621.833.5:621.986

非 円 形 歯 車 の 転 造 法*

(第 1 報, アルミニウム製すぐは だ円形歯車の場合)

近 久 満 雄**

Die-Rolled Noncircular Gears

(Part 1, On Elliptic Gears of Aluminium)

by Kumao Kon

Noncircular gears have been generally manufactured by cutting machines, such as hobbing machines or gear shapers fitted with special equipments. As the equipment, however, are very complicated, it is considered hard to cut the teeth of noncircular gears. Then, the author thought of an easier way of manufacturing noncircular gears. It is same way of rolling, not cutting, as in that of circular gears.

In this research, a simple equipment was made for trial to roll elliptic gears, the most familiar ones of all the gears. First a die holder with two dies was fitted with the tool rest of a lathe, then the tool rest was pushed toward the gear blank by a spring to press the dies into the gear blank, which was rolled into gears.

The two types of elliptic gears were made by the above mentioned experiments; one is with module 1 and the number of teeth 75, and the other with module 1.25 and the number of teeth 60. The major axis is 93.72 mm long and the minor, 54.12 mm long for both cases. Aluminium was used as the material.

1. 緒 言

だ円形歯車などの非円形歯車の製法はほとんど切削法によっており, その切削法は特殊な歯切装置を作り, それを歯切盤やその他の工作機械に取付けて, 歯切りを行なっているが, その歯切装置は複雑なものが多く, したがって, この種歯車の歯切りは一般に困難なものとされている。

従来, 歯車の転造法は主として円筒形歯車について行なわれているが, 非円形歯車も転造法によって加工し得られるならば, 比較的容易に製作することができると考えられる。本研究では簡単な転造装置を試作し, これを普通旋盤に取付け, 非円形歯車のうちもっとも手近かなだ円形歯車について転造実験を行なった。

2. 転 造 方 式

歯車の転造法には自由駆動と強制駆動の二方式があるが, 非円形歯車を転造する場合には, 強制駆動方式にするには, 歯車素材とダイスの関係運動を得るため,

転造装置が複雑となるので, 自由駆動方式を採用した。また, ダイスとしては製作の容易なピニオン形ダイスを使用した。

ダイローラによって非円形歯車を転造する場合のダイローラと非円形歯車の関係運動は両者のかみあい状態と同一である。第 1 図に示すように, 一方向から 1 個のダイローラを一定の圧力 Q にて加圧し, 転造する方式を考えると, 回転中は両者の軸間距離は変化し, 転造圧力も変化する。また, 転造圧力によって歯車素材軸に加えられるモーメントは大きく変化する。そのため, 円滑な回転を得ることは非常に困難となる。

これらの欠点をなるべく少なくするため, 第 2 図に示すごとく, 一方向から押し出されるダイローラは 2 個一組とし, 2 個のダイローラは適当な間隔に保持されて, ダイスホルダに取付けられ, そのダイスホルダ

第 1 図

* 昭和 34 年 4 月 4 日 第 36 期通常総会講演会において講演, 原稿受付 昭和 34 年 7 月 30 日。

** 正員, 山形大学工業短期大学部 (米沢市元中馬口労町)。

はシャンクとピンにて結合され、そのピンを支点として揺動できる構造とする。また転造圧力はばねを介して、シャンクを押し出すことによって、各ダイローラに加えられる。

歯車素材が1回転する間に、各ダイローラによって、歯車素材全周にわたって、各部に加えられる転造圧力 F_1 , F_2 が異なるため、その各部におけるダイス歯形の押込量が違って来る。これを一定にするため、非円形歯車のピッチ曲線と同形の型板を素材と同軸に固定し、ダイローラ軸にはカラーをはめておく。転造が進むにしたがって、転造圧力が異なっても所定の押込量に達した部分から型板とカラーが接触し、その部分ではそれ以上ダイス歯形は押込まれなくなり、やがて、歯車素材全周にわたって、一定の押込量となり、所定の歯形が創成される。

また、転造初期の歯の割出しには、割出し用ダイローラ1個と押込制御用カラーとをダイローラ2軸のうち一方の軸に取付け、他方の軸には型板と接するカラーのみ取付ける。このようにして転造を行なうと、割出し用ダイローラは歯車素材に当り、カラーは型板にあたって歯数が割出される。この場合の押込量はわずかでよいから、押込量を制御するための割出し用カラーの外径は仕上転造用カラーの外径よりわずかに大きくする。

歯の割出し転造を行なってから、仕上転造用ダイローラと仕上用カラーをそれぞれ各軸に取付けなおし、仕上転造を行なう。

3. だ円形歯車のピッチ曲線

だ円形歯車の素材および型板を製作するには、普通の工作では面倒であるので、擬似だ円歯車歯切装置⁽¹⁾を使うことにした。この歯切装置にホブカッタのかわりに平カッタを取付けて切削を行なうと、いろいろの種類のだ円形の素材および型板を得ることが容易となる。したがって、今回、実験の対象としただ円形歯車のピッチ曲線は第3図において、中心 C を極とし、長軸 CX を原線とする切線極座標において

$$r = r_0 + c_1 \cos 2\theta + c_2 \cos 4\theta \cdots \cdots (1)$$

ただし r_0 , c_1 , c_2 は定数
なる切線極座標方程式で表わされるものをとることにする⁽¹⁾。

4. 歯車素材の形について

転造中に歯車素材の材料が盛り上ってくる。円筒形歯車の転造においては、初めの素材表面から盛り上った歯形の高さをモジュール m の K 倍で表わしている。

第 2 図

第 3 図

この盛り上り係数 K ⁽²⁾ は転造される歯車の歯幅、圧力角、歯数、材質などに影響される実験値である。

非円形歯車の場合について考えてみると、円筒形歯車と異なるところは、そのピッチ曲線の各部における曲率半径が一般に異なる。したがって、その各部の歯に対する K の値も異なるわけである。今回の転造実験においては、ダイローラの押込量を制御する方式をとっているため、その影響は少ないものと考え、歯車素材の形はだ円形歯車のピッチ曲線に平行な曲線で表わされるものをとることにする。したがって、(1)式で表わされるピッチ曲線をもつだ円形歯車の素材の形は、第3図における切線極座標において

$$r' = \{r_0 + m(1-K)\} + c_1 \cos 2\theta + c_2 \cos 4\theta \cdots (2)$$

ただし K は盛り上り係数
なる方程式で表わされる曲線である。

5. 歯の割出しについて

自由駆動方式による転造の場合には、歯車素材とダイローラの対において、そのうちの一方のものにのみ強制回転をあたえ、他の方には自由回転させるため、転造初期の歯の割出しにおいて、歯車素材とダイローラとの間にすべりが生ずる。このすべりはダイローラの軸受その他の摩擦抵抗等によって生ずるものと考えられている。

本方式による転造法におけるすべりはダイローラが回転と同時に揺動運動をするため、円筒形歯車の転造にくらべ、大きく表われるものと思われる。円筒形歯

車の転造においてはすべり係数⁽²⁾として求めているが、だ円形歯車の転造においても、同様に考えて求めることにする。

(1) 式で表わされるピッチ曲線をもつだ円形歯車の素材の形は(2)式で表わされるものとする。まず、ダイローラと歯車素材の間にすべりがなく、両方の歯先のピッチは等しいとすれば

$$\frac{\pi D_1}{Z_1} = \frac{1}{Z_2} \int_0^{2\pi} r' d\theta \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし D_1 : 割出し用ダイローラの外径

Z_1 : 割出し用ダイローラの歯数

Z_2 : だ円形歯車の歯数

実際にはすべりが生ずるから、いま主動車側を素材軸とし、1ピッチ間のすべりの量を S とすれば

$$\frac{\pi D_1}{Z_1} = \frac{1}{Z_2} \int_0^{2\pi} r' d\theta - S \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\begin{aligned} \therefore D_1 &= \frac{D_1}{\pi Z_2} \int_0^{2\pi} r' d\theta - \frac{Z_1 S}{\pi} \\ &= 2 \frac{Z_1}{Z_2} \{r_0 + m(1-K)\} \left[1 - \frac{Z_2 S}{2\pi \{r_0 + m(1-K)\}} \right] \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (5)$$

なお簡単に表わすため、 L をすべり係数とし

$$L = \frac{Z_2 S}{2\pi \{r_0 + m(1-K)\}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

とすれば

$$D_1 = 2 \frac{Z_1}{Z_2} \{r_0 + m(1-K)\} (1-L) \quad \dots\dots\dots (7)$$

6. 実験装置および実験結果

a) 転造機械 ラングの 8 ft 旋盤の刃物台部分を改造して使用した。第 4 図および第 5 図に示すよう

第 4 図

に、刃物台および横送りねじをとりはずして、代りにダイス取付台とこれを押出す装置を取付けた。ダイス取付台は円筒形コイルばねを介して、ねじによって押出される構造とした。また、転造される歯形が一方方向にのみ傾くのを防ぐため、主軸の回転を逆にできるようにした。なお、主軸の回転速度は毎分 7 回転として実験を行なった。

b) 試料 今回、転造実験を行なっただ円形歯車はモジュール 1、歯数 75、すくはと、モジュール 1.25、歯数 60、すくはの 2 種類である。なお、これら 2 種類の歯車のピッチ曲線は工作の便宜上同じ型板を使うため、両者とも(1)式において、 $r_0 = 37.5\text{mm}$, $c_1 = 9.9\text{mm}$, $c_2 = -0.54\text{mm}$ とした。これは長軸が 93.72 mm、短軸が 54.12 mm のだ円に相当する。第 6 図は素材と転造された歯車を示す。

c) 素材 厚さ 5 mm のアルミニウム圧延板材料より切り取って使用した。

d) ダイスホルダ 第 2 図に示すごとく、2 個のダイローラがダイスホルダに取付けられ、押出し圧力 Q

第 5 図

第 6 図

は円筒形コイルばねを介してシャンクに加えられる。だ円形歯車を転造する場合、歯車素材が定位置で回転運動するため、ダイスホルダがピン P を支点として揺動運動をすると同時に、シャンクとともに往復運動を行なう。したがって、各ダイローラによって、歯車素材に加えられる転造圧力は素材全周にわたって変化する。また、押出し圧力 Q を一定としても、素材全周にわたる転造圧力は第8図に示すように変化する。すなわち、転造圧力はだ円形の長軸付近において大きく表われる。

シャンクの往復運動の行程の長さはダイローラの間隔、すなわち、第2図に示す A の値によって変化する。このシャンクの往復運動が転造圧力に影響するわけであるが、今回の実験では簡単に押出し圧力をなるべく一定として転造を行なうことを考え、シャンクの往復運動の行程の長さをなるべく小さくするため、ダイローラの間隔 A の値を次の方法にて定めた。

第7図における切線極座標において、極を原点とし、原線を X 軸として直角座標 (X, Y) をとる。ピッチ円直径 D なるダイローラが(1)式で表わされるだ円の外周をころがるときのダイローラの中心 p の軌跡は

$$R = \left(r_0 + \frac{D}{2} \right) + c_1 \cos 2\theta + c_2 \cos 4\theta \quad \dots\dots\dots (8)$$

なる切線極座標方程式で表わされる。また、その直角座標 (X, Y) は

$$\left. \begin{aligned} X &= R \cos \theta - \frac{dR}{d\theta} \sin \theta \\ Y &= R \sin \theta + \frac{dR}{d\theta} \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (9)$$

である。

だ円の長軸と原線が一致した状態におけるときのダイローラ的位置と、だ円がさらにそれより $\pi/2$ だけ回転したときのダイローラ的位置を一致させるため

第 7 図

$$X = Y \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$2Y = A \quad \dots\dots\dots (11)$$

(8) ~ (11) 式より、ダイローラの間隔 A を求める。

押出し圧力 Q を一定とし、素材の回転角 α と転造圧力 F_1, F_2 の関係を図式解法により求めたのが第8図である。この場合の F_1, F_2 は Q に対する百分率であり、歯車素材、ダイローラおよびダイスホルダの形状寸法は次のごとくである。

歯車素材：(1) 式において

$$r_0 = 37.5 \text{ mm}, c_1 = 9.9 \text{ mm}, c_2 = -0.54 \text{ mm}$$

ダイローラ： $D = 60 \text{ mm}$

ダイスホルダ： $A = 91.5 \text{ mm}, B = 72 \text{ mm}$

また、この場合のシャンクの往復運動の行程の長さは実測によると 0.5 mm 程度である。

この図でみると、転造圧力は歯車素材の長軸付近においては大きく、短軸付近においては小さい。したがって、転造過程における歯車素材全周にわたる歯形の盛り上がり状態は長軸付近の歯形が他の部分の歯形より速く創成されることがわかる。

第9図はダイスホルダと素材取付軸を示す。

e) **ダイス** ダイス鋼第1種を用い、ホブ盤にて歯切りを行ない、焼入れして使用した。割出し用ダイローラには転位した歯車を用い、仕上用ダイローラに

第 8 図

第 9 図

は標準歯車を使用した。割出し用ダイローラの外径を定めるには、従来の円筒形歯車の盛り上り係数 K および すべり係数 L の値を参考とし、(5) 式から求めた。この場合、だ円形歯車の盛り上り係数は円筒形歯車のそれとほぼ等しいと考えられるが、すべり係数は前述したようにいくらか大きく表われるものと考えられる。そこで、初めに円筒形歯車のすべり係数および盛り上り係数によって、割出し用ダイローラの外径を定め、実験を行ない、すべり量を測定し、(6) 式よりすべり係数を求め、最も適当なダイローラの外径を定めた。

今回の実験による盛り上り係数 K および すべり係数 L の値は $m=1$ および $m=1.25$ の両者とも $K=$

0.05 , $L=0.012$ 程度である。

第 10, 11 図は実験に使用したダイローラの精度を示す。

f) 型板およびカラー ともに炭素鋼 (C 0.5%) を用い、 850°C より油焼入れし、 150°C より焼もどしを行なった。かたさは $HRC 8$ 程度である。第 4 図に示すごとく、同じ型板 2 個を素材をはさんで取付け、ダイローラ軸には、これらと接触するカラーを取付ける。普通は型板とカラー一対で十分であると思われるが、今回の実験では装置の精度が十分満足すべき状態ではないので、二対用いることによって、精度の良い歯車を得ようとした。すなわち、二対あることによって、ダイスホルダの取付位置を調整するとき、二対の

第 10 図

第 11 図

型板とカラーがそれぞれ接触した位置で固定することができ、素材軸とダイローラ軸を平行に取付けることが容易である。また、転造圧力によって、ダイローラ取付装置の各部がたのため、素材軸とダイローラ軸が平行でなくなるのを防ぐことができる。

仕上転造用カラーの外径は仕上用ダイローラのピッチ円直径と等しくとり、割出し用カラーの外径はそれよりわずかに大きくした。

実験に使用したダイローラおよびカラーの諸元を第1表に示す。

g) 押出し圧力および転造圧力 歯形が完全に創成されてから後、押出し圧力を加えても、型板とカラーが接触し、それ以上ダイローラの歯形が押込まれず、転造歯車に特に悪い影響を与えないと思われるが、転造実験においては押出し圧力を必要とする最小限にとどめることとし、これを所要押出し圧力とする。この所要押出し圧力を見出すには、転造の初期においては素材とダイローラの歯先が接触して回転するため、ダイローラ軸に取付けられているカラーは回転しない。

転造が進むにしたがって、所定の押込量に達した部分から型板とカラーが接触し、その部分においてのみカラーが回転する。したがって、素材全周にわたって、所定の歯形が創成されると、型板とカラーが常に接触し、カラーは連続回転する。このときの押出し圧力は円筒形コイルばねの変位を測定して求めた。

転造圧力は第8図に示すように、押出し圧力に対する転造圧力と素材の回転角の関係から求められる。

h) 転造圧力、転造時間 仕上転造の所要押出し圧力はモジュール1で600 kg、モジュール1.25で

第1表 ダイローラおよびカラー諸元
(単位 mm)

ダイローラ $m=1$ $Z=60$ $\alpha=20^\circ$ 平歯車			ダイローラ $m=1.25$ $Z=48$ $\alpha=20^\circ$ 平歯車		
割出し用	ピッチ円径	60.0	割出し用	ピッチ円径	60.0
	外径	60.8		外径	61.0
	カラー外径	61.5		カラー外径	62.0
転造用	ピッチ円径	60.0	転造用	ピッチ円径	60.0
	外径	62.0		外径	62.0
	カラー外径	60.0		カラー外径	60.0

第12図

第13図

670 kg である。転造圧力は第 8 図にしたがって変化するため、モジュール 1 では 324~588 kg であり、モジュール 1.25 では 362~656 kg である。

転造に要する時間はモジュール 1 およびモジュール 1.25 とともに 10 分程度である。円筒形歯車の転造に比較して、時間がかかるが、これは割出し用ダイローラおよびカラーの取替えに要する時間を含めており、そして非常におそい回転速度で転造を行なっているためであって、それらの点を改良すればもっと短縮できるものと思われる。

i) 転造された歯形 転造中にときどき主軸の回転を逆にしないと、歯形が一方に傾きやすく、ことに、ピッチ曲線の曲率半径の小さな部分における歯形、すなわち、だ円の長軸附近における根元のほそくなっている歯形にその欠陥が表われる。本方式においては円筒形歯車の転造法にくらべ、ダイスホルダの軸受などの駆動される側の摩擦抵抗が大きいいため、素材の歯形に加えられる回転方向の力が強く働き、歯形が一方に傾きやすいものと思われる。それを防ぐため、主軸の回転速度を素材の歯形が回転中においても見える程度の速さとし、毎分 7 回転として転造を行ない、転造中に主軸を回転させたまま歯の盛り上り状態を見て、歯形が一方に傾かないうちに主軸の回転方向を変えるようにして転造を行なった。

j) 測定結果 転造された円形歯車の精度検

査は、型板からの偏差を測定し、また、ノルマルピッチ誤差についても測定した。

偏差の測定にはダイヤルゲージを用い、型板から歯先までの高さ、すなわち、アデンダムを測定し、その誤差を偏差とした。

ノルマルピッチの測定には工具顕微鏡を用いた。第 12 図および第 13 図はその結果を示す。

7. 結 論

a) だ円形歯車などの非円形歯車も本方式による転造法によって、容易に製作できることがわかった。

b) 今回、試作した円形歯車の精度はあまり良くなかったが、ダイローラの精度が大きく影響したものと思われる。精度向上については今後の実験にまかしたいと考えている。

c) 盛り上り係数は円筒形歯車とほぼ同じ値と考えられるが、すべり係数は本方式の場合においては、円筒形歯車のそれよりわずかに大きくとる必要がある。

この研究を進めるに当り、直接御指導いただいた松山多賀一教授、石田喜助教授、井上和夫助教授に厚く御礼申し上げます。

文 献

- (1) 松山、近、機械学会論文集, 21, 106 (昭 30-6), 412.
- (2) 井上、山形大学紀要(工学), 1 号 (昭 25-9), 37.

インドは化学製品を 1961 年までに自給化

主要な計画は次のとおりである。

製 品	会 社	建設費 万ドル	能 力 万トン/年
尿 素	モンテイカティニ	5250	15.2
合 成 ゴ ム	ファーストーン	2840	2.2
ゴム用薬品	I. C. I.	420	3.2
ビスコース・レーヨン (フィラメント)	インデアイアン・レーヨン	700	10トン/日
クエン酸	シトリック・インド	100	

さらにスウェーデンからの技術導入による日産 4 トンの CMC (Carboxymethyl Cellulose) 工場, B 6 のパイロットプラント, ソ連の援助による石油精製工場 (原油

処理能力年 200 万トン), その他も計画されている。

これら計画の達成を容易にするために、1959年11月には、外資導入に対する自由化政策が採用され、また税制も改定されようとしている。

インドは化学工業原料の自給化を行ない、基礎的および中間薬品の国内生産を推進しようとしているが、しかしここしばらくは、原料輸入は従来の規模を維持しなければならないだろう。〔Chemical and Engineering News, 37, 52 (1959)〕

寒 冷 絶 縁 材

液体ヘリウム、液体酸素、その他の非常に冷たいガスや液体を貯蔵するために必要な絶縁材で、今までなかった優秀なものが新たに開発された。試験の結果液体水を 1 年間貯蔵して損失量が 10% 以下であった。この絶縁材はまた熱気に対しても有効で、1000°F 以上にも用いられる。

新絶縁材はガラス繊維の紙とアルミニウムはくのもの厚さ 1 mm の 1/1000 以下のものを 40~80 枚重ねて作ったものである。この新材質は不規則な外形にも使用され、また衝撃や振動を受けても気密を保つことが可能だといわれている。〔Financial Times (Nov. 4, 1959), 13〕

(日本科学技術情報センター提供)