ばねの強度がポリゴン断面の切削精度におよぼす影響*

賀 勢 晋**

On the Influence of the Stiffness of Compression
Spring upon the Accuracy of Polygonal Shaft

Susumu KASEI

In our experiment, the machining of polygonal profile is performed by the relieving lathe which is prepared for this purpose.

Eccentric disk cam is used for the forward stroke of the lathe tool and compression spring is used for the return stroke.

In this case, the stiffness of the spring influences to the accuracy of machined polygonal profile.

If the compression of spring is too weak, unaccurate profile is resulted. On the other hand, the excess compression results the temperature rise on a large scale and damages the important mechanisms.

In this paper, we ascertained the relations between the stiffness of spring and the accuracy of the machined profile.

The conditions of operation for the best accuracy is determined from these experiments.

Results we get are as follows:

The compressive force of the spring should be employed more than 6 times of inertia force, and more than 3 times of frictional force.

1. ま え が き

著者がここに説明するポリゴン断面軸穴の切削方式は図1に示すものである。いま旋盤加工において主軸にとりつけた素材を回転し、バイトにAO方向の周期的な往復動を与えて軸方向に送りをかけ、主軸の1回転に対してバイトを2往復すれば(a)の2葉曲線が、また3往復すれば(b)の3葉曲線が得られる。かかる断面は軸継手として用いられるものでこれをポリゴン断面と称することにし、著者はこの断面を削るために2番取り旋盤を改造している。図2はその方式の略図である。図においてモータからの動力は2つに分けられる。1つは主軸を回転させることによって切削動をなし、他は換歯車列を経てカムを回転することによってバイト台を往復させる。切削すべきポリゴン断面の葉数に応じ、たとえば n 葉ならば主軸1回転に対してバイトが n 往復するように換歯車を選ぶ。図3は要部のカム取付部分を示す。主軸の n 倍の回転がカム伝動軸に伝わり傘歯車を経て垂直の位置にあ

る短カム軸に伝わる。ゆえにカム軸上端のカムが回転しこの動きがピンに伝わり、ピンを締付けた横送り台は案内面上を滑ることになる。カムとしては偏心円が用いられ、図4(a)のようにカムとピンの平面部を接せしめて刃

図1 ポリゴン断面の旋削

* 昭和39年4月精機学会春季大会学術講演会にて発表

** 正会員 徳島大学

図 2 ポリゴン軸切削機構説明図

図 4 カム・ピンおよびシューの配置

図 3 二番取り旋盤横送り台およびカム取付部分の構造説明図

物に単弦運動をさせて削られる断面を単弦断面と称している。単弦形断面ではカムとピンとが線接触するために圧力の強さが大になる欠点があるので、これを避けるため図 4(b)のようにシューを介してピンを動かして削られる断面をクランク形ポリゴン断面と称している。この断面は単弦形断面とはごくわずかに差があるにすぎない。この構造であると横送り台の往行程は確動であるが、復行程においては台を戻すことができないから図 3 に示すように、戻しばねを使用して圧縮されたばねの張りによってカムとピン（単弦形断面切削の場合）あるいはカムとシュー（クランク形断面切削の場合）の間に常に圧力を生ぜしめ確実に追従するようにした。この方法によって得られる断面曲線の精度が往復ともに確動カムを使用する場合よりもよくなることがわかったから、著者の実験にはもっぱらこのばね法を利用した。

ゆえにばねの反発力については常に十分の考慮を必要とする。弱いばねで反発力が不十分であると横送り台が

図 5 ばね圧縮試験例

カムの回転に追従せず断面精度が低下し、過大であるとカムとピンとの間に大きい Hertz 応力を発生し発熱のためにカムの焼きが戻り、むしろなどの原因になりやすい。とくに単弦形断面においてはこれが顕著である。したがってばねは適当な強度のものを使用し図 3 の調整ねじによって適当した荷重を加える。図 5 はこの研究の実験に使用したばねの 1 つについて圧縮試験を行なった結果であって、荷重と縮み量との関係を示したものである。以下の実験におけるばねの圧縮力はこの線図によって加えられる。

上述のように加えられるばねの圧縮力の大小によって削られる断面精度が変化するので、この関係を確かめ最良の精度の断面を得るためには、いかなる条件を選んで作業すればよいかを実験によって明らかにした。

2. 実験の要領

実験に使用したバイトは高速度鋼第 4 種の付刃バイトであって、その諸元を図 6(a)に示す。このバイトはたわみのないがん丈なバイトホルダに取付けられている。被削材は図 6(b)の形状であって S55C 材より削り出された段つき棒であって、段に当る部分に所定のポリゴン断面と同一条件の丸軸断面とを削り比較対照した。切削に際しては不水溶性切削油を 1.5 l/min の割合で切削部に注加した。断面精度の測定方法はフィーラ式顕微鏡装置と精密割出機の組合わせによった。

ポリゴン断面の形状測定¹⁾のときは図 1 においてポリゴン半径 r を直接測定せず、図に示した最大半径 R と測定すべき半径 r との差 s が測定値として示される。いま回転角を α とした場合、旋削ポリゴン断面においては α と s との間にはつぎの関係がある。

単弦形ポリゴン断面に対して²⁾

$$\left. \begin{aligned} s &= e(1 - \cos \alpha) \\ \text{クランク形ポリゴン断面に対して}^2) \\ s &= \sqrt{a^2 - e^2 \sin^2 n\alpha} - e \cos n\alpha - (a - e) \end{aligned} \right\} (1)$$

ただし e : カムの偏心量 n : ポリゴン葉数

a : 図 4(b)に示す偏心カム円中心とスライドピン中心との距離

研削断面は包絡線となって上述より複雑であるが、同様な考え方によって s を求めることができる³⁾。

測定によって得られた s の値と式によって理論計算された s の値とを比較すればその断面形状を明らかにすることができる。すなわち形状誤差 E_r を

$$E_r = (\text{測定によって得られた } s) - (\text{理論値の } s)$$

として示すとき、 E_r が正であると断面は理論値よりやせていることとなり、 E_r が負であると太っていることになる。また測定値に対しては測定端丸みの補正および旋盤ならびに割出機の回りセンタ (live center) の振れによる中心軸線の移動に原因する補正を行なってこれを真の測定値として理論値と比較した²⁾。

なお以下の比較表の横軸に示す回転角とは測定時における工具顕微鏡の精密割出機の回転角であって

回転角 $0^\circ \sim 60^\circ$, $120^\circ \sim 180^\circ$ および $240^\circ \sim 300^\circ$ の範囲は切削時はばねによって復動される範囲であって

回転角 $60^\circ \sim 120^\circ$, $180^\circ \sim 240^\circ$ および $300^\circ \sim 360^\circ$ の範囲は切削時は偏心カムによって横送り台が確実に往動される範囲である。

本実験例のようにばねを利用して作業をする場合においてはこのばね系の固有振動数が問題になる。ゆえに計

算と測定とによってカムの回転数が振動に同調しないことを確かめた。

実験の要領はまず与えられた作業に対して適正なばねの圧縮力を見出す必要があるので圧縮力を一定とし、偏心量ならびに回転数 (切削速度) を変化させた場合の形状誤差の状況を調べた。さらに他は同じ条件にしてばねの圧縮力のみを変化させた場合に形状誤差の変化のようすを検討した。なお旋削実験における切込みはすべて 0.2 mm とした。単弦形断面切削の場合カムとピン平面間の接触圧力が大になるので、特に耐圧性のすぐれている潤滑剤が必要である。このために二硫化モリブデン濃縮ペースト状調剤を面間に塗布して接触圧力に耐えるようにした。

3. 実験結果

3.1 ばねの圧縮力を一定にした場合の形状誤差

ばねの圧縮力は 60 kg、かつ横送り台のまさつ力は 18 kg に調整した。この値は数回の試実験の結果定めたものである。図 7 は偏心量 $e=0.501$ (偏心係数 $\zeta=e/R=0.028$) のカムを使用し回転数を 19, 53, 110 および 210 rpm (最大切削速度 2.1, 6.0, 12.4 および 24.0 m/min) として単弦形ポリゴン断面軸を切削した場合の形状誤差を示す²⁾。比較のために同条件 (同じ工作機械、回転数、切込み、送りおよびバイトによって) で切削した丸軸の形状誤差を点線で示す。回転数の低い 19, 53 および 110 rpm のときのポリゴン断面の精度は図に

		鋼 用	黄銅用
すくい角	α	$15^\circ 5'$	0°
刃物角	δ	$54^\circ 50'$	$71^\circ 0'$
逃げ角	γ	$20^\circ 5'$	$19^\circ 0'$
上透面バイト角	ρ	$54^\circ 17'$	
バイトとがり角	ϕ	$64^\circ 9'$	$63^\circ 30'$
投影角	θ	$58^\circ 36'$	$65^\circ 0'$
刃先半径	r	0.45~0.50	0.42

(a) 実験用バイトの角度

(注) 黄銅用は仕上面あらさ測定のためのものとして参考として示す。

(b) 被削用試験片の寸法

図 6 実験用バイトと被削試験片

示すように形状誤差の最大差はいずれも 20μ 以内におさまり、平均して 17μ 程度である。この場合と同条件で削った丸軸の精度は平均 8μ であるから、ポリゴン断面が精度において約 10μ 劣っていることになる。しかしながらポリゴン断面の性質上この値が直接軸の振れの数値となって示されるものでなく、全体的に言えば丸軸にくらべてあまり差のない断面が得られている。またポリゴン断面の精度変化のようすと同条件で削った丸軸における精度変化のようすが大体似た傾向をたどっていることがわかる。ただ 210 rpm で切削した場合は形状誤差の最大差が 25μ と示されて断面形状がいくらか悪化したことを示している。図 8 は偏心量が増加して $e=0.764\text{mm}$ ($\zeta=0.042$) のカムを使用して前の例と同様に切削速度を変えて単弦形断面について実験したものである。形状誤差は偏心量の小さな図 7 の場合よりはいくらか劣化している。回転数 110 rpm 以下においては形状誤差の最大差は平均 21μ であり同条件の丸軸の平均は 11μ である。ただこの場合も 210 rpm の場合に断面形状の悪化が見られる。

以上はばねの圧縮力を一定とした場合に回転数および偏心量を変えて試みた一連の旋削実験によって

- (a) 偏心量の少ないほど良好な精度の断面が得られる。
- (b) 主軸回転数 (切削速度) の低いほど良好な精度の断面が得られる。

という傾向がわかった。

偏心量が小であり回転数が低いということは往復する横送り台の慣性力が僅少であることを意味するから、慣性力およびばねの圧縮力とこのとき得られる精度との間には何らかの関係が考えられる。

単弦形ポリゴン断面を切削する場合の慣性力 F は

図 7 $R=18$ および $e=0.501\text{mm}$ で切削した場合、単弦形旋削ポリゴン断面軸の形状誤差実測例
 (—) ポリゴン断面軸 (·····) 同条件で削った丸軸

図 8 $R=18$ および $e=0.764\text{mm}$ で切削した場合、単弦形旋削ポリゴン断面軸の形状誤差実測例
 (—) ポリゴン断面軸 (·····) 同条件で削った丸軸

$$F = -\frac{W}{g} e \cos n\alpha \left(\frac{dn\alpha}{dt} \right)^2$$

によって示される⁴⁾。

クランク形ポリゴン断面を切削する場合の慣性力 F は⁴⁾

$$F = -\frac{W}{g} e \left[\cos n\alpha - \frac{\cos^4 n\alpha + 2 \left\{ \left(\frac{a}{e} \right)^2 - 1 \right\}}{\left(\sqrt{\left(\frac{a}{e} \right)^2 - 1} \right)} \right. \\ \left. \times \cos^2 n\alpha - \left\{ \left(\frac{a}{e} \right)^2 - 1 \right\} \right] \left(\frac{dn\alpha}{dt} \right)^2 \quad (2)$$

ただし W : 往復部分の重量

g : 重力の加速度

ゆえに図 7 および図 8 における各実験の最大慣性力を式(2)より計算して結果を示せば図 9(a) のようである。図において図 7(a) の旋削を示す A_1 点では精度が十分とはいえず、図 8(b) の旋削を示す B_2 点では良好な精度が得られたとするとその限界は斜線の範囲内にある。すなわちこの実験例の場合、慣性力 10 kg を限界とするのが妥当であると考えられる。この実験はばね圧縮力 60 kg に一定しているから慣性力をばね圧縮力の $\frac{1}{6}$ 以内に納めることを目標とすれば良い結果が得られる。

以上は横送り台の往行程において慣性力によるオーバーランを押さえるためのばねの圧縮力であるが、復行程においてはばねは横送り台のまさつ力に打勝って台を戻しピンとカムとを常に接触させなければならない。ばねの圧縮力はまさつ力より大なることが必要である。まさつ

力には往復部分の重量によるもののほかに、切削抵抗の主分力による下方に向っての押付け力および横分力による側方からの押付け力が加わるから重切削においては大きいまさつ力を生ずる。一方背分力は反発力となればねの圧縮力に加えられる。しかし切削関係の力は切削条件によって変動をくり返し一定値に定めにくいから往復部分の自重によるまさつ力より余裕を見込んでばねの圧縮力を定めることが望ましい。本実験例は軽切削の場合であるがまさつ力を 18 kg に調整しこれに対しばね圧縮力を 60 kg とした結果、図 7 および図 8 に示すように追従に不備もなくよい結果を得た。

横送り台に重量があり、また滑動部分が「がた」なくはめ合わされているためには一定のまさつ力とその部分に必要で、これを極端に減少することはできない。ゆえにこれに打勝つためには、たとえ慣性力のわずかな場合であっても一定値のばね圧縮力を必要とするものであって、実験結果から判断すればまさつ力の 3 倍以上のばね圧縮力を必要とするものと考えられる。

以上の実験と考察からばねの圧縮力の定め方については、軽切削の場合にその最低限界は

最大慣性力の 6 倍以上

まさつ力の 3 倍以上

のうちいずれか大なる方を採用すべきであって、 $e = 1.287$ mm の偏心量のときを例にとると図 9(b) のように ABC 線より上を選ぶべきである。

3.2 ばねの圧縮力を変えた場合の形状誤差

図 10 の細い実線は偏心量が実験として最大の $e = 1.287$ mm ($\zeta = 0.08$) の場合、単弦形断面について前項の例と同じくばね圧縮力 60 kg で切削実験したものの形状誤差である。断面精度が格段に悪化していることがわかる。これは偏心量が大になり回転数も上昇したために慣性力が大になり、ばねの圧縮力とのバランスを失ったことによると考えられる。ゆえに他は同じ条件にしばね圧縮力を 2 倍の 120 kg として切削した例を图中的太い実線で示してある。圧縮力を変えたことのみによって明らかに精度が向上しており適当な圧縮力のばねを選ぶことが大切であると示している。この場合(b)の最大慣性力は 13.3 kg であって、ばね圧縮力は慣性力の 9 倍に当り、面の精度は十分であると考えられ、測定結果も最大 23μ と示されている。しかし図 10(a) の回転の最大慣性力は 48.7 kg であって、ばね圧縮力は慣性力の 2.5 倍に過ぎず、面の精度も不十分と考えられ測定結果も 37μ に達している。

図 9 回転数、慣性力およびばね圧縮力の関係

4. ま と め

以上から判明するように形状誤差の小さい精度のよい断面を旋削によって得るには、そのときの偏心量、切削速度や切込み量などを考えに入れてばねの圧縮力を調整して最適の圧縮力のもとに作業すればよい。その結果は同条件で削った丸軸にくらべてあまり劣らない精度のよい断面となる。

なお本研究にご指導をいただいた東京工業大学山本晃教授、徳島大学稲田貞俊教授ならびに測定にあられた井関祥宏、大椋武および鈴木伸彦の3氏に衷心より感謝の意を表する。

(1964, 7月29日受付)

参 考 文 献

- 1) 賀勢晋：ポリゴン断面の工作について(第4報)，機械学会論文集，30巻220号(昭39)1476。
- 2) 賀勢晋：ポリゴン断面の工作について(第4報)，機械学会論文集，30巻220号(昭39)1477～1483。
- 3) 賀勢晋：ポリゴン断面の工作について(第3報)，

機械学会論文集，29巻208号(昭38)1873。

- 4) 賀勢晋：ポリゴン断面の工作について(第2報)，機械学会論文集，29巻208号(昭38)1867。

図10 ばね圧縮力を変えることにより精度の改善された例