

ラック形工具による平歯車の冷間転造

(二段転造における転造代)

久野 精市郎

Cold Rolling of Spur Gears on Rack Die System

(Rolling Deviation in the Double Rolling Operations)

Seiichiro KUNO

In the full-form rolling on one step, it is fallen short of their expectation to produce the rolled profiles precisely. Then, the double rollings (rough and finish) are desirable operations for rolled gears made by means of rack dies.

In the first rough rolling, the profile of die tooth is modified slightly in due consideration of the effect of the after rolling. In the finish rolling, the rolled gear blank which has the 28 teeth of module 1.5, the pressure angle of 25° and the whole depth of 2.7 mm is rolled again by the finishing rack dies. During rolling, the work-piece mounted on the unrestrained arbor is rotated between two dies. And, these dies are each associated with a separate slider incorporating a hydraulic drive.

The investigation of those finished rolling conditions revealed that the accuracy of rolled teeth was controlled by both the die shape at the rough rolling and the amount of the deviation from the normal profile of the pre-rolled pinion. That is, the desirable modifications on the die profiles were decided and the order of deviation required was cleared to be within 0.04 mm in maximum, and the rolled profiles were improved.

1. まえがき

ラック形工具で歯車を転造加工する場合、旋削後の歯車素材を、基準のラック工具で一度に転造し、完成させる方式、すなわち、全転造では、転造後の歯車の製品精度の向上は、あまり期待できない。

そこで、仕上げ転造のための転造代をわずかに残して、予転造し、その後良精度のラック工具で、この残りの部分をさらに転造する方式、すなわち、二段転造方式が望ましいと思われる。

ここでは、高圧力角・低歯の小形平歯について、この二段転造のための、主として予転造時の加工方法の検討を試みた。

まず、素材歯車に転造代を与えるべき、予転造工具の歯部形状を検討し、一定の値を得た。そこで、これらの工具を製作し、これによって旋削後の素材を予転造した。各精度項目を測定後、さらに仕上げ

転造して、歯車を完成し、その間の製品精度の変化を調べた。

これらの結果、および実験途中の状況の検討などから、二段転造の際の転造代の量、その与え方、それによる工具歯部形状、この方式に考慮すべき問題点などを明らかにした。

2. 実験条件

素材歯車は、ラック形工具による転造に有利とされている、高圧力角・低歯とした。モジュール1.5、歯数28、圧力角 25° 、歯末の丈 $0.8m=1.2(\text{mm})$ 、歯元の丈 $1m=1.5(\text{mm})$ 、全歯丈 $2.7(\text{mm})$ とした。

素材は、全体の幅を $30(\text{mm})$ とし、歯はその中央部分で、歯幅を $10(\text{mm})$ 、歯部外径値は $42.5(\text{mm})$ とした。材質はS10Cとし、旋削後、内径 $20(\text{mm})$ の部分には、転造中の変形防止のため、わずかに浸

炭焼き入れして、カタサをHRB220程度とした。一つの条件では、試料歯車は各4個とした。

工具は、素材の両側に設置し、これを互いに逆方向に移動して転造する。工具の、素材歯車への押し込み部の形は2段のテーパリとした。また、正規歯部の歯先は平行とし、この区間の長さは、約 $2.7\pi m z$ とした

予転造工具は、単一ピッチ誤差、約 $30(\mu m)$ 、累積ピッチ誤差、約 $100(\mu m)/300(mm)$ 、である。また、仕上げ転造工具は、歯面を研削仕上げし、単一ピッチ誤差、約 $5(\mu m)$ 、累積ピッチ誤差 $15(\mu m)/500(mm)$ 、である。工具の材質は、いずれも、SKD11とし、熱処理後の表面硬度は、この材質としてはやや低目のHRC55~58とした。

転造装置は従来からのもの¹⁾を使用した。両側装置の連動は、工具とは別のラック・ピニオンで行い、これを油圧で駆動する。また、中心軸と素材歯車との固定はなく、転造中、軸はただ案内の役目をするだけの、自由駆動方式とした。

転造の際の、工具の移動速度は約 $2.4m/min$ 、油圧による移動推力の値は $2.8 \times 10^3 kg \cdot f$ で一定とした。また、転造中は切削油(GALIA-C)を加えた。

3. 転造代兼用の工具

3. 1 工具の形

図1は、仕上げ用転造工具の、正規歯部の歯形状を示す。ピッチ線上の歯厚を、 $S_0 = \pi m / 2 = 2.356(mm)$ とし、歯末の丈 $h_{k0} = k_2 m = 1.5(mm)$ 、歯元の丈 $h_{r0} = k_1 m = 1.2(mm)$ 、全歯丈 $2.7(mm)$ 、圧力角 $\alpha_0 = 25^\circ$ とした。

工具のピッチ線位置 y_0 は、ブロックゲージにより

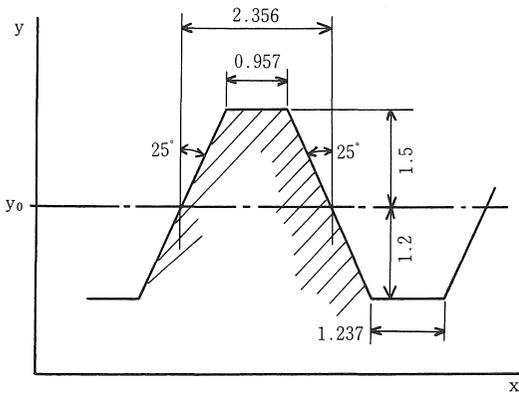


図1 基準のラック工具

正確に、素材歯車のピッチ円に相当する位置に設定した。

予転造工具の歯厚 S_n は、 S_0 から素材歯車の転造代に相当する量だけ減少させる。ここでは、一つの子転造ラック工具を製作し、それで種々の転造代の素材が加工できるような、調整形の工具として使用することを考える。

図1の y_0 位置から下方への工具の調整のための移動量を δy とすれば、この工具で転造した際の、素材歯車の仕上げ転造のための転造代は(1)となる。

$$\delta f = |\delta y| \sin \alpha_0 \tag{1}$$

いま、この δy の値を n 個とすれば、 δy_n に対するピッチ線上の歯厚の減少量 δs_n 、素材歯車の転造代 δf_n は(2)となる。

$$\delta s_n = |s_n - s_0|, \delta f_n = \delta s_n \cos \alpha_0 / 2 \tag{2}$$

そこで、ここで素材に与える転造代を $0 \leq \delta f_{n-1} < \delta f_n$ とし、 $n = l$ 番目の、歯直角方向の片側歯厚の減少量が、 $\delta f_l = \delta s_l \cos \alpha_0 / 2$ に相当する工具を製作するものとする。

このとき、この工具を基準位置 y_0 に設定したとして、そこからの歯末の丈、歯元の丈をそれぞれ基準値 $k_2 m, k_1 m$ とする。その他の素材歯車の各転造代は、この工具を y_0 から移動して得るものとする。このとき、設定位置の調整量 $\delta y'$ 、ピッチ線上の歯厚減少量 $\delta s'_n$ は(3)となる。

$$\left. \begin{aligned} \delta y'_n &= |\delta y'_l| - |\delta y_n| = (\delta f_l - \delta f_n) / \sin \alpha_0 \\ \delta s'_n &= \delta s_l - \delta s_n = 2(\delta f_l - \delta f_n) / \cos \alpha_0 \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

基準のピッチ線位置より、工具を移動したことにより、その歯丈は、その値だけ過不足を生ずることになる。これを考慮した場合の、各設定位置における、必要とされる工具の歯末の丈 h'_k 、歯元の丈 h'_r はそれぞれ(4)となる。

$$\left. \begin{aligned} h'_k &\geq h_{k0} - \delta y'_n = k_2 m - (\delta f_l - \delta f_n) / \sin \alpha_0 \\ h'_r &\geq h_{r0} + \delta y'_n = k_1 m + (\delta f_l - \delta f_n) / \sin \alpha_0 \end{aligned} \right\} \tag{4}$$

これから、転造代 δf_l の工具を基準として採用し、この工具に、他の転造代 $\delta f_1 \sim \delta f_n$ を兼用させるための、最小の工具歯丈 h_k, h_r はそれぞれ(5)となる。

$$\left. \begin{aligned} h_k &\geq k_2 m - (\delta f_l - \delta f_n \max) / \sin \alpha_0 \\ h_r &\geq k_1 m + (\delta f_l - \delta f_1) / \sin \alpha_0 \end{aligned} \right\} \tag{5}$$

また、(5)の工具を使用した場合、転造代がそれぞれ δf_n の転造の際に、工具の歯先が、素材歯車の予定の歯元の丈 $k_2 m$ より中へ入る量 C_{rn} 、工具の歯元の丈と素材の歯末の丈との、すき間 C_{kn} はそれぞれ(6)となる。

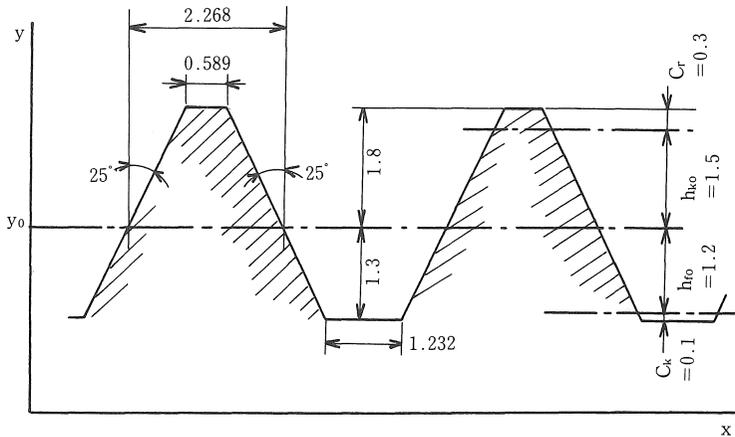


図2 $\delta f_2 = 0.04$ (mm) 兼用工具

$$\left. \begin{aligned} C_{rn} &= h_k - h'_k = (\delta f_n \max - \delta f_n) / \sin \alpha_0 \\ C_{kn} &= h_f - h_{f0} = (\delta f_l - \delta f_l) / \sin \alpha_0 \end{aligned} \right\} (6)$$

3. 2 実験および検討

ここでは $n = 4$ とした。 δf_n の値は表 1 に示すように $0.02 \sim 0.08$ (mm) とした。 また $l = 2$, $\delta f_l = 0.04$ として、これを基準とした。

他の転造代は、この工具の設定位置を調整して得る。このときに必要となる工具の歯末の丈、歯元の丈の最小値 h'_k , h'_f の値を表 1 に示した。これより、この間の共通の工具では、工具歯末の丈は $h_k \geq 1.595$, 歯元の丈は $h_f \geq 1.247$ (mm) となる。

ラック工具の歯底部と、素材歯先部についての余裕部分は殆んど必要ない。しかし、工具歯先部は、仕上げ転造の際の転造代の部分の逃げミゾを考慮した値とする必要がある。そこで、製作工具の歯部は、図 2 に示すように、その歯末の丈を $h_k = 1.80$, 歯元の丈を $h_f = 1.30$, 全歯丈を 3.10 (mm) とした。

図 3 に、製品の単一ピッチ誤差の値を示した。予転造後では、転造代の値にはあまり関係なく、ほぼ

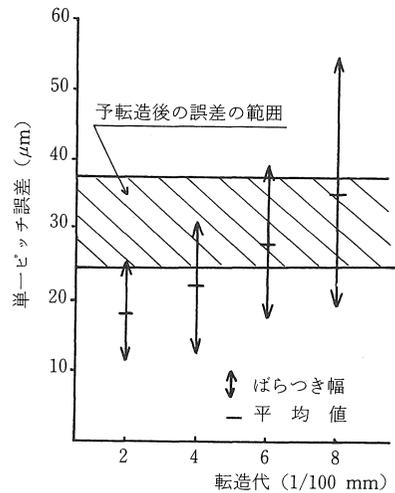


図3 仕上げ転造後の単一ピッチ誤差

$30 \mu\text{m}$ 前後の値となった。しかし、仕上げ転造後では、大きな変化が現れた。

転造代 0.08 (mm) では、この値の大きさが影響していると思われる。歯の倒れも大きく、また一様でなく、ピッチ誤差のばらつき幅も大きい。他の精度項目でも非常に悪い値となった。 0.08 (mm) は明らかに大きすぎる値であると思われる。

一つの工具での、大きな転造代の変化の実験には無理がある。兼用の工具では、転造代が大きくなるほど、素材歯底部の逃げミゾ深さ C_r は小さくなる。転造代 0.08 では、 $C_r \approx 0.2$ (mm) となり、これはやや不足している値と思われる。仕上げ転造時の素材の逃げ場がなくなっている。

しかし、 0.08 (mm) までの兼用は無理としても、

表 1 転造代と工具の調整量

(mm)

n	転造代 δf_n	設定位置 $\delta y'_n$	基準歯厚 $\delta s'_n$	歯末の丈 h'_k	歯元の丈 h'_f
1	0.020	0.047	0.044	1.453	1.247
2	0.040	0	0	1.500	1.200
3	0.060	-0.047	-0.044	1.547	1.153
4	0.080	-0.095	-0.088	1.595	1.105

基準値に対して、 ± 0.02 (mm) 程度、すなわち、この場合は $0.02 \sim 0.06$ (mm) の範囲なら、この方式は十分利用できるものと思われる。大きな傾向をつかむ実験などでは、これで十分であろう。

また、素材の転造代を微調整する場合、または、わずかの転造代の変化 (± 0.01 mm 程度) に対しては、工具の位置を調整する方法は、非常に有力と思われる。

予転造工具では、厳密には、転造代別の工具を製作する必要がある。兼用の工具では、必要以上に歯丈が高くなり易く、それだけ歯も弱くなる。

4. 転造代別の工具

4. 1 工具の形

図4に転造代別工具の正規部歯面形状を示した。ピッチ線上の基準歯厚 $s_0 = \pi m / 2$ に対して、工具圧角 25° を一定とし、歯厚を一様に減少させた。

ここでは、仕上げ代 δf_n を $0.02, 0.04, 0.06$ (mm) の3種とした。このとき、工具のピッチ線上の歯厚 S_n は $s_n = s_0 - 2\delta f_n / \cos \alpha_0$ となる。

素材歯底部には、予転造時に、あらかじめ転造代のための逃げミゾを製作しておく必要がある。ここでは、この値を 0.4 (mm) とし、予転造工具の歯末で丈を $k_2 m + 0.4 = 1.9$ (mm) とした。また、工具歯末の丈は、素材歯先の丈と同じ値 $k_1 m = 1.2$ (mm) とした。

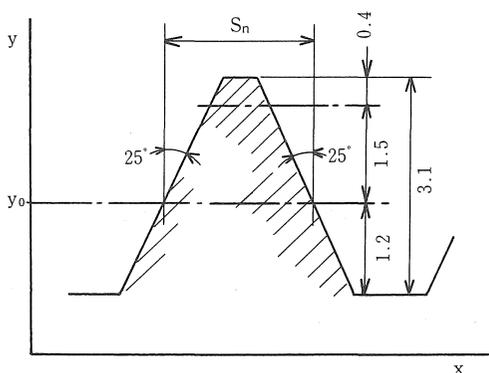


図4 転造代別の予転造工具

4. 2 実験および検討

図5に歯厚寸法の変化を示した。予転造では、転造代の値に応じて、それぞれ工具を変更して転造した。仕上げ転造では、仕上げ用工具を基準位置に設定して、各転造代の歯車を同時に仕上げ転造した。

仕上げ後の歯厚は、転造代 0.04 (mm) では、ほぼ基準値に近い値となっている。その他の転造代では、小さすぎ、大きすぎの値を中心にばらついた。装置の弾性変形などもあり、転造代 0.02 (mm) では、予定以上に転造され、 0.06 では、転造されずに残る部分を生じた。

仕上げ転造時には、この差を考慮して、素材の仕上げ代の値に応じて、基準位置より工具を若干変更して設定するとよいと思われる。

転造代の値は、それが少ないほどよい。歯車の製品精度は、転造代の量にも関係する。しかし、それが 0.02 (mm) 程度では、やや不足であり、仕上げ転造したとは認められない。

転造代が $0 \sim 0.02$ (mm) 程度の場合には、仕上げ転造ではなく、バニッシン転造と考えればよい。これによる製品精度の向上は、仕上げ転造の場合より、さらに良い結果が期待できる。

したがって、ラック形方式による、仕上げ転造の際の転造代としては、 0.04 (mm) 程度がよい。

転造代の量に応じて、工具の歯末の丈は大きくする必要がある。これによる素材歯底のミゾ部は、仕上げ転造の際の、仕上げ代の逃げ場となる。予転造工具歯先の規準値からの歯丈の増分は、ほぼ $10 \times \delta f$ 程度でよいであろう。

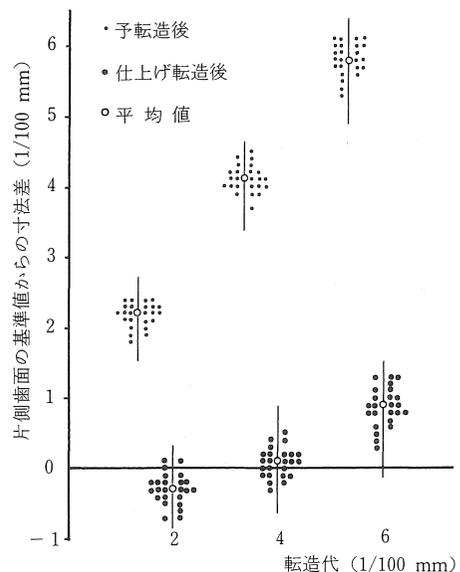


図5 歯厚寸法の変化

5. 圧力角の変更

5.1 工具の形

工具歯面と素材とは、すき間なくかみ合っているため、歯車の転造では、素材歯底部と工具歯先とのかみあい時が最も厳しい。この部分では、除かれた仕上げ代に相当する素材の逃げ場がなくなり、それが工具歯先に作用し、最大転造力となる。

そこで、ピッチ点での転造代 $\delta f_0 = 0.04$ (mm) は一定として、素材歯底部の転造代を相対的に少なくし、歯先部で多くすることとした。

図6に示すように、予転造工具の歯形は直線とし、左右歯面の圧力角を同量に変更して（図6は片側のみを示す）これを与えた。

基準圧力角 $\alpha_0 = 25^\circ$ に対して、圧力角の変化量を $\delta\alpha_0$ とする。このとき、図6より、歯車素材の歯底部の転造代は $\delta f_r = c_1 c_2$ 、歯先部では $\delta f_k = r_1 r_2$ となる。

また、素材の歯底部、歯先部における転造代の変化量は、 $k_1 m (\tan\alpha_0 - \tan(\alpha_0 - \delta\alpha_0)) \times \cos\alpha_0$ となる。この値を δf とすれば、素材の歯底部、歯先部での転造代 δf_r 、 δf_k はそれぞれ(7)となる。

$$\left. \begin{aligned} \delta f_r &= \delta f_0 - \delta f, & \delta f_k &= \delta f_0 + \delta f \\ \delta f &= k_1 m \sin\delta\alpha_0 / \cos(\alpha_0 - \delta\alpha_0) \end{aligned} \right\} (7)$$

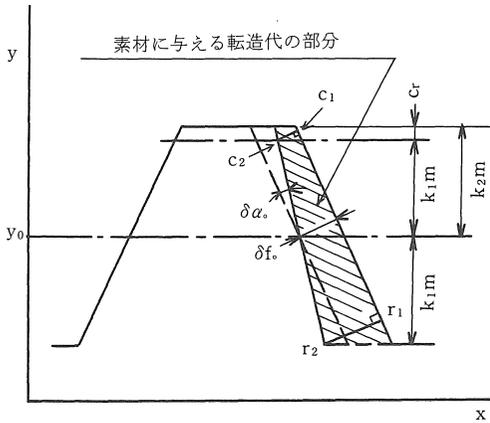


図6 工具圧力角の変更

圧力角の調整量 $\delta\alpha_0$ の値は、歯丈の有効部分で、転造代が0にならない範囲とする。したがって(7)より $0 \leq \delta f_0 - \delta f$ となり、これより $\delta\alpha_0$ は(8)となる。

$$\delta\alpha_0 \leq \delta f_0 \cos\alpha_0 / (k_1 m - \delta f_0 \sin\alpha_0) \quad (8)$$

5.2 実験および検討

実験条件が、 $\alpha_0 = 25^\circ$ 、 $\delta f_0 = 0.04$ (mm)、 $k_1 m = 1.2$ (mm) では、圧力角修正の範囲は、 $\delta\alpha_0 = 1^\circ 45'$ と

なる。そこで、表2に示す値が検討の範囲となる。これより、 $\delta\alpha_0 = 30'$ 、 1° の2種の予転造工具を製作して実験した。

図7に歯形誤差の変化、図8に歯の傾き量の変化を示した。図で、誤差の値、または歯の傾き量は、

表2 圧力角の変化と転造代

(mm)

工具修正量 $\delta\alpha_0$	30'	1°	1°30'
素材の歯元 δf_r	0.029	0.017	0.006
素材の歯先 δf_k	0.052	0.063	0.074

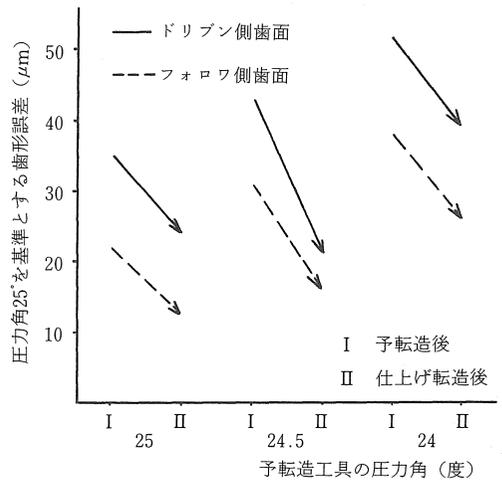


図7 歯形誤差の変化（平均値）

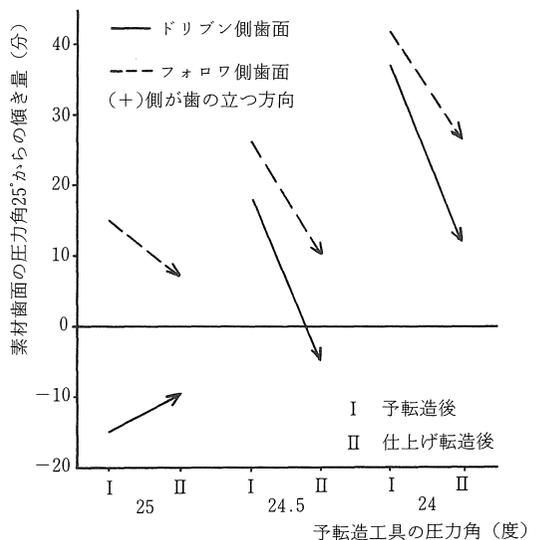


図8 歯の傾き量の変化（平均値）

修正のない場合を基準として、これからの差の値を示した。

したがって、予転造後の歯の傾き量は、当然大きく現われ、歯形誤差にもこの傾きの影響が加わって大きくなった。しかし、この差の値は割り引いて検討する必要がある。また、図には、工具修正のない場合との比較のために、4.2項の工具圧力角 25° 、 $\delta f_0 = 0.04$ (mm)での誤差の値、および傾きの値を併記した。

仕上げ転造後の誤差、または傾き量の値は、前加工が 24.5° のときのものがよい。 24° では、仕上げ転造後の改善率が少ない。これは、工具の修正量がやや多すぎるためであると思われる。

図8で、予転造時 25° の工具による素材のD(ドリブン)側歯面は、約 $15'$ ねている。仕上げ後は、逆に若干起こされ、D側、F(フォロー)側共、0に近づく方向になる。

予転造時の圧力角が 24.5° の場合は、仕上げ転造後は、D側、F側共同じ向きで0に近づく方向になり、形としてはこの方が望ましい。

以上から、予転造工具の若干の圧力角変更は有効であると思われる。この値は、あまり大きくない方がよく、約30分程度の修正で十分であろう。

歯車の転造では、とくにD側歯面では、歯が回転方向に若干傾きやすく、これが歯形誤差の原因ともなる。このため、この倒れを考慮して、予転造時の仕上げ代を、左右歯面で非対称にしておく、などの検討が、今後必要になってくるものと思われる。

6. 結論

(1) 転造により歯車を製作する場合の予転造工具

は、転造代の範囲が ± 0.02 (mm)程度までなら、兼用の工具としてよい。とくに転造代の差の少ない ± 0.01 (mm)程度の微調整の場合には、工具の設定位置変更方式は有効である。

(2) 素材歯車の転造代が変更になる場合は、厳密には、転造代別の工具の使用が望ましい。転造代の量に応じて、工具歯先の変更も必要である。

この歯先の、基準値からの変更(増加)部分は、転造代のほぼ10倍程度でよい。

(3) ラック形工具による歯車の二段転造では、転造代の量は 0.04 (mm)程度が望ましい。それより少ない場合は、仕上げ転造ではなく、むしろバニッシン転造と考えるべきである。

(4) 予転造工具の圧力角を、基準値より若干変更させて、素材歯底部の転造代を少なくし、歯先部で多くして仕上げ転造する方式、は有効である。

ただし、工具の修正量はあまり大きくせず、 $\delta f_0 = 0.04$ (mm)に対しては、約 $30'$ 程度の修正量が望ましい。

(5) 製品歯車の歯厚を均一化するために、仕上げ転造用の工具は、素材歯車の転造代の量に応じて、基準値から若干変更して設定すべきである。

参考文献

- 1) 久野精市郎：ラック形歯車転造工具の形，設計製図学会，東海支部第10期講演会，前刷，9，1987

(受理 昭和63年1月25日)