

歯車転造におけるラック形工具の設定

Setting of Rack Type Tool on Gear Rolling

久野 精市郎†

Seiichiro KUNO

In rolling of gears, the number of teeth and the tooth thickness of rolled piece are often not up to our expectation. Setting positions of the rack tools for the full-form rolling of involute gears were investigated experimentally by rolling the workpiece (module 1.5, pressure angle 25° , number of teeth 28 and whole depth 2.7 mm). As the result of examination of rolled surface, next matters were revealed. In precise division of gear blank, the relative position between the top flank of tool and the rolling radius of work piece was the principal problem. And the tooth thickness of rolled profiles were greatly affected by the product error in tool profiles and the elastic deformation of apparatus. Then, the desirable setting position of the rack tool was decided and the expected quality gears in the full-form rolling were obtained certainly.

1. はじめに

ラック形工具による、インボリュート歯車の全転造では、ラック形工具全体の形¹⁾、および工具の歯部形状²⁾についてはすでに報告した。

ここでは、ラック形工具を転造装置に取り付け、自由駆動方式で、正しく予定の歯車を製作するための、工具設定の問題について検討した。

歯車転造用の工具には、最低二つのことが要求される。その一つは、工具が素材に喰いつき始めると

き、その外周を正しく予定の歯数に割り切ることである。つぎに、完成した歯車に、正しい歯厚寸法の値を得ることである。

ここでは、一定要目の歯車素材を転造し、その実験結果を観察して、全転造用工具の素材中心方向に対する設定方式を示し、この値を決定した。

しかして、その値を利用することにより、全体として正しく割り切れている、一様な盛り上がり状態の歯車、および、基準歯厚寸法の歯面を持つ歯車が得られることを確認した。

† 愛知工業大学 機械工学科 (豊田市)

2. 実験の条件

素材歯車の歯形は、全転造加工に有利な、高圧力角・低歯とした。歯車の要目は、モジュール 1.5、歯数 28、圧力角 25° 、歯末の丈 1.2mm、歯元の丈 1.5mm、歯幅 10mm、素材全体の幅 30mm とした。

素材の材質はS10Cとした。また、装置の安全を考慮して、一部にA2B2を使用した。S10Cでは、その中心穴 20mm の内径部に浸炭焼き入れし、研削後の表面硬度をHRB220とした。歯部の位置は、素材の中央部分とし、旋削後の歯部外径の値は 42.0mm とした。

実験装置の中央部断面を図1に、また、これを上から見た工具と素材との位置関係を図2に示した。

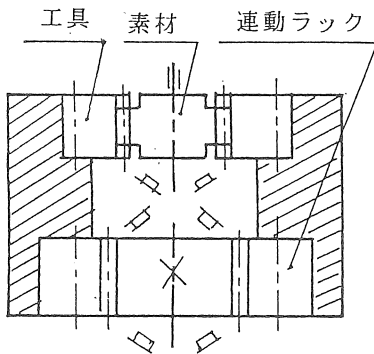


図1 装置の中央部

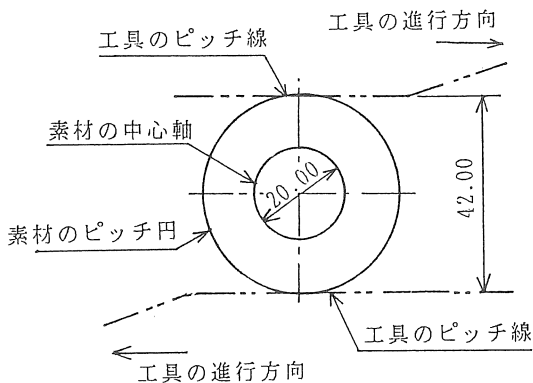


図2 素材と工具の基準位置

両側の装置に設定した工具は、これとは別のラック・ピニオンで連動され、互いに逆方向に油圧駆動

される。この間で、中心軸と固定していない素材歯車は自由回転する。

工具の材質は SKD11とし、熱処理後の歯面硬度は HRC 58~60とした。工具の正規歯部における単一ピッチ誤差は約 $15 \mu\text{m}$ 、圧力角誤差は約 10 分である。

転造時の工具移動速度は 2.4m/min で、工具の移動推力の値は、 $2.8 \times 10^3 \text{ kgf}$ で、それぞれ一定とした。転造中は、切削油(GALIA-G)を加えた。

3. 工具の設定

3.1 工具の形

旋削後の素材外径の値は、モジュール、歯幅、材質などでそれぞれ若干異なるが、最も大きな場合でも、それはピッチ円付近の値である。そこで、工具押し込み部の開始点は、その歯先位置が、工具の基準ピッチ線付近であればよい。

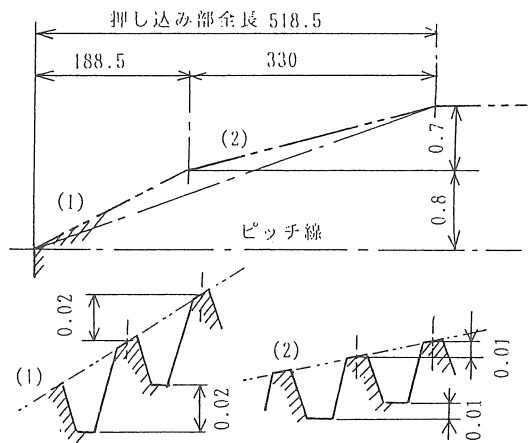


図3 工具の押し込み部

ここでは、この押し込み部歯先の包絡線を、図3に示す二段のテーパ(角度 θ)とし、歯数 Z の素材一歯当たりの押し込み量、 $\pi m z \tan \theta / 2$ を、それぞれ、0.280、0.140mm とした。

工具正規部の全長は 358mmとし、そのうち、押し

込み部に続く歯先丸の区間は 132mm、歯先平の区間は 226mmとした。また、ピッチ線上の歯厚は $\pi m/2$ とし、その歯形を図4に示した。

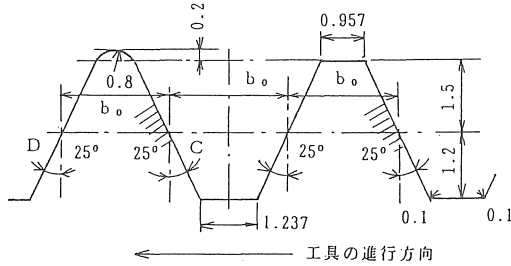


図4 全転造用工具の歯形

3.2 実験結果と考察 I

素材歯車は、工具の正規部を転がる際にも、多少は押し込まれる。その歯厚は回転と共に若干減少し、取り除かれた材料の一部が、次第にその歯底部に蓄まっていく。

工具の歯先部が、押し込みを伴って面と面とで当たるとき、転造力は急激に増加し、これが素材の精度に悪影響を及ぼす。

そこで、工具の正規部歯先を、図4に示したように、丸形、平形として段差を設け、素材が丸形部を終了した時点では、その歯底部を図5(a)の形とし、転造終了時には(b)の形とさせる。すなわち、この関係がうまくいくような工具の設定が必要である。

一組の工具を、素材のピッチ円と工具のピッチ線との一致する基準位置に設定して全転造し、製品歯車のまたぎ歯厚を測定して平均値を求め、それを一

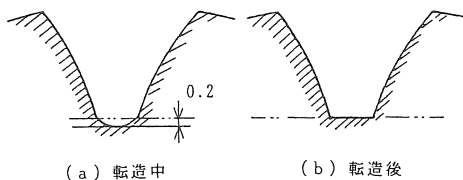


図5 素材の歯底部

つの点として図6のIに示した。

つぎに、これとは別の工具により、全く同じ条件で転造したところ、この素材の歯厚は、上の値とは明らかに異なる集団を示した。

その原因は、工具歯形の形状・寸法が、厳密には正しく計算通りに加工されていないことに依るものと思われる。多少の加工誤差は止むを得ないので、素材に一定の歯厚を得るためには、この誤差を考慮した工具の設定変更を必要とする。

そこで、製作した工具の各部を精密測定し、これに基づいて求めた各値より、工具ピッチ線上的実際の歯溝幅の、基準値からの変化量 δb_{w1} 、それによって加工される素材歯厚の変化量 δS_m 、およびその結果必要となる工具設定位置の変化量 δy_1 を求めた。

工具歯形の加工誤差は非常に少ないので、これから求めた変化量の各関係は、補正の必要はなく、計算値のままで差し支えないものと思われる。

測定した工具歯形の歯先の歯厚、歯元の歯厚、全歯丈をそれぞれ b_{k1} 、 b_{r1} 、 h_1 とすれば、工具の実際の圧力角 α_1 は、 $\tan \alpha_1 = (b_{r1} - b_{k1}) /$

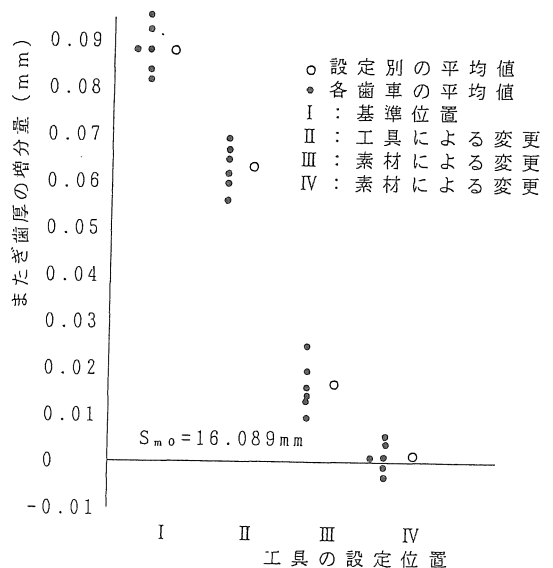


図6 転造後のまたぎ歯厚 (1)

2 h_1 となり、ピッチ線上の歯厚 b_{p1} は、工具歯末の丈 h_{k1} より (1) となる。

$$b_{p1} = b_{k1} + b_{k1} (b_{r1} - b_{k1}) / h_1 \quad (1)$$

$\delta b_{w1} = b_{p1} - \pi m / 2$, $\delta S_m = \delta b_{w1} \cos \alpha_1$ であり、素材の歯厚は δS_m が > 0 のとき減少し、 < 0 のとき増大する。

これより、 δy_1 は、 $\delta y_1 \sin \alpha_1 = \delta S_m / 2$ 、すなわち (2) で、これが - のときは素材の中心方向に、+ のときは外側への設定変更を要する。

$$\delta y_1 = (b_{p1} - \pi m / 2) \cot \alpha_1 / 2 \quad (2)$$

これを考慮して設定変更し、素材を転造した結果のまたぎ歯厚の値を、図6のIIに示した。

3.3 実験結果と考察II

歯車の転造では、装置が弾性変形するため、工具は素材中心に対して逃げ勝手となり、素材の歯厚は予定値より若干大きくなる。

工具の調整量が多すぎると、破損などの危険を伴うので、中心方向への工具の押し込みは、実験結果の素材歯厚から求めた計算式に基づいて、順次行なうべきである。

図6のIIに示した実験結果の歯厚を S_{m2} とすれば、基準値との差、 $\delta S_{m2} = S_{m2} - S_{m0}$ と、工具の変更量 δy_2 との間には、(3) の関係がある。

しかし、工具の押し込みにより増加した転造力で、装置はさらに若干変形するので、実際には (3) に基づいた実験を数回繰り返し、最終値としての δy_2 の値を求めておく必要がある。以上より、工具の全設定変更量 δy_0 は (4) となる。

$$\delta y_2 = (S_{m2} - S_{m0}) \cot \alpha_1 / 2 \quad (3)$$

$$\delta y_0 = \delta y_1 + \delta y_2 \quad (4)$$

この押し込み量の値は、転造装置、素材の材質、モジュール、歯幅などの転造条件でそれぞれ異なる値である。

ここでは、設定変更を二度行なった実験結果の歯厚の値を、図6のIII、IVに示した。すなわち、これにより素材歯車に予定の歯厚が得られた。

4. 素材の割り切り

4.1 工具の設定と問題点

旋削後の素材外径を予定の歯数に正しく割り切れることは、歯車を得るための基本的な条件である。工具歯先の包絡線が、ピッチ線と平行している、ラック形工具による素材の割り切りについては既に述べた³⁾。しかし、歯先が傾いた、押し込み部のある工具による素材の割り切りについての報告はない。

工具歯先の基準ピッチ線に対する傾き角を θ_1 、素材の歯数を Z 、旋削後の素材外径を $2r_1$ とすれば、素材と工具くが喰い付き始めてから、1/2 回転後の割り切り終了時の歯底円直径は、 $2r_2 = 2r_1 - \pi m \tan \theta_1$ となる。素材の正しい割り切りには、この $2r_2$ の値が問題となる。

ここでは、工具の破損を覚悟して、この押し込み部で正しく割り切り、続いて押し込みを進め、正規部でならし回転して、一工程で歯車を完成させる実験を試みた。

工具は、別のラック・ピニオンで連動され、規定の相対速度で移動している。したがって、素材の割り切りが予定の歯数と異なった場合には、転造の途中で工具歯面が破損し、その破片が素材に喰いついて、半回転ごとの工具の歯が次々に破損していく。

素材の中心軸方向に対する工具の設定は、工具歯先面と直径 d_0 の中心軸との間に、一定幅 B のゲージを配置して行なった。

4.2 実験結果と考察

工具のピッチ線と素材のピッチ円とを一致させるときの、基準のゲージ寸法 B_0 に対する変化を、設定変更量 $\delta y_3 = B - B_0$ とし、この各設定変更による素材の転造後の状況を表1に示した。

表1のNO.6では、素材をA2B2とした。3個の素材はいずれも歯数が27枚となった。転造中の工

具破損はなかったが、素材中心軸の盛り上がりが激しく、両側工具の間に大きな位相差の生じているのが認められた。

NO.5の素材 A2B2 では、3個のいずれも歯数が28枚となった。材質 S10C では、最初の2個までは歯数 28 枚であったが、3個目には 27 枚となり、このとき工具の歯が破損した。

NO.4では、S10C素材3個のいずれも、歯数は 28 枚であった。しかし、素材の歯厚にばらつきが大きく、材料の盛り上がりにも一様でない（正しく割り切れていない）ものが認められた。

NO.3では、素材の歯面状況もほぼ一定となり、歯の倒れも少なくなる。したがって、これは転造可能な範囲であると認められる。

この実験で正しく割り切れた場合の、製品のまたぎ歯厚を測定し、各歯車の90° 方向、4箇所歯厚の平均をそれぞれ一つの点として図7に示した。

基準位置の設定では、歯厚は計算値より 0.1mm程度のプラスになる。予定の歯厚を得るには、ここでは、基準位置に対して、-0.15mmの工具設定変更が

望ましい。

以上の結果から、工具の設定について前項での関係も含めて検討する。

図3に示す工具に、(4) 式の変更量 δy_0 を与え

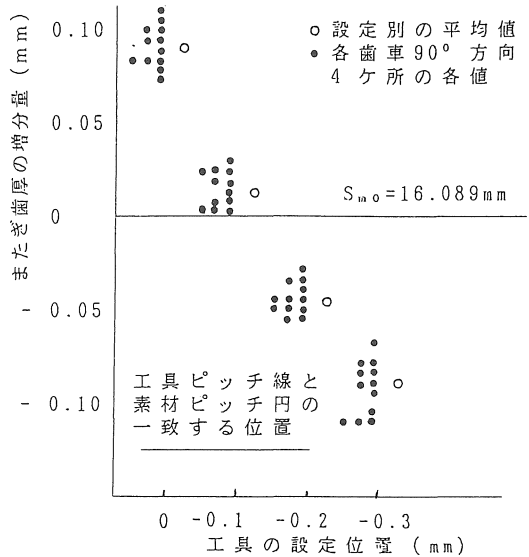


図7 転造後のまたぎ歯厚 (2)

表1 工具設定位置の変更と素材の歯部

No	δB	$2r_2/m$	δS	素材	状況
1	0	27.63	-0.069	1	異常は認められない
2	-0.2	27.36	-0.144	1	異常は認められない
3	-0.3	27.23	-0.136	1	可能である、歯厚がやや不十分
4	-0.4	27.09	-0.159	1	歯の傾きあり、割り切り不十分
5	-0.5	26.96	-0.181	1, 2	歯数は27枚、または28になる
6	-0.6	26.83	-0.204	2	歯数は27枚になる

注(1) δB は、素材中心方向への工具設定変更量、0 は基準位置
 (2) $2r_2/m$ は、割り切り終了時の歯底円直径の歯数換算値
 (3) δS は、半径 r_2 の素材弦ピッチと工具ピッチ πm との差
 (4) 素材 1は、材質 S10C、2 は A2B2；No 1~4 は、歯数28

る。旋削後の素材半径を r_1 とし、これの基準値 $r_0 = mZ/2$ からの変化量を、 $\delta r_0 = r_1 - r_0$ とすれば、素材と工具とが喰い付き始めてから $1/2$ 回転後の素材の歯底円半径 r_2 は(5)となる。

$$\begin{aligned} |\delta r_0| > |\delta y_0| \text{ のとき、} \\ r_{21} &= \pi m z \tan \theta_1 / 2 \\ |\delta r_0| < |\delta y_0| \text{ のとき、} \\ r_{22} &= r_{21} - (|\delta y_0| - |\delta r_0|) \end{aligned} \quad (5)$$

表1に示す結果から、この r_2 、すなわち、相当歯数 $Z_m = 2r_2 / m$ の値は 27.33が限界である。そこで、ここでは、正確な割り切り条件として、この Z_m に対して (6)を与える。

$$Z_m \geq 27.30 \quad (6)$$

これによれば、喰い付き始め、割り切り終了時の素材歯底円直径の最小値は、それぞれ、44.51mm、40.95 mmである。また、このとき、素材中心から工具ピッチ線までの距離 L_1 は (7)となる。

$$L_1 \geq mZ/2 - 0.245 \text{ mm} \quad (7)$$

図7に示す最良の設定変更量 -0.15 mm は、(7)による最大値 -0.245 mm 以内である。そこで、工具を再度この値で設定し直し、転造後の素材歯厚を測定した。その結果、各値の平均値は、計算値 $S_{m0} = 16.09 \text{ mm}$ に対して $\pm 0.05 \text{ mm}$ の範囲となり、望ましい値が得られた。

5. 結論

モジュール 1.5、圧力角 25° 、歯数 28、全歯丈 2.7mm、歯幅 10 mm の高圧力角・低歯インボリュート歯車の全転造用ラック形工具につき、素材中心方向に対する、その設定位置を実験的に検討した。

その結果、旋削後の素材外周を予定の歯数に正しく割り切ることができ、転造後の素材の歯厚寸法に予定の値を得ることができた。

すなわち、一定条件の下で工具の設定位置を決定

するための手順を明らかにし、これにしたがって実験を進め、これを確かめた。

参考文献

- 1) 久野精市郎：ラック形歯車転造工具の形，日本設計工学会、第10期講演会論文集，p.9，1987.10
- 2) 久野精市郎：歯車の全転造用ラック形工具の歯形，設計・製図，VOL.25，NO.10，p.391，1990.10
- 3) 久野精市郎：ラック形工具による転造歯車素材の割り切り，愛知工業大学研究報告，B，第17号，p.63，1982.9

(受理 平成3年3月20日)