家庭用電気洗たく機しぼりローラ軸受の 摩 擦 に つ い て*

(第1報) 無 潤 滑 特 性

会 員 中 島 榮 男**

1. は し が き

しぼりローラを用いて脱水する方式の家庭用電気洗たく機においては、脱水効果をよくするため相当大きな圧力でローラをおさえている。そのため、しぼりローラをまわす仕事が電気洗たく機を用いる場合の最大の重労働となっている。これを少しでもかるくまわせるようにするには、しぼりローラの脱水効果そのものの研究のほか、しぼりローラ軸受の摩擦抵抗を小さくするための研究が必要である。

一方家庭用電気洗たく機の部品としては、使用者の手に渡ってからは無注油で使えること、水、湯、家庭用洗剤などの影響を受けないこと、安価で大量生産が可能なことなどが要求される。これらの要求をみたすものとして2, 3の合成樹脂軸受を取り上げ、主としてその摩擦特性をしらべることは、無益ではあるまい。

本報においては、実験方法の検討、軸受の形状の可否2, 3の合成樹脂軸受の無潤滑時の摩擦特性について報告する。

2. しぼりローラ軸受の負荷特性と実験条件

2本のしぼりローラ軸は、上下よりそれぞれ半割り軸受でささえられている。洗たく物がローラ間を通ると2本のローラの中心間の距離が増し、それだけおさえパネが圧縮される。このパネのもとへもどろうとする力が軸受を経てしぼりローラへ伝えられ、しぼり圧力となる。

実際に洗たく物をしぼるとき、しぼりローラ軸受にかかる力は時間的に変化し、各瞬間における2本のしぼりローラの中心間の距離の関数となる。このように軸受荷重は時間の関数となるが、その変化の様子も洗たく物によってきまるから一定ではない。

このような複雑さを回避し、単純な構造の軸受試験機を用いて摩擦特性を比較するために、実験時の軸受荷重に実際に使用される場合に加わる最大荷重の推定値 30 kg に定め、一定荷重で実験することにする。

つぎに、しぼりローラはいつもまわっているわけではなく、洗たく機を使用したあとで短時間まわされるだけで、その使用は間欠的である。したがって間欠回転で実験することが望ましいが、長期にわたって使用されることを考えると、時間をかせぐために、連続回転で実験してその安定性をしらべておくことも必要と考えられる。それゆえ実験は間欠回転と連続回転との両方を行なうことにした。

しぼりローラはハンドルを用いて人間の手でまわすのであるから、回転数もまた一定しない。そこでこれも荷重同様推定値を用いることにし、30 rpm と定めた。

以上のように荷重、回転数を定めると、定常回転型の軸受試験機を用いることができる。まず連続回転の実験においては1日約 10 hr 実験し、その後 14 hr, 30 kg の荷重をかけたままにして1日を終わる。2日目はこのサイクルを繰返し、3日目の 10 hr の測定終了をもって全試験を終わる。

間欠回転の実験においては、まず 10 min 回転、50 min 停止のサイクルを 10 回繰返した後、前同様 14 hr 荷重をかけたままにして1日を終わる。2日目以降はこのサイクルを繰返し、6日目の第10回目の 10 min の測定終了をもって全試験を終わる。

しぼりローラは、使用していないときには、おさえパネの初圧縮力を受けているだけで、30 kg というような高い荷重を受けてはいない。それにもかかわらず上記のように全実験期間を通じて荷重をかけたままにしたのは、合成樹脂のクリープによる変形を考慮したためである。

* Frictional Behavior of Squeezing Roller Bearing of Electric Home Washers. Part 1: Frictional Behavior When No Lubricant is Added.

** K. Nakajima, Member, 大阪府立大学工学部

(第3図) 実験結果連続回転

- 試片 #1 デルリン 100/0
 —●— 試片 #2 デルリン 70/30
 —○— 試片 #3 ナイロン 60/40
 —●— 試片 #4 ナイロン 60/40 に MoS₂ 被膜
 —○— 試片 #5 ナイロン 60/40 に MoS₂ 被膜

どこした試片 #5 を除けば、非常に高い摩擦係数が得られ、しかも時間的に不安定な傾向を示している。ナイロン試片 #3 は、ほとんど全実験期間を通じて、きしり音を発し、ついに2日目の途中において実験を中断した。

このような結果は普通の軸受試験の結果と著しく相違する。もっともらしい結果が得られたのは2硫化モリブデン被膜をほどした試片 #5 のみである。そこで軸受面の状態をしらべてみた。その結果を第4図に示した。第4図は半円形の軸受面を展開して示したもので、図中ハッチングをほどした部分のみが軸に当って摩擦したあとを示し、それ以外の部分はまったく遊んでいたことが判明した。軸の摩擦方向は図中左向きである。

試片 #1 と #2 においては、軸受面の中央と両側の3カ所の軸方向帯状の部分で、軸と軸受とが接触しており、決して軸受面全体が荷重を受けもっていたのではないことがしられる。また試片 #2 の中央の接触帯の両端で、軸受の円周方向に接触部がひろがっている。これらのことは、軸受を軸上

(第4図) 軸受面の状態(1)

にのせ荷重をかけて軸を回転させたとき、これらハッチングの部分がある部分よりも突出していたことを意味する。このような形状の軸受ができた原因としては、成型収縮の肉厚変化にともなう不同が考えられる。

以上のように軸受面の中央と両端で接触が起こると、どんな結果を生ずるかを考えてみよう。第5図に示すように3カ所の接触部のみで軸と軸受とが接触すると、軸受荷重 W は3カ所における垂直力 N_1, N_2, N_2 に分解される。ただし両側の N_2 はたがいに等しいと仮定する。しかると

きは W 方向の力の釣合いより

$$N_1 + 2N_2 \cos \alpha = W \quad \dots\dots\dots (1)$$

摩擦トルク Q は、軸受と軸の材質間の摩擦係数を μ 、軸の半径を R とすれば

$$Q = (N_1 + 2N_2) \mu R \quad \dots\dots\dots (2)$$

一方、全軸受荷重に対するみかけの摩擦係数を μ_a とすれば

$$Q = W \mu_a R \quad \dots\dots\dots (3)$$

いま

$$n = N_2/N_1 \quad \dots\dots\dots (4)$$

とおくと、(1)~(4) (第5図) 軸受面の3ヶ所で軸受荷重を受けもった場合

$$\mu_a/\mu = (1 + 2n)/(1 + 2n \cos \alpha) \quad \dots\dots\dots (5)$$

を得る。極限の場合を考えれば

$$n \rightarrow \infty \text{ のとき } \mu_a/\mu \rightarrow 1/\cos \alpha$$

$$n \rightarrow 0 \text{ のとき } \mu_a/\mu \rightarrow 1$$

n, α の値をかえて、 μ_a/μ を(5)式から計算すると第6図を得る。

第4図の摩擦痕よりすれば α は 90° に近い値である一方 n の値は軸受の仕上がり寸法に関係し、軸受面の半径が成型収縮のために、軸の半径よりも小さくなればなるほど、軸受の変形によって軸をかむことの程度が激しくなり、 n の値は大きくなる。すなわち n の値をハッキリ知ることは困難であるにしても、軸受面の摩擦痕の状態

(第6図) みかけの摩擦係数

からして、 n が相当大きな値であったことだけは想像できる。したがって真の摩擦係数は小さくても、みかけの摩擦係数は非常に大きな値になることはあえてふしぎではない。

これらの事情を考慮すれば、第3図の実験結果において、デルリン製試片 #1, #2 が特に高い摩擦を示したことが理解される。またナイロン製試片 #3 は、第4図の示すように、軸方向両端部で接触が起こり、これが高摩擦の一因と考えられる。しかしほとんど全実験期間にわたって、きしり音を発生していたことからすれば、材質自身にも不都合があったものと推測される。2硫化モリブデン被膜をほどこしたナイロン製試片中、#4 はひどい片当りを生じ、部分的に2

硫化モリブデン被膜がとれてしまっていた。第4図の二重ハッチングの部分がそれである。第3図において 30 hr のころから摩擦が増加しはじめていたが、このころから被膜がとれはじめたものと思われる。#5 は全実験期間を通じて低摩擦であり、しかも安定した状態を示した。またその軸受面をしらべると、第4図のように、ほとんど中央部のみで接触し、軸の進行方向と逆の側でかるく当たっているだ

けである。このことは、第6図において n が非常に小さいことになり、軸受が軸を全然かんでいなかったことを意味する。

5. 軸受形状の検討

前章に説明したような実験結果が得られたので、試片 #5 のような接触を実現するために、積極的に軸受面にぬすみをつけることを考えた(第7図)。どうせ中央部だけで荷重をささえられるならば、それ以外の部分はぬすんでしまい、わざと3カ所のみで接触するようにさせしかも(4)式の n になるべく小さくなるようにしようというのである。成型の立場からしても、この方が収縮の不同を生じにくい。しかし第7図(a)のように両側

(第7図) 軸受形状の3種の改良

ともあてておく(試片 #6)と、万一寸法が過小になったとき、軸をかむ危険があるので、同図(b)のように片側だけ当るようにしたもの(試片 #7)と、(c)のように両側までぬすみを延長したもの(試片 #8)との3種を、もとの形状(第2図)の試片から機械加工して作った。材質はデルリンで、新しいチップのみを用いた。

実験結果を第8, 9図に示した。これらの図の摩擦係数の曲線からわかるように、摩擦は第2日目あたりから

(第8図) 実験結果(ぬすみの影響の比較)

- 試片 #6 の摩擦係数
- 試片 #7 の摩擦係数
- 試片 #8 の摩擦係数
- 軸受温度とその最初の温度との差 (図中には温度差と指示) 試片 #6
- 室温

一応安定した状態を示した。摩擦の値そのものは、試片 #6, #7, #8 の順に高くなっている。すなわち試片と軸との間の自由度が大きくなるほど、大きな摩擦を示した。これははじめの予想とはちがった結果であるが、軸受の寸法が適当であれば、むしろ自由度が少なくて位置の安定したものの方が良い成績を示すものと解すべきであろう。第9図の軸受面の状態がすべて良好であることから

試片 #8

試片 #7

試片 #6

(第9図)

軸受面の状態(2)

して、寸法はすべて適当であったことが推測される。なお試片 #5 と #6 とは摩擦係数がはじめに増加しているが、

これはみかけの接触面積が次第に増したためと考えられる。²⁻¹⁾ このことはまた前章の第3図の結果の一部にもあてはまることである。

第8図には試片 #6 の軸受温度差と実験時の室温とをも記入してある。軸受温度差というのは、熱電対で測定した各瞬間の軸受内の温度と、実験開始時に測った値との差である。通常このものを軸受温度上昇と呼んでいるが、本実験のような低速低荷重の場合、熱電対の示す温度は非常に低く、室温の変化の影響が入ってきて軸受温度上昇と室温の変化との和を示すことになる。それゆえ第8図には、上記の温度差と室温との両者をあわせ示した。これらの曲線からわかるように、熱電対の示す温度差は、摩擦熱による温度上昇よりもむしろ室温の変化を示している。いいかえれば熱電対を用いるかぎり、摩擦熱による温度上昇として、測定にかかる値は非常に小さい。真の摩擦面の温度はもっと高いはずであるが、熱電対がこの程度の値しか示さないとすれば、真の摩擦面温

度もデルリンの軟化点、溶融点にくらべて相当低い値であることだけは推測できる。それゆえ軸受温度を測定してもあまり意味がないので、以後は省略することにした。

6. むすみをつけた試片の連続回転試験

前章の結果にかんがみ、第7図(a)の形状の試片を第4章の4種類の材質の射出成型品から、むすみを機械

(第10図) 実験結果(むすみのある試片 連続回転)

加工して製作した。2硫化モリブデン被膜は、むすみ加工後、全円筒面にほどこした。

実験結果を第10, 11図に示した。第11図の軸受面の状態は、軸受が軸と良好な接触状態を保っていたことを示している。ナイロンに2硫化モリブデン被膜をほどこした試片 #11 は特に良好な接触を示している。一方摩擦係数は第10図の示すように、予想通り低い値を示し、しかも安定した状態を示した。その安定した状態における値は、デルリン 100/0 (試片 #6) で 0.21~0.25, デルリン 60/40 (試片 #9) で 0.27~0.29, ナイロン 60/40 (試片 #10) で

試片 #11
ナイロン 60/40 12
MoS₂ 被膜 試片 #10
ナイロン 60/40 試片 #9
デルリン 70/30 試片 #6
デルリン 100/0

(第11図) 軸受面の状態(3)

(第12図) 実験結果(間欠回転)

—○— 摩擦係数 —●— 相対湿度

試片 #15
ナイロン 60/40₁₂
MoS₂ 被膜 試片 #14
ナイロン 60/40 試片 #13
デルリン 70/30 試片 #12
デルリン 100/0

(第13図)

軸受面の状態(4)

0.27~0.28, これに二硫化モリブデン被膜をほどこしたものの(試片#11)は特に低く, 0.12~0.14 であった。最後のものが特に低摩擦を示したのは, 二硫化モリブデンの作用とともに, 第11図の示す良好な接触状態もあずかって力が大きかったものと考えられる。なおナイロン60/40の試験は実験の都合により2日目で中止した。

7. 間欠回転試験

以上の結果により一応目的が達成されたから, 最後にこれら4種の軸受について間欠回転試験を行ない, その性能を確かめることにする。ぬすみをつけた試片がなくなったので, ぬすみのない成型した軸受の中から寸法の正しいものを選びだした。材質は上記の4種類である。実験結果を第12, 13図に示した。第13図の軸受面の状態をみると, ナイロン60/40(試片#14)のみが良好な接触を示しているが, その他のものは完全に良好な状態ともいえない。

第12図の摩擦係数はすべて

安定した状態を示している。最後の10hrの摩擦係数はデルリン100/0(試片#12)は約0.23, デルリン70/30(試片#13)は約0.29, ナイロン60/40(試片#13)は約0.25, ナイロン60/40に二硫化モリブデン被膜をほどこしたものの(試片#14)は約0.25で, これらの値からすれば, 第13図の接触状態はすべて良好であったと考えてよいことになる。すなわち中央部以外でも当てはまっているが, これらの部分にはあまり大きな垂直力は作用してなかったものと想像される。

(第14図) ポリカーボネート軸受の実験結果(連続回転)

—○— 試片 #16 —●— 試片 #17 ● 音発生大 ○ 音発生小

第12図には実験時の部屋の空気の相対湿度をも記入しておいた。デルリンはほとんど吸湿しないが、ナイロンは吸湿⁵⁾するので、その影響をみるのが目的である。しかし摩擦係数の測定値とまわりの空気の相対湿度との間には、あまり明確な相関関係はみとめられなかった。

8. 補 遺

最近ポリカーボネートが機械部品用合成樹脂として市販されるようになったので、射出成型で作った試片に機械加工でぬすみをつけたものを試験した。しかし連続回転試験で、第14図の示すように、高い摩擦を示し、中には高いきり音を発生するものもあった。第14図には音を発生しない例として試片 #16 を、音の発生した例として試片 #17 をえらんで、その摩擦係数を示した。

高い摩擦係数が得られたので、毎日の実験終了後試片を試験機からはずして、その接触面をしらべたところ、摩擦が激しくて摩擦面はかなり拡大されていた。そこで軸受の接触部中央の肉厚を測ったところ、試片 #16 では48~53 hr の5 hr 間に0.3 mm、#17 では全試験時間15 hr 間に0.9 mm の減少を示した。またポリカーボネートの摩耗は、他のものが凝着摩耗を示したのに対し、切削摩耗で、切粉状の摩耗粉を生じた。これらの諸点からして、ポリカーボネートは本軸受にはとても使用できそうになく、他の一般の機械部品として摺動部に使用する場合にも十分注意することが必要と思われる。

9. む す び

以上しぼりローラ軸受の無潤滑時の摩擦特性の試験結

果を説明した。これらの結果を総合すると、つぎの結論が得られる。

(1) 軸受の形状を、成型収縮の制御の容易な形状にする(たとえばぬすみをつける)。

(2) 軸受材質としては、デルリンの新しいチップから射出成型したものが、低摩擦で安定した状態を示す。

(3) 二硫化モリブデン被膜をほどこすことも有効であるが、現在のところでは吸湿による寸法変化のおそれのあるナイロンにしか行なえない点に困難がある。

(4) 無潤滑時の摩擦係数としては、0.2~0.25 を期待することができる。

(5) 連続回転試験でもって間欠回転試験に代用し得る。すなわち摩擦熱の影響を無視できる。

(6) クリープの影響は大したことはない。

(7) ポリカーボネートは特に摩擦が激しくて実用できない。

これで無潤滑時の特性が明らかになったので、つぎには潤滑時の特性をしらべることが必要となる。その結果を第2報において報告することにした。

参 考 文 献

- 1) Derlin® Acepal Resins, Design and Engineering Data, E. I. du Pont de Nemours.
- 2) H. G. Howell; J. Text. Inst., **42**, T 521 (1951)
- 3) B. Lincoln, Brit. J. Appl-Phys., **3**, 260 (1952)
- 4) M. W. Pascoe, D. Tabor., Research, **8**, S 15 (1955)
- 5) たとえば、中村, 荒井; 機械学会誌, **66**, 843 (1963)