(昭和40年6月22日受理)

脂肪酸による繊維の潤滑について

東京工業大学 久世 栄一・古島 昭雄

ON THE LUBRICATION OF FIBRE WITH FATTY ACIDS

By Eiichi Kuze and Teruo Furushima

(Tokyo Institute of Technology, Ōokayama, Meguro-ku, Tokyo, Japan)

The investigation were made of the friction of fibres lubricated with linear chain fatty acids, and the relations between the number of carbon atoms in fatty acid and the friction coefficient are discussed.

1) The friction coefficient diminishes as the number of the carbon atoms increases, reaches a minimum value, and then increases slightly. The number of carbon atoms for the minimum value (i. e. transition carbon number) depends on the temperature, the higher the temperature the larger the carbon number at which the minimum value will be reached.

It seems that the relation between the carbon number and the friction coefficient corresponds with the relation between the temperature and the friction coefficient. This means that the transition carbon number corresponds with the transition temperature.

2) The static friction is higher than the kinetic friction, and the transition carbon number for the static friction is larger than that in the kinetic friction.

It seems that the relation between the sliding speed and the transition carbon number corresponds with the relation between the sliding speed and the transition temperature.

3) The transition carbon number increases as the pressure at the true area of friction contact increases.

This fact corresponds with the relation between the load and the transition temperature.

(Received June 22, 1965)

1. 緒 言

もつとも構造簡単でかつ基礎的な潤滑剤としてパラフィン、アルコール、脂肪酸などがしばしば実験^{1,2,3}などに供されてきた。特にその分子の大きさと摩擦との関係が調べられた。それらにおいては大部分摩擦の対象として金属あるいはガラスなどが用いられたが、ここでは高分子物質である繊維を対象として取り扱ひ、直鎖状飽和脂肪酸を潤滑剤として用いた。脂肪酸はパラフィン、アルコールなどと比べてその極性から摩擦物体に対する吸着力が強いと考えられ、したがって不純物に対してはほかのものより鈍感であると考えられるからそれだけ取り扱ひが楽なはずである。

一般に運動摩擦においては直鎖状飽和脂肪酸の炭素数の増加に対して、摩擦係数は直線的に下降し、ある炭素数以上になつると一定値を保つようになるようである。この脂肪酸炭素数—運動摩擦係数関係における転移炭素数は菅⁴、桜井—古沢⁵によると摩擦物体に対して

表面膜を構成する潤滑剤分子の配列と対応し、また Bowden-Tabor¹⁾によるとこの表面膜分子の配列とその融点とが対応するといわれる。すなわち脂肪酸炭素数—運動摩擦係数関係における転移炭素数は脂肪酸膜の融点と一致することになる。

つぎに静止摩擦をみると、脂肪酸炭素数の増加に対して直線的に減少するもの^{6,7)}と直線的減少の後一定値にたつするもの⁸⁾とがある。これについて Bowden-Tabor¹⁾は前者すなわち脂肪酸炭素数の増加につれて零摩擦にはならず、後者すなわちある有限な値に到達すべきであると述べている。運動摩擦および静止摩擦の間の関係は常に運動摩擦が静止摩擦より低く^{7,8}など、脂肪酸炭素数の増加に対する減少傾向はそれぞれ同じ場合⁶⁾もあるが静止摩擦のほうがゆるやかに減少する場合⁷⁾もある。以上のような脂肪酸炭素数の影響を測定雰囲気の種類を変えて繊維について調べた。

真実摩擦面の圧力は表面膜分子配列の攪乱に関係するのではないかと考えられるが、これについて調べるため

に直径の異なる繊維および硬さの異なる物体の潤滑摩擦を測定した。すなわち脂肪酸炭素数—静止摩擦係数関係における転移炭素数の相違となつて表われるはずである。潤滑摩擦の測定において、測定時の温度を上昇させて行くと表面膜の融点付近において摩擦力が急上昇するのが普通であるが、この温度を転移温度とするとこの値は荷重の増加によつて低下することが報告⁹⁾ されている。この転移温度と転移炭素数とは対応するはずである。したがつて圧力の増加によつてこの転移炭素数は高くなるものと思われる。これについて調べた。

2. 繊維対繊維の運動摩擦および静止摩擦

2-1. 実験

試料繊維としては温度湿度の変動に対して力学的性質、(勿論摩擦も) があまり変わらず、さらに油漬付着によつて膨潤し難いものが望まれるわけであるが、ここでは P.E.T. (テトロン) 20d モノフィラメントを用いた。摩擦の測定は Röder 法¹⁰⁾ によることとし、Fig. 1 に示すような直径 16 mm 長さ 25 mm の中凹みの円筒に試料繊維 60 本を円筒軸方向に一定張力 (20 g) で並べツミ状のものを準備した。別にかね糸となるべき繊維も用意した。境界潤滑を問題とするときは試料の表面を完全にきれいにし、ほかの付着物を取り除く必要がある。よつて試料繊維はアルコール・ベンゾール (1 :

Fig. 1. Schematic diagram of the cylinder made of fibre and a hanged fibre.

1) で 8 hr ソックスレーの装置を用いて洗浄した。そのほか清浄にすべき所は蒸留した四塩化炭素によつてきれいにした。

実験に用いた直鎖状飽和脂肪酸は各炭素数に応じて融点を測定し妥当な値にあるかどうかを確かめた。妥当な融点からはずれている 2, 3 のものについては再結晶法によつて純度を上げた。清浄にした試料をこの脂肪酸の四塩化炭素飽和溶液または濃厚溶液に浸せきし、取り出した後乾燥、余分の脂肪酸は清浄な口紙で除去した。

以上のように準備した試料について終張力が 500 mg となるような錘りをかけ糸となるべき繊維に付け円筒に

Fig. 2. Effects of chain length on the coefficients of kinetic and static friction. P.E.T. fibre-P. E.T. fibre lubricated with a fatty acid.

ぶらさげた。ついで約 20 sec この円筒を回転させ互いをなじませた後運動摩擦を与えるべき初張力を測った。摩擦速度は 2 cm/sec とした。つづいて静止摩擦の測定は 2 度行なつた。すなわち 1 本のかけ糸について運動摩擦の測定を 1 回、静止摩擦の測定を 2 回行なつたことになる。このような測定を同一試料円筒に対して数本の試料繊維について行ない、さらに試料円筒は数回変えた。測定雰囲気は 5°C、20°C、35°C の各温度に対し湿度はそれぞれ 65% RH である。それらの変動は $\pm 1^\circ\text{C}$ 、 $\pm 5\%$ RH 以内であつた。

2-2. 結果および考察

各脂肪酸炭素数、温度における測定値の平均から計算した摩擦係数を Fig. 2 に示した。繊維類は一般に荷重によつて摩擦係数が変わる¹¹⁾がここでは結果に大きく影響しないだろうと考えられるから、摩擦係数一定としてノミナル値を出した。

まず運動摩擦をみると、脂肪酸炭素数の増加に対し摩擦係数は直線的に減少し、ついでほぼ一定値に到達するようであるが、詳しくはこの到達値は高温におけるほどわずかではあるが小さい。また炭素数の増加に対しわずかに増大する。直線の折れ点すなわち転移炭素数を見るとその炭素数における脂肪酸の融点は測定温度より 10 数度高い。これは白金に対する脂肪酸膜の配向消失温度がそのバルクな融点より約 10°C 低い^{12,13)}ということと対応するのか、摩擦速度の効果⁹⁾ すなわち速度の小なるほど転移温度が低いという実験結果と対応するのかであろう。

つぎに静止摩擦を見ると、脂肪酸炭素数の増加に対し摩擦係数は直線的に減少し、ついでほぼ一定値に到達する。そしてこの到達値は炭素数の増加に対しわずかに増大し、また高温におけるほどこの値はわずかではあるが小さいと予測される。さらに 5°C の場合の転移炭素数 16 と 20°C の場合の転移炭素数と予想される 22 との間の脂肪酸の融点の差は雰囲気温度の差に等しい。これらは運動摩擦の場合と似ている。しかし運動摩擦に比べ摩擦係数の減少の勾配はゆるく転移炭素数は高い。そしてすくなくとも同一温度においては常に静止摩擦のほうが大きいものと思われる。運動摩擦、静止摩擦における転移炭素数の相違は転移温度の速度効果⁹⁾ から説明できるのではなからうか。すなわち摩擦速度の減少にともなつて転移炭素数は高くなるものと思われる。Fort の行なつた低速度の実験結果¹⁴⁾はこれを予想させる。運動摩擦、静止摩擦に共通なグラフの形は有機膜の摩擦に関する温度特性^{15,16)}——温度の上昇に対して摩擦は最初やや減少し、ついである温度すなわち転移温度において急上昇する——と対応をなすものと考えられる。

TEST SPECIMENS

Fig. 3. Schematic diagram of the slider.

3. 摩擦面の圧力の影響

3-1. 実験

繊維としてナイロン 88 d (0.1 mmφ) および 2,200 d (0.5 mmφ) を、これより硬いものとして白金線 (0.2 mmφ) を用いた。これらを Fig. 3 に示すような 3 点支持スライダにして、顕微鏡用スライドガラスの上をすべらせその静止摩擦をストレンゲージによつて測つた。

実験に用いたスライドガラスはまず石ケンでよく洗浄し、アルコール・ベンゾール (1 : 1) を用いて 8 hr ソックスレーの装置によつて清浄にし、ついでガス焰であぶつた。一方スライダはアルコール・ベンゾール (1 : 1) で 8 hr ソックスレー洗浄した。そのほか実験にさいして直接間接摩擦面と触れるものはソックスレーで洗浄するかまたは蒸留四塩化炭素で洗浄した。きれいにしたテストピースは大型シャーレの中にもうけたガス焰であぶつて清浄にした白金線の台の上にたくわえた。所定の直鎖状飽和脂肪酸は固体状のものは熔融してガラス上に付着させ余分は清浄な口紙で拭き取つた。いわゆる塗布膜を作つた。この上にスライダを 2~30 sec 間のせてスライダの方にも油剤を着けた。油剤付着後 1 hr たつてから実験を始めた。

水平にした重い鉄板上に清浄な口紙をしき、その上に実験しようとするスライドガラスをのせ、荷重 200 g でスライダを静置した。この静置の時間は各 5 分とした。速度 0.025 cm/sec でこれを引つ張りその時の静止摩擦を測る。滑り距離約 4 cm の間に 8~9 辺の静止摩擦の測定を行なつた。これらの測定は塗布膜の処女面を用いた。このような実験を各脂肪酸炭素数、スライダに応じてデータのバラツキを考慮して 3~6 度行なつた。測定の雰囲気は 20°C、65% RH である。

3-2. 結果および考察

各脂肪酸炭素数、スライダにおける測定値の平均から計算した静摩擦係数の値を Fig. 4 に示す。データ数が必ずしも十分ではないので決定的なことはいえないが、転移炭素数はスライダが白金、ナイロン細、ナイロン太の順番で低くなつていく。また低炭素数におけるグラフ

の勾配もこの順で大きくなっている。

Fein-Rowe-Kreuz⁹⁾の実験によると荷重の増加に対して転移温度は低くなることがわかっている。真実摩擦面の圧力はナイロン太、ナイロン細、白金の順で大きくなるから本実験における転移炭素数の相違はこの圧力の相違によるものと考えてよいだろう。しかし2つのナイロン試料の間はかなり大きな差のあることは疑問として残る。低炭素数における勾配の相違も圧力の差によるのかも知れないが、これは大いに疑問だ。卑金属を脂肪酸で潤滑すると普通脂肪酸の金属石ケンができ摩擦挙動は脂肪酸膜の場合とは大幅に変わるものであるが、本実験においてはそのような心配はなくともナイロンと白金で脂肪酸を引き付ける力が異なることは十分想像される。Bowers-Clinton-Zisman¹⁷⁾はナイロンは adsorption site がはなれているので吸着力が弱いということを述べて

いる。ナイロンに対して白金のほうが吸着力が強いとすると転移炭素数はより低く表われるはずである。よって転移炭素数の圧力依存性は存在するものと考えてよいだろう。

良好な潤滑剤によつて潤滑された面をせん断する力はその圧力の増加によつて増加する傾向^{18,19,20)}がある。摩擦力は真実摩擦面の面積とこれをせん断するに要する力によつておおむね決定されるから、良好な潤滑剤によつて潤滑された面の摩擦は大きく異なるはずはないものと考えられる²⁾。本実験の高炭素数における摩擦係数はこれを表わしているものと思われる。

4. 結 言

直鎖状飽和脂肪酸による繊維の潤滑摩擦を調べ、脂肪酸炭素数と摩擦係数の間の関係について論じた。

1) 摩擦係数は脂肪酸炭素数の増加に対して直線的に減少し、ついでやや微増はするがおおむね一定値に急変する。この急変する点転移炭素数は測定雰囲気温度に対応し、雰囲気が高温の場合は高炭素数に移動する。また転移後の摩擦係数は高温に対していくぶん下がる。

これら炭素数—摩擦係数関係は温度—摩擦係数関係と対応をなすものと考えられる。すなわち転移温度と転移

Fig. 4. Effects of chain length on the coefficient of static friction. Nylon or platinum slider sliding on a glass plate.

炭素数が対応する。

2) 静止摩擦は運動摩擦に比べて大きい。そして静止摩擦の転移炭素数は運動摩擦のそれより高い。

これら摩擦速度—転移炭素数の関係は摩擦速度—転移温度の関係と対応する。

3) 真実摩擦面の圧力の増加は転移炭素数を高くする。これは荷重—転移温度の関係と対応するものと思われる。

文 献

- 1) F. P. Bowden, D. Tabor (曾田範宗訳); 固体の摩擦と潤滑, 丸善 (1956)
- 2) F. P. Bowden, D. Tabor; The Friction and Lubrication of Solids (II), Oxford University Press (1964)
- 3) 曾田範宗; 摩擦と潤滑, 岩波 (1954)
- 4) 菅義夫; 理研報, 22, 199 (1943)
- 5) 桜井俊男, 古沢昭; 工化誌, 55, 309 (1952)
- 6) W. B. Hardy, I. Doubleday; Proc. Roy. Soc., A 100, 550 (1922)
- 7) 曾田範宗, 岡本昇二; 応用物理, 15, No. 3-4, 9 (1946)
- 8) 桜井俊男, 石崎正規, 馬場哲郎; 燃料協会誌, 31 554 (1952)
- 9) R. S. Fein, C. N. Rowe, K. L. Kreuz; Amer. Soc. Lubric. Engrs. Trans., 2, 50 (1959)

- 10) H. L. Röder ; *J. Text. Inst.*, 44, T 247 (1953)
11) H. G. Howell, K. W. Mieszkis, D. Tabor ; Friction in Textiles, Butterworths Scientific Publications (1959)
12) J. W. Menter, D. Tabor ; *Proc. Roy. Soc., A* 204, 514 (1950)
13) J. V. Sanders, D. Tabor ; *Proc. Roy. Soc., A* 204, 525 (1950)
14) T. Fort, Jr. ; *J. Phys. Chem.*, 66, 1136 (1962)
15) T. Fort, Jr., J. S. Olsen ; *Text. Res. J.*, 31, 1007 (1961)
16) 古賀正三, 上村欣一 ; 応用物理, 23, 508 (1954)
17) R. C. Bowers, W. C. Clinton, W. A. Zisman ; *Ind. Eng. Chem.*, 46, 2416 (1954)
18) A. Cameron ; *Amer. Soc. Lubric. Engrs. Trans.*, 2, 195 (1960)
19) E. Rabinowicz ; *Lubrication Eng.*, 10, 205 (1954)
20) J. Boyd, B. P. Robertson ; *Trans. Amer. Soc. Mech. Engrs.*, 67, 51 (1945)
-