ハイ ストレッチ ヤーンの構造と その引張特性

群馬大学工学部 書 上 誠 之 助 (会員)

” 笹 井 哲 之 (”)

Structure of High Stretch Yarn and Its Tensile Properties.

Seinosuke Kakiage and Tetsuyuki Sasai,

Faculty of Engineering, Gunma University, Kiryu, Gunma-ken.

Abstract

We have tried to clarify the structure of high stretch yarn in the shape of spring-coil taking various photographs of it and other textured yarns and models for this purpose, and the relations between tensile properties of high stretch yarn and its structure.

Results obtained are :

1. Hard-twisted two-ply yarn, which is a model of having two bottom twists per one final twist, has been studied. The yarn has a hollow part in the center of the yarn which has a radius a as follows :

$$a = r (2 \sqrt{\pi^2 + 1} - 1) / \pi \approx 1.7806 r.$$

2. We have explained the configuration of the crimps or loops of the constituent filaments when the hard-twisted two-ply yarn is twisted, heat-set and untwisted.

3. We have found that the tensile properties of high stretch yarn are dependent on the configuration of the constituent filaments and the complexity of assembly of these filaments, and that the fundamental shape of crimps of the yarn is consist of a series of rings which arises a high extension property.

(Received July 12, 1974)

摘 要

目 的 スプリング (コイル) 状のハイ ストレッチ ヤーンについて、写真とモデルによりその基本的構造を明らかにし、さらにハイ ストレッチ ヤーンの引張特性とこの形態との関連を明らかにする。

成 果 (1) 撚りの形態変換に線撚り、空間撚りの考えをいれ、ハイ ストレッチ ヤーンの加撚—セッ—解撚の機構を明らかにした。

(2) 1 ピッチに 2 個の下撚りをいれられた双糸では $a = r(2\sqrt{\pi^2 + 1} - 1) / \pi \approx 1.7806 r$ の半径をもつ中空部が糸の中心に存在する。

(3) ハイ ストレッチ ヤーンの引張特性はループ状の単繊維の形態およびその単繊維の集合と拘束の状態によって決められる。

(昭和49年7月12日受理)

1. 緒 言

加工糸はまっすぐな合成繊維に、その熱可塑性を利用して、撚りあるいは他の方法によって三次元的な巻縮（あるいはループ）を与え、その形態によって引張りおよび圧縮に際して、もとの合成繊維の性質とは異なった特長を付与することを目的に造られる糸である。

加工糸は加撚法と非加撚法に大きく分類され、前者には多工程法、強撚法、仮撚法等が属し、後者には擦過法、押込法、賦型法等が属する。本研究で試料として用いたハイ ストレッチ ヤーンは、加撚法のうちの強撚法によってつくられる。すなわち、ハイ ストレッチ ヤーンは繊維を強撚し、糸の単位長さあたりに対して繊維の長さをいかに長く組込み、良い伸縮性の糸を得るかということを目的につくられる。

ハイ ストレッチ ヤーンの製造方法は強撚→熱セット→解撚の方式を中心にして、特許出願公告に種々なる方法が述べられている。単糸と逆方向および単糸と同方向に双糸を強撚し、熱セット後解撚する方法²⁾、イタリア式撚糸機を用いたオーバ解撚双糸³⁾、強撚→セット→解撚+オーバ解撚の方法⁴⁾およびその他の方法がある。

本研究では、スプリング（コイル）状のオーバ解撚双糸のハイ ストレッチ ヤーンについて、形態写真とモデルによりその基本的構造（形態）を明らかにするとともに、ハイ ストレッチ ヤーンの引張特性がこの形態に大きく寄与されることを示す。特に単繊維の微少荷重における挙動を明らかにして、糸の特性との関連を明らかにした。

なお書上ら¹⁾は強撚法ハイ ストレッチ ヤーンの基本構造として、単糸の二重撚りについて詳細な研究を発表しており、二重撚り内の単繊維はリング状となり、糸軸に一定周期をもって巻付いているという結果を得ている。ハイ ストレッチ ヤーンは強撚した双糸を解撚することによって得られるので、これと前記の構造を比較検討した。

2. 試料および実験方法

本実験で使用した試料は、ハイ ストレッチ ヤーン 2 種のほかに、仮撚糸と多工程法による糸数種である。

仮撚糸などを用いて同じ測定を行ったのは、ハイ ストレッチ ヤーンの特性を一層明瞭にするためである。次に試料名と記号（以下、この記号で試料を表わす）を示す。

A: ナイロン 110/2 スプリンジィ ハイ ストレッチ ヤーン

B: ナイロン 110/2 スプリンジィ ハイ ストレッチ ヤーン（一部解撚不良）

C: ナイロン 110/2 加撚→セット→解撚（イタリア式撚糸機によるもので、多工程法と命名しておく）の工程によってつくられた加工糸

D: ナイロン 110d 単糸ウーリ（仮撚）

E: ポリエステル 100/2 仮撚双糸（非接触式ヒータ使用）

強伸度試験は、糸と単繊維について行った。その条件は、糸では引張速度 50 mm/min、初荷重 1.1459 mg/d における試料長 10 cm、つかみ間隔 5 cm、チャートスピード 60 mm/min であり、単繊維では引張速度は糸と同じ 50 mm/min、初荷重 3.24 mg における試料長 4 cm、つかみ間隔 1 cm、チャートスピード 240 mm/min である。試料は、初荷重をかけて長さを決める前に 24 hr 以上弛緩状態で放置した。ここで試料長とつかみ間隔が違うのは、次の理由による。初荷重を糸（または単繊維）の巻縮（およびループ）を伸ばさずに、糸全体がまっすぐに垂れ下がるように選んだにもかかわらず、特にハイ ストレッチ ヤーンでは伸びやすく、逆にこの糸を伸ばさないような荷重を選ぶと、他の糸がまっすぐに垂れ下がらず、試料長を定めることができなかった。そこで、上述の初荷重によって試料長を規定し、強伸度試験では充分にたるませて、初めの立上がり部分がよくわかるようにつかみ間隔を試料長より短くした。使用した機器は、東洋ボールドウィン(株)の引張試験機 UTM-4L 型および三栄測器(株)の 6 L 4 形ひずみ増幅器をつけた理研電子(株)の記録計である。

3. 実験結果ならびに考察

3.1 試料の外観（写真）

図 1(a)~(e)はスプリンジィ ハイ ストレッチ

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

図1 スプリンジー ハイ ストレッチ ヤーン (A)

(a)

(b)

(c)

図2 解熱不良部分のあるハイ ストレッチ ヤーン (B)

(a)

(b)

(c)

図3 多工程法による加工糸 (C)

(a)

(b)

図4 仮撚りの単糸ウーリ (D)

ヤーンの A 試料である。(b)~(e)は、それぞれ前の試料をおよそ倍ずつ伸ばしたもので、(e)は手で普通に伸ばしてほとんどこれ以上伸びない程度、すなわち 250~300%伸ばしたものである。この程度伸ばしても、外観が波状を示している。

図2 (a)~(c)は A 試料と同じスプリンジー ハイ ストレッチ ヤーンであるが、一部に解熱不良で下撚りが残っている部分をもつ B 試料の解熱不良部分である。(b)は(a)を 50~100%、(c)は約 200%伸ばしたところである。解熱不良部分の両端で、撚りの変換が

起きており、また正常な部分では解熱が行われて、A 試料と同じ形態を示す。(c)から、正常な部分では1本1本の単繊維が分離しているが、解熱不良部分では、単繊維が収束されたままになっている。

図3 (a)~(c)は、イタリー式撚糸機を用いて、加撚→セット→解熱の工程を経てつくられる多工程法による糸の C 試料である。(a)では、仮撚糸には見られないスナール状のループが見られる。

図4 (a)、(b)は仮撚りの単糸ウーリの D 試料である。この試料は伸ばすと残留トルクにより撚りが戻る

図5 ポリエステル ウーリ(非接触式ヒータ使用)(E)

(a) A 試料

(b) C 試料

(c) D 試料

(d) E 試料

図6 単繊維の形態

ため、一定方向に回転しつづける。

図5 (a)~(c)は仮燃機のヒータに非接触式ヒータを用いてつくったポリエステル ウーリのE 試料である。

3.2 単繊維の形態

前節で述べた試料のうち A, C, D, E の4つの試料から単繊維を取出し、それを無張力状態において、試料の構成単繊維の形態を示す。

図6 (a)~(d)が4試料の単繊維の形態である。(a)はA 試料の単繊維である。ループが規則正しく並び、そのループが次のループに対して少しずつ角度を変えていることがわかる。この原因は後述する。また書上¹⁾の単糸の二重撚りの伸縮糸の単繊維の形態と比較すると、単糸二重撚りの場合にはトルクが残らないので、より規則正しくループが並ぶ。(b)はC 試料、(c)はD 試料、(d)はE 試料の単繊維の形態である。(b)では(a)に似たスナール状のループがところどころに現われるが、その位置は、まったくランダムである。(d)の巻縮は、他の試料に比べると小さい。

3.3 加熱・解熱のモデルと撚りの形態変換

ハイ ストレッチ ヤーンの構造を明らかにするため

(a) 正面図

(b) (a)を90°ずらしたものの

(c) 糸軸方向

図7 双糸の加熱状態のモデル(上撚り1個に対して下撚りが2個入っている諸撚りのうちの1本を示す)

に、モデルを用いて検討する。 図7(a)~(c)は双糸の加熱状態のモデル、そして図8(a)~(c)は加熱後、セットを施し、それを解熱したときのモデルである。

図7は、上撚り1個に対して下撚りが2個入っている諸撚りのうちの1本(単糸)だけを示している。濃色は

(a) 正面図 (b) (a)を45°ずらしたもの

(c) 糸軸方向

図8 双糸の解燃状態(張力下)のモデル
(位相が90°ずれた2種の最外層繊維を示す)

外層繊維, 淡色は中心繊維を示す。(b)は(a)の位置を90°ずらしたもの, (c)は糸軸方向すなわち上から見たものである。図8の(a)と(b)は45°位置がずれており, (c)は糸軸方向から見たものである。図8では, 位相が90°ずれた2種の最外層の単繊維を示している。このモデルは張力が働いている状態での単繊維の形態を示しているが, 張力が取除かれると図6(a)で示したように, ループ状になる。

これは, 強燃した双燃を解燃して得られるハイ ストレッチ ヤーンでは単糸二重撚りと異なり, トルクが残っているために, それが平衡状態をとろうとしてループ

図9 加燃状態の外層繊維の形態

になり, また内層の単繊維が一部外層に出てきて, 図1に示したような波状の外観が得られるのである。

次に図9に示すように, 単糸二重撚りには1ピッチに1個の下撚りを入れ, 双糸撚りには1ピッチに2個の下撚りを入ると仮定する。(図7と同じである。) いずれも加燃状態ではS撚りが入れられる。このような仮定のもとに, 撚りの形態変換を考える。図9においてAは外層繊維, Bは中心繊維を表す。図10に撚りの基本型を示す。(a)の下撚りの単糸は45°の撚角をもつ

図10 撚りの基本型

のとする。(c)は図7のモデルおよび図9(c)を図式化したものである。

r は糸の半径, a は中空部の半径である。また(b)に示す単糸二重撚りの2ピッチが(c)に示す双糸の撚りの1ピッチに相当すると考える。換言すれば, (c)で示したように, 実際には $2r/\pi^2+1$ ある1ピッチを $2\pi r$ とおく。すなわち $2r/\pi^2+1=2\pi r$ とする。 $2\pi r$ は図10(a)に示したように, 単糸撚りの撚角を45°としたときの1ピッチの長さである。同様に図10(c)では $4r/\pi^2+1=4\pi r$ とする。このような仮定のもとに初めに a を求める。展開図より次のようになる。

$$(4\pi r)^2 + (4r)^2 = \{2\pi(a+r)\}^2$$

$$\pi^2 a^2 + 2\pi^2 r a - r^2 (3\pi^2 + 4) = 0$$

$$\therefore a = \frac{-r \pm 2r\sqrt{\pi^2 + 1}}{\pi}$$

ここで a は常に正であるので, a は次のようになる。

$$a = \frac{r(2\sqrt{\pi^2 + 1} - 1)}{\pi} \approx 1.7806r$$

実際の場合においても, 強燃双糸は解燃前後の形態において, 図1および図2の形態写真や図6(a)の形態より図7および図10(c)に示すように, 中心に中空部が存在する。

次に, 撚りを線撚りと空間撚りにわけ, 撚りの形態変換を考える。線撚りとは繊維に加えられたねじりの数で, 空間撚りとは立体的な撚りでらせんに代表される。表1は, 双糸の下撚りとなる単糸撚り, 1ピッチに下撚りが1個入っている単糸二重撚り, および1ピッチに下撚りが2個入っている双糸撚りについて, 撚りの形態変換を表にまとめたものである。このような形態は, 標準形として上述した通りである。

表1 において, ハイ ストレッチ ヤーンは, 強燃

表1 撚りの形態変換

撚りの状態	位置	加撚		セット		解撚		記事
		線撚り	空間撚り	線撚り	空間撚り	線撚り	空間撚り	
単糸撚り (下撚り)	内	S 1	0	0	0	Z 1	0	(→スナール) 1 Z解撚
	外	S 1	S 1	0	S 1	0	$S \frac{1}{2}, Z \frac{1}{2}$	
単糸二重撚り (1ピッチに下撚り1個)	内	S 2	S 1	0	S 1	0	Z 1	2 Z解撚 (トルクなし)
	外	S 2	S 1	0	S 1	0	Z 1	
双糸撚り (1ピッチに下撚り2個)	内	S 3	S 1	0	S 1	Z 1	Z 2	3 Z解撚 (トルク残る)
	外	S 3	S 2	0	S 2	0	$S \frac{1}{2}, Z \frac{3}{2}$	

双糸撚りを解撚して得られるものである。単糸二重撚りを解撚して得られる伸縮糸にはトルクがなく、解撚状態で平衡を保つのに反して、双糸ハイ ストレッチ ヤーンでは、内層と外層の撚りの数が異なり、トルクが残る。これを消すために、実際上はオーバ解撚等の処置がとられている。内層繊維には、空間撚りとともに線撚りが残っており、また外層繊維では線撚りはないが、空間撚りではS、Zの撚り数が異なりながら混在している。なお表1は前述の仮定のように、単糸二重撚りでは1ピッチに下撚りが1個入り、双糸撚りでは1ピッチに下撚りが2個入るとして求められているが、書上¹⁾によると単糸二重撚りでは、7.7ピッチに1回の周期があることがわかっている。双糸撚りでも、同様に

$$4r\sqrt{\pi^2 + 1} / (4r\sqrt{\pi^2 + 1} - 4\pi r) \approx 7.7$$

となり、7.7ピッチに1回の周期となる。

以上で、ハイ ストレッチ ヤーンの形態を明らかにしたが、次にこれらの試料の形態が強伸度曲線に与える影響を考察する。

3.4 強伸度曲線

図11は形態 について述べた A~E 試料の強伸度試

図11 糸の強伸度変曲線

験の結果を示す。A と B は似た曲線を示すが、立上りは B が伸びやすく、途中で逆転し、切断点においては A の伸びが大きくなる。また両試料とも上述のよう

な形態をもつため、ループの絡み合いによる抵抗力のため、応力は階段状に大きくなる。A~E 試料のデニールあたりの強さは約 3 g/d で、試料間に大きな違いはない。

図12は 図11 で示した強伸度曲線の応力の小さいところ、すなわち立上がり部分を測定した結果である。図11

図12 糸の強伸度曲線の立上がり部分

で述べたように、B 試料の立上がり部分の伸びは A 試料より大きいことがはっきりとわかる。C 試料は直線状に大きくなり、他の試料では3次曲線状に大きくなる。

図13は 図6 で示した単繊維1本の強伸度曲線の立上がり部分である。初め傾きの小さな直線状に伸び、次に

図13 単繊維の強伸度曲線の立上がり部分

急激に力が増大する。A試料のハイ ストレッチ ヤーンでは特に顕著に現われているが、これはループ(あるいは巻縮)が初めに伸ばされ、ループがなくなってから、次に単繊維自身が伸ばされるためである。この単繊維自身の伸びの直前に、ループ状の形態をもつ試料ではループがなくなり、まっすぐになると、曲線が階段状になる。巻縮のなめらかなE試料では、この現象は現れない。B試料では、解熱不良部分から単繊維を離し、単繊維1本の試料を得るのにかなりの力を必要とし、このためにループが伸ばされ、伸びが小さくなった。

図14は A 試料の単繊維数を2本、3本と増やしたと

図14 単繊維の数を増したときの強伸度曲線

きの強伸度曲線である。立上がり直線の傾きが次第に大きくなり、また単繊維自身が延ばされるために急激に力が増大する前に、ゆるやかだが階段状に力が増加する曲線を描くようになる。単繊維の本数が増えるにしたがってこの傾向は強く現われ、また糸になると、図11に示したような曲線を示すのである。

3.5 伸縮性

A~E試料の引張特性をさらにはっきりさせるために、伸縮性を測定した。伸縮性は次のように定義される。

a…初荷重 (1.1459 mg/d) を負荷し、そのまま 30 sec 経過したときの長さ。

b…0.1 g/d の荷重を負荷し、30 sec 経過したときの長さ。

c…0.1 g/d の荷重を除重後、2 min 間放置し、再び初荷重を負荷し、30 sec 経過したときの長さ
とすると、次のようになる。

$$\text{I: 伸縮伸長率 (\%)} = (b-a) / a \times 100$$

$$\text{II: 伸縮弾性率 (\%)} = (b-c) / (b-a) \times 100$$

測定結果を表2に示す。

表2 伸縮性の測定結果 (%)

	A	B	C	D	E
I	262.33	286.67	175.67	191.70	113.33
II	94.52	90.69	93.03	89.78	86.21

ハイ ストレッチ ヤーンの A, B 試料は伸長率が大きく、仮燃法、多工程法によるものは A, B に比べると小さい。弾性率は A 試料に比べて、B 試料ではかなり悪くなっているが、これは前述のように、B 試料には解熱不良の部分があるという欠点によるものと思われる。多工程法による C 試料では弾性率が A 試料に近い値を示す。

4. 結 言

以上のことから、次のことが得られた。

- (1) 本研究で用いた下撚りをセットした糸2本を引揃え、これを同方向に強撚し、セットした後解撚することによって得られた ハイ ストレッチ ヤーンについて、他の数種の加工糸とその構造を比較し、またモデルを用いて、その形態を明らかにした。
- (2) ハイ ストレッチ ヤーンはその単位長さあたりに対して、いかに長い繊維を組込むかという工夫であり、単繊維の特殊な形態が糸の高い巻縮伸張性を発現せしめるのである。
- (3) ハイ ストレッチ ヤーンの引張特性は、ループ状の単繊維の構造形態およびその単繊維の集合と拘束の状態によって決められるものである。

おわりに、本実験に協力された中尾美憲君および星野時子さんに感謝の意を表す。本研究は昭和49年6月、本学会年次大会で発表したものに補筆したものである。

文 献

- 1) 書上誠之助、桑子熙；織機誌, 17, 513 (1964)
- 書上誠之助；織機誌, 11, 317 (1958)
- 2) 特許出願公告 昭33-6699 および昭33-8499
- 3) 実用新案出願公告 昭35-27952
- 4) 特許出願公告昭 43-28256