平行繊維束よりアクリル単繊維を引抜くときの 摩擦力の温度依存性

静岡大学工学部 野 飼 享 (会員)

井 原 素 三 (")

愛知工業大学 鳴 海 裕 (")

Influences of Temperature on the Frictional Force Applied on an Acrylic Fiber Pulled Out from the Paralleled Fiber Bundle.

Tooru Nogai, Motozo Ihara and Yutaka Narumi*,

Faculty of Engineering, Shizuoka University, Hamamatsu, Shizuoka-ken.

Abstract

Fiber-to-fiber frictional property is one of the most important factor in the drafting analysis. Experiments have been made at the temperature ranging from 20-100°C, to determine the frictional force applied on an acrylic filament pulled out from the paralleled fiber bundle of cotton, viscose rayon, or polyester fibers. The following results have been obtained:

(1) The degree of influence of temperature on the frictional force applied on a fiber pulled out paralleled fiber bundle varies according to the kinds of fibers. Although pulling out friction from cotton fiber bundle is reduced to a minimum at 80°C, that of viscose rayon or polyester fiber bundle reaches a maximum at 80°C.

(2) Pulling out frictional force from fiber bundles, f_s (g/cm), is calculated by the equation:

$$f_s = K_0 P^\alpha$$

where, P (g/cm²) is the external force applied on the paralleled fiber bundle, K_0 and α are experimental constants, which are affected by the kinds of fiber, temperature, and compressive properties of fiber bundle.

(Received October 12, 1976)

摘 要

目 的 綿、ビスコースおよびポリエステル各繊維の平行繊維束よりアクリルフィラメントを引抜くときの摩擦力を20°C～100°Cの温度範囲で測定し、引抜摩擦力の温度依存性および実験式を求める。

成 果 (1) 各種平行繊維束よりアクリルフィラメントを引抜くときの引抜摩擦力の温度依存性は繊維の種類によって異なり、綿繊維束で80°Cで極小値、ビスコースおよびポリエステル繊維束では80°Cで極大値を持つ。

(2) 各繊維の引抜摩擦力 f_s (g/cm) は次式で表わされる:

$$f_s = K_0 P^\alpha$$

ここで P (g/cm²) は平行繊維束に加えられる外圧、 K_0 および α は繊維の種類および温度によってきまる実験定数である。これらの定数は摩擦特性のみならず、繊維束の圧縮特性にも依存する。

(昭和51年10月12日受理)

* Present Address: Aichi Institute of Technology, Toyota, Aichi-ken.

1. はじめに

著者は前報^{1,2)}において、平行繊維束から金属細線を引抜くときの摩擦力を20℃～130℃の温度範囲で測定し、

$$f=K(P/\sqrt{\xi})^\beta \dots\dots\dots(1)$$

なる関係を得た。ここでfは引抜摩擦力 (g/cm)、Pは外圧 (g/cm²)、ξは平行繊維束の充てん密度、Kおよびβは各種条件によって決まる実験定数である。

本研究においては、綿繊維、ビスコース繊維およびポリエステル繊維の平行繊維束よりアクリル繊維のフィラメントを引抜くときの引抜摩擦力を前報²⁾と同じ方法によって測定し、式(1)が成立するかどうかを確認するとともに、各平行繊維束の引抜摩擦力の温度依存性および圧縮特性を含めた引抜摩擦力の実験式を求めることを目的とする。

2. 実験

2.1 実験試料およびその作製法

実験試料は綿繊維 (平均直径18μ, 平均繊維長30mm, 密度1.54 g/cm³)、ビスコース繊維 (11μ, 44 mm, 1.51g/cm³) およびポリエステル繊維 (12μ, 38mm, 1.38g/cm³) のカードあがりスライバより作製される。スライバをほぐしたのち100mmに切断し、幅40mm, 奥行100mm, 高さ50mmの角溝に詰める。試料重量は7g (ポリエステル繊維では3g)とし、はじめに平行繊維束3.5g (ポリエステル繊維では1.5g)を詰め、その上面の中央部に引抜線であるアクリル繊維のフィラメント (平均直径14μ)を載せ、その後に残りの繊維束を詰める。

ビスコース繊維およびポリエステル繊維では助剤を取除いた洗浄繊維束試料も作製した。助剤の除去は前報²⁾の方法によった。

2.2 実験装置および実験方法

実験装置は前報²⁾に使用されたものと同一である。

試料は恒温槽内に納められ、30min 放置後、引抜抵抗力を記録計に記録する。記録されたスティックスリップダイアグラムにより、前報¹⁾と同様に最大静止摩擦および動摩擦を定義した。測定温度は20～100℃の範囲で5段階、外圧は3.9～38.9g/cm² (ポリエステル繊維では1.9～19.3g/cm²)の範囲で10段階にかえた。

ここで式(1)の充てん密度ξと繊維束高さh (cm)との関係は次式で表わされる；

$$\xi=W(\rho Ah)^{-1}\dots\dots\dots(2)$$

ただしWは試料質量(g)、ρは繊維の密度 (g/cm³)、Aは角溝の横断面積 (cm²)である。

3. 結果および考察

3.1 平行繊維束の充てん密度と外圧との関係

前報^{1,2)}と同様に、平行繊維束の充てん密度ξと外圧P (g/cm²)との関係は次式によって表わされる；

$$\xi=CP^\delta\dots\dots\dots(3)$$

ここでCおよびδは繊維の種別および温度によって決まる定数で、その数値を表1に示す。

本研究における圧縮圧力の範囲は著者らが発表³⁾している繊維塊の圧縮特性の低圧縮域 (圧力範囲：約2～30 g/cm²) にほぼ対応する。この低圧縮域の値と比較すると、表1のCおよびδのいずれの値も大きい、すなわち本報の場合が圧縮されやすくなっている。このことは前報の試料がランダム配列の繊維塊であるため、圧縮による塊内繊維の変形が本報のような平行繊維束より困難であることによると考えられる。また圧縮特性の温度依存性については、前報の結果に比して温度による変化が小さくなっている。このことは両者の構造の相違とともに、前報が容器を用いない場合であるのに対し、本研究

表1 式(3)における定数 C および δ の数値

試料	綿		ビスコース繊維				ポリエステル繊維			
			未洗浄		洗浄		未洗浄		洗浄	
係数	C	δ	C	δ	C	δ	C	δ	C	δ
20℃	1.2×10 ⁻²	0.44	1.7×10 ⁻²	0.42	2.0×10 ⁻²	0.38	1.9×10 ⁻²	0.46	1.8×10 ⁻²	0.52
40	1.2	0.44	1.9	0.42	—	—	1.9	0.47	—	—
60	1.2	0.44	2.4	0.38	2.5	0.36	1.9	0.48	1.9	0.50
80	1.2	0.44	2.8	0.34	—	—	2.1	0.49	—	—
100	1.2	0.44	2.9	0.33	2.7	0.33	2.3	0.49	2.2	0.52

での圧縮は角溝中で行なわれるためと考えられる。

3.2 引抜摩擦力の温度依存性

綿およびコース試料の各温度における引抜摩擦力(図中ではW. F. F. と略す)の測定結果を図1および図2に示す。縦軸の引抜摩擦力 f_s (g/cm)は最大静止摩擦を

図1 各温度における引抜摩擦力と外圧との関係(綿繊維束)

図2 各温度における引抜摩擦力と外圧との関係(未洗浄ビスコース繊維束)

示した。動摩擦は最大静止摩擦とまったく同じ傾向を示すため、以後はすべて最大静止摩擦についてのみ述べる。

これらの図より、引抜摩擦力 f_s は外圧 P (g/cm²)の増加とともに外圧軸に凹なる曲線をえがいて増加する。これは木下ら³⁾のビスコース繊維束からビスコース繊維を引抜く場合の低い外圧におけるデータとほとんど一致する。また前報²⁾の細い金属線とほぼ同じ傾向である。

f_s に対する温度の影響を各外圧ごとに示した例が図3である。ビスコース繊維およびポリエステル繊維の f_s はいずれの外圧においても温度の上昇とともに増加し、80°Cを越えると減少する。綿繊維の f_s は温度の上昇とともに減少し、80°Cを越えると増加する傾向を示す。これらの f_s が変化する温度80°Cは引抜線であるアクリル繊維のガラス転移温度⁴⁾に近い値である。また前報¹⁾においてアクリル繊維束から金属細線を引抜いた場合にも、この温度付近において引抜摩擦力に急激な変化が認

図3 各外圧における引抜摩擦力と温度との関係

められている。したがって繊維束の引抜摩擦力 f_s の温度依存性は、繊維束よりも引抜線の物性に強く影響されていると考えられる。

上述の結果が式(1)を満足するかどうかを検討するため、横軸に内部圧パラメータ $P/\sqrt{\xi}$ (g/m²)を、縦軸に f_s をとってビスコース繊維の場合を図4に示した。

図4 各温度における引抜摩擦力と内部圧パラメータとの関係(未洗浄ビスコース繊維束)

この図より、低い外圧のところでは若干のちがいはあるが、本研究の外圧の範囲内では式(1)が満足されている。図示されていない綿繊維⁸⁾およびポリエステル繊維⁹⁾についても同様である。そこで各繊維の測定値を式(1)に代入し、得られた係数 β および K の値を表2に示す。表2にはビスコース繊維およびポリエステル繊維の洗浄試料についても併記した。

表2では前報^{1,2)}と異なり、 β の値も K の値と同様に温度とともに変化するが、その温度依存性は K と異なる場合がある。内部圧パラメータはそれぞれの繊維束の圧

表2 式(1)における定数 β および K の数値

試 料	綿		ビスコース繊維				ポリエステル繊維			
			未 洗 淨		洗 淨		未 洗 淨		洗 淨	
係 数	β	K	β	K	β	K	β	K	β	K
20℃	0.76	7.8×10^{-2}	0.75	5.6×10^{-2}	0.98	2.8×10^{-2}	0.90	3.4×10^{-2}	0.90	3.0×10^{-2}
40	0.78	6.5	0.77	6.3	—	—	0.83	5.4	—	—
60	0.84	4.5	0.88	4.4	0.98	3.0	0.80	6.6	0.89	4.0
80	0.93	2.5	0.96	3.4	—	—	0.87	5.4	—	—
100	0.92	3.3	0.97	3.0	0.91	3.8	0.95	2.9	0.97	3.5

縮特性によって決定されるため、この値に基づいて計算される β および K の温度依存性は、前述の各外圧における引抜摩擦力と温度との関係とやや異なった傾向を有していると考えられる。

綿繊維の場合、表1の圧縮特性は温度によってほとんど変化しないため、 β および K の温度依存性は f_s と一致する。しかし圧縮特性が温度によって変化するビスコース繊維およびポリエステル繊維では、 β および K の温度依存性はやや異なったものとなっている。ビスコース繊維の β は f_s とほぼ同じ傾向を有しているが、 K は40°C 付近で極大値を持つ上に凸なる曲線となる。またポリエステル繊維の β は f_s の傾向と逆になり、 K は60°C 付近で極大値を持つ。 K が極大値をとる温度はそれぞれの繊維束を構成する繊維のガラス転移温度に近いことから、 K は摩擦する材料の表面物性に依存するパラメータではないかと予想される。これに対して β は、前報でも考察したように摩擦機構を支配する因子と考えられるが、その温度依存性により、ほぼ引抜線の物性に依存しているように考えられる。

3.3 助剤の影響について

前述の試料は、実際の工程で使用されるカードあがりスライバであり、それらの繊維は油剤処理がなされている。摩擦特性をその繊維の物性と結びつけて考察するため、本節では2.1に述べられたビスコース 繊維とポリエステル繊維の洗浄試料の引抜摩擦について検討する。

洗浄されたビスコース 繊維の f_s と P との関係を図5に内部圧パラメータとの関係を図6に示した。

図5より、洗浄試料の f_s は温度による変化が小さく、温度の上昇とともにわずかながら低下する傾向がある。未洗浄試料と比較すると、低温度側での相違が大きく、高温側ではほとんど差がない。図示されていないが、ポリエステル繊維では低温度側でほぼ同じ温度依存性を持っている。

図6より、洗浄試料についても式(1)が成立する。同

図5 洗浄ビスコース繊維束の引抜摩擦力と外圧との関係

図6 洗浄ビスコース繊維束の引抜摩擦力と内部圧パラメータとの関係

様にポリエステル繊維の洗浄試料も式(1)を満足する。これらの係数 β およびの値 K を表2に示す。これらの値も未洗浄試料の場合と若干の相違がある。

以上のように、リグロイン液で処理することにより引抜摩擦挙動が変化し、助剤などの影響が存在することは明らかである。そこで洗浄による変化が助剤を除去した効果と考えた場合、つぎのような推定ができる。

ビスコース繊維の場合、前報²⁾に示したように助剤の

表3 式(5)における係数 α および K_0 の数値

試料	綿		ビスコース繊維				ポリエステル繊維			
			未洗淨		洗淨		未洗淨		洗淨	
係数	α	K_0	α	K_0	α	K_0	α	K_0	α	K_0
20°C	0.59	4.2×10^{-2}	0.59	2.6×10^{-2}	0.79	1.9×10^{-2}	0.69	2.0×10^{-2}	0.67	1.8×10^{-2}
40	0.61	3.6	0.61	2.9	—	—	0.63	2.8	—	—
60	0.66	2.9	0.71	2.3	0.80	1.8	0.63	3.2	0.67	2.3
80	0.73	1.9	0.80	1.9	—	—	0.66	2.9	—	—
100	0.72	2.5	0.81	1.6	0.76	2.0	0.72	1.8	0.73	2.2

大部分は動物性であるから粘度は低く、しかも付着量は少ない。このことから、ビスコース繊維における潤滑挙動は境界潤滑の状態であると仮定でき、したがって助剤の粘度の増加（いいかえると温度の低下）とともに摩擦力は小さくなる。これに対してポリエステル繊維では平滑剤のほかに除電剤などが付着しているため、境界潤滑よりも流体潤滑に近い状態になっていると予想される。したがって助剤による摩擦抵抗は粘度の増加とともに大きくなると考えられる。

3.4 考 察

一般の高分子固体の乾燥摩擦力 f_s と外圧 P との関係は凝着説に基づく次式で表わされる；

$$f_s = aP^n \dots\dots\dots(4)$$

上式において a 、 n は材料によって決まる定数で、 n は $(2/3) \sim 1.0$ の値をとる。

式(4)は単繊維間の摩擦についても成立することが明らかにされている。たとえば J. Mazur¹⁰⁾ はナイロン、ビスコースなどについて同種繊維間および異種繊維間で測定し、 n がほぼ $0.80 \sim 0.94$ の範囲内の値をとることを、また岡島、池田、井上ら⁶⁾ は兎毛と金属ライダとの摩擦についても式(4)が成立することを示した。同様に E. Lord⁷⁾ は綿繊維束間の摩擦について式(4)が成立することを示している。

図1および図2より、引抜摩擦力 f_s と外圧 P との関係を両対数グラフ上にプロットすると、 f_s と P との関係はほぼ直線となり次式で表わされる；

$$f_s = K_0 P^\alpha \dots\dots\dots(5)$$

実験値に基づいて計算された式(5)の係数 α および K_0 の値を表3に示す。この式(5)と式(4)は形式的にまったく同じである。したがって平行繊維束から繊維を引抜く場合においても、ミクロ的には一般高分子固体の摩擦における凝着説で説明できると考えられる。

ここで式(3)に式(1)を代入し、式(5)の係数 K_0 および α を

$$\left. \begin{aligned} K_0 &= KC^{-(8/2)} \\ \alpha &= (1 - \delta/2)\beta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

と対応させれば、式(1)と式(5)はまったく同じものとなる。したがって式(1)および(3)は、式(5)で表わされる引抜摩擦特性を摩擦特性成分と圧縮特性成分とに分離したそれぞれを表わすものと考えられる。

4. 終りに

綿繊維、ビスコース繊維およびポリエステル繊維の平行繊維束よりアクリルフィラメントを引抜くときの摩擦特性の温度依存性を実験的に探求し、その結果つぎの事項が明らかになった：

(1) 平行繊維束からアクリル繊維を引抜くときの摩擦力の温度依存性は繊維の種類によって異なり、綿繊維束では 80°C で極小値、ビスコース繊維束およびポリエステル繊維束では 80°C で極大値を持つ。

(2) 各繊維の引抜摩擦力 $f_s(\text{g/cm})$ は、引抜線が金属細線の場合と同様に、内部圧パラメータ $P/\sqrt{\xi}$ のべき関数で表わされる；

$$f_s = K(P/\sqrt{\xi})^\beta$$

ここで P は平行繊維束に加えられる外圧 (g/cm^2)、 K および β は繊維の種別および温度によって決まる定数である。 K は繊維束を構成する繊維の物性、 β は引抜線の物性の温度依存性に影響される因子と考えられる。

(3) 内部圧パラメータに平行繊維束の圧縮特性を代入すれば、(2)の式はつぎのように外圧のべき関数で表わされる；

$$f_s = K_0 P^\alpha$$

ここで K_0 および α は実験定数である。これにより引

抜摩擦は凝着説に基づく繊維-繊維間摩擦現象の集合と考えることができる。

(4) リグロイン液による洗浄試料の引抜摩擦特性を調査した結果、助剤の効果は大きく、しかもその粘度および付着量によって引抜摩擦の温度依存性が異なることが推定された。

おわりに本研究の測定試料を提供された日清紡績(株)浜松工場各位、ならびに測定に協力された服部弘幸、三村和宏、木村徹、三原研一の4君に感謝致します。

本研究は日本繊維機械学会第28回および第29回次大会で発表したものをまとめたものである。

参考文献

- 1) 野飼, 鳴海; 繊維誌, **26**, T84 (1973)
- 2) 野飼, 鳴海, 井原; 繊維誌, **27**, T65 (1974)
- 3) 木下, 滝沢; 繊維誌, **15**, 455 (1959)
- 4) 繊維学会編; 繊維便覧原料編, 251 (丸善)
- 5) 野飼, 鳴海; 繊維誌, **25**, T180 (1972)
- 6) 岡島, 池田, 井上; 繊維誌, **14**, 400 (1958)
- 7) E. Lord; J. Text. Inst., **46**, P41 (1955)
- 8) 野飼, 鳴海, 井原; 繊維学会第29回年次大会講演論文集, **49** (1976)
- 9) 野飼, 鳴海; 繊維学会第28回年次大会講演論文集, **39** (1975)
- 10) J. Mazur; J. Text. Inst., **46**, T712 (1955)