621. 833. 01 : 621. 917—484. 2

平歯車および はすば歯車の歯面にふくらみをつけるホブ切り法⁽¹⁾和 栗 明⁽²⁾, 相 浦 正 人⁽³⁾Method of Hobbing Spur and Helical Gears to Give
Crowning on Tooth Surfaces

by Akira WAKURI and Masato AINOURA

Crowning on gear tooth surfaces has proved satisfactory in insuring good tooth bearings and preventing high stresses at the end of teeth due to inevitable errors in machining and assembling as well as slight deflections of shafts etc. caused by working loads. So the authors have investigated a simple method of crowning spur and helical gears on conventional gear hobbing machines. The method is as follows: As the hob head is fed vertically downwards in the course of hobbing, the work table, on which the gear blank is mounted, is drawn gradually outwards at first and then fed inwards. That is, the depth of cut is changed gradually along the width of teeth, where a regular depth of cut is maintained at the middle of the face of the teeth and slightly deeper at both ends, thus inflating the tooth surfaces.

Spur gears and helical gears crowned by this method were tested minutely, and their good tooth bearings and ideal gearing motion are shown clearly.

The authors have also investigated the suitable amount of crowning in order to have the desired width of tooth bearing.

1. 緒 言

歯車は正しい歯形の歯を正しいピッチにならべたものでなくてはならぬ。機構学的には、これだけで正しいかみ合運動をするはずであるが、所定の荷重に耐えるには、材質が適当であると共に歯条に沿つての当りがまた立派でなくてはならない。

Gear Grinding 社では、航空機、自動車等に用いる径 12 in 以下の研削歯車に対して、軸に対する歯条の平行度を 75 mm 幅につき 2.5μ 以内の狂いに、電車その他に用いる径 12 in 以上の減速歯車に対して、150 mm 幅につき 25μ 以内の狂いに仕上げるように規定している⁽⁴⁾。角度で言えば 7 秒と 35 秒である。したがって歯車を取り付ける 2 軸の平行度も、少なくともこの程度の正しさは必要であり、軸および軸受を正しく仕上げ、またそれを正しく組立てることがきわめて大切なこととなる。しかしこの許容誤差内に収めるには精密工作技術を要するのであつて、普通の工場では容易なことではない。またたとえ理想的に行つたとしても、運転状態において荷重のためにあるいは温度上昇のために、最初の良い歯の当りを保持し得るか否か疑問なのである。

これに対して、歯車の歯面にかすかにふくらみをつけて置けば、片当りになる危険性が少くなり、良好な歯の当りを確保し易くなる。かようなわけで米国では歯車の歯面にふくらみをつけることが非常に推賞さ

れ、既に実用化されている。Gleason 社のまがりばかさ歯車、Coniflex gear⁽⁵⁾ 等皆歯面にふくらみをつけたものである。平歯車やはすば歯車に対しては National Broach & Machine 社のギヤ・セービング盤があり、最近は大い減速歯車に対してもセービング仕上を行わんとしている⁽⁶⁾。わが国では自動車製作工場では歯車のセービングを行つてゐるが、ふくらみをつけ得るセービング盤はわずかである。それで我々はどこの工場にもよくあるホブ盤に簡単な装置をつけて、平歯車やはすば歯車の歯面にふくらみをつける方法を研究したのである。

2. 適当なるふくらみ量

第 1 図

ふくらみが大きいときは、片当りになる懸念は少なくなるが、当りの幅はずつと狭くなる。今ふくらみを半径 ρ の円弧で、小歯車の方にだけつけるとする。また歯面間のすきま c まではバイト目がつぶれたり、弾性変形あるいは油膜を透して荷重を伝える、すなわち当りがつくとなれば、幅 bc 当てるためには ρ は次の大きさにせねばならぬ。

$$\left. \begin{aligned} c \times 2\rho &= (bc/2)^2 \\ \text{したがって ふくらみ } a &= \rho(1 - \cos \theta) \\ \text{ただし } \sin \theta &= b/2\rho \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

今歯幅の半分当ればよいとすれば

$$\begin{aligned} \rho &= (b/4)^2 / 2c = b^2/32c \\ a &= \rho(1 - \cos \theta) = \rho(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \theta}) \\ &\approx (\rho \sin^2 \theta) / 2 = b^2/8\rho \end{aligned}$$

$$\text{ゆえに } a \approx 4c \dots\dots (2)$$

ホブ切り歯車で $c=7.5\mu$ にとれば $a=0.03\text{ mm}$, $c=10\mu$ にとれば $a=0.04\text{ mm}$ となる。すなわち歯幅の半分当てるためには $0.03 \sim 0.04\text{ mm}$ のわずかなふくらみにせねばならぬ⁽⁷⁾。

このような歯車では軸が傾いても、接触の中心が歯幅の $1/2$ 以内であれば、歯幅の半分は常に当たるから、この限度までは軸が傾いても少しもさしつかえない。その許容角度を ϕ とすれば、

$$\tan \phi = \rho(\cos \theta' - \cos \theta) / b \dots\dots (3)$$

歯幅の半分の当りのときは

$$\phi \approx 8c/b \dots\dots (4)$$

ふくらみ 0 の場合、やはり歯幅の半分当りとして、その許容傾き角度は

$$\phi = 2c/d \dots\dots (5)$$

したがってふくらみがあれば 4 倍の裕取りがあり、また許容限度を越しても直ちに片当りにはならぬのである。工作のむつかしさはある精度以上になると急激に増大するものであるから、4 倍の裕取りがあればよほど楽になるであろう。ただし許容荷重は実際の当りの幅に対して定めて置けば安全である。

以上の方針で、工作精度、組立精度および使用中の変形等を考慮して、おのおの場合に適するふくらみ量を定めればよい。

3. ふくらみをつける歯切装置および歯切法

ホブ盤のホブ台が垂直送りによつて下がるにつれて半径方向の送りによつてテーブルを初めは引き、次に

第 2 図

は入れるようにする。すなわちホブが歯車の上端を仕上げる時には所定の切込量より深くテーブルを入れて置く。ホブが下がるにつれてテーブルを引いて次第に切込みを浅くし、ちょうど歯幅の中央で所定の切込量となし、それからホブが下がるにつれてまたテーブルを入れて次第に切込みを増す。テーブルの出入は $0.1 \sim 0.2\text{ mm}$ 程度のきわめて僅かな量であるから、手送りではだめで、自動送りにせねばならない。それで第 3 図のごとき装置をベッドの前端に取り付けて、テ-

第 3 図 ふくらみ装置

ブルの送りねじに回転を与えるようにした。

垂直送り装置を駆動する軸から回転をとり、かさ歯車によつて ① 軸を回す。それをウォーム歯車と換歯車等によつて適当な速さにして、クランクピン ② を回し、レバーによつて送りねじ ③ を左にねじり次に右にねじつて、サドルを 1 往復させる。そのとき遊びを生じないように コイルばね (第 2 図の s) を入れてサドルは常に外方に押されるようにして置く。

今 a のふくらみを与えんとするとき、クランクピンの所要回転角 θ は、第 3 図に示す装置では次のごとく計算される。テーブルの移動量 f は $a = f \tan \alpha$ でなくてはならぬ。ただし α はホブの圧力角である。送りねじのリードを t とすれば、ねじの回転角は $r = 2\pi f/t$ 、レバーの端の上下量は $\delta = r_1 r$ 、ただし r_1 はレバーの中心からピンの中心までの距離、 r_2 をクランク半径とすれば、クランクピンの回転角 θ は

$$\cos \frac{\theta}{2} = \frac{(l + r_2 - \delta)^2 + r_2^2 - l^2}{2(l + r_2 - \delta)r_2} \dots\dots (6)$$

となる。

そしてホブ歯車材の上端から下端まで送られる間に、クランク歯車をちょうど θ 回すように換歯車を選ぶ。垂直送り 1 mm につき、① 軸が k 回転するとすれば、歯幅 $b\text{ mm}$ 送られる間にクランク歯

第 4 図

車のなす回転は次式の左辺となり、それがちょうど $\theta/2\pi$ 回転になるように換歯車 A, B, C, D を選べ

ばよい。

$$bk \frac{1}{30} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{C}{D} \cdot \frac{1}{2} = \frac{\theta}{2\pi} = \frac{\theta^\circ}{360} \dots\dots\dots(7)$$

第3図について作業の順序を述べれば、まず送りねじとレバーの縁を切り、テーブルを最初の切込位置に置く。次に A 歯車を、ウォーム歯車との縁を切つてから、回転方向に回してクランクピンを $\theta/2$ の位置に持つて行く。そしてレバーを送りねじに押ねじ④で固定する。いよいよホブ切りを始め、垂直送りによってホブの歯形創成仕上面が歯車材の上端に達した時、A 歯車をウォーム歯車に締付け、ふくらみ装置を動かし始める。

クランクピンが上端の死点に達すれば、送りねじの回転方向が変わるのであるが、送りねじは ひずみ を受けてねじれている。そのねじれ角が反対になる間、テーブルは動かない。ゆえにそれを見込んでふくらみ装置を作用させるか、あるいは太い送りねじを用いてねじれ角を少なくする。作業を簡単にするためには後者が望ましい。

なおふくらみは正弦曲線に近い曲線を描くから、その 90° の所を歯幅の中央にもつて来て、両端は 0° あるいは 180° までにすると、ふくらみは端では急に、中央ではゆるやかになつてよい。

4. ふくらみをつけた平歯車

a) 以上の方法で、平歯車の歯面に 0.08, 0.04, 0.03, 0.01 mm のふくらみをつけるように歯切りして見た。その結果は第5図に示すようにほとんど望み通りのふくらみ

第5図 平歯車の歯幅に沿ってふくらみと歯の当り $DP=7$, $Z=42$, 製歯車である。 $\alpha=20^\circ$

b) これらの歯車をふくらみ 0 の標準歯車とかみ合わせると上図のごとき黒当りを呈した。歯幅の半分当たっているのは 0.03 mm のふくらみをつけたもの、したがって c は 7.5μ となつてゐる。ただし今の場合荷重はすり合わせ程度のものである。仕上面のあらさおよび荷重による弾性変形によつて c の値は異なるであらう。

c) 標準歯車とかみ合わせた時の歯面間の すきま そのものを次のようにして測定した。第6図下図に示すように一方の歯車を固定し、接触している歯面の間に薄い銀ろう板をはさめば、それだけ他方の歯車は回される。それをダイヤルゲージで読む。次に同じ厚さの銀

ろう板を、今度は測定せんとする所だけにさめば、そこにあつたすきまだけ歯車の回され方が少くなる。それからすきまの量を知ることができる。もちろんダイヤルゲージの読みはピッチ円上に換算し、歯形圧力角の余弦を乗じてすきまを出さねばならぬ。

第6図

測定の結果は第6図のごとくなつた。上図は標準歯車同志を、中図はふくらみ 0.03 mm の歯車を標準歯車に、下図はふくらみ 0.8 mm の歯車を標準歯車にかみ合せたものである。両歯車軸が正しく平行の時はすきま曲線は A、今 100 mm につき 0.1 mm の傾きを軸に与えるとすきま曲線は B、100 mm につき 0.35 mm の傾きを与えるとすきま曲線は C となつた。ふくらみがついていない歯面は軸が傾くと直ちに片当りになるが、ふくらみがついた歯面は容易に片当りにならない模様が明瞭に示されている。

d) 次に筆者の歯車試験機⁽⁸⁾でかみ合運動を調べたのであるが、正しいホブ盤で、正しいホブを用い、正しくホブ切りすれば、ふくらみをつけたものも、きわめてなめらかなかみ合運動をすることが確かめられた。第7図は 0.08 mm のふくらみをつけたもの、 p の山は歯面全体に厚さ 0.15 mm の紙をはさんで供歯車をわざと進め過ぎさせた場合、その下の山は歯車の上端あるいは下端に同じ厚さの紙をはさんだ場合。この二つの山の高さの差は上端あるいは下端にあるすきまのためである。

第7図 ふくらみをつけた平歯車の回転
精度曲線

$$DP=7, Z=42, \alpha=20^\circ, a=0.08 \times 0$$

かように、本歯切法によれば立派に平歯車の歯面にふくらみをつけることができるのである。

5. はすば歯車にふくらみをつける歯切法

はすば歯車も同じ方法でふくらみがつけられる。しかしその模様を明らかにするには、まずホブの歯形創成作用について知らねばならぬ。ホブのねじ条は切らんとする歯車の歯条の方向に一致させる。しかして歯形をいよいよ

よ仕上げるのは、ホブの刃が歯車材に最も深く切込んだ時であり、各切刃のその時占める位置は近似

第8図 平歯車のホブ切り

的に一平面中にあるとし、それを歯形創成仕上面と名付けよう。歯形を創成するのは約2ピッチのかみ合期間中であるからかように考えてさしつかえないであろう。さて回転するにつれてホブの各刃は順次この面中に現われ、ここに真直に進むラック歯形を現わす。これと理想的にかみ合うような運動を歯車材に与え、この面中での歯形を創成する。そしてこの面を歯条の方向に送って歯車を削り出すのである。

はすば歯車の時にはこの歯形創成仕上面たとえば第9図の A_1B_1 面を歯条 $A_1'A_2'$ に直角に置かねばならぬ。そしてホブに垂直送りと歯車材に「はすば」を切るに必要な補正回転を与えることによって、 A_1B_1 に

歯条方向の送りを与えたと同様な働きをさせてここに創成はすばラックを作るのである。このラックと歯車とのかみ合は

軸直角断面では普通のラックと歯車のかみ合であつて軸方向に進むにつれてただその位相が違うだけである。

第9図上図はそのかみ合を示したものである。ただしラックの圧力角 α' は軸直

角 α' は軸直角断面での圧力角でホブの圧力角を α 、ねじれ角を β とすれば、

$$\tan \alpha' = \tan \alpha / \cos \beta \quad \dots\dots\dots (8)$$

したがってふくらみ a を与えるに必要なテーブルの移動量 f は

$$f \tan \alpha' = a \quad \dots\dots\dots (9)$$

歯形の左歯面とラックとのかみ合線は AB である。したがって歯元 A 点は A の切刃で仕上げられる。今 A の切刃が歯車材の上端 A_1 に達し、歯元 A 点を仕上げる時、歯先 B 点を仕上げるべき B の切刃はいまだ B_1 にある。この時からふくらみ運動が始まるとすれば、 B の刃が歯車材の上端に達して、歯先 B 点を仕上げる時には、 l の垂直送りに相当して既にテーブルは後退し歯先は高く残ることになる。すなわち歯車の上端では左歯面は歯先が出た歯形になる。また B の刃が創成を終るのは B_2 であり、その時ふくらみも終るとすればふくらみ運動は $(b+l)$ の垂直送りの間行われねばならぬ。したがってふくらみ装置の換歯車は次式から求める。

$$(b+l)k \frac{1}{30} \frac{A}{B} \frac{C}{D} \frac{1}{2} = \frac{\theta^\circ}{360} \quad \dots\dots\dots (10)$$

ただし l は同一軸直角断面の歯形を歯元から歯先まで仕上げる間にホブが垂直に下がる量であつて、ホブの現わすラックと歯車材との歯形かみ合長さを AB とすれば

$$l = AB \cos \alpha' \cdot \tan \beta \quad \dots\dots\dots (11)$$

さてふくらみをつけぬ歯条を $A_1'B_2'$ とすれば、歯先 B のふくらみは B_1' から始まり B_2' で終る。歯元 A のふくらみは A_1' から始まり A_2' で終る。かようにして歯車の上端では立つた歯形、下端では寝た歯形になる。以上は左歯面であるが右歯面はちようどこの逆になる。また歯条のまき方向が異なる時は、垂直中心線に対しちようど対称をなすものが得られる。かようなわけではすば歯車では両端に行くにつれて次第に歯形が狂うことになる。これは歯形創成仕上面が

斜めになるために、ふくらみをつけんとすれば必然的に起る現象である。しかしふくらみ量が小さいほど、歯幅が広いほど、またねじれ角 β が小さいほど、この狂いは小さくなり実用上少しのさしつかえもない。

第10図 ふくらみをつけたはすば歯車の歯形の狂い $\alpha_n=20^\circ$, $D=200$, $b=25$, ふくらみ $a=0.04$ mm

今圧力角 20° のホブで、ピッチ径 200 mm のはすば歯車を、 0.04 mm のふくらみ⁽⁹⁾をつけて歯切りするとすれば、歯形の最大の狂いは理論上次のごとくなる。この歯形の狂いは、ラックとかみ合う歯元の最下点を起点として正しい歯形を描き、それより歯先が飛出ている量を円周方向に測ったものとする。第10図に示すように歯形が大きくなるほど、またねじれ角が大きくなるほど歯形の狂いは大きくなる。ただしこれは歯幅 25 mm の幅の狭いものであつて、歯幅が 50, 75, 100 mm となると、第11図に示すように狂いは急激に減少してくる。かようなわけで歯幅がある程度

第11図 ふくらみをつけたはすば歯車の歯形の狂い $\alpha_n=20^\circ$, $D=200$, $\beta=23^\circ$, ふくらみ $a=0.04$

広ければ、ふくらみをつけたために歯車の両端で少しの歯形の狂いを生じて、ふくらみのために両端までは当たらないから、実用上少しのさしつかえもないのである。

第12図は $DP7$, ピッチ径 6 in, 歯幅 25 mm, ねじれ角 $17^\circ 45'$ のはすば歯車に 0.04 mm のふくらみ⁽⁹⁾をつけたものを、標準はすば歯車とかみ合わせて試験した結果である。ほとんど理想的なかみ合運動をしている。ホブの山の部は厚さ 0.125 mm の紙をある歯面全体に、上は上端から 2 mm のところまで、下は下端から 2 mm のところまでそれぞれ貼つて供歯車を特に進めて描かしたものの。これらの山から、歯形の狂いおよびすきまを推定することができる。同下図

第12図 ふくらみをつけたはすば歯車の回転精度曲線 $DP=7$, $Z=42$, $\alpha_n=20^\circ$, $\beta=17^\circ 45'$, ふくらみ $a=0.04 \times 0$

はこのかみ合における黒当りを示したもの、上端に行くにつれて歯元が出る傾向が認められる。第9図の右歯面に相等するものである。

第13図は、標準はすば歯車とふくらみがそれぞれ 0, 0.04 , 0.08 mm⁽⁹⁾ のはすば歯車をかみ合わせたときの両歯面間のすきま曲線を示したもの。すきまの測定法は平歯車の場合と同様であるが、はすば歯車では接触線が斜めに走るから、歯幅の中央のピッチ点で接触させ、その時の接触線に沿つてのすきまを測定

第13図 ヘリカル歯車歯幅に沿つてのすきま

した。すきま曲線は平歯車の時ほどなめらかでない。はすば歯車では端に向うにつれて歯形が狂う、その影響のためである。しかし軸が傾く時、ふくらみのないものは直ちにひどい片当りになるが、ふくらみがついたものは容易に片当りにならぬ様子が明瞭に示されて

いる。すなわち非常に使い易い歯車となつている。

6. 結 論

a) 本歯切法はホブ盤に簡単な装置を取り付け、ホブ台が垂直送りによつて下がるにつれて、同時に半径方向の送りによつて歯車材を初めは引き、次には入れて歯面にふくみを与えんとするものである。ホブ切りと同時に歯面にふくみをつけることができる。

b) ホブ切り中にサドルをわずかに往復させるのであるが、サドルは上からの切削力を広いすべり面で受けるから安定度が大である。

c) しかしサドルの送りねじはねじられるから、回転方向の変る時、そのねじれ角が逆になるまでサドルは動かぬ。ゆえに送りねじは太い頑丈なものがきわめて望ましい。またばね等によつて軸方向の遊びを取つて置くことが大切である。

d) 平歯車の場合には立派に歯面にふくみをつけることができた。片当りの恐れのないしかも理想回転をする平歯車である。

e) はずば歯車の場合には歯条の両端に向うにつれて歯形はわずかに狂うのであるが、ふくらみ量がわずかで、歯幅が余り狭くない時、この狂いはきわめてわずかで、実用上少しのさしつかえもないことを明らかにした。

本研究は科学研究費の援助の下に行つたもので、ここに謹んで感謝の意を表したい。

注：—

- (1) 昭和 25 年 4 月 4 日 第 27 期定時総会講演会において講演、原稿受付 昭和 26 年 7 月 17 日。
- (2)(3) 正員、九州大学。
- (4) The Gear Grinding Company, Publication, No. 10, p. 20.
- (5) The Gleason Works, Generated Coniflex Gears. あるいは特許公告、昭和 26 年—2048 および 2049.
- (6) たとえば The Machinist, July 2, 1949, p 365.
- (7) 米国においては Elliptoid Tooth として歯形に沿つてのふくらみを $5 \sim 7.5 \mu$ に、歯幅に沿つてふくらみを 1 in 幅につき 7.5μ にしている。歯車その他の工作精度が高いためである。
- (8) 機械及び電気、昭和 13 年 1 月、19 ページ、あるいは機械学会論文集、6 巻 25 号、4 部、15 ページ参照。
- (9) このふくらみは歯幅 $(b+l)$ に対するふくらみ量、 b の歯幅に対しては少し小さくなる。

621. 914. 2—484 : 621. 923. 64

ホブのとき直しがその精度に及ぼす影響⁽¹⁾

上 野 拓⁽²⁾

Effect of Regrinding Gear Cutters on Their Precision

by Taku UENO

When the sharpening of a gear cutter is incorrect, various errors will occur on the hob ;

- (1) Errors of flute spacing.
- (2) Errors of helix angle of the flute.
- (3) Cutting face is not along a radial line.
- (4) Cutting face is not along a straight line.
- (5) Errors due to the diameter of hob becoming smaller after resharpened many times.

This report deals with their effects on the accuracy of the sharpened gear cutter and that of the gear cut with this cutter, and also with a method of sharpening to make these errors as small as possible.

1. 緒 言

ホブは切味が鈍ればたびたび切刃面のとき直しをしなければならぬ。この作業はホブを使用する工場においてなすのであるが、ホブを製作するときには細心の注意が要求されるのに比べて、あまりにも無関心にとぎ直しをしているのをしばしば見受ける。ホブはとき直し方が悪ければいろいろの狂いを生ずる。また切削能率も悪く早くホブを消耗する結果になる。

さてとき直しの際ホブに起る狂いを次の五つにわけ

て考える。

- (1) 切刃みぞの分割角度の狂い。
- (2) 切刃みぞのリードの狂い。
- (3) 切刃面が半径方向を向いていないための狂い。
- (4) 切刃面が中高あるいは中凹のための狂い。
- (5) 何回もとぎ直してホブの直径が小さくなつたときに起る狂い。

この報告においては、これらの狂いがホブに及ぼす影響を与えるか、またその大きさについて、さらに