$$\alpha_{en} = \cos^{-1} \{ (R - R_d) / R \} \quad (4)$$

### 3. エンドミルの寿命評価式

実際の金型加工では、直線切削のみを行った場合に比べて、切削抵抗が同一になるよう送り速度を制御しているにもかかわらず、内側円弧切削では工具寿命が短くなるという現象が生じている。これは、切削抵抗以外に工具寿命に影響を与える因子が存在するためと考えられる。そこで本研究では、工具寿命に影響を与える要因として切削時の工具逃げ面温度に着目する。

図 1 の内側円弧部の切削において、径方向切込み量  $R_d$  が同じで半径比が小さい場合、切削抵抗値が同一になるよう一刃当り送り量  $f_z$  を減少させても、直線切削に比べエンドミルの工具寿命は短くなる。これは内側円弧部の切削加工時に工具切れ刃の温度が高くなることに原因があると考えられる。すなわち切削抵抗一定の条件下であっても内側コーナ部の加工では半径比  $K_r$  が小さくなるほど切削関与角  $\alpha_{en}$  が増大するため、切削時間(加熱時間)が増加するとともに非切削時間(冷却時間)が減少し、結果的に工具切れ刃の温度が上昇し、工具摩耗を促進させると考えられる。エンドミル加工中には断続的な切削プロセスであり、切れ刃の回転とともに切削中に温度が上昇し、非切削中に冷却され、温度が下降するサイクルを周期的に繰り返している。すなわち切削関与角  $\alpha_{en}$  が増加すると、冷却時間が減少する一方、切削により熱される時間が増加して、温度上昇が生じると考えられる。

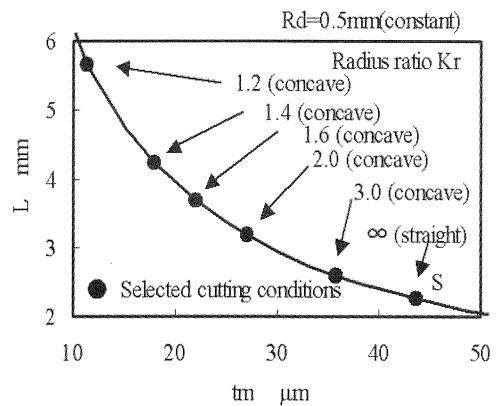


Fig. 2 Contour for constant cutting force ( $F_{xy}=269N$ )

そこで切削抵抗一定の条件の下で切削関与角  $\alpha_{en}$  (切削円弧長  $L$ ) を変化させて工具逃げ面温度を測定し、その影響について考察したうえで工具寿命評価式にそれを反映させることとする。本論文ではエンドミルの工具寿命の基準として、切れ刃の擦過距離の合計 (工具寿命までの切削円弧長  $L$  の合計) を使用する。切削抵抗一定の条件下での工具寿命までの擦過距離の合計が一定になるとすると、式(5)のように仮定できる。

$$L_f = \sum_i L_i = C \quad (5)$$

式(5)において、 $L_f$  は工具経路上のすべての切削円弧長 (擦過距離)  $L_i$  の合計であり工具寿命の基準となる。しかし実際の金型など内側円弧部を含む切削加工においては、工具摩耗に対する熱の影響の観点から、式(5)の工具寿命モデルは、次の式(6)のように  $\gamma$  (補正係数) によって修正されるものとする。

$$L_f = \sum_i (L_i \cdot \gamma) \quad (6)$$

ここで  $\gamma$  (補正係数) は、切削抵抗一定の条件のもとでは切削関与角  $\alpha_{en}$  のみの関数となるものとする。式(6)により工具パスに沿っての擦過距離  $L_i \cdot \gamma$  を合算することができるのであれば、 $L_i$  と  $L_f$  の比率によって、工具の寿命がどれだけ消費されたかを推定するのに使用できる。

#### 4. 実験装置と方法

##### 4.1 被削材と切削工具

工具として直径 10mm, ねじれ角  $45^\circ$ , 6 枚刃のストレート型の (Ti, Al)N コーティングされた微粒子超硬エンドミルを用いる。本工具は切れ刃すくい角がネガティブ ( $\alpha_r = -14^\circ$ ) であり、心太な断面形状を有している。被削材はダイス鋼 SKD-61 (硬さ HRC53) を用いる。

##### 4.2 実験装置と手順

図 3 に用いる実験装置の概略を示す。同じ材料から作製した被削材 1 および 2 を立形マシニングセンタ (MC) のテーブル上に取り付ける。被削材 2 は圧電素子を用いた 3 成分工具動力計で保持され、切削抵抗の測定に用いられる。切削抵抗の測定は被削材 2 について、エンドミルの軸方向と径方向に一定の切込み量を与えて直線切削を行う。また適宜トロコイド溝加工などを行う場合の切削抵抗の測定にも用いる。

工具寿命を調べるために図 3 に示すように、エン

ドミルの軸方向と径方向に一定の切込み量を与えて被削材 1 で図 2 の Y 方向 (紙面に垂直な方向) に、表 2 に示す切削条件 (標準切削条件) を基準とした複数の切削条件の下で直線切削を行う。径方向に同じ切込み量を与えながら直線切削を同方向に繰り返す。被削材 1 について一定距離を切削する毎に、切削抵抗を測定するため被削材 2 を切削する。以上を工具が寿命に達するまで繰り返し行う。ただし径方向切込み量  $R_d$  と一刃当り送り量  $f_z$  については、図 2 中に示した 6 条件による等価的な直線切削によるものとする (表 3)。

なお得られた等価的な直線切削の工具寿命試験の結果が、実際の内側円弧切削での結果と等しく扱えるかどうかを確認するため、切りくずの幾何的パラメータ ( $t_m$  と  $L$ ) が常に標準切削条件下の直線切削 (条件  $K_r = \infty$ ) と等しくなるようにした等価的な曲線切削による工具寿命試験を行い、結果を比較する。これは図 4 に概略的に示すような円弧半径を広げていく工具パス ( $1.5 < \text{半径比 } K_r < 6.0$ ) を用いて複数個の加工を繰り返すことにより行う。幾何的パラメータ ( $t_m$  と  $L$ ) を一定とするために径方向切込み量  $R_d$  は内側円弧半径により変化させる。

また後述のトロコイド溝加工による工具寿命試験では、図 2 の被削材 2 について単純な直線切削と同様にして Y 方向 (紙面に垂直な方向) にトロコイド溝加工を繰り返し、工具が寿命に達するまで切削する。

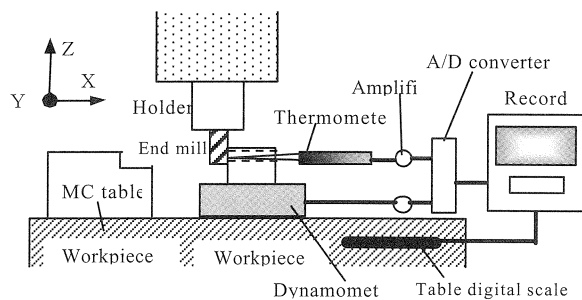


Fig. 3 Setup for experiments

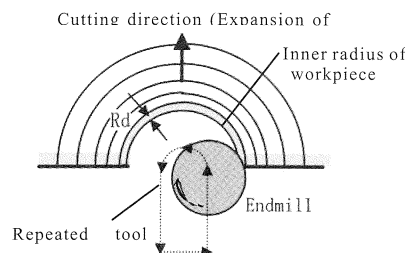
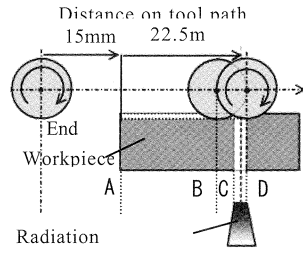


Fig. 4 Tool paths for equivalent concave contour end milling

**Table 1** Specifications of radiation thermometer

Measurement Range	350 ~ 900°C
Resolution	1°C
Responsivity	0.0005 s (95%)
Emissivity correction range	$\epsilon = 0.2 \sim 1.0$
Output unit	mVDC/°C



**Fig. 5** Measurement of temperature

**Table 2** Standard cutting conditions for experiments

Cutting speed (Spindle speed)	S V	302 m/min (maximum) (9600 min <sup>-1</sup> )
Feed per tooth	f <sub>t</sub>	0.1 mm/tooth
Cutting direction		Down cut
Free length of end mill		30 mm
Tool runout		≤ 5 μm
Radial depth of cut	R <sub>d</sub>	0.5 mm
Axial depth of cut	A <sub>d</sub>	10 mm
Workpiece		Die steel SKD-61 (HRC53)
Coolant		Dry air

**Table 3** Radial depth of cut R<sub>d</sub> and feed per tooth f<sub>t</sub> in equivalent experiments for straight cutting

Radius ratio K <sub>r</sub> (Fig.2)	∞	3.0	2.0	1.6	1.4	1.2
R <sub>d</sub> mm	0.5	0.7	0.975	1.295	1.688	2.875
f <sub>t</sub> mm/tooth	0.1	0.0714	0.053	0.04	0.031	0.0182

さらに非接触式のファイバ式放射温度計（仕様を表 1 に示す。）により、標準切削条件による直線切削によって摩耗させた工具（切削距離 1m, 100m, 200m, 300m の 4 種）を用いて図 2 の一定切削抵抗を与える曲線上の加工条件の下で工具逃げ面温度の測定を行う。なお実験は表 3 に示す条件を含む等価的な直線切削で行う。測定に際しての被測定物の熱放射率の決定や主軸回転数に対する応答性の確認は、加熱試験による熱電対との測定結果の比較により行った。実際の測定は、図 5 に示すように被削材に温度測定用の小孔（直径 1.2mm）を加工し、それを通して切削時に工具中心が図 5 の点 D を通過する時の工具逃げ面温度を測定する。また工具中心位置は、同時測定する XY テーブルの位置フィードバック値より求める。

### 4.3 実験条件

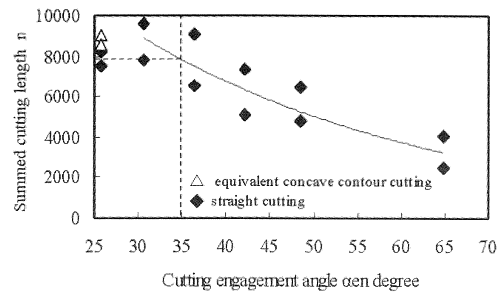
新品工具による切削抵抗の目標値は、表 2 に示した標準切削条件（表 2）による直線切削での値（標準値）と同一とする。直線切削による工具寿命試験

においては、他の条件は等しくしたうえで標準切削条件から送り量 f<sub>t</sub> と径方向切込み量 R<sub>d</sub> のみを変化させる。トロコイド溝加工による工具寿命試験においても切削抵抗が等しくなるよう、工具径路上で切削関与角 α<sub>en</sub>（切削円弧長 L）に応じて送り量を変化させる。ただし送り量 f<sub>t</sub> は 0.1mm/tooth を上限とする。

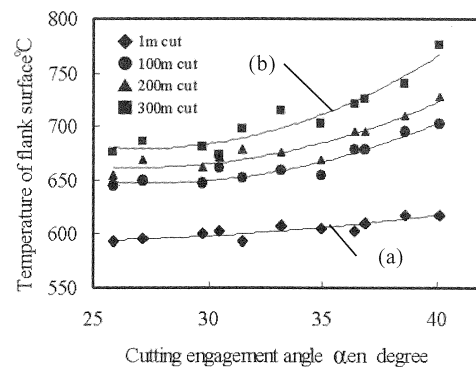
## 5. 実験結果と考察

### 5.1 等価曲線切削と直線切削の工具寿命試験

標準切削条件の下で表 3 に示す各加工条件（R<sub>d</sub>, f<sub>t</sub>）について直線切削による工具寿命試験を行った結果を、寿命までの擦過距離の合計として図 6 に示す。また切りくずの幾何的パラメータ（t<sub>m</sub> と L）が常に標準切削条件下の直線切削（条件 K<sub>r</sub>=∞）と等しくなるようにした等価的な曲線切削による工具寿命試験の結果についても図 6 中に示す。なお実験は各条件で各々 2 回行った。切削抵抗値の初期値（1m 切削時）はいずれの条件についても F<sub>x,y</sub>=520~560N、工具寿命時は F<sub>x,y</sub>=1200~1300N であった。これによれば直線切削とその等価的な曲線切削とは工具寿命についてほぼ等しい結果となっていることがわかる。すなわち切りくずの幾何パラメータ（t<sub>m</sub> と L）が同じであれば、1.5 < 半径比 K<sub>r</sub> < 6.0 といった内側円弧切削の曲線切削であっても工具寿命としては直線切



**Fig. 6** Tool life (summed cut length L<sub>i</sub>) with increasing α<sub>en</sub>



**Fig. 7** Measured temperatures of flank surface of cutting edge

と等価に扱ってよいことがわかる。また図 6 によれば、切削関与角  $\alpha_{en}$  を  $35^\circ$  よりも大きくする工具寿命は急激に短くなっている。

### 5.2 工具逃げ面温度

標準切削条件による直線切削によって摩耗させた工具（切削距離 1m, 100m, 200m, 300m の 4 種）を用いて、図 2 中の曲線上の加工条件（すべて直線切削）の下で工具逃げ面温度の測定を行った結果を図 7 に示す。またこの条件を含む変形前の最大切りくず厚さ  $t_m$  と切削円弧長  $L$  のある一定範囲について、上記の摩耗した工具（切削距離 (a) 1m, (b) 300m の 2 種）により工具逃げ面温度の測定を行い、その結果を 1 次および 2 次の応答曲面として近似した結果を図 8 に示す。その測定点（合計 33 点）を図 9 に、統計学的な検定結果（分散比  $F$ 、決定係数  $R^2$ 、自由度調整済みの決定係数  $R_a^2$ ）を表 4 に示す<sup>2)</sup>。なお図 2 中の曲線による図 8 の応答曲面 (a) (b) の断面が、図 7 中に示す曲線 (a) (b) に対応している。

図 7 と図 8 の結果によれば、工具摩耗の進行とともに工具逃げ面温度が高くなるのがわかる。また工具が新品に近い時では切削関与角  $\alpha_{en}$  に対する工具逃げ面温度の変化は小さいが、工具摩耗の進行とともに切削関与角  $\alpha_{en}$  の大きい範囲では工具逃げ面温度が高くなっていくことがわかる。とりわけ切削抵抗一定条件の曲線方向では、摩耗の進行とともに切削円弧長  $L$  が大きくなると工具逃げ面温度が高くなるのがわかる。すなわち図 7 の切削関与角  $\alpha_{en} \geq 35^\circ$  ではこの傾向が顕著であり、切削関与角  $\alpha_{en}$  とともに工具逃げ面温度が急激に上昇する。これは図 6 で示された切削関与角  $\alpha_{en} \geq 35^\circ$  のとき工具寿命が著しく減少する事実と大きく関係している。すなわち切削抵抗が一定となる条件下であっても、切りくずの形状パラメータの変化により切削関与角  $\alpha_{en}$  が増大すると、切削時間の増加とともに非切削時間が減少し、結果的に工具切れ刃の温度が上昇して工具摩耗が急速に促進されると考えられる<sup>3)4)</sup>。

### 5.3 工具寿命評価式

図 6 で得られた切削関与角  $\alpha_{en}$  による工具寿命の実験結果について、簡単のため図 6 中の実線のような近似曲線を用いることとする。切削関与角  $\alpha_{en} \leq 35^\circ$  においては、擦過距離の合計はほぼ一定となると考えられるので、直線の標準切削条件での基準値  $C$  (式(5)) を用いた。これに対し切削関与角  $\alpha_{en} \geq 35^\circ$  については最小二乗法により曲線の近似関数  $g(\alpha_{en})$  を求め、 $\gamma$  (補正係数) = 基準値  $C / g(\alpha_{en})$  として工具寿命評価式を決定した。なお比較のため

未補正の工具寿命評価式（切削関与角  $\alpha_{en}$  によらず一定（基準値  $C$ ）とする）も用いた。

### 6. トロコイド溝加工への適用

トロコイド溝加工とは図 10 に示すように溝加工の一種であり、エンドミルの直線送りと円弧送りを交互に行いながら溝加工を行うものである。図 10 によればトロコイド溝加工では、その切り込み量すなわ

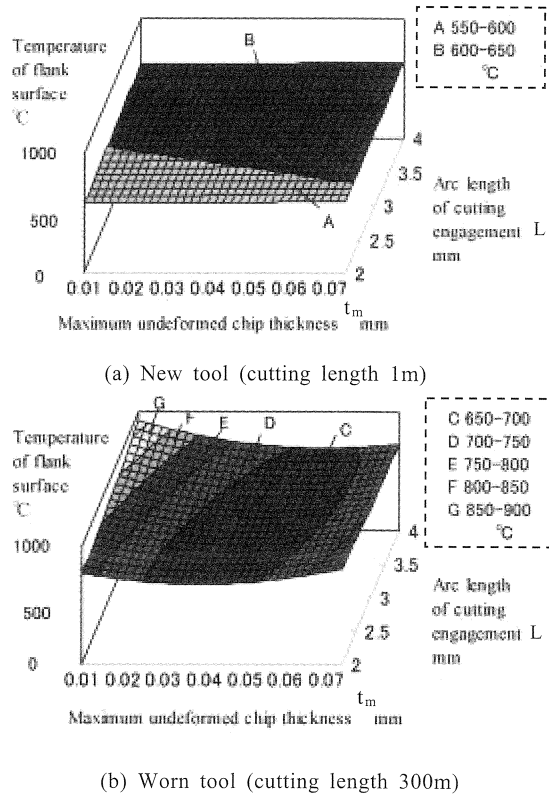


Fig. 8 Response surfaces of measured temperatures

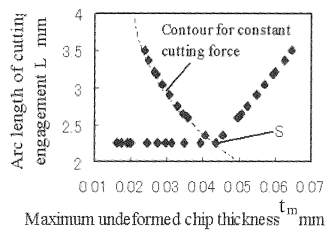


Fig. 9 Measurement points used in Fig. 8

Table 4 Analysis of temperature variance of values in Fig. 8

	(a) 1 <sup>st</sup> degree	(b) 2 <sup>nd</sup> degree
F	52.0 > F(2,30,0.05) =3.31	48.6 > F(5,27,0.05) =2.57
R <sup>2</sup>	0.776	0.900
R <sub>a</sub> <sup>2</sup>	0.761	0.882

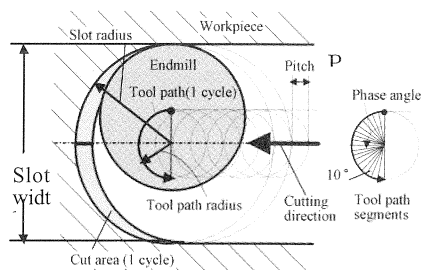


Fig. 10 Schematic of trochoid tool path end milling

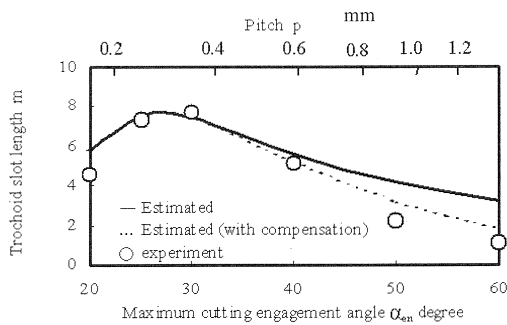


Fig.11 Estimated tool life(trochoid slot length) and experimental value(a)

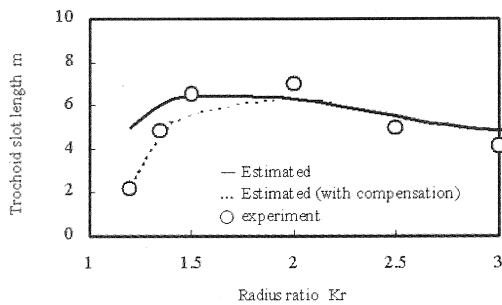


Fig.12 Estimated tool life(trochoid slot length) and experimental value(b)

ち最大切りくず厚さ $t_m$ と切削円弧長 $L$ が位相とともに連続的に変化することがわかる。そのためまず位相毎の送り速度制御を行い、切削抵抗の一定化が可能となるかどうかを検証した。すなわち円弧送り部を $10^\circ$ 毎の位相に分割し、各位相毎に切削抵抗の基準値となるよう式(1)から計算して送り速度を与える。

次に図10で示したトロコイド溝加工について、その加工パラメータを変化させて工具寿命試験を行い、この結果と前節で得られた擦過距離による工具寿命評価式(式(5)～(6))による予測結果とを、溝加工長さとして比較した。工具寿命試験(a)では溝幅 $w$ は一定( $w=20\text{mm}$ ,  $K_r=2.0$ )とし、最大切削関与角(ピッチ $p$ )のみ変化させて比較した。その結果を図11に示す。また工具寿命試験(b)ではピッチ $p$ は一定( $p=0.5\text{mm}$ )とし、半径比 $K_r$ のみ変化させて比較した。その結果を図12に示す。予測値については、工具寿命までの擦過距離の単純な合計による値(実線:未補正の評価式による)と、それに切削関与角 $\alpha_{en}$ による熱の影響を考慮した値(点線: $\gamma$ で補正した評価式による)の2つを示す。いずれも溝加工長さが最大となる条件があることがわかる。図12でピッチ $p$ が小さいとき溝加工長さが減少するのは、送り量 $f_z$ に上限があるため内側円弧加工で体積除去効率が低下するためである。

これらによれば、トロコイド溝加工による実験値は、切削関与角 $\alpha_{en}$ による熱の影響を考慮した工具寿命評価式( $\gamma$ で補正した評価式)による擦過距離の予測値(点線)と傾向的によく合っており、提案した工具寿命評価式が有効であることがわかる。すなわち、送り速度制御による切削抵抗一定の条件のもとで、提案した工具寿命評価式を利用することにより、トロコイド溝加工など固定サイクルにおける加工パラメータ操作による目的に応じた工程設計が可能となると考えられる。

## 6. おわりに

本研究では高硬度材のエンドミルによる加工について、切削抵抗一定の条件下での工具寿命の評価と、そのトロコイド溝加工への適用について研究を行い、次の結果を得た。

- (1) 直線切削と切りくずの形状(最大切りくず厚さと切削円弧長)が常に等しくなる等価的な曲線切削では、工具寿命についてもほぼ等しくなった。
- (2) 切削抵抗が一定となる条件の下で工具摩耗試験を行った結果、切削関与角が $35^\circ$ 以上となる切削条件では工具寿命が急速に短くなった。
- (3) とりわけ切削抵抗が一定となる条件の下では、切削関与角の増大とともに工具逃げ面温度が工具摩耗の進展にもなって急激に増大することがわかった。
- (4) 工具寿命試験の結果に基づいて、切削関与角をパラメータとする熱の影響を考慮した工具寿命評価式を提案し、トロコイド溝加工に適用した。

## 追記

本実験に使用した高速加工機(MC)は、日本自転車振興会の補助金を受けて設置したものである。

## 参考文献

- 1) 垣野義昭, 大塚裕俊, 中川平三郎, 廣垣俊樹, 佐々木将志: 焼入鋼のエンドミル加工に関する研究(第1報), 精密工学会誌, 66, 5(2000) 730.
- 2) J.A.Cornell: The Basic References in Quality Control, Vol.8, How to Apply Response Surface Methodology, American Society for Quality, Quality Press, Milwaukee, (1990) 11
- 3) 升田雅博, 野上輝夫, 溝渕啓, 長濱司: “焼入れ合金工具鋼の高速エンド見る加工時の工具寿命と切削温度”, 精密工学会誌 vol.66, No.11, 2000
- 4) 細川晃, 小田健作, 山田啓司, 上田隆司: “断続切削における工具逃げ面温度—高速エンドミル加工に関する研究(第1報)—” 精密工学会誌 vol.66, No.11, 2000