技 術 報 文

(昭和 42 年 6 月 9 日 受理)

合成繊維の衝撃による破壊部分の形状

第 1 報 引 張 り に よ る 破 壊

京都工芸繊維大学繊維学部 井谷和十郎・和田 富成
浅 田 薫*・清水 保昭**

MICROSCOPIC STUDY OF SYNTHETIC FIBERS ON IMPACT RUPTURE.

(I) TENSILE RUPTURE

By Wajurō Itani, Tominari Wada, Kaoru Asada and Yasuaki Shimizu***

(Kyōto University of Industrial Arts and Textile Fibers, Kita-ku, Kyōto, Japan)

The tensile tests of Polypropylene, Nylon 6 and polyester Tetoron fibers have been carried out with tensile speed varying from 3.3×10^{-3} cm/sec to 1.6×10^2 cm/sec, and the shape of fibers at the point of rupture has been investigated with microphotographs.

The following results have been obtained :

(1) All kinds of fibers are broken down at high tensile speed found to have a tip of the nail-head shape at the point of rupture, the shape of rupture can easily be distinguished from rupture due to ductility or brittleness. This kind of rupture is named melting type rupture.

(2) With the increase of tensile speed, the type of rupture found at the breaking point of the fibers also changes in the order of ductile, brittle and melted rupture.

(3) The lowest tensile speed at which melting type rupture appears is 3.3×10^{-3} cm/sec for polypropylene fibers, 1.6 cm/sec for Nylon 6 fibers, and 1.6×10^2 cm/sec for PET fibers. This shows that the lower the melting point of fiber the lower the impact speed at which melting type rupture appears will be.

(Received June 9, 1967)

1. 緒 言

ナイロンの衝撃破壊の際、その破断端は溶融状を示すと、Schiefer¹⁾ は 1955 年に報告している。1961 年には R. J. E. Cumberbirch ら²⁾ が、ポリオレフィン系の繊維では切断端がふくらむことを顕微鏡により観察し、fishtail mark という言葉で表現した。1963 年には J. E. Ford³⁾ が繊維にひずみを与えたときの顕微鏡観察によつて、ポリオレフィン系、ポリアミド系、ポリエステル系の繊維の切断端で鎖状高分子がからみあつて、フィ

ラメントが塊状になることを説明した。

しかしながら、その塊状になる切断端がはたして溶けた状態であるのか、どのような機構によつてその現象が起こるのかについては、まだ解明されていないようである。筆者らは種々の条件で合成繊維を引張りにより切断し、その切断端の形状を観察して、破壊速度が破壊面の形状におよぼす影響について考察した。

2. 実験方法

2.1 実験試料

本実験に用いた試料は次の 3 種である。

ポリオレフィン系繊維、ポリプロピレン 3.6 d, 50 filaments

ポリアミド系繊維、ナイロン 6, 8.0 d, 15 filaments

ポリエステル系繊維、テトロン, 2.1 d, 72 filaments

実験は上記のマルチフィラメントを使用し、試料の長

現住所

* 帝人株式会社大阪本社
Teijin Co., Ltd., Kita-ku, Osaka, Japan

** 東洋レーヨン株式会社 繊維加工試験所
Textile Laboratory, Tōyō Rayon Co. Ltd., So-
noyama, Ōtsu City, Shiga Prefecture, Japan)

- (a) Ductile type
(b) Brittle type
(c) Melting type

a

b

c

Fig. 1. Different shapes of Nylon fibers at the point of rupture.

1. Polypropylene, tensile speed 3.3×10^{-3} cm/sec, Brittle type
2. Polypropylene, tensile speed 1.6×10^{-2} cm/sec, Melting type
3. Polypropylene, tensile speed 1.6×10^{-1} cm/sec, Melting type
4. Polypropylene, tensile speed 1.6 cm/sec, Melting type
5. Polypropylene, tensile speed 1.6×10^2 cm/sec, Melting type
6. Nylon 6, tensile speed 3.3×10^{-3} cm/sec, Ductile type
7. Nylon 6, tensile speed 1.6×10^{-2} cm/sec, Brittle type
8. Nylon 6, tensile speed 1.6×10^{-2} cm/sec, Brittle type
9. Nylon 6, tensile speed 1.6 cm/sec, Melting type
10. Nylon 6, tensile speed 1.6×10^2 cm/sec, Melting type
11. Teton, tensile speed 1.6×10^{-3} cm/sec, Ductile type
12. Teton, tensile speed 1.6×10^{-2} cm/sec, Ductile type
13. Teton, tensile speed 1.6×10^{-1} cm/sec, Brittle type
14. Teton, tensile speed 1.6 cm/sec, Brittle type
15. Teton, tensile speed 1.6×10^2 cm/sec, Melting type

Fig. 2. Shapes of fibers broken under the different tensile speed
(Microphotograph $\times 400$)

さはすべて 5 cm で行なつた。

2.2 破壊方法

インストロンタイプの島津オートグラフにより、引張り速度を 3.3×10^{-3} cm/sec, (4 %/min), 1.6×10^{-2} cm/sec (2×10^2 %/min), 1.6×10^{-1} cm/sec (2×10^3 %/min), 1.6 cm/sec (2×10^5 %/min) の 4 段階とし、それ以上の高速の場合はモータにより約 1.6×10^2 cm/sec (2×10^5 %/min) の速度で繊維を引張り切断した。実験は 20°C, 65 % RH の実験室で行なつた。

3. 計測方法

3.1 プレバートの作製

引張り切断した繊維をスライドガラス上におき、Hylax (樹脂) を用いて上からカバーガラスをのせて封入した。

3.2 顕微鏡写真

繊維の破壊部分の顕微鏡写真は、生物顕微鏡を用い、 $\times 40$ の対物レンズ、 $\times 10$ の対眼レンズを用いて写真を取り、これを印画紙に焼付けた。実際の倍率は約 190 倍であつた。これらの拡大写真により繊維の破壊部分を観察した。

4. 実験結果ならびに考察

4.1 引張り切断端の形状

一般に繊維の引張り破壊現象は、その引張り速度を大にするにしたがつて延性破壊、ぜい性破壊に区別されるといわれている⁴⁾。緒言に述べたように切断端が熔融したようにふくらむ状態は、ぜい破壊とは形の上で明らかに区別することができる。そこで筆者らはこのような破壊を熔融状破壊と名づけた。

Celanese の研究者ら⁵⁾は、毎分 10%~ 1.8×10^6 % 伸長速度の範囲の引張試験で各種繊維を破壊したとき、オーロン 42 は高速時の場合もぜい性破壊のみならず、アセテート、強力レーヨンも同様の傾向を示した。しかしポリプロピレン、ポリエチレンのようなポリオレフィン系の繊維では毎分 1.4×10^3 % 以上の伸長速度では、ぜい性破壊を示すと述べている。

ここでぜい性破壊とは、その応力-ひずみ線図が通常のものと比較して立上りの勾配が大きく、伸びが非常に少なく明らかなにもろく破壊したことがわかることから定義している。

著者らは延性破壊、ぜい性破壊を繊維の破壊後の形状から分類したのであつて、一般に応力-ひずみ線図から判定されているような延性、ぜい性破壊にそのままあてはまらないかもしれない。

第 1 図にナイロンの引張りによる破壊切断端の形状を

示した。(c)は熔融状破壊であり、先端がふくらんで、延性破壊(a)、ぜい性破壊(b)と容易に区別できる。延性破壊とぜい性破壊の区別は、延性破壊は鉤が延びたように丸味を帯びた形状を示し、ぜい性破壊は破壊部分が木材をひきちぎったように、ぎざぎざの形状をもつことにより判別した。しかしながら延性破壊かぜい性破壊か区別しかねるもの、熔融破壊のおこる初期の形状とみられる、ふくらみが小さいものも観察された。

4.2 ポリプロピレン

(顕微鏡写真)

第 2 図の 1 から 5 まではポリプロピレンの引張りによる破壊の形状を示す。写真は各引張り速度の代表的な例を 1 枚ずつ示した。写真 1 は最も低速の 3.3×10^{-3} cm/sec の速度で破壊したときの切断端の形状で、ぜい性破壊を示している。写真 2, 3, 4, 5 はそれぞれの速度における破壊切断端の形状を示したもので、すべて熔融状破壊の形状を示している。

(破壊形状の分類)

第 3 図は 3 種の破壊形状の出現割合と引張り速度との

Fig. 3. Relation between tensile speed and types at the point of rupture (Polypropylene).

Fig. 4. Relation between tensile speed and types at the point of rupture (Nylon 6).

Fig. 5. Relation between tensile speed and types at the point of rupture [PET (Tetoron)].

関係をセミログ方眼紙に示したものである。最も低速の 3.3×10^{-3} cm/sec の速度による引張りでは、延性、ぜい性、熔融状破壊の順に多くあらわれ、 1.6×10^{-2} cm/sec の速度による引張りでは、熔融状破壊の形状が最も多くの割合を占め、速度が大になるにしたがつて延性、ぜい性破壊はともに比例して、しかも指数関数的に減少するが、熔融状破壊は逆に指数関数的に増加する。

4.3 ナイロン 6

(顕微鏡写真)

第2図の写真6から10まではナイロン6の引張りによる切断端の形状の代表的なものを示す。写真6は 3.3×10^{-3} cm/sec の速度によるもので延性破壊、写真7, 8は 1.6×10^{-2} cm/sec, 1.6×10^{-1} cm/sec の速度によるものでぜい性破壊、写真9, 10は 1.6 cm/sec, 1.6×10^2 cm/sec の速度によるもので熔融状破壊の形状を示す。写真9は普通みられる熔融状破壊とは少し形状が異なり、ぜい性破壊から熔融状破壊へ移行する途上の形を示すものと考えられる。

(破壊形状の分類)

第4図はナイロン6の3種の破壊形状の出現率と引張り速度の関係を示す。 3.3×10^{-3} cm/sec の低速の引張りでは延性破壊のほうがぜい性破壊よりいくぶん多く、熔融状破壊はみられない。速度の増加につれて 1.6×10^{-1} m/sec までは延性破壊の出現率は減少し、ぜい性破壊は少しずつ増加する。その原因は明らかではないが、速度の増加のために延性破壊が減少し、ぜい性破壊が増加する傾向はテトロンでも認められる。 1.6 m/sec の引張り速度で熔融状破壊がはじめてあらわれ3種の破壊形状の出現率がほとんど同じである。しかしこの実験における最高速度の 1.6×10^2 cm/sec の引張りでは熔融状破壊のみがあらわれて、延性、ぜい性破壊は全然あらわれていないことがきわめて特徴のある現象である。

4.4 テトロン

(顕微鏡写真)

第2図の写真11から15まではテトロンの引張りによる破壊切断端の形状の代表的なものを示す。写真11, 12は 3.3×10^{-3} cm/sec, 1.6×10^{-2} cm/sec の速度によるもので延性破壊、写真13, 14は 1.6×10^{-1} cm/sec, 1.6 cm/sec の速度によるものでぜい性破壊、写真15は 1.6×10^2 cm/sec の速度によるもので熔融状破壊の形状を示す。これらの写真は延性破壊とぜい性破壊の特徴がはつきりして非常に区別しやすい。

(破壊形状の分類)

第5図はテトロンの3種の破壊形状の出現率と引張り速度との関係を示す。

テトロンの場合、最も低速の 3.3×10^{-3} cm/sec の引張りでは延性破壊が大部分を占め、ぜい性破壊はわずかであつて熔融状破壊はあらわれていない。延性破壊は引張り速度の増加にしたがつてほとんど直線的に減少するが、ぜい性破壊は 1.6 cm/sec の引張り速度までは増加の傾向を示し、 1.6×10^{-1} cm/sec, 1.6 cm/sec の引張り速度では延性破壊よりも多くなる。しかし最高速度の 1.6×10^2 cm/sec の引張り速度では熔融状破壊がはじめてあらわれて、しかも大部分を占め、延性、ぜい性破壊の出現率はきわめてわずかとなる。

以上の結果から、各繊維において融点の低い繊維ほど(融点はポリプロピレン $160 \sim 170^\circ\text{C}$, ナイロン約 223°C , テトロン約 264°C)⁶⁾ 引張り速度が小さくても熔融状破壊が出現している。すなわちポリプロピレンは 3.3×10^{-3} cm/sec, ナイロン6は 1.6 cm/sec, テトロンは 1.6×10^2 cm/sec でそれぞれ熔融状破壊が出現し、それぞれの融点にかなりよく相関していることがわかり、切断のさいの先端の破壊形状が引張り速度と繊維の融点とに密接に関係しているものと推測される。

以上の実験からこの実験に用いた3種類の繊維とも、引張り切断によつてその切断端がふくらむことがわかつた。この現象は引張り速度が早ければ早いほど、破壊部分に発生した熱により、引張りひずみの回復が一層容易になることに原因があると考えられる。

5. 結 言

ポリプロピレン、ナイロン6、テトロン繊維を引張りによつて破壊し、破壊速度を変えて切断個所の形状を顕微鏡写真によつて観察し、次の結論をえた。

1. 引張りによる繊維の切断端の形状は、引張り速度の増加にともなつて、延性、ぜい性、熔融状の順に破壊形状があらわれた。

2. 熔融状破壊がはじめて出現した引張り速度は、ポ

リブロピレン 3.3×10^{-3} cm/sec, ナイロン 1.6 cm/sec, テトロン 1.6×10^2 cm/sec であつた。これは融点の低い繊維ほど低速の引張り速度で熔融状破壊の形状が出現することを示している。

(本研究の一部は昭和 40 年 5 月 20 日の日本繊維機械学会研究発表会で発表したものである。)

文 献

- 1) Schiefer; *Textile Res. J.*, 25, p. 527 (1955)
 - 2) R. J. E. Cumberbirch, et al; *J. Text. Inst.*, 52, T 525 (1961)
 - 3) J. E. Ford; *J. Text. Inst.*, 54, T 486 (1963)
 - 4) 高分子学会編: 高分子の物性 I, (共立出版) p. 205 (昭和 33 年)
 - 5) W. James Lyons; *Impact Phenomena in Textile*, p. 125, M. I. T. PRESS (1963)
 - 6) 繊維学会編: 化繊便覧, (丸善) p. 117 (1963)
-