

## 網系相互間の摩擦熱について\*

深 沢 文 雄

On the Relation between Frictional Heat and Durability  
in Mutual Friction of Netting Threads\*

By

Fumio FUKASAWA

In the wearing process of netting threads caused by the mutual friction, the effect of frictional heat is one of the important factors.

The abrasion of threads on each side increases till the thread wears off by frictional heat. The abrasion of threads has much to do with the durability against heat of threads. The experiments described in this paper suggest that the frictional properties of synthetic fibres under light loads are better than those of vegetable fibres, but they are reverse under heavy loads. The results are shown in Table (2) and Figures (2)—(9).

The observations can be represented by the following forms:

$$(\theta - \theta_0) = A(e^{at} - e^{-bt}) \dots \dots \dots (1)$$

$$W/T = B\tau^{\gamma} \dots \dots \dots (2)$$

where A and B are constants. Equation (1) shows the relation between the thread temperature  $(\theta - \theta_0)$  raised from the air temperature  $\theta_0$  by friction and the sliding time  $t$ . Equation (2) shows the relation among the tensile strength  $T$  of the thread, the load  $W$  and the breaking time  $\tau$ .

Figures (7) to (9), for examples of effect of frictional heat, show the transsections of threads which were pulled to be burnt out by flame, or broken by a tensile strength tester, or worn away by friction.

The general arrangement of the apparatus to measure the temperature with the thermocouple is shown in Figure (1). In this figure the upper thread fixed both its ends met at right angles with the lower thread, and the lower thread can slide on its runway and also be movable by the use of a motor.

---

\* 水産講習所研究業績 第318号, 1961年1月18日 受理.  
Contribution from the Shimonoseki College of Fisheries, No. 318.  
Received Jan. 18, 1961.

## 緒 言

著者はさきに合成繊維製網糸と他物質 (B. S. No. 20) の極軟鋼線との摩擦について実験し報告<sup>3)</sup>した。その結果、網糸は摩擦熱により摩擦個所の温度が上昇し摩耗が大きいことがわかった。最近ではサラン、アミラン等の単独繊維からなる網糸を使用する外に各種の繊維を混紡した網糸が使用され、同種或いは異種の2本の網糸を互に接触させて使用することが多い。この場合網糸の抗張力の外に摩擦による影響を考慮する必要がある。耐熱性において天然繊維の綿糸等より劣る合成繊維製の網糸では、摩擦熱の影響について考えることは大切なことであると思う。

## 実験方法および材料

(1) 実験に使用した装置は第1図に示す通りである。網糸の往復運動の速度は 10 cm/sec, 5.0 cm/sec, 3.0 cm/sec の3種類に変速出来るようになっている。温度測定用の熱電対の一つの接点はジュワー瓶の中

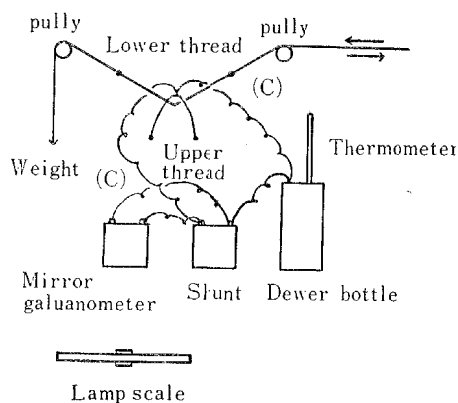


Fig. 1. Schematic diagram of wear tester. The lower thread can slide on its runways and is driven by a motor at a linear speed of about 5 cm/sec. (C), Cu-Constantan thermocouple.

で  $0^{\circ}\text{C}$  に保たれ他の接点は下糸 (往復運動する試料の網糸) と上糸 (固定された試料の網糸) との摩擦個所の上方で、上糸の表面に接着剤で固定されている。この装置の熱電対は、銅-コンスタンタン線 (0.16 $\phi$ ) で、反照検流計には感度  $2.2 \times 10^{-10}\text{A}$ ,  $3.3 \times 10^{-8}\text{V}$ , 周期 7.4 sec のものを使用した。

Table 1. Specification of threads used for the experiment.

Kind of material	Number or Deniel	Ply/No. of yarn	Number of twists per 10 cm of length		Tensile strength Kg
			Upper twists	Lower twists	
Amilan	210D	3/75	12.0	23.0	65.3
Saran	1000D	3/54	7.3	7.6	66.5
Cremona No. 5	500D	3/51	10.0	11.0	55.0
Cremona Manryo	20' S	3/81	9.1	23.0	62.8
Polyethylene	500D	3/48	11.8	14.6	73.9
Cotton	20' S	3/90	12.0	29.0	41.6

Kind of material	*Softening point °C	*Second order transition temperature °C	*Specific heat cal/g °C	Melting point °C
Amilan	210	80	0.46	212
Saran	116~137	70~80	0.32	160~170
Cremona No.5	190~200	70~90		220
Cremona Manryo	190~200	70~90		220
Polyethylene	110		0.53	140~150
Cotton			0.32	

\*Taken from reference

(2) 本実験で使用した網糸の試料は、見掛上太さおよび抗張力が大体同一程度のものを選んだ。その種類はアミラン、クレモナ5号(長繊維)、クレモナ万漁(短繊維)、サラン、ポリエチレン、綿糸の6種類で各網糸の性能は第1表に示す通りである。実験時の温度は25~31°C、湿度は73~81%であった。摩擦速度は5 cm/secで行なった。

### 実験結果および考察

アミラン等各網糸はその一つが固定され他の網糸で摩擦し、その摩擦個所の温度上昇と時間tとの関係、破断時の温度、網糸の破断に到るまでの時間等の測定を各網糸について行なった。

#### (1) 摩擦個所の温度上昇と時間tとについて

この両者の関係は固定した上糸に接着された熱電対から10秒毎に網糸の温度θを測定することにより求めた。摩擦により発生した熱量は上糸、下糸の両者に分配される。その分配比は網糸の温度伝導率kによりこのkは各網糸を構成する繊維の熱伝導率、含水量、比熱および密度等によって定まる値である。k値は前報告<sup>3)</sup>で求めたように繊維間には含有される空気の影響を無視すると、

$$k = \lambda_1(v_1) + \lambda_2(v_2) / c_1 \rho_1(v_1) + c_2 \rho_2(v_2)$$

から求めることが出来る。但し(c<sub>1</sub>, ρ<sub>1</sub>, λ<sub>1</sub>), (c<sub>2</sub>, ρ<sub>2</sub>, λ<sub>2</sub>)は繊維および水の比熱、密度、熱伝導率であらv<sub>1</sub>, v<sub>2</sub>は繊維および水の容積比(%)である。k値の大きさは計算するとアミラン、クレモナ万漁、ポリエチレン、クレモナ5号、綿糸、サランの順となる。同種類の網糸同士では熱量分配は等しくなる。いまPを上糸と下糸間の接触圧力、μを摩擦係数、vを摩擦速度、θを網糸の温度、θ<sub>0</sub>を周囲の空気の温度、C<sub>A</sub>を繊維の熱容量とすれば摩擦個所の温度上昇Θ=(θ-θ<sub>0</sub>)は次のようになる。

$$\frac{d\Theta}{dt} = -\frac{K}{C_A} \Theta + \frac{P\mu v}{JC_A} \quad J: \text{熱の仕事当量}$$

$$\mu = \mu_0 f(t) \quad \text{但し } \mu_0 \text{ は最初の摩擦係数}$$

$$\frac{K}{C_A} = \alpha, \quad \frac{P\mu_0 v}{JC_A} = \beta \quad \text{とおけば} \quad \frac{d\Theta}{dt} = -\alpha\Theta + \beta f(t)$$

$$\therefore \Theta = \{ \beta \int f(t) e^{\alpha t} dt + C \} e^{-\alpha t} \dots \dots \dots (a)$$

C: 積分常数

次に測定値よりΘとtとの関係を第2-5図から求めてみると、

$$\Theta = A(e^{\alpha t} - e^{-\beta t}) \dots \dots \dots (1)$$

なる実験式が得られる。このことは(a)式でf(t)=e<sup>γt</sup>とおいてt=0でΘ=0の条件で求められる

$$\Theta = \frac{\beta}{\alpha + \beta} (e^{\gamma t} - e^{-\alpha t})$$

と一致することがわかる。第2-5図の曲線の形状は各網糸の性質により異なるが次の3つの場合に分けて考

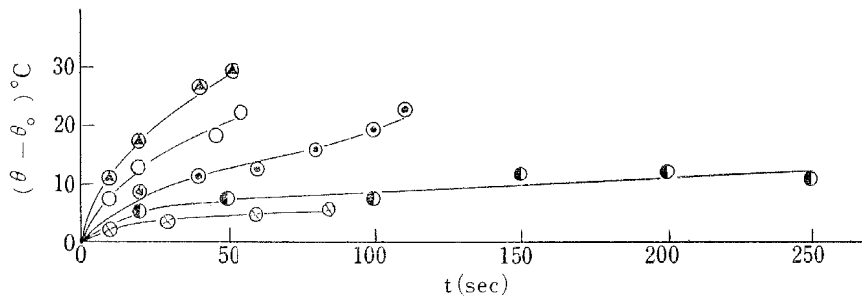


Fig. 2. Relation between  $(\theta - \theta_0)$  and duration of netting threads against cotton.  
 ▲—Cremona No. 5 (W=2 Kg)      ○—Cremona Manryo (W=2 Kg)  
 ●—Amilan (W=2 Kg)      ⊗—Saran (W=0.5 Kg)  
 ■—Polyethylene (W=2 Kg)

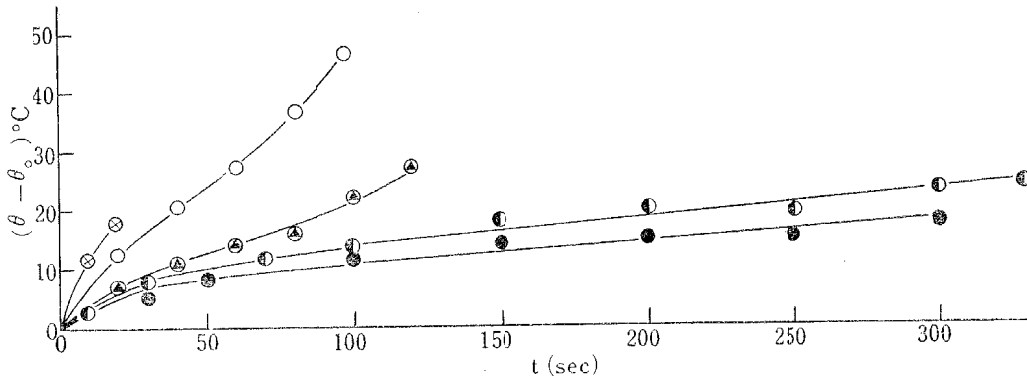


Fig. 3. Relation between  $(\theta - \theta_0)$  and duration of netting threads against Amilan.  
 ▲—Cremona No. 5 (W=3 Kg)      ○—Cremona Manryo (W=2 Kg)  
 ●—Polyethylene (W=2.5 Kg)      ⊗—Saran (W=1 Kg)  
 ■—Cotton (W=1 Kg)

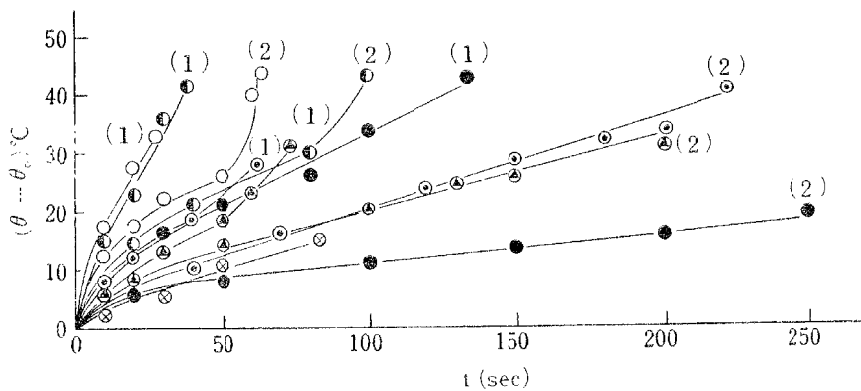


Fig. 4. Relation between  $(\theta - \theta_0)$  and duration in mutual friction of netting threads.  
 ●—Polyethylene (1)—W=6Kg (2)—W=4 Kg  
 ●—Cotton (1)—W=3Kg (2)—W=2 Kg  
 ▲—Cremona No. 5 (1)—W=2 Kg (2)—W=1 Kg  
 ○—Cremona Manryo (1)—W=2 Kg (2)—W=1 Kg  
 ●—Amilan (1)—W=3 Kg (2)—W=2 Kg  
 ⊗—Saran W=0.5 Kg

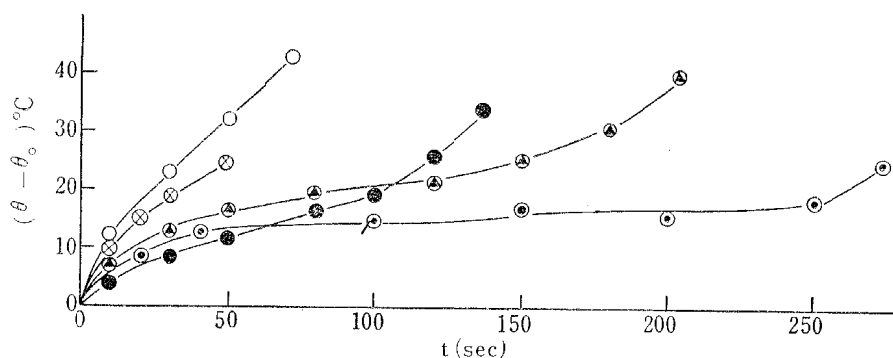


Fig. 5. Relation between  $(\theta - \theta_0)$  and duration of netting threads against polyethylene ( $W=3\text{Kg}$ ) worn away by other netting threads except Saran.  
 ▲—Cremona No. 5    ○—Cremona Manryo    ⊗—Saran  
 ⊙—Amilan    ●—Cotton

えることが出来る。

(イ) 固定された網糸 (第1図の下糸) と動く網糸とが時間の経過につれて同程度に摩擦する場合

(ロ) 固定された網糸が動く網糸よりも時間の経過につれて摩擦が激しい場合

(ハ) (ロ) の反対の場合

一般には摩擦の始った初期では $\theta$ は大体直線的に上昇し、次第に定常状態に近き(1)式で示される形となる。(ロ)の時は熱電対の位置と摩擦個所の距離が短くなるのが速いので(イ)、(ハ)に比べて $\theta$ の上昇は急である。更に熱による摩擦の影響が大となればなる程急速に温度は上昇する。特に荷重 $W$ が大( $P$ が大)となると最初から熱による摩擦の影響を受けるので定常状態にならず破断まで殆んど直線的に変化する。

第5図ではポリエチレンを固定した時サランを除いた他の網糸( $W=3\text{kg}$ )によってポリエチレンは破断されている。これは(ロ)の場合をよく示している。(イ)、(ハ)の場合は定常状態に近き、すなわち温度の上昇の度合いが急激でなく(1)式とよく一致する。同種類の網糸相互間の摩擦では(イ)の場合が多く第4図に示す通りである。第2-3図は綿糸、アミランを固定し、動く他の網糸の方が破断する場合で(ハ)の状態を示しており(1)式と一致する。しかし、上記(イ)、(ロ)、(ハ)の何れの場合になるかは網糸の種類の組合せによるばかりでなく、網糸に与える張力 $W$ にもよる。綿糸を固定した時 $W$ が大であると合成繊維の網糸の方が破断するので(ハ)の場合である。これは綿糸は温度による抗張力の減少はあっても熱による摩擦の影響を考えなくてもよく単なる機械的摩擦についてのみ考えればよいからである。しかし $W$ が小さくなると発生する摩擦熱量が少く温度上昇が僅かであるため、アミラン等の網糸は熱影響を受けることが殆んどなくなるので、固定されている綿糸の方が摩擦が激しくなり(ロ)の場合となる。また、第4図の同種類の網糸相互間の摩擦では $W$ が大となるに従い(イ)から(ロ)の状態に移行し、曲線は定常状態の間が短くなり直線部分が多くなっていく。アミラン、クレモナ、ポリエチレン等はこの性質を示している。サランは $W < 0.2\text{kg}$ の場合では綿糸を破断する。それ以外では $W$ に無関係に他の網糸により破断され、空気中では熱による摩擦の影響がもっとも大きく今回の測定の $W$ の範囲内(0.2~6.0 kg)では、 $\theta$ の変化は定常状態に達しないうちに破断する。綿糸同士の摩擦では $\theta$ は $W$ の大小に関係せず(1)式に従う。

## (2) 網糸相互間の摩擦強弱について

いま組合わされた2種類の網糸の摩擦では、破断されてしまった網糸の方が他の網糸より耐摩擦性が劣っていると判断することも一つの目安であると思う。網糸の最初の抗張力 $T$ の大なるものが必ずしも摩擦に対する耐久力が大であるとは言えない。第2表は各網糸を組合わせて摩擦させた時その破断時間よりみた摩擦の強弱を表わしている。

各網糸の強弱の順序は第2表からアミラン、クレモナ万漁、クレモナ5号、ポリエチレン、サランとなる。

Table 2. Toughness of mutual friction of netting threads.  
+ : Toughness over the other netting thread.

	Amilan	Saran	C. No. 5	C. M.	Poly.	Cotten
Amilan		+	+	+	+	-w > 1.0 kg +w < 1.0 kg
Saran	-		-	-	-	-w > 0.2 kg +w < 0.2 kg
Cremona No. 5	-	+		-	+	-w > 1.0 kg +w < 1.0 kg
Cremona Manryo	-	+	+		+	-w > 1.5 kg +w < 1.5 kg
Polyethylene	-	+	-	-		-w > 0.5 kg +w < 0.5 kg
Cotten	+ w > 1.0 kg - w < 1.0 kg	+ w > 0.2 kg - w < 0.2 kg	+ w > 1.0 kg - w < 1.0 kg	+ w > 1.5 kg - w < 1.5 kg	+ w > 0.5 kg - w < 0.5 kg	

綿糸は高荷重では合成繊維の網糸より強く低荷重では弱い。

(3) 破断時間  $\tau$  について

荷重  $W$  と破断時間  $\tau$  との関係は、実験結果によれば第6図に示す通りである。但し第6図では異種の網糸

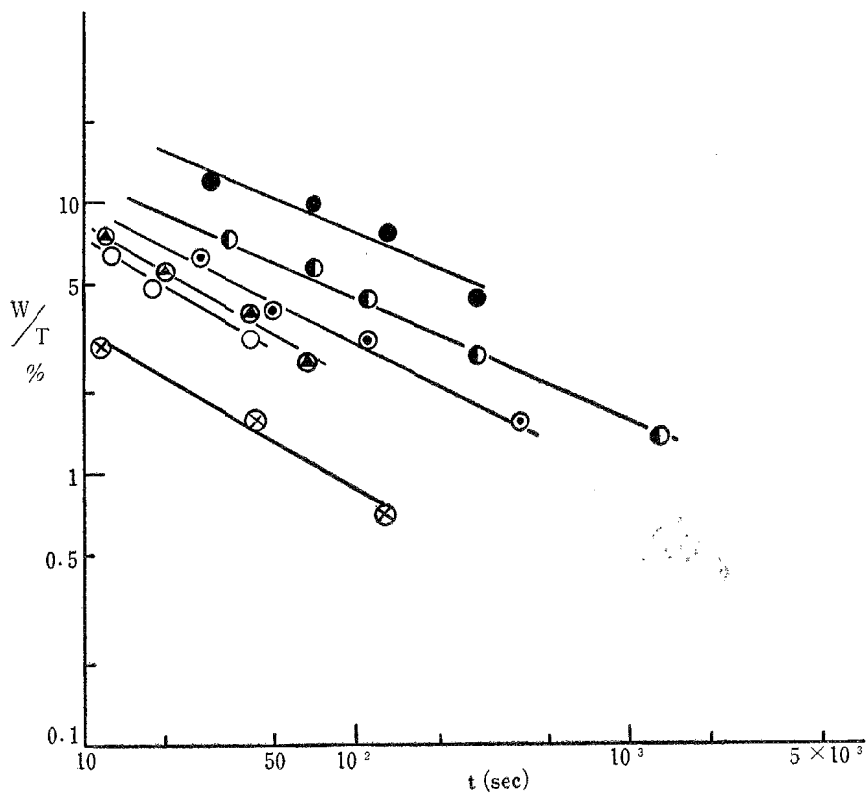


Fig. 6. Relation between  $W/T$  (%) and duration of netting threads against cotton.  
 ▲—Cremona No. 5      ○—Cremona Manryo      ⊗—Saran      ●—Amilan  
 ●—Polyethylene      ●—Cotten

のグラフを比べる便宜上最初の抗張力Tで割った  $W/T$  を使った。第6図から実験式を求めると、

$$T/W = Br^{\gamma'} \quad \gamma' < 0$$

なる2次曲線で表わされる。サランの抗張力はポリエチレンに次いで大であるが第6図ではサランの破断時間は最小である。綿糸の抗張力は他の網糸に比べて最小であるが破断時間は大であるのは、熱による摩擦の影響がないことを示している。

(4) 摩擦熱による摩擦が進行する温度について

異種の網糸相互間の摩擦では前述したように摩擦によって発生した熱量は各網糸の温度伝導率により両者に分配される。同種類の網糸相互間では熱量は等分に分配されるから、実際に測定した $\Theta$ の2倍の温度が網糸の接触面に影響していることになる。従って摩擦熱による摩擦の急激に始まる温度 ( $2\Theta + \theta_0$ ) を測定値より計算すると(第4図参照)アミラン、クレモナ万漁および5号は何れも  $80^{\circ}\text{C}$ 、ポリエチレンは  $90^{\circ}\text{C}$ 、サランは  $60^{\circ}\text{C}$  位であって、これは各合成繊維の第2次転移点附近である。第4図によれば各網糸は上記温度に達した場合間もなく破断する。これは摩擦が急速に進行するから接触面積は減少し、又表面状態も変化してくるので、それ以上の温度が余り上昇しないうちに破断するものと思われる。Wが小である場合には、上記温度に達してから更に僅か温度が上昇して破断している。これは測定装置による温度の伝い方のおくれによるためと思われる。更にWが小さいときは上記温度に達することなく単なる機械的摩擦のみで破断に到る。

(5) 網糸の切断個所の繊維の形態について

合成繊維で構成されている網糸は、前述したように熱影響をうけるのでその切断個所の繊維の横断面は次のような3種類の形態を示している。

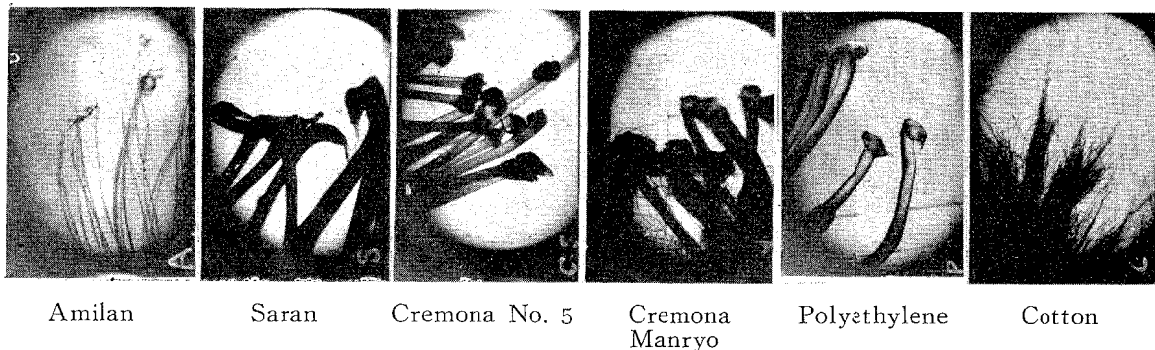


Fig. 7. The transections of threads pulled to be burnt out by flame.

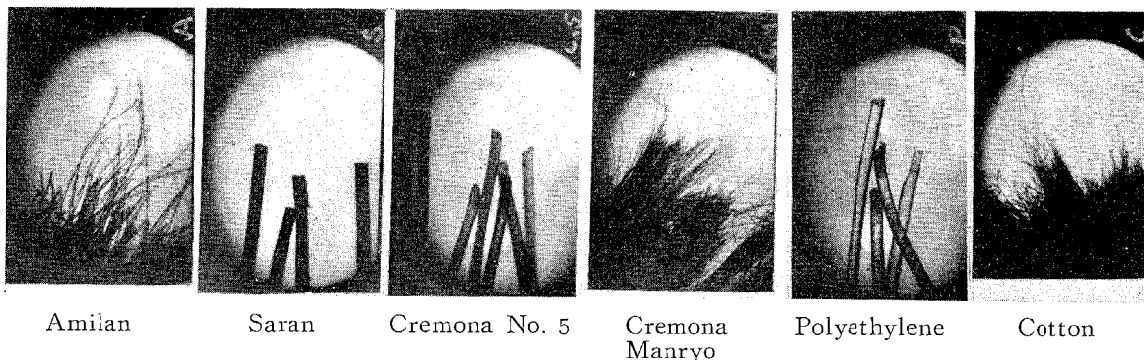


Fig. 8. The transections of threads broken out by tensile strength tester.

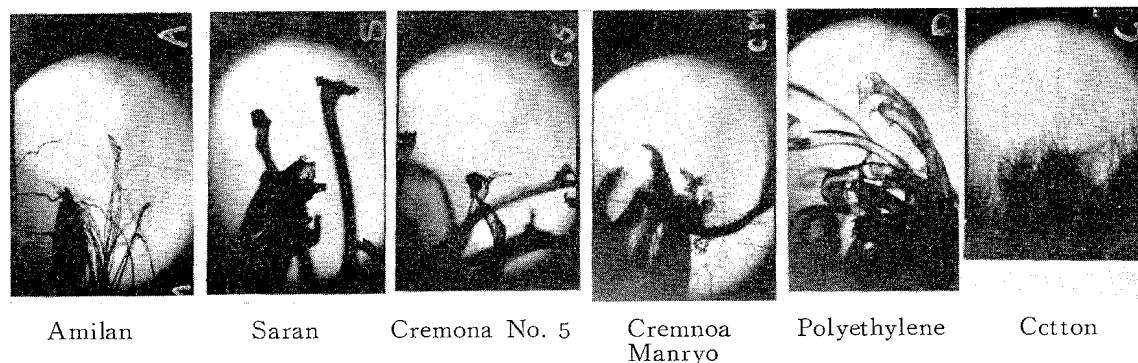


Fig. 9. The transections of threads worn off by friction of netting threads against Cotton ( $W=3$  Kg).

(イ) 繊維の先端が熔融して円くなる。  
 (ロ) 摩擦個所の温度上昇によりその部分が軟化し、接触圧力が作用するので押しつぶされて切断された繊維の端が平になり不規則の形をとる。  
 (ハ) 細い繊維で構成されている網糸では (イ)、(ロ) の状態の繊維が相互に密着して固って切断する。第7図は網糸に張力をかけながら焰で焼切った場合の繊維の横断面でアミラン、サラン、クレモナ5号、ポリエチレン等は先端が円く熔融した個々の繊維と、それらがまた密着して固った部分とが混っている状態である。特にアミラン、クレモナ万漁では密着している部分が多い。綿糸は熔融することがないから繊維同士が密着して固まることなく、ばらばらでその先端がただ黒く焦げるだけである。第8図は抗張力試験機で破断した場合で各網糸の繊維の切口は何れも刃物で切断した時のようにきれいな横断面を示している。第9図は  $W=3$  kg の荷重で綿糸に対して摩擦させたときの各網糸の破断した場合の横断面である。綿糸は抗張力試験機で破断した時と殆んど同一で、ただその切口が不規則になっているだけである。アミラン、クレモナ万漁は (ハ) の場合に相当している。サラン、クレモナ5号、ポリエチレンでは繊維が比較的大きいため (イ)、(ロ) の状態が大部分を占め残部が繊維の密着している状態である。第7図と第9図とから綿糸を除いた他の網糸ではその横断面が非常によく似ており、摩擦熱の影響があることを示している。一般に  $W$  が大きくなると繊維の熔融密着した部分が多くなる。 $W$  が小さくなるとサラン、クレモナ5号、ポリエチレン等は (ロ) の状態が多くなる。アミラン、クレモナ万漁では (ハ) の部分より (ロ) の部分が多い状態となる。

## 要 約

(1) 摩擦により発生した熱量は ( $P, \mu, v$ ) に関係する。 $v$  が一定ならば同一種類の網糸では、抗張力の大小 (繊維のデニールが同一ならその本数の多少) に拘わらずその摩擦及び破断時間は、荷重即ち接触圧力の大小による。そのことは、網糸の耐摩耗性は耐熱性により左右されることを表わしている。(第4図参照) 実験の結果によれば、各網糸の組合せた摩擦で相手を破断する点から考えたその耐摩耗性の強さはアミラン、クレモナ万漁、クレモナ5号、ポリエチレン、サランの順となる。この順位は各繊維の軟化点 (第1表参照) の大小に関係していることがわかる。クレモナ万漁及び5号は、短繊維であるか長繊維であるかがその耐摩耗性に影響してくるものと考えられる。

(2) ポリエチレンはサランを除いた他の網糸から破断されるが、表面が非常に滑らかで  $\mu$  が小さいのでその破断時間が大きいのが特色である。(第2, 3図参照)

(3) 合成繊維の網糸は低荷重 ( $P$  が小) では、天然繊維より耐摩耗性は秀れているが、高荷重ではその



逆である。

(4) 熱による摩耗は、各繊維の第2次転移点附近から急速に進行する。

終りに御指導を賜った本所の神谷鐘吉教授に深謝する。

## 文 献

- 1) 宮本秀明, 高山博光, 1955: 網糸と網糸とが擦れ合っ起る摩擦, 日誌, **21** (3).
- 2) 下崎吉矩, 加藤春己, 1959: 長繊維漁網糸の摩擦に対する強さ, 日誌, **24** (10).
- 3) 深沢 文雄, 1957: 合成繊維網糸の摩擦熱の影響について, 水講報告, **7** (1).
- 4) M. W. PASCOE and D. TABOR, 1956: The friction and deformation of polymers. *Proc. Roy. Soc. A*, 235 (1201).
- 5) R. MEREDITH, 1956: The mechanical properties of textile fibres. AMSTERDAM, N. H. P. C.
- 6) 若杉松三郎, 1933: 保温材. 東京, 丸善.