織 維 学 会 誌

昭和42年2月 第23巻 第2号 (通巻第249号)

報 文

(昭和40年12月1日受理)

潤滑剤の分子鎖長がナイロン繊維の潤滑摩擦におよぼす影響

東京工業大学 久世 栄一・古島 昭雄

EFFECTS OF CHAIN LENGTH OF FATTY ACIDS ON THE
LUBRICATING FRICTION OF NYLON FIBRES.

By Eiichi Kuze and Teruo Furushima

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

The kinetic frictions of lubricated surfaces of solids were measured and the differences in the friction between low energy surfaces like fibres and high energy surfaces like metals were investigated. Straight-chain fatty acids and these copper soaps were employed as lubricants.

If new lubricant is not formed on the lubricated surface by the reaction of the lubricant with the surface of the solid, the chemical property of the surface has the following influences on the friction:

1. When a good lubricant that has long enough chain length is employed, the property of the surface has no influence.
2. When a poor lubricant that has short chain length is employed, the lubrication of fibres is more difficult than that of metals. And the friction of poorly lubricated fibres is higher than that of metals.

(Received December 1, 1965)

1. 緒 言

繊維は金属などと比べ潤滑し難いといわれ、潤滑による摩擦低下の小さいことが知られている¹⁾。これは繊維においては摩擦物体間の真実接触面のせん断強度が潤滑によつてもあまり低下しないためだとされている。本報では繊維の潤滑し難さを観点を变えて、真実接触面のせん断強度が物体表面の化学的性質によつてどのように影響され、ひいては摩擦に影響するかを調べる。繊維の表面は金属やガラスなどと比べて不活性であるから、潤滑の難易に違いがあるのではないかと思われる。このような低エネルギー表面の潤滑摩擦が高エネルギー表面の潤滑摩擦とどのように異なるかを脂肪酸および銅石けんを潤滑剤としたときについて調べた。

凝着理論²⁾によると摩擦力は摩擦物体間の真実接触面積とそこのせん断強度との積によつて表わされる。したがつて真実接触面積が同じならば物体表面の化学的性質

がどのように真実接触面間の潤滑膜せん断強度に影響するかは摩擦力によつて表わされるはずである。ここで問題となる真実接触面間の潤滑膜の構造は次のようなものと考えられる。良好な潤滑剤を用いたときは完全に物体表面はおおわれ接触面は潤滑膜によつて隔てられているから摩擦力はこの潤滑膜のせん断にのみ依存するが、不良な潤滑剤によつて潤滑されているときは一部潤滑膜の破断が起こり摩擦物体の直接接触面のせん断の項と完全潤滑面のせん断の項によつて摩擦力が決まる^{2,3)}。潤滑膜の破断の程度を決定するものに潤滑膜の強さが考えられるが、これに影響する因子の一つとして物体表面の潤滑剤分子を引きつける力があると思われる。この吸引力は与えられた潤滑剤に対して物体表面の化学的性質すなわちおおざっぱには表面エネルギーによつて決まるものと考えられる。よつてこの表面エネルギーを変えた場合の膜破断の程度は摩擦力の変化となつて現われるはずである。

2. 実 験

繊維としてはナイロン 88 d(0.1 mmφ) をえらび、これを3点支持スライダに加工した。固定試片としては厚さ0.5 mmのナイロン・フィルム、顕微鏡用スライド・ガラス、ベンガラで研摩した銅板を用いた。そのほか銅板を150°C 30分間置いて酸化銅を付けたもの、銅板に厚さ1μの白金メッキをしたのち軽くベンガラで研摩したもの、ベンガラで研摩した鉛板も用いた。またナイロン繊維のスライダのほかに銅線を酸化させたもの、銅線に1μ厚さの白金をメッキしたものも参考のため実験に供した。これらのスライダを荷重100 g、速度0.01 cm/secで固定試片上を滑らせ、そのときの運動摩擦力を測った。潤滑剤としては直鎖状飽和脂肪酸およびその銅石けんを用い、固定試片に溶解塗布した。測定雰囲気は25°C、65% RHとした。そのほか試片の清浄法、潤滑剤の付け方などは同一著者によるほかの場合⁵⁾と同じである。

3. 結 果

潤滑剤分子の鎖長がちがう場合、固定試片のちがいは運動摩擦係数の相違を次に示す。脂肪酸で潤滑したナイロンおよびガラス板に対するナイロン・スライダの

Table 1. Effects of chain length on the coefficient of kinetic friction.

	Platinum on platinum	Copper oxide on copper oxide
Copper caproate	0.113	0.139
Copper stearate	0.049	0.046

運動摩擦係数を Fig. 1 に、銅石けんで潤滑したナイロンおよび銅板に対するナイロン・スライダの運動摩擦係数を Fig. 2 にそれぞれ示した。また Fig. 2 にはナイロン、銅板の場合を補足する意味で酸化銅、白金、鉛板を固定試片とした場合についても示した。参考のために行なつたスライダ、固定試片ともに酸化銅被覆銅および白金被覆銅の場合の銅石けんによる潤滑運動摩擦係数を Table 1. に示す。

Fig. 1 において、固定試片の表面エネルギーは、ガラス>ナイロン となつているものと推定されるが、運動摩擦係数はステアリン酸およびベヘニン酸のような分子鎖長の長いものではほとんど変わらない。これに対して

Fig. 1. Effects of chain length on the coefficient of kinetic friction. Nylon fibre on nylon and glass plates, lubricated with fatty acids.

カプリン酸およびラウリン酸のような分子鎖長の短かいものではかなりの相違が見られる。参考のために行なつた金属の潤滑摩擦 Table 1. についても同様のことがいえる。ここで用いられた摩擦物体の表面エネルギーは白金>酸化銅と推定されるが、運動摩擦係数は分子鎖長の長いステアリン酸銅ではほとんど変わらず、分子鎖長の短いカプロン酸銅において違いを見せている。次に Fig. 2 を見ると、分子鎖長が短くなるにつれて摩擦係数は増大している。そしてこの傾向は固定試片が銅、酸化銅、白金の場合は一様に、ナイロン、鉛の場合は分子鎖長の短いカプリル酸銅付近で急増しているものとみられる。固定試片の表面エネルギーは白金>銅>酸化銅>鉛>ナイロンの順と推定される。

4. 考 察

摩擦力を決定するものは主に真実接触面積とそのせん断強さであつた。まず真実接触面積について考えるとこれは摩擦物体の硬さと表面形状が影響する。高分子物質は一般に液体油剤の浸透によつて軟くなり接触面積を増すものである^{4,6)}から、ナイロン板は潤滑剤を溶融塗布するときこの浸透が起こり接触面積の増加から摩擦の増加をきたすおそれがある。Fig. 1, 2 のナイロン板についてはこれを考慮しなければならないだろう。また

鉛板においてもその硬度から接触面積はほかのものより大きいかもしれない。しかし分子鎖長が長いときの摩擦係数の相違は Fig. 2 のナイロン板の場合を除いてほとんどみられないから接触面積はおおむね等しいものとみてよいだろう。Fig. 2 においてナイロン板の場合摩擦係数が大きいのは表面形状の相異による接触面積の差によるものと思われる。潤滑剤の種類を変えても接触面積は同じだと考えられるから潤滑膜の状態を比較するためには摩擦係数を対数にとつたほうが便利である。Fig. 2 はそうなっている。次に潤滑膜のせん断強さに影響する膜厚さを考えると、これは asperity 前面に潤滑剤が押し込まれる作用いわゆるクサビ作用⁶⁾の影響を大きく受ける。これはここでは摩擦物体の表面形状に依存するものと考えられるが、それはほぼ等しい状態にあるのではないと思われる。なお摩擦物体の軟らかさが増せば潤滑膜の厚さはクサビ作用の働きぐあいから厚くなるはずである。そうなると膜の破断は起こり難くなる。また硬さが増せばこの逆になり、潤滑剤分子鎖長が短くなるにつれて摩擦係数の急増するいわゆる転移炭素数が大きくなる⁷⁾。膜破断は摩擦係数の急増となつて現われる。こう考えてくると膜破断の起こりやすさは摩擦物体表面の化学的性質によるのではないかと推察される。表面の化学的性質を決める表面物質は銅において酸化銅、鉛におい

Fig. 2. Effects of chain length on the coefficient of kinetic friction.
Nylon fibre on plates of nylon, copper etc., lubricated with copper soaps.

ては酸化鉛とみるべきかもしれないが、表面エネルギーを問題にしたときその大きさの順位は全体として変わらないとみられるから大体の傾向をつかむためには支障ないものとしてよいだろう。

以上のように表面の化学的性質の影響のみを分離することは困難であるが、次のようなことがいえると思われる。分子鎖長の長い良好な潤滑剤においては下地表面の化学的性質の影響はないものと考えられる。これに対して分子鎖長の短い不良な油滑剤においては下地表面の化学的性質の影響を受けるものとみられる。そしてこれは表面エネルギーの小さいほど摩擦係数が大きく現われる。別言するならば転移炭素数が表面エネルギーの小さいほど大きいといえる。

一般に摩擦に影響する潤滑膜構成分子の性質として

- a. 吸着した潤滑膜中の分子側面間の凝集力
- b. 分子末端と摩擦物体表面の吸引力
- c. 吸着膜外側の表面エネルギーまたはせん断力

の3つが考えられる。ここで問題となつているのは潤滑剤分子末端と摩擦物体表面の吸引力であるが、潤滑剤分子鎖長の十分長いものでは分子側面間の凝集力が大きいので摩擦物体間の圧力に耐えて物体表面はほとんど完全に潤滑剤でおおわれているものと考えられる。したがって摩擦力は吸着膜の外側の性質のみの影響を受けることになる。これに対して分子鎖長の不十分なものでは分子側面間の凝集力が不十分なため潤滑膜は弱く、摩擦物体の圧力によって物体の一部直接接触が起こるものと考えられる。そして物体表面の潤滑剤分子にたいする吸引力に差があれば潤滑膜の強さに差が生じ、膜破断の程度が異なってくるものと考えられる。これが摩擦力の差となつて表われているものと解釈される。すなわち摩擦物体の直接接触面のせん断強度は一般に潤滑膜のせん断強度よりも大きいから、物体表面の吸引力が弱く膜破断が大きければ摩擦はより大きくなるものである。物体表面の表面エネルギーの小さいことはおおざっぱにいつて潤滑剤分子に対する吸引力が小さいことを意味するから、潤滑膜は弱くしたがって摩擦はより大きくなるものと考えられる。このようにして繊維のような低エネルギー表面をもつものはそうでないものと比べ条件が同じならば潤滑剤分子鎖長の短いものにあつては摩擦がより大きくなることが理解できた。また潤滑剤分子鎖長の長いものでは影響がないことがわかつた。ただし銅と脂肪酸の場合のように潤滑膜が銅石けんとなるような化学変化を起こす場

合は、与えられた潤滑剤とは異なつた潤滑剤によつて潤滑されているものと考えなければならないことに注意を要する。

このような潤滑剤の分子末端と物体表面との吸引力の摩擦に及ぼす影響は、同一物体表面に対する分子末端の異なる潤滑剤の摩擦についても見られる。直鎖状の脂肪酸、アルコール、アミンなどはその炭素数が多いときは全て同一の摩擦係数を与えるのに対して炭素数が多くないときは物体表面に対する分子末端の吸引力の差によつて吸引力が大なるほど摩擦係数は小さく表われる^{8,9,10}。結局物体表面の化学的性質も潤滑剤分子末端の化学的性質も、吸引力による分子配列の点において摩擦に対して似たような作用をするものと考えられる。

5. 結 言

繊維のような低エネルギー表面の潤滑摩擦は金属などのような高エネルギー表面の潤滑摩擦とどのように異なるかを、炭素数のちがう直鎖状の脂肪酸および銅石けんを潤滑剤として調べたことがわかつた。ただし下地表面と潤滑剤の間に化学反応が起こらない場合とする。

- 1) 分子鎖長の十分長いような良好な潤滑剤においては下地表面の影響はうけない。
- 2) 分子鎖長が十分長くないような不良な潤滑剤においては下地表面の影響をうけ、繊維は金属などよりも潤滑し難く摩擦は大きい。
- 3) これら潤滑剤炭素数と下地表面の摩擦に及ぼす関係は、潤滑剤炭素数とその分子末端の性質とに似ている。

文 献

- 1) たとえば H. G. Howell, K. W. Mieszkis, D. Tabor; *Friction in Textiles*, Butterworths Scientific Publications (1959).
- 2) F. P. Bowden, D. Tabor (曾田範宗訳); 固体の摩擦と油滑, 丸善 (1956)
- 3) 久世栄一, 古島昭雄; 織学誌, 21, 586 (1965)
- 4) C. Rubenstein; *J. Appl. Phys.* 32, 1445 (1961)
- 5) C. Rubenstein; *J. Text. Inst.*, 54, T 234 (1963)
- 6) 久世栄一, 古島昭雄; 本誌投稿中 (ナイロン繊維の油滑における固体油剤のくさび作用について)
- 7) 久世栄一, 古島昭雄; 織学誌, 21, 621 (1965)
- 8) O. Levine, W. A. Zisman; *J. Phys. Chem.*, 61, 1068 (1957)
- 9) T. Fort, Jr.; *J. Phys. Chem.*, 66, 1136 (1962)
- 10) 曾田範宗; 摩擦と潤滑, (丸善) p. 109 (1954)