熱間転造歯車の精度に関する研究*

槌 川 武 男**

Researches on the Accuracy of Hot-Rolled Gears

by Takeo TUTIKAWA

The results of the investigations on the accuracy of hot-rolled gears reveal that the accuracy is controlled by the shape of gear blanks, heating time, finishing rotations and pressing method of die-rollers besides the accuracy of die-rollers and rolling devices and gear blanks. The results of the investigations on the collapses found near the pitch circle of rolled teeth reveal that these collapses is caused by the sliding friction and the variation in the contacting pressure on the tooth face.

1. 緒 言

歯車は、その使用目的によって要求される精度が定まってくるので、熱間転造歯車の実用性を検討するためには、その精度がどの程度のものであるかをしらべることが重要なことである。熱間転造歯車の精度については、ソビエトにおける測定結果があるが⁽¹⁾、その精度がどのような因子によって支配されるかは明らかにされていない。よって、熱間転造した歯車の精度に関係をもつ因子をとりあげ、それらの因子がどのような影響を与えるかを検討した。また、転造歯車の歯形には特有の傾向が現われてくるので、その生成原因についても研究を行なった。

2. 精度に関係をもつ因子

普通の切削加工においては、使用する工具の精度、機械の精度および剛性、素材の精度などが、加工した歯車の精度に関係をもっている。冷間転造においても、これらの因子は、転造歯車の精度を支配する基本的なものであり⁽²⁾、熱間転造の場合にも、このことはそのまま適用されると考えられる。さらに熱間転造法では、これらの因子の外に、素材の形状、加熱時間、ならし回数、工具の押込方式が転造歯車の精度に影響を与える。

2.1 素材の形状 転造加工法は、素材に工具を押し付け、素材外周に塑性変形をおこさせて歯形を成形するものであるが、そのときに、素材の周辺部に穴があ

いているもの、あるいは肉ぬきをしてあるものでは、心部にも変形を生じ、これが転造した歯車の精度に影響を及ぼす。

第1図は、素材(S45C)の形状と転造歯車の精度との関係を示す実験結果である。

第1図(a)は、ピン穴があいている素材を使用して転造した歯車の、直径誤差および歯みぞのふれを測定した結果である。直径誤差の測定結果から、転造によりピン穴の付近が押しつぶされていることが認められる。歯みぞのふれにも、この影響が現われている。

第1図(b)~(e)は、素材内径部にキーみぞがあった場合に、転造した歯車の真円度がどのようになるか、また歯みぞのふれの状態はどのようになるかを測定した結果である。これらの結果から明らかなように、キーみぞの数によって、転造歯車に生ずるひずみの状態が異なる。キーみぞが対称の位置に2箇所ある場合がひずみをもっとも大きく、転造歯車は長円形になっている。歯みぞのふれの測定結果にも、このひずみの影響が認められる。キーみぞが4箇所、6箇所、1箇所の順にひずみは小さくなり、歯みぞのふれの精度もよくなっている。

第1図(f)は、キーみぞがない素材を使用した場合の測定結果で、ひずみはほとんど認められない。また歯みぞのふれの精度も、もっともよい結果を示している。

これらの結果から、形状の複雑な歯車は、簡単な形状の素材で転造を行ない、そののちに所定の形状に仕上げるという加工順序を採用するほうが、複雑な形状に素材を仕上げて、それを用いて転造を行なう場合よりも、精度のよい歯車がえられることができる。

* 昭和 34 年 11 月 7 日 仙台地方講演会において講演、
原稿受付 昭和 35 年 9 月 14 日。

** 正員、東北大学工学部(仙台市平丁)。

2.2 加熱時間 素材外周を転造温度まで加熱するときに、熱伝導により、外周部の熱は内部に浸透する。加熱時間が長くなると、内部に浸透する熱量は多くなり、内部の温度も高くなる。そうすると、素材全体が変形をおこしやすくなり、外周部が転造を受けるときに素材全体に変形を生じ、これが転造歯車の精度に影響を及ぼす。

第2図は、予熱の時間を10s, 25s, 45s, 60sとかわて熱間転造した歯車(S45C)の、歯みぞのふれを測定した結果である。

第3図は、このときの素材内部の温度分布を測定した結果である。

予熱時間が45sあるいは60sの場合には、素材

内径面の温度が400°Cあるいは550°Cに達する。その結果、転造歯車の歯みぞのふれは60 μ あるいは80 μ となっている。予熱時間が25sの場合には、素材内径面の温度は250°Cで、転造歯車の歯みぞのふれは40 μ 程度である。予熱時間が10sの場合には、素材内径面の温度は170°Cで、転造歯車の歯みぞのふれは35 μ 程度になっている。

これらの結果から、加熱時間を短くするほど素材内部の温度を低く保つことができ、したがって精度のよい歯車がえられるということがいえる。

2.3 ならし回数 歯車を転造するときに、素材と工具とに回転を与えながら工具を押しすすめ、工具が所定の食込み深さに達したときに、ただちに工具を後

転造歯車: モジュール $m=3$, ねじれ角 $\beta=23^\circ$, 歯数 $z_2=36$, S45C

第1図 素材の形状と転造歯車の精度との関係

歯みぞのふれ測定結果

転造歯車：モジュール $m=2.25$ ，レジェ角 $\beta=13.5^\circ$ ，歯数 $z_2=38$ ，S45C

第2図 加熱時間と転造歯車の精度との関係

第3図 加熱時間をかえたときの素材内部の温度分布（素材材質：S45C）

退させてしまうと、素材が十分に成形されないうちに工具がはなれてしまい、転造した歯車は所定の形状寸法に仕上がらない。所定の形状寸法に仕上げるためには、工具が所定の深さまで食込んだのちに、素材外周に転造された歯が十分に成形されるまで、そのままの状態ですらし回転を行なうことが必要である。

また、工具の精度が転造歯車の精度に移行する程度についても、ピニオンカッタで歯車を切削するときに、仕上切削でピニオンカッタと素材とを回転させる回数によって、ピニオンカッタの精度が切削歯車の精度に

移行する程度が異なる⁽³⁾のと同様に、転造においてもならし回転の回数によって、工具の精度が転造歯車の精度に移行する程度に差異を生ずることも考えられる。

そこで、ならし回転の回数によって、転造した歯車の寸法および精度が、どのように変化するかを実験によってしらべた。第4～6図は、ならし回数と転造歯車（S45C）の精度との関係を示す実験結果である。

第4図は、ならし回転のときの素材の回転数 N_f を0, 1, 3, 7, 12 とかえて転造を行ない、できた歯車の5枚間またぎ歯厚を測定した結果である。第5図は歯みぞのふれを測定した結果である。第6図は隣接ピッチ誤差を測定した結果および単一ピッチ誤差、累積ピッチ誤差を示すものである。これらの結果をみると、 $N_f=0$ すなわちならし回転を行なわない場合には、またぎ歯厚、歯みぞのふれ、隣接ピッチ誤差のいずれもばらつきが大きく、転造歯車は真円になっていないことが認められる。ならし回数が多くなるに従って真円度は是正され、これらの誤差は減少している。

第7図は、以上の結果をまとめて図示したものである。 $N_f=0$ の場合には、歯みぞのふれ、隣接ピッチ誤差ともにばらつきが大きく、誤差は最大を示している。 $N_f=1$ の場合には、これらの測定結果のばらつきは著しく減少を示し、ならし回数が多くなるに従って、これらの誤差は減少している。 $N_f \geq 7$ においては、これらの測定結果はおおよそ同じ程度の精度を示している。このことから、ならし回数を7回以上にとると、転造歯車の精度は安定するということができる。

またまたぎ歯厚の寸法について考えると, $N_f=0$ の場合にはまたぎ歯厚寸法はもっとも大きく, しかもばらつきも大きい. $N_f=1, 3$ とならし回数が多くなるに従って, またぎ歯厚寸法は減少し, ばらつきも小さくなっている. そして, $N_f=7$ および 12 の場合には, またぎ歯厚寸法はともに 31.40~31.44mm の間におさまっている. $N_f=0$ の場合には, 工具は所定の深さまで食込んでただちに後退するので, 転造歯車の寸法が大きく, また真円になっていないので, 歯厚のばらつきが大きいのは当然のことと考えられる. $N_f=1$

あるいは3とならし回数を多くすると, 真円度は是正されて歯厚のばらつきは小さくなるが, 寸法そのものの成形はまだ不十分である. $N_f \geq 7$ になると寸法の成形も完全に行なわれ, 転造歯車の寸法は安定したものとなっている.

以上述べたように, ならし回数は転造歯車の寸法および精度に影響を及ぼす. ならし回数が不足な場合には, 転造歯車は十分に成形されず, 寸法および精度ともにばらつきが大きく, 安定した値を示さない. したがって, 所定の形状寸法の歯車がえられないことに

転造歯車: モジュール $m=2.25$, ねじれ角 $\beta=13.5^\circ$, 歯数 $z_2=38$, S45C

第4図 ならし回数 N_f をかえたときの転造歯車のまたぎ歯厚の変化

転造歯車: モジュール $m=2.25$, ねじれ角 $\beta=13.5^\circ$, 歯数 $z_2=38$, S45C

第5図 ならし回数 N_f をかえたときの転造歯車の歯みぞのふれの変化

転造歯車：モジュール $m=2.25$ ，ねじれ角 $\beta=13.5^\circ$ ，歯数 $z_2=38$ ，S45C

第6図 ならし回数 N_f をかえたときの転造歯車のピッチ誤差の変化

第7図 ならし回数 N_f と転造歯車のまたぎ歯厚，隣接ピッチ誤差，歯みぞのふれとの関係

なる。転造歯車の寸法および精度が安定した値を示すためには，ならし回数を7回以上にする必要がある。

2.4 工具の押込方式 工具の押込方式には，工具を1個だけ使用して，いっぽうからだけ押込む片押方式と，2個の工具を使用して，素材に対して互に対向する位置から押込む両押方式とがある。また，ねじあるいはカムを使用して工具に前進運動を与え，それによって工具を押込む方法と，油圧あるいはばねを利用して工具に押込力だけを与え，それによって工具を押込む方法とがある。これらの押込方式によって，転造歯車の精度がどのように異なるかの比較については，のちに転造装置の項で詳述するが*，片押方式よりは両押方式のほうがふれの少ない歯車がえられる。また，両押方式の場合でも，ねじを使用して工具に機械的に前進運動を与える転造方法よりは，油圧を利用して工具に押込力だけを与える転造方法のほうが，ふれの少ない歯車がえられる。精度のよい歯車を転造する目的のためには，両押油圧式の押込方式がもっともすぐれている。

* 本論文集 339 ページ 参照。

3. 転造歯車の歯形

転造歯車の歯形を測定してみると、第8図に示した実例からわかるように、歯形の中央付近がくぼんでいるのが認められる。ラップ仕上を行なった歯車の歯形が特有の傾向を示す⁽⁴⁾のと同様に、転造歯車の歯形の中央付近に生ずるくぼみは、転造法特有の傾向であるようにも考えられる。よって、このくぼみがどのような原因によって生ずるものか、その生成原因を究明してみた。

3.1 実験に用いた歯車の諸元 転造法は、工具を押込むことによって素材外周部の材料を盛上らせ、同時に行なわれる創成運動によって、盛上がった材料を歯形に仕上げるのである。したがって、創成運動を行なうときのかみあいの条件が、成形された歯形を支配することが考えられる。よって、モジュールおよび歯数は一定にしたまま、工具あるいは転造歯車に転位を行ない、かみあいピッチ円の位置、かみあい圧力角、すべり率、かみあい率などのかみあい条件をかえた工具および素材を製作して実験を行なった。

製作した工具および転造歯車の諸元は、第1表に示すとおりである。

工具歯車の歯面の仕上状態もかみあい条件に関係をもつと考えられたので、工具歯形をホブ切りして熱処

第8図 転造歯車の歯形測定結果

理したままのものと、歯面を研削仕上げたものとの2種類の工具を、各条件ごとに製作して実験に供した。

3.2 実験方法 各かみあい条件のもとに歯車を転造し、できた歯車の歯形を測定した。また、転造した歯車の歯の表面付近における金属組織の変形状態を顕微鏡でしらべた。これらの結果から、工具と転造歯車との接触歯面に、どのような現象がおきているかを考察した。

熱間転造を行なうと、成形された歯の結晶組織にはひずみが残存しないので、転造後の結晶組織から材料の変形状態を推察することは困難である。いっぽう、冷間転造を行なうと、結晶組織にはひずみが残存しているので、これから変形状態を推察することが可能である。また、工具と転造歯車とのかみあい条件が歯形に及ぼす影響は、熱間転造の場合でも冷間転造の場合でも、同一の傾向をもっていると考えられる。

よって、転造後の結晶組織から材料の変形状態を推察し、現象を明確にはあくするために、S15Cの素材を用いて冷間転造を行なった。

3.3 実験結果 **3.3.1 歯形の測定結果** 使用した工具の歯形、およびそれによって転造した歯車の歯形を測定した結果が第9図に示したものである。

No. 1 転造歯車の歯形は、かみあいピッチ円付近においてくぼみを生じている。しかも、歯形全体としては、圧力角が大きくなったような結果を生じている。研削工具を使用したものと、ホブ切り工具を使用したものとを比較すると、歯形に生ずる誤差の傾向は同じである。しかしホブ切り工具を使用したものは、研削工具を使用したものよりも歯面があらく、かみあいピッチ円付近に生ずるくぼみは深いものとなっている。

No. 2 転造歯車の歯形も、これと同様である。

No. 3 転造歯車の歯形は、かみあいピッチ円すなわち歯先付近がくぼんでおり、またかみあい歯面の中央

第1表 工具および転造歯車の諸元

モジュール $m=2$							
歯数 $z_1=z_2=48$							
No	基準ラック 圧力角	転位係数		かみあい 圧力角	転造歯車すべり率		かみあい率
		工具 x_1	転造歯車 x_2		歯先	歯元	
1	20°	0	0	20°	0.478	1.115	1.82
2	14.5°	0	0	14.5°	0.697	2.303	2.11
3	20°	+1.0	-1.0	20°	0	3.185	1.71
4	20°	+0.5	-0.5	20°	0.285	1.924	1.83
5	20°	-0.5	+0.5	20°	0.620	0.545	1.85
6	20°	-1.0	+1.0	20°	0.731	0	1.75
7	20°	-0.9	-0.9	8.89°	0.962	28.392	2.27
8	20°	+1.7	+1.7	27.52°	0.228	0.366	1.19

付近にも小さなくぼみが認められる。そのほかは、No. 1 の場合と同じである。

No. 4, No. 5 転造歯車の歯形は、いずれもかみあいピッチ円付近にくぼみを生じており、またかみあい歯面の中央付近にも、小さなくぼみが認められる。

No. 6 転造歯車の歯形は、かみあい歯面の中央付近に小さなくぼみが認められるが、歯形全体として誤差が少ない。

No. 7 および No. 8 転造歯車の歯形は、いずれもかみあいピッチ円すなわちかみあい歯面の中央付近にくぼみを生じているという傾向は同じである。しかし、かみあい率が 2.3 である No. 7 転造歯車のほうが、かみあい率が 1.2 である No. 8 転造歯車よりもくぼみの深さは浅い。

3.3.2 表面付近の顕微鏡組織 ホブ切り工具を使

第 9 図 工具および転造歯車の歯形測定結果

用して転造した歯車では、第 10 図にその一例を示すように、創成運動のときに生ずるすべりによって、表面付近の材料に流動を生じていることがめいりょうに認められる。すなわち、すべり接触をしている歯面では表面付近の材料はすべりの方向に引張られ、その方向に流動している。流動を生じている層の深さは、すべり率の大きさに関係をもっており、すべり率が大きいところでは、流動を生じている層の深さが深い。ころがり接触をするかみあいピッチ円付近では、材料はたんに圧縮されているだけで、流動はしていない。

第 10 図の中央に記入したものは、表面付近の材料に生じた変形の状態を、模型的に示したものである。

研削工具を使用して転造した歯車は、ホブ切り工具を使用したものと同様に、すべりの方向に材料が流動しているが、流動を生じている層の深さは、ホブ切り工具を使用したものよりも浅い。

3.4 実験結果に対する考察

以上の実験結果から、次のことが考察される。

(1) 転造歯車の歯形は、かみあいピッチ円付近およびかみあい歯面の中央付近にくぼみを生じている。研削工具を使用した場合でも、ホブ切り工具を使用した場合でも、この傾向は同じである。

(2) かみあい率が 2 より小さい場合には、かみあい始めおよびかみあい終りの部分、すなわち歯先および歯元付近では、2 組の歯がかみあっているが、中央付近では 1 組の歯がかみあっているだけである。2 組の歯がかみあっているところから、1 組の歯だけがかみあうところに移行する点で、歯面に作用する荷重は急激に増大する⁽⁵⁾。その結果、素材に押付けられている工具は、2 組の歯がかみあっているところよりも、1 組の歯だけがかみあっているところにおいて深く食込み、それによって歯形の中央付近にくぼみを生ずるのであると考えられる。

かみあい率が2以上の場合には、2組あるいは3組の歯がかみあっている。そして、歯面に作用する荷重の変化は、かみあい率が2より小さい場合に比較して少ないので、歯形に生ずるくぼみは浅いものとなると考えられる。

(3) かみあいピッチ円付近において歯形にくぼみを生ずる原因は、次のように考えられる。

第10図に一例を示したように、転造歯車の歯の表面付近の材料はすべりの方向に流動を生ずる。転造歯車の1枚の歯が、工具の歯とかみあいを始めてからかみあいを終るまで接触する状態は、第11図に示すよ

うに、右側歯面では歯元から接触がはじまり、接触点は歯先のほうに進んでいく。左側歯面ではこれとは反対に、歯先から接触がはじまり、接触点は歯元のほうに進んでいく。右側歯面の歯元では、すべりの方向は接触点の進行方向とは反対で、すべりにより流動を生じた材料は接触点の後方に押し出される。ピッチ点ではすべりは存在しないので、材料の流動を生じない。歯先では、すべりの方向は接触点の進行方向と一致し、すべりによって流動を生じた材料は、接触点の前方に押し上げられる。

つまり、右側歯面の歯元においては、材料を後方に

第10図 転造歯車の表面付近の顕微鏡組織

第11図 転造歯車の歯形が創成される状態

押し出ししながら接触が行なわれ、歯先では、材料を前方に押し上げながら接触が行なわれる。その結果、右側歯面は第 11 図 (e) に示したような形状に仕上がる。

左側歯面についても同様に、歯先においては材料を前方に押し下げながら接触が行なわれ、ピッチ点ではすべりは存在せず、歯元においては材料を後方に押し上げながら接触が行なわれる。その結果、左側歯面も第 11 図 (e) に示したような形状に仕上がる。

このような形状に仕上がっている歯形を歯形試験機にかけて測定をすれば、第 11 図 (f) に示したような測定結果を表わすことになる。一つのインボリュート曲線の場合と比較をすると、圧力角が大きくなり、しかもピッチ点付近はくぼんでいるように見える。この傾向は、第 9 図に示した転造歯車の歯形曲線の形状と同一の傾向をもっている。このことから、かみあいピッチ円付近において歯形にくぼみを生ずる原因は、接触歯面に生ずるすべりによって、転造歯車の歯の表面の材料に流動を生ずることがその原因をなしていると考えられる。

このことから考えると、すべり率は小さいほうが、歯形精度のよい歯車がえられるということがいえる。

また、歯形測定の結果から明らかなように、ホブ切り工具を使用したものよりも、研削工具を使用したもののほうが、歯形精度はよくなっている。このことはすべり率そのものは同じであっても、工具歯面のあらさが異なり、研削工具の歯面の摩擦係数は、ホブ切り工具の歯面の摩擦係数よりも小さいために、摩擦仕事率としては研削工具を使用したときのほうが小さい。その結果、流動を生ずる材料の量が研削工具の場合には小さく、したがって歯形精度はよくなっていると考えられる。

(4) 標準形工具を使用して標準歯車を転造した No.1 あるいは No.2 と、工具および転造歯車に転位を行なって、かみあいピッチ円の位置を転造歯車の歯先あるいは歯元にとって転造を行なった No.3 あるいは No.6 との測定結果を比較すると、標準形工具を使

用して標準歯車を転造した No.1, No.2 のほうが歯形誤差が大きい。

標準形工具を使用して標準歯車を転造するときには、歯面に作用する荷重が最大になる位置と、かみあいピッチ円の位置とが、歯形の中央部においてほぼ一致する。そのために、歯形の中央付近におけるくぼみが増大するものと考えられる。

かみあいピッチ円の位置と、歯面に作用する荷重が最大になる位置とを分離した条件のもとに転造を行なえば、生ずるくぼみの深さは浅くなり、歯形誤差は小さくなるものと考えられる。

このことから、標準歯車を転造する場合にも、標準形工具を使用するよりは、転位した工具を使用するほうが、歯形誤差は少ない歯車がえられると考えられる。

第 12 図は、(+)転位および(-)転位した工具を使用して転造した標準歯車の歯形を測定した結果である。実験に使用した工具および転造歯車の諸元は、第 2 表に示すとおりである。

No.1 で研削工具を使用した歯形と、No.10 の歯形とを比較すると、歯面のくぼみの深さは No.10 のほうが浅い。標準形工具を使用した場合よりも、(-)転位した工具を使用した場合のほうが、歯形誤差の少ない歯車がえられている。また、No.9 のくぼみの深さは、No.1 よりやや浅いが、くぼみの幅は No.1 より大きい。これは、工具を(+)転位することによってか

第 12 図 転位工具および転造歯車の歯形測定結果

第 2 表 転位工具および転造歯車の諸元

モジュール $m=2$							
歯数 $z_1=z_2=48$							
No.	基準ラック 圧力角	転位係数		かみあい 圧力角	転造歯車すべり率		かみあい率
		工 具 x_1	転造歯車 x_2		歯 先	歯 元	
9	20°	+1	0	22.82°	0.216	1.241	1.65
10	20°	-1	0	15.88°	0.783	0.869	2.01

みあい率が減少し、その影響が表われてきたものと考えられる。工具を(一)転位するとかみあい率は増大し、No.10の場合には2以上となっている。このことも、歯形精度をよくするのに役立っていると考えられる。

以上のことから、歯形精度のよい歯車を転造するには、標準形工具を使用するよりも、(一)転位した工具を使用するほうがよいということがいえる。

(5) 歯面に生ずるくぼみの状態は、かみあい率およびすべり率の大きさに関係をもっており、かみあい率は大きいほど、またすべり率は小さいほどくぼみの深さは浅く、歯形精度はよくなる。

はすば歯車では、ねじれ角が大きくなるに従ってかみあい率は増大する。また、軸直角歯形の圧力角も増大し、したがってすべり率は減少する。これらのことから、平歯車よりははすば歯車を転造するときのほうが、歯形精度のよい歯車がえられやすいことが考えら

れる。

第13図(a)は、ねじれ角を $15^\circ \sim 60^\circ$ にかえて転造した歯車の歯形を測定した結果である。同図(b)は、使用した工具の歯形を測定した結果である。実験に用いた工具および転造歯車の諸元は、第3表に示すとおりである。

No.1の平歯車の場合と比較をすると、はすば歯車のほうがくぼみの深さは浅くなっており、ねじれ角が大きくなるに従ってくぼみの量は小さくなり、歯形精度がよくなっている結果を示している。

熱間転造歯車がどの程度の精度をもっているかということは、のちに転造装置の項で詳述するとおりであるが*、おおよそJGMA5級程度の精度をもっているという結果がえられている。

4. 結 論

(1) 熱間転造歯車の精度は、機械、工具および素材の精度のほかに、素材の形状、加熱時間、ならし回数、工具の押込方式などにより左右される。

(2) 精度のよい歯車を熱間転造法でつくるためには、形状の簡単な素材を使用すること、加熱時間を短くすること、ならし回数を7回以上行なうことなどが重要なことである。また、工具の押込方式としては、油圧式両押方式が、精度のよい歯車を転造する上に、もっともすぐれている。

(3) 転造歯車の歯面に現われるくぼみは、工具とのかみあいのときに生ずる歯面のすべりおよび接触荷重の変動がその原因をなしており、転造法特有の誤差であると考えられる。

(4) かみあい率を大きく、できれば2以上にとりまたすべり率を小さくし、工具歯面を研削仕上してその摩擦係数を小さくすることにより、この誤差は減少させることができる。

(5) 標準歯車を転造する場合でも、工具には(一)転位を行なったものを使用することが、歯形精度のよ

第13図 はすば歯車の工具および転造歯車の歯形測定結果

第3表 はすば歯車の工具および転造歯車の諸元

モジュール $m=2$ 歯幅 $b=10\text{ mm}$								
軸直角圧力角 $\alpha_0=20^\circ$ 標準歯車								
No.	ねじれ角 β	歯 数 $z_1=z_2$	軸 直 角 圧 力 角 α_a	転造歯車の軸直角 歯形のすべり率		かみあい率 ϵ		
				歯 先	歯 元	ϵ_s	ϵ_f	$\epsilon = \epsilon_s + \epsilon_f$
11	15°	48	20.65°	0.448	0.811	1.66	0.39	2.05
12	30°	48	22.80°	0.361	0.566	1.42	0.75	2.17
13	45°	40	27.24°	0.276	0.380	1.26	1.28	2.54
14	60°	30	36.05°	0.171	0.206	1.04	2.08	3.12

* 本論文 339 ページ参照。

い歯車をつくるために有効な方法である。

(6) 平歯車よりははすば歯車のほうが、歯形精度のよいものがえられる。はすば歯車においても、ねじれ角が大きくなるに従って、歯形精度はよいものがえられる。

(7) 標準形工具を使用して標準平歯車を転造した場合でも、研削工具を使用すれば、歯面に表われるくぼみの深さは 10μ 前後であり、とくに高精度を要求される高速回転の使用目的以外には、実用上さしつかえないと考えられる。

最後に、終始御指導と御べんたつとを賜った成瀬

政男教授に厚くお礼を申しあげる。また、熱間転造を行なうに当り、絶大なる御援助を賜った日本電子光学研究所、ならびに工具の研削仕上について御援助を賜った浜井産業会社の各位にもお礼を申しあげる。

文 献

- (1) A. Д. КУЗЬМИН・М. В. ВАСИЛЬЧИКОВ, *Vestn. maš. (SSSR)*, 9 (1955), 41.
- (2) 成瀬, 井上, 機械の研究, 7, 10 (昭30-10), 1015.
- (3) 白井, 精密機械, 9, 10 (昭17-10), 635.
- (4) 仙波, 精密機械, 11, 4 (昭19-4), 241.
- (5) 仙波, 歯車, 1 巻 (昭28), 142, 日刊工業新聞社.

621.986:621.833

歯 車 熱 間 転 造 装 置 に つ い て*

槌 川 武 男**

Gear Hot-Rolling Machine

by Takeo TUTIKAWA

In order to investigate the structure of the gear rolling machine which is suitable for manufacturing practical gears, the author made experimentally various gear rolling machines, and compared their performances. The results reveal that the most accurate gears are rolled by using a double side pressing type hydraulic rolling machine. Referring to these results, the author made a full automatic gear rolling machine, and examined the performances of heating equipment and the gear rolling machine. The results show that the performances of the heating equipment and the gear rolling machine are stable, and the accuracies and sizes of the hot-rolled gears hold uniformity during mass production.

1. 緒 言

歯車熱間転造装置は、素材外周を転造温度まで加熱する装置と、加熱された素材外周に工具を押込んで歯形を成形する転造盤とからなっている。転造盤の構造は、基本的には二つの機構をそなえていることが必要である。第1は、歯車素材に対して転造用工具を押付ける機構である。第2は、素材外周を所定の歯数に割切り、ここに歯形を成形する機構である。

転造盤においては、工具は素材に接近し、あるいは遠ざかる。したがって、素材取付軸と工具取付軸との中心距離が変化をする。中心距離が変化をしても、素材取付軸と工具取付軸とは一定の回転比をもって回転を行なわせることが必要である。そのために、素材取

付軸と工具取付軸とを連結する伝動装置には、特別な方法を採用することが必要になる。

また、素材に対して工具を押付けるのに、ねじあるいはカムを使用して工具に機械的に前進運動を与える方法と、油圧あるいはばねを利用して工具に圧力を加え、これによって工具を前進させる方法とが考えられる。成瀬・井上氏は、冷間転造の場合について、カム式と油圧式との比較検討を行なっている⁽¹⁾。また、ソビエトのクラスヌイ・メタリスト工場では、ねじ式の熱間転造を試作している⁽²⁾。

著者は、工具の押込方法の異なる3種類の転造盤を試作し、工具の押込方法と転造歯車の精度との関係について実験を行なった。その結果をもとにして、実用歯車を能率よく量産することを目途とした全自動歯車転造盤を試作した。さらに、この全自動歯車転造盤を使用して連続転造試験を行ない、転造装置の機能およ

* 昭和34年12月10日 関西支部第206回講演会において講演、原稿受付 昭和35年9月14日。

** 正員、東北大学工学部(仙台市片平丁)