

切削力の方向は材料を工具が押しつける方向を正としてある。切込み、送り速度の増加により切削力は増加している。また切込み2mmの場合、送り速度による切削力増分は小さいが、切込みを大きくして10mmとすると、送り速度変化による切削力増分は大きくなることわかる。切削力は次の実験式による。

$$P = \delta \cdot x^\alpha \cdot y^\beta \quad (1)$$

ここで P: 切削力 [kg]
 x: 切込み [mm]
 y: 送り速度 [mm/min]
 δ, α, β: 定数

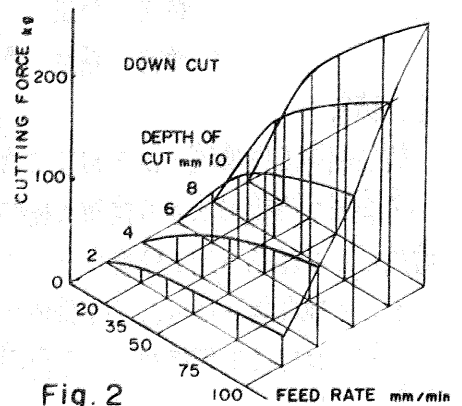


Fig. 2

実験結果より

$$P_{DOWN} = 0.74 x^{1.27} \cdot y^{0.63} \quad (2)$$

$$P_{UP} = -0.89 x^{0.77} \cdot y^{0.89} \quad (3)$$

切削力の標準偏差

$$\sigma = 11.91 \text{ kg}$$

$$\sigma = 12.01 \text{ kg}$$

の実験式を得る。上向き切削の場合、切削力の向きが負となり材料に余分に切込まれることになる。

3.2 加工精度について

Fig. 3に切込みを2mmずつ階段状に変化させ、送り速度50mm/minで切削したときの加工精度を示す。切込みの変化が誤差の変化と一致しており、切込みの増加によって誤差も大きくなっている。誤差は下向き切削の場合正側に、上向き切削の場合負側に生じている。またFig. 4に切込みを10mmとし、10mm/minから100mm/minまで送り速度を階段状に変化させて切削したときの加工精度を示す。下向き切削の場合送り速度の影響がはっきりと精度に現われている。上向き切削の場合それほどはっきりしないが、両切削方式とも送り速度の増加にしたがって誤差が大きくなっている。ここで加工精度について(1)式と同じ形式の実験式を用いれば次のようになる。

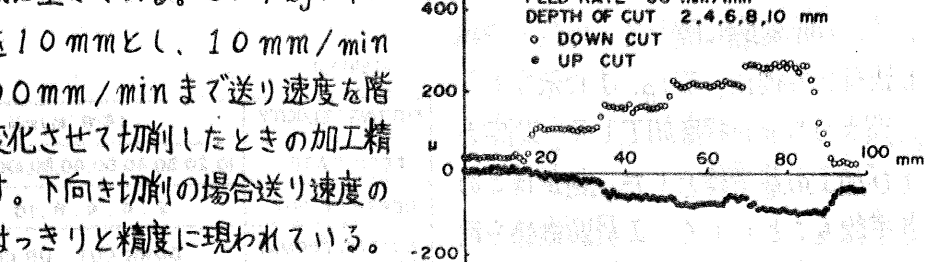


Fig. 3

またFig. 4に切込みを10mmとし、10mm/minから100mm/minまで送り速度を階段状に変化させて切削したときの加工精度を示す。下向き切削の場合送り速度の影響がはっきりと精度に現われている。上向き切削の場合それほどはっきりしないが、両切削方式とも送り速度の増加にしたがって誤差が大きくなっている。ここで加工精度について(1)式と同じ形式の実験式を用いれば次のようになる。

$$E = \delta' x^{\alpha'} y^{\beta'} \quad (4)$$

ここで E: 寸法誤差 [μ]
 x: 切込み [mm]

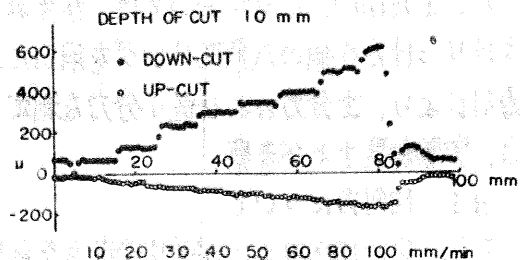


Fig. 4

y : 送り速度 [mm/min]

δ', α', β' : 定数

実験結果より

$$E_{DOWN} = 0.45 x^{1.18} y^{0.98} \quad (5)$$

$$E_{UP} = -0.02 x^{2.07} y^{0.98} \quad (6)$$

寸法誤差の標準偏差

$$\sigma = 24.6 \mu$$

$$\sigma = 23.3 \mu$$

定数 δ' の符号が逆になっているのは、下向き切削の場合予定の寸法より大きく、上向き切削の場合小さく加工されることを示す。

3.3 切削力と加工精度

切込み、送り速度の変化によって(1)式より切削力は変化し、また(4)式より加工精度も変化する。そして(2)、(3)式による切削力の方向と、(5)、(6)式による誤差の方向は対応している。一方切削力による各部の変形は別報⁽²⁾の結果によればFig. 5のように工作機械のテーブル、主軸頭およびエンドミルの変位に分けられる。これらの3部分の変形を合成したものは測定値と一致しており、寸法誤差は切削力による影響が大きいことが明らかである。

FEED RATE 97.5 mm/min
DOWN CUT

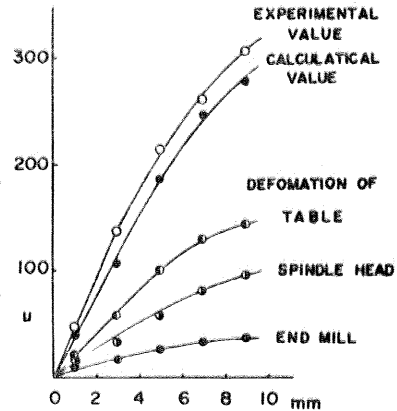


Fig. 5

3.4 送り速度の変化

NC工作機械は1パルス0.01 mmを単位として制御される。しかし任意曲線や座標軸以外の直線を追従するとき、パルスのひんぱんな変化がさけられない。さらに補間機能をもたない制御装置(FANUC 260)の場合、指令読み込み時間の影響も加わり実際の送り速度は変化する。

Fig. 6に1パルス指令における速度線図を示す。 T_1 で指令を読み込み、 T_2 で移動がおこるが、その際に指令速度 V_0 に達しないものと考えられる。立上り部と降下部が移動開始後 T_2 後に切りかわったとすれば、囲まれた面積 $S = 0.01 \text{ mm}$ より $T_2 = 0.012 \text{ sec}$ となる。これが1パルス分の移動時間を意味する。実際の速度は次式で表わされる。

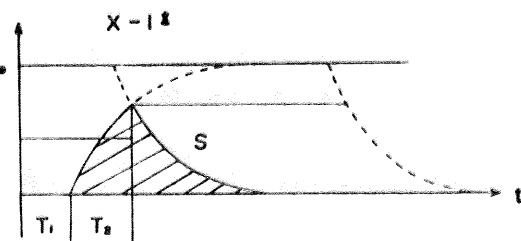


Fig. 6

$$V = 60 \cdot L / (T_1 + T_2) \quad (7)$$

ここで L は指令距離であり、Fig. 6の実際の速度を求めてみると $L = 0.01 \text{ mm}$, $T_1 = 0.02 \text{ sec}$, $T_2 = 0.012 \text{ sec}$ より $V = 18.75 \text{ mm/min}$ となり、指令速度の40%以下となる。Fig. 7に10 mm間隔で指令パルス数を変化させて切削した例を示す。AB間で1パルス指令、BC間で2パルス指令、---HI間で200

パルス指令となっている。この図より指令の違いによって誤差が変化している。これは(7)式より実速度が変化するためである。(5)式による計算値と比較すると実験値が小さくなっているが、 $\pm 3\%$ の範囲内にあり傾向も一致している。

3.5 直線形状の輪郭加工

直線による輪郭形状を正八角形で代表し、輪郭加工を行なった。Fig. 8に代表して45°面および90°面の寸法誤差を示す。両者を比較して45°面の誤差が大きくなっているが、この面では同時パルス発生により実速度が $\sqrt{2}$ 倍になるためである。右端部で誤差の減少がみられるが、角をまわるときに切込みが小さくなるためである。

3.6 パルス補正

加工誤差は切削力の変化により生じるがこの誤差を取り除くには(5)、(6)式より求める誤差量だけパルスで補正すればよい。Fig. 9にその例を示す。補正後 ± 2 パルス以内精度が改善されている。切欠き部は補正パルスをチェックするため10秒間ドウエルさせたもので、その誤差量は補正パルス数に一致している。

4. 結論

- (1) 切削力は切込み、送り速度の増大とともに増加するが、切込みが大きいほど送り速度による増分が大きくなる。
- (2) 加工精度は切削力とほぼ同形の実験式であらわされ、切削力による影響が大きいことが明らかにされた。
- (3) 送り速度はパルス指令の変化および指令読み込み時間により指令速度と一致しない。
- (4) パルス補正により加工精度の改善が可能である。

参考文献 (1) 藤井、岩部；切削力の輪郭加工精度へおよぼす影響、精機学会講演前刷1974、85-86、(2) 藤井、和田、鈴木；切削中におけるエンドミルの挙動と精度との関係、機械学会講演論文集733-2、1973、89-92

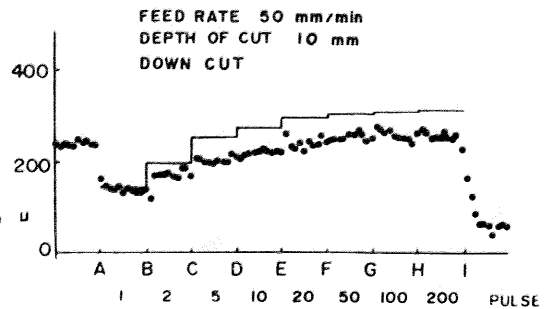


Fig. 7

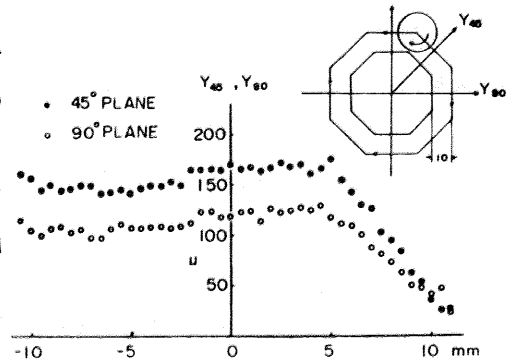


Fig. 8

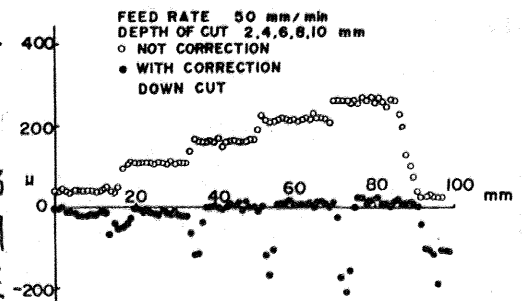


Fig. 9