技術報告

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3報) 補 遺

会 員 中 島 衆 男**

1. は し が き

以前の報告^{1,2)}において一応研究目的は達成されたのであるが、ついでにしぼりローラ軸受に関連した二、三の問題をしらべてみた。

その1は最近市販されるようになったポリアセタール樹脂の一種セルコンを使用できるかどうかという点である。その2は、洗たく機しぼりローラ軸受の中にはナイロン6を用いているものもあるので、ナイロン6製軸受における添加剤の影響と生産上の問題をどう考えるべきかという点である。

これらの問題をしらべるために、第1報において説明した静荷重トルク レバー式軸受試験機を用いて、無潤滑時の性能を実験的に検討する。

2. 2種のポリアセタール樹脂の比較

比較したのはポリアセタール樹脂デルリン 500 (Du Pont 社) と共重合セルコン M 90-01 (Celanese 社) で、これらはいずれも射出成型用である。(本実験に用い

たセルコンは、ポリプラスチック社が Celanese 社との提携によりわが国において製造したもので、商品名はデュラコン呼ばれている)

セルコン軸受を第2報第1図に示した溝とぬすみの付いた形状に、射出成型品から機械加工して作り、無潤滑で連続回転試験を行なった。その結果と以前に行なったデルリン軸受の結果とを第1図に示した。ただしデルリン軸受中の1個(第1図下のもの)はぬすみのみ付けたものである。また図が見にくくなるのを避けるため、上下に図をわけて描いたが、このわけ方にはとくに意味はない。

この図によるとすべての試験軸受は安定した状態で動作していたことがわかる。セルコン軸受の1つが3日目の途中で摩擦係数に急激な変化を示しているが、その原因は不明である。さてデルリンとセルコンとを比較すると、部分的には逆転しているところもあるが、セルコンの方が若干高い摩擦を示している。なお1日 10 hr の実験を完了していない結果がまじっているが、これは実験の都合上中止したのであって、摩擦状態に異状をきたしたためではない。

セルコン軸受の第1回目の実験(第1図下)で、かなりの摩耗の形跡が認められたので、第2回目の実験(第1図上)において、軸受当り面の幅および肉厚の変化をそれぞれ顕微鏡およびマイクロメータで測ってみたところ、第1表の結果を得た。

第1表に示した摩耗量は、その測定精度はよくないが、それでもとにかく相当摩耗することが認められたので、この点を確かめるために同様

(第1図) 規準実験条件におけるデルリンとセルコンとの比較

* Frictional Behavior of Squeezing Roller Bearing of Electric Home Washers. Part 3: Supplement (第1報 17巻 2号, 第2報 17巻 4号所載)

** K. Nakajima, Member. 大阪府立大学工学部

(第1表) セルコン軸受の摩耗量

	試験時間 (hr)	幅の増加 (mm)	肉厚の減少 (mm)
第1日目	4	0.08	0.06
第2日目	8	0.015	0.095
第3日目	10	0.03	0.01

な実験を繰り返した。ただし今度は時間を短縮するため荷重のみ 100 kg に上げて実験した。

結果は第2図と第2表とに示すとおりである。第2図に示すように、この場合にも摩擦はセルコンの方が若干

(第2図) 過荷重条件におけるデリンとセルコンとの比較

高い。第2図において軸受温度上昇は約 5 hr くらいではほぼ定常状態に入っているが、摩擦の値は最後まで緩慢な上昇を続けている。この傾向は第1図についても若干認められる。ただし 10 hr 後の摩擦係数の値が少し高すぎるのは、高荷重のため軸受が多少軸をかんだためと思われる。なお第2図の軸受温度上昇が最後に若干の低下を示しているのは、第1報に説明したとおり気温の影響である。

(第2表) 摩耗量の比較

	セルコン		デリン	
マイクロメータによる肉厚の減少 (mm)	0.025	0.028	-0.010	0
投影器による肉厚の減少 (mm)	0.079	0.013	-0.033	-0.033
てんびんによる重量の減少 (mg)	2.6		-2.4	

10 hr の実験による摩耗量の比較は第2表のようになった。肉厚の減少が2つずつ記入してあるのは軸方向2個所で測った値である。デリンの摩耗量がすべて負となっていることは理解しがたい。膨潤も熱膨張も期待で

きないし、測定誤差とも考えられない。また2種の肉厚の測定値の間にも系統的な関係は認められない。この実験は実物試験であって純然たる摩耗試験ではないので、詳細の議論は避けた方がよいが、それでもセルコンの方がかなり多く摩耗したことは確かである。

以上を総合すると、射出成型用のデリンとセルコンでは、ここで取り上げた実験条件に対し、摩擦、摩耗の両面からみて、デリンの方が適していると考えられる。

3. 2種のポリアセタール樹脂軸受の荷重特性

前節の結果にかんがみ、30 kg 以外の荷重で用いた場合どんな結果が得られるかを、ついでに実験した。すなわち連続回転実験で回転数を 30 rpm に保ち、荷重のみ 10~200 kg に変える。この場合実験時間を前節におけるように非常に長くすることは、実際問題としては不可能であるので、各荷重に対して 1 hr とした。したがって 1 hr というのはまったく便宜的な値であって、理論的な意味は

まったくない。また 1 hr の間で安定した状態に達したからといって、それが以後どこまでも保持されるという保証はない。ただし軸および軸受をなるべく長時間なじませてから測定すれば、この種の危険が減少するものと考えられるので、以前実験に用いよくなじんだと思われる試片を利用した。試験した軸受の形状はぬすみのみを付したものである。

デリン軸受について得られた結果の一部を第3図に示した。荷重 90 kg と 180 kg との場合はそれぞれ2回ずつ実験したので、摩擦係数のみ2重に記入した。軸受温度上昇は○印の摩擦係数に対応するもののみ記入して混雑を避けることとした。これらの図から実験結果の再現性が見当がつく。

荷重がとくに大きくないかぎり軸受温度は 1 hr もたてば一応定常値に達し、摩擦係数はこの間ほとんど変化していないように見える。ただしこれが長時間の緩慢な変動中の短時間の一時的な定常状態かもしれないことは前述のとおりである。しかし一応これを定常状態とみなし、1 hr 後の測定値を荷重に対してプロットすると、第4図が得られる。ただし2回測定した場合はその平均値をとった。

この種の実験においてはよく認められるとおり、第4

(第3図) デルリン軸受の実験結果の一部

図の結果もかなりバラついているが、軸受温度上昇は荷重とともにほぼ直線的に増加し、摩擦係数もやや増加の傾向を示している。理論的には低荷重においても増加するはずであるが、本実験の最低荷重ではまだその傾向はあらわれていない。全般的にみると、やはりセルコンの方がやや高い摩擦を示している。また 1 hr 程度の連続

(第4図) デルリンとセルコンとの 30rpm における荷重特性の比較 (1)

回転ならば、いずれも最大 200 kg の荷重に耐え、音を発生したり、接触面を著しく損傷することもなかった。なお実験時間が短いため摩耗量は測定しなかった。

以上の実験に使用した軸は、前同様 20 中の S 45 C 軸であったが、何回も使用した軸で、表面の状態は研摩した軸と同程度であった。そこでラッピングした軸と同程度の表面状態の軸を使用して、上と同じ実験を行なった。ただし粗さ計が使用できなかったため、表面の状態は肉眼によって判断した。その結果を第4図と同じあら

4. ナイロン6における添加剤、添加方法の影響

しぼりローラ軸受としては、ナイロン6よりもデルリンの方がすぐれていることは、すでに説明したとおりであるが、荷重条件の比較的楽な洗たく機にはグラファイト入りナイロン6も用いられているので、ナイロン6における添加剤および添加方法の影響をしらべてみた。

もともとナイロン6はナイロン66に比べて潤滑性が劣るので、この不利を除去するためにグラファイトを混入することが考えられた。そのためにはグラファイトを重量比で少なくとも 10% 以上混入することが必要であるが、この程度にグラファイトを混入すると、でき上ったものは相当もろくなる。このとき同時にパラフィンを混入すると

(第5図) デルリンとセルコンとの 30rpm における荷重特性の比較 (2)

この傾向を軽減することができる。

以上の考えにもとづき、ナイロン6のチップに重量比15% (以下すべて重量比) のグラファイトと8%のパラフィンとを混入し、回転ドラム型の混合機でよく混合したものを射出成型し、ぬすみのみ機械加工によって付けた試片を作った。このものを前同様 30 kg, 30 rpm で連続回転試験したところ、第6図に示すように摩擦は上昇

(第6図) グラファイト入りナイロン6の連続回転試験の結果

し、ついには音を発するに至った。その他二、三の試片についてもこれと同様な結果が得られた。

このような結果にかんがみ、連続回転試験を間欠回転試験に切り換えることにした。

まず比較の基準として、ナイロン6の新しいチップから成型したものと再生チップから成型したものとを試験した。ついでに最近入手できるようになったガラス繊維入りチップのものを比較した。結果を第7図に示す。以

(第7図) 3種のナイロン6の間欠回転試験の結果

下試片はすべて射出成型で作ったものに、機械加工によりぬすみを付けたものである。

第7図の結果によれば、新しいチップよりも再生チップの方が低摩擦を示している。このことは経験的に知ら

れている事実と一致している。しかし再生チップの方が摩擦しやすいことも経験的に知られているとおりである。なお第1報に報告したナイロン 60/40 (再生チップ40%混入) の間欠回転試験の結果をみると、今回の新しいチップの結果よりも摩擦がやや高くなっているが、これら両者の製作、実験ともに時期的にかなりずれているので、その原因は不明である。ガラス繊維入りチップはもともとナイロンの耐熱性をよくするために開発されたものであるから、今回のような低荷重低速では効果のないことは予想されるところであって、かえって高い摩擦を示した。

まず添加方法の影響をみるために、ナイロン6とグラファイトとパラフィンとを混合機にかけたものと、混合機にかけないものを用いて比較した。今回は荷重を30 kg と20 kg との2種とした。結果を第8図上および中に示した。第8図上には比較のために第7図のナイロン6の結果をも記入してある。

グラファイトなどの添加の効果のあったことは第8図上の示すとおりである。もっとも第3日目の後半で大小为逆転し、音を発しているのが一時的なものかどうかは不明である。また混合機にかけてないものは摩擦が高く、とくに30 kg の場合第2日目の終わり方から音を発している。この点をいまいち詳しくしらべるために、これら2種の軸受面を顕微鏡で観察した。第9図にその代表的な写真を示した。これらの写真によれば、白く光って見えるのがグラファイトであるが、混合機にかけたものの方が、グラファイト粒がよく分散されていることがわかる。したがって混合機にかけたものの方が良い成績を示したのは、この点に起因するものようである。

射出成型機がプランジャタイプからスクリュタイプにかわったが、スクリュのかくはん効果はもちろん期待はできるとしても、混合機を使用する程度には期待できないことが知られる。

パラフィンをグリース (リチウムせっけん基) にかえたものの結果を第8図下に示した。この場合は混合

機を省略した。グラファイトの添加量15%のものは、はじめの2日間は安定した状態を示したが、第3日目において摩擦が急激に増加し音を発した。8%のものについては、予想どおり15%のものよりも劣った結果しか

- ナイロン 6 (新しいチップ)
 ● ナイロン 6 + 15% グラファイト + 8% パラフィン (混合機使用)
 ● ナイロン 6 + 15% グラファイト + 8% パラフィン (混合機省略)
 ● ナイロン 6 + 15% グラファイト + 8% グリース
 ● ナイロン 6 + 8% グラファイト + 4% グリース
 全ての棒は音の発生を示し、上下に 2 個ついているのはその程度の激しいことを示す

(第 8 図) ナイロン 6 における添加剤および添加方法の比較

混合機使用 混合機省略
 (第 9 図) グラファイト添加ナイロン 6 軸受表面の顕微鏡写真 (×250)

得られなかった。

また第 8 図の中と下とを比較すると、パラフィンとグリースとの効果の差異が判明する。すなわち全般的に言えば、ここに用いたグリースよりもパラフィンの方が良い結果を与えている。ただしグリースの場合、混合機を省略したものしか試験していないので、混合機を使用した場合どうなるかという点は不明である。混合機を使用しない場合を、グラファイト添加量 15% のものについて比較すると、第 2 日目まではむしろグリ

ース添加のものの方が若干低摩擦であった。しかし第 3 日目において不安定な状態になったので、総合的にはパラフィンの方に軍配が上げられる。しかし耐熱グリースなどグリースの種類をもっとひろく実験し、混合機の使用をも検討しないと、最終的な結論は下せない。

最後に以上の結果をデルリンの結果と比較するために、20, 30 kg の 2 種の荷重について改めてデルリンの実験を行なった。結果を第 10 図に示す。荷重 30 kg の場合はすでに第 1 報においても実験しているので今回の結果をそれと比較すると、やや低い結果が得られていることになる。第 10 図の結果を第 8 図のそれと比較すると、荷重 20 kg では混合機を使用したグラファイトとパラフィン入りのナイロン 6 の方が、デルリンよりもわずかながら低い摩擦を示している。荷重 30 kg においても第 3 日目の後半を除いて低い摩擦を与えた。これらの結果よりすれば、低荷重でしぼるような構造のしぼりローラでは、添加剤入りナイロン 6 を使用することも可能と考えられる。

5. 2 種のナイロン 6 樹脂軸受の荷重特性

前節の結果の示すように低荷重においては、添加剤入りナイロン 6 を使用できそうであるので、混合機を使用しグラファイト 15% とパラフィン 8% とを添加したナイロン 6 と、何も添加していないナイロン 6 との荷重特性を、第 3 節におけると同じ方法で試験し、これらの両者同志およびこれら両者とデルリンとの比較を行なった。試片には前同様機械加工によってぬすみのみ付けた。軸は S45C 研摩軸である。

○ 荷重 20 kg の場合 ● 荷重 30 kg の場合
 (第 10 図) デルリンの間欠回転試験の結果

○ 摩擦係数 ● 軸受温度上昇 (°C)

摩擦係数の記号の中にたて線が入っているのは音の発生を示す。また記号の上に矢印のついているものは 1 hr の終わりにおいて、なお緩慢な増加を続けていたことを、二重の矢印は途中ですでに急激に増加したことを示す

(第 11 図) ナイロン 6 とグラファイト入りナイロン 6 との 30 rpm における荷重特性の比較

結果を第 10 図に示す。摩擦はナイロン 6 のみの方が心持ち高いという程度である。しかし音の発生、軸受温度上昇ないしは摩擦係数の急激な増加のはじまる荷重はナイロン 6 のみではそれぞれ 30, 80 kg であるのに対して、添加剤入りのものではそれぞれ 70, 110 kg と高く添加したグラファイトの効果があらわれている。しかし第 4 図のデルリンの結果に比べると、はるかに低い荷重にしか耐えないことがわかる。添加剤入りナイロンの限界荷重を 60 kg とし、軸受圧力の計算に当り面の面積 1 cm^2 を用いると、限界 PV 値として、 $3.8 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{m/sec}$ が得られる。これに対してデルリンのそれは $12.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{m/sec}$ 以上となる。ただしデルリンとナイロンとで、負荷限界にこのような大きな差異があらわれるのは、低速の場合であって、高速になるとその差は小さくなるものと思われる。

6. む す び

以上の実験結果をまとめると、つぎの結論が得られる。

まず 2 種のポリアセタール樹脂の比較に関しては

- (1) 摩擦は両者で大差はないが、セルコンの方がやや高い。
- (2) セルコンの摩耗はかなり大きい。

(3) 両者とも摩擦係数は荷重とともにやや増加する。

(4) 両者とも 200 kg までの荷重には耐える。

(5) ある程度以上なめらかな軸であれば、軸の表面粗さの影響は少ない。

つぎにナイロン 6 における添加剤および添加方法の影響に関しては

(1) グラファイトを 15% 程度添加する方が、純ナイロン 6 よりも良い成績を示す。

(2) この際パラフィンを添加する方が、グリースを添加するよりも有効である。

(3) グリース添加の場合もグラファイトは 15% 程度は必要である。

(5) ガラス繊維入りナイロン 6 は良い成績を示さない。

(6) ナイロン 6 の再生チップを使用したものは、新しいチップを使用したものより低摩擦である。

以上を総合すると、しばらくローラ軸受としては

(1) 現状ではデルリンの方がセルコンよりもまさっている

(2) 低荷重の場合には、安価なグラファイト入りナイロン 6 を使用することも可能であるとの結論に達する。

本実験を行なうに当って、旭ポリスライダー製作所森秀雄氏より多大の便宜を与えられた。また測定には、小倉康哉、難波富士雄の両君をわずらわした。本実験に使用したグリースは丸善石油より提供された。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 中島榮男; 本誌, 17, 146 (1964)
- 2) 中島榮男; 本誌, 17, 298 (1964)
- 3) たとえば C. Rubenstein; Proc. Phys. Soc. B, 69, 921 (1956)