ストレッチ ヤーンの伸長特性について*

(第2報) 伸長過程における繊維間摩擦

(昭和37年7月4日受理) 会 員 川 崎 健 太 郎**

→ 摘 要 ←

目 的

ストレッチ ヤーンの形態伸び領域における伸長時の繊維間の摩擦仕事を検討するため、伸長～回復サイクル曲線を実測し、各サイクルごとの伸長(回復)仕事について考察した。

成 果

いずれのストレッチ ヤーンも第1サイクル時の損失仕事量が異常に大きく、かつ第3サイクル以降の曲線の変化がほとんどないことがわかり、2, 3の実験により、第1～第3伸長曲線間の損失仕事量は主としてクリンプ繊維間の摩擦仕事、第3(以降)伸長～回復曲線間の損失仕事量は主として繊維の形態伸びによる繊維内部の仕事損失を示すものであることを確めた。

各糸の特性を比較するため、一応第3回復曲線の仕事量(r_3)を基準とし

$$\text{外部損失仕事比 } EXR = \frac{e_1 - e_3}{r_3}$$

$$\text{内部損失仕事比 } INR = \frac{e_3 - r_3}{r_3}$$

{ただし、上式の $e_i(r_i)$ は i 次の伸長(回復)サイクル時の仕事量を示す}

を定義した。

多くのストレッチ ヤーンの EXR は 0.8～4.3 で、この糸の伸長時、クリンプ伸びによる仕事量をはるかに上まわる繊維間の摩擦仕事が存在することが確められた。

なお、この糸の伸長特性の評価に当っては、試料糸を wet relax した後、少なくとも2回、その形態伸び全域にわたって伸長～回復 mechanical conditioning を行なうことが必要であることが結論される。

1. 緒 言

前報¹⁾でストレッチ ヤーンの形態伸び領域の伸長特性をスパイラル コイル モデルにより考察した。すなわち、コイルの伸長式を用いて荷重～伸度曲線(以下 $S \sim S$ 曲線と呼ぶ)の伸度軸を適宜伸縮して直線に modification し、この直線の傾きから形態定数(たとえばコイル数、コイル半径)を求めそれが繊維のクリンプ数、クリンプ径などに相関することをのべた。本報はこの糸の形態伸びの全域にわたる伸長～回復仕事量を測定し、分析して得られた知見に関するものである。

2. 試料糸の調製と実験方法

試料糸は東洋レーヨン株式会社の6ナイロン糸を用い

て試作した仮より糸A, Bのほかは一般に市販されているストレッチ ヤーンで、その詳細は以下のごとくである。

試料糸の明細

名 称	原 糸	デニール (フィラメント数)	加工法の タイプ
Woollie Nylon	6 ナイロン	70 ^d (34f)/2	仮より
Woollie Pylon	ポリプロピレン	50 ^d (24f)/2	仮より
Astralene	ポリエチレン テレフタレート	75 ^d (36f)/-	仮より+ 特殊加工
Ban-Lon	6 ナイロン	210 ^d (34f)/-	スタッ ピング
Woollie Nylon A	6 ナイロン	70 ^d (32f)/2	仮より
Woollie Nylon B	6 ナイロン	70 ^d (34f)/2	仮より

* Stress-Strain Relation of Stretch Yarns. Part 2: The Inter-Fiber Friction in Elongation. (第1報 14巻 10号所載)

** K. Kawasaki, Member. 蝶理株式会社

いずれの糸も糸中の不安定な繊維条のもつれを解消し、かつ糸の履歴（たとえばパッケージの状態、放置時間）に関係のない安定なクリンプ形態を得るため、いったん小さなかせを作り、60°C、30 min 温湯処理 (relaxing) し風乾した後、ランダムにサンプリングした。なお、このリラックス処理がきわめて有効であり、かつ測定に先立ち欠くことのできないプロセスであることは前報¹⁾および他の報告²⁾にもべられている。S～S曲線の測定はインストロン型引張り試験機テンシロンUTM-IIを用い、試長は50 mm、伸長速度は20 mm/min、測定値はいずれも10回の平均値であり、室内温湿度は20～25°C、RH 45～60%で行なわれた。また伸長サイクルの伸度（形態伸び全域）は、明らかに糸自身が伸びていると推定される伸度までのS～S曲線を描き、そのグラフの立ち上がり部分を延長して横軸と交わる点をもって形態伸びの伸度とした。また試長は1 mg/d 微荷重下の長さをを用いた。

3. 実験結果

3.1 伸長サイクルにおける仕事量の変化

第1図は市販ウーリ ナイロン糸の伸長サイクル時のS～S曲線を示すものであり、第2図は各種の市販糸の伸長サイクル時の仕事量(実線は伸長時、点線は回復時)の変化を示すものである。

これらのグラフによれば、伸長時の値は、回を重ねるにしたがって漸減し、回復時のそれはほとんど一定であることがわかる。またどの糸でも、第1～2サイクルの伸長時の曲線の変化が著しいこと、第3回以降では、伸長曲線の変化も(回復曲線と同様)あまり大きな変化のないことが注目される。

(第1図) ウーリ ナイロン糸の伸長サイクル時のS—S曲線 (e_i : 第*i*サイクル伸長, r_i : 第*i*サイクル回復)

(第2図) 伸長サイクルによる仕事量の変化

(第3図) 損失仕事比の伸長サイクルによる変化

第3図は、第2図の結果を、表現方法を変えて示したもので縦軸は各サイクルにおける弾性回復仕事量に対する損失仕事量(第1図の伸長、回復曲線間の面積)の比率を表わしている。この図によれば、いずれの糸も、第1サイクルの損失仕事量は、回復仕事と同程度以上であり、糸によっては数倍に達すること、また第3サイクル以降のそれは、ほとんど一定であり0.3～1.1程度であることが認められる。第4図(a), (b)はフィラメントナイロン糸70d(34f)の5%(7%)伸長サイクル曲線であり、第5図は、第3図と同様な表わし方で描かれた同糸の損失仕事比を示す。第5図によれば、ストレッチヤーンの場合と同様の傾向が見られるがその値は、0.6～0.3程度であり、ストレッチヤーンの第1サイクル時の異常に大きな損失仕事量が注目される。

(第4図a) ナイロン糸(70d)の5%伸度における伸長サイクル曲線

(第4図b) ナイロン糸(70d)の7%伸度における伸度サイクル曲線

(第5図) ナイロン糸の伸長サイクル, 損失仕事比

3.2 放縮による伸長サイクル曲線の変化

第6図(a)はウーリ ナイロン糸, 第6図(b)はパンロン糸を, 第3サイクルまで伸長サイクルをおこなった後, 10 min 間スタート時の状態のまま放置(放縮)し, 再び伸長サイクルを行なった結果を示すものである。明らかに放縮によって旧状(第1サイクル)にもど

(第6図a) 伸長サイクル曲線の放縮(10 min)前後の変化

($e_4 \sim r_4$ は放縮後の1st サイクル)
試料; ウーリ ナイロン 70 d/2

(第6図b) 伸長サイクル曲線の放縮(10 min)前後の変化

($e_4 \sim r_4$ は放縮の1st サイクル)
試料; パンロン 140 d/ー

らず第3サイクル時と変わらないことが認められる。(なお2 hr 放置しても結果は同様であった) 第7図(a), (b)は同糸の第3サイクル後試料糸をとりはずし再び wet relaxing (60°C, 30 min)を行ない風乾した後, 第4サイクルを行なった結果を示すもので, 曲線は第1サイクルにほとんど完全に重なっているのが認められる。第8図はウーリ ナイロン糸のS~S曲線(第1サイクルの伸長)の伸長速度による変化を示すもので明ら

(第7図a) 伸長サイクルの Wet Relax 前後の変化
($e_4 \sim r_4$ は Wet Relax 後の 1st サイクル)
試料; ウーリ ナイロン 70 d/2

(第7図b) 伸長サイクルの Wet Relax 前後の変化
($e_4 \sim r_4$ は Wet Relax 後の 1st サイクル)
試料; パンロン 140 d/-

(第8図) 伸長速度による伸長曲線の変化
試料; ウーリ ナイロン 70 d/2
L: 5 mm/min H: 20 mm/min

かに普通糸と異なり低速時の荷重が大きく出ていることが看取される。

4. 考 察

4.1 損失仕事について

伸長サイクル時の仕事損失は、(たとえば、第4図に示すように) 一般のフィラメント ヤーンの弾性限度内の伸長サイクルでも見られるもので、繊維の変形時の応力～ひずみのおくれ、すなわち遅延弾性 (Retarded Elasticity) に起因する現象といわれている³⁾。

しかしストレッチ ヤーンの第1サイクル時の異常に大きな損失仕事は、一般繊維の弾性限度内の変形では見られないものであり、かつ、それが wet relaxing により簡単にもとへもどることなどの前述の諸現象を説明するため、第9図に示すような伸長仕事量に関する模型的な考察を試みた。

すなわち、伸長サイクル曲線がほぼ安定となる第3サイクル曲線を標準にとり、(以下第1サイクルの伸長曲線下の仕事量を e_1 、回復曲線下の仕事量を $r_1, r_2, \dots$...と表わす)

$e_1 - e_3$; 主として繊維条間の摩擦にもとづく外部ロス (EXL)

$e_3 - r_3$; 主として繊維条の形態の変形にもとづく損失仕事、すなわち内部ロス (INL)

r_3 ; 完全弾性体としての繊維条コイルの変形仕事 (EL)

と考えたい。このような考え方をすれば、第1伸長時の異常な損失仕事量ははじめて納得されるとともに、第3サイクル後、自然放置では旧状に復さないが、wet relaxing により簡単にもどる現象は、伸長サイクルによって繊維条は整列化された糸束となるが、そのクリンプ形態はエネルギー的にもっとも安定な状態にあるのではなく、繊維条間の摩擦によりいわば、ループ相互が一時的に

(第9図a) 伸長仕事量のモデル

押えられた状態にあり、それが wet relax により繊維間の摩擦が少なくなり、同時にマクロ的、ミクロ的な外力、熱による disturbance により、安定な状態にもどるものと説明される。

なお、伸長率（あるいは巻縮度）、原糸のデニールなどの異なる各種試料間の損失仕事を比較検討する際の便宜上、一応糸の伸長率、あるいはデニールに比例的に相関し、かつ糸の本質的な特性値（測定値のバラツキが少なく、またクリンプの形態特性に相関する）と考えられる r_3 に対する各損失仕事比をもって、Index としたい。すなわち

$$EXR = \frac{e_1 - e_3}{r_3}$$

$$INR = \frac{e_3 - r_3}{r_3}$$

(第1表) 各糸の EXR, INR の比較

	EXR	INR
ウーリ ナイロン (A)	3.07	0.94
〃 (B)	4.24	1.19
ウーリ ナイロン	3.50	1.21
ア ス ト ラ レ ン	0.79	0.50
ウーリ P P	1.29	0.71
バン ロ ン	0.77	1.12

第1表は各糸について、実測値から計算した EXR, INR を表にまとめたもので、この表によればいわずのウーリ ナイロン糸は EXR が大きいこと、アストラレン糸は EXR, INR とともに小さいこと、バンロン糸は EXR が小さいが INR が大きいことなど、実用上の知見と一致する各糸の特性がうかがわれる。

(ねんのため付言すれば、アストラレン糸は仮より糸の単糸を一定の伸長状態を保ったまま特殊な再熱処理を行なうことによって作られた糸といわれ、バンロン糸はスタッフィング法によって作られた細かいジグザグ型のクリンプを有する糸である) (第9図(b) 参照)

4.2 繊維の形態と損失仕事の関係

前章で定義された EXR が繊維間の摩擦仕事量に関する指標ならば、その大きさはクリンプ繊維の形態によって左右されることは当然である。

(第2表) 構成繊維数による仕長仕事の変化
(ウーリ ナイロン 70d (31f/2) (A), (B))

試料	Fil	e_1	e_3	r_3	EXR	INR
A	68	15.87	6.12	3.15	3.07	0.95
	34	11.00	2.59	1.43	5.88	0.81
	20	6.16	1.53	0.90	5.14	0.70
B	68	13.20	4.50	2.05	4.24	1.19
	34	5.45	2.26	1.16	2.75	0.95
	20	3.79	1.55	0.86	2.60	0.80

第2表は仮より数のとくに多い(ループの細かい)ウーリ ナイロン A 糸と、少ない(ループの粗い) B 糸について、繊維の一部を注意深く切断して取り除き、構成繊維数のみ異なる試料糸数種を作り、おのおの伸長サイクルから EXR, INR を実測した結果を集録したものである。

なおこれら A, B 糸の加工条件は、以下のとおりであ

(第9図b) 試料糸の写真

- ① ウーリ ナイロン 70d/2 (仮より)
- ② ウーリ パイレ 50d/2 (仮より)
- ③ アストラレン (テトロン) 75 d/—
(仮より—後処理)
- ④ バンロン(ナイロン) 140 d/—(スタッフィング)
- ⑤ タスラン 150 d テトロン/70 d ナイロン (空気噴射)

(第10図) ウーリ ナイロン (A) 糸の振幅, 波長ヒストグラム (図中の一点鎖線は平均値)

(第11図) ウーリ ナイロン (B) 糸の振幅, 波長ヒストグラム (図中の一点鎖線は平均値)

る。

原 糸 ; 70 d(34 f)/2 ナイロン 6

	A	B
仮 より 数 (T/m)	3 600	2 740
セ ッ ト 温 度 (°C)	168	168
セ ッ ト 時 間 (sec)	1.4	1.4
スピンドル回転数 (rpm)	48 000	36 800

また第10, 11図は, それぞれ, A, B糸の単繊維を自然状態のまま拡大投影し, そのクリンプ波形の振幅, 波長の分布を実測した結果であり, 両糸の波形の大きさ, バラツキの度合を示している。

第2表によれば, とくにフィラメント数の少ない34 f, 24 fでは, A糸のEXRはB糸の2倍ほど大きい, 元の68 f糸では逆に2倍程度も小さい値を示しているのが注目される。

INRはA, Bともにフィラメント数の減少とともに漸減する傾向が見える。この現象は, A糸が, クリンプが細かく, したがってフリクションポイント数が多いため, 構成本数が少ないときは, B糸に比べEXRが圧倒的に大きい, 構成本数が多くなると, 粗い, バラツキの多いスパイラルクリンプ糸は, 繊維相互のループの交錯, もつれ合いが多くなり, EXRが

大きな値を示すのではないかと想像される。なお, INRの漸減傾向は, 内部ロスとして計量される仕事量の内に不可避免的に入ってくる繊維相互の摩擦ロスにもとづくものと考えられる。

また同一フィラメント数のA, B糸間のINRを比較すると, つねにA糸の方が少ないが, これは加工時の熱処理条件(温度, 時間)が同一であるにもかかわらず, A糸は強ねんされているから, クリンプ堅牢度がすぐれていることによるのではないかと考えられる。なお試験機の感度の問題から, フィラメント数20本以下の糸について同様な実験を行なうことができなかったが, EXRはある本数以下で急激に0に近づくものと考えられる。

4.3 クリンプ形態要素の推算

A, B2種の糸の伸長サイクル曲線(第12, 13図)の第1伸長, 第3回復時曲線を前報の方法で直線にmodifyした結果が第14, 15図である。ただし, 糸の巻縮度から横軸の値を計算する際, $X-X_0$ に必要な糸の伸長率は, 第1伸長時, 第3回復時にそれぞれ異なる

(第12図) ウーリ ナイロン糸 (A) の伸長—回復曲線

(第13図) ウーリ ナイロン糸 (B) の伸長—回復曲線

(第14図) ウーリ ナイロン糸 (A) の $W \sim X-X_0$ 対数図

(第15図) ウーリ ナイロン糸 (B) の $W \sim X-X_0$ 対数図

値を用いている。(第3回復時の試長は原長+残留伸びとした) 第14, 15図によれば, 第1伸長時の測定値は相当直線のまわりにばらついているが, 第3回復時のそれはきれいに直線上にならんでいる。第3表は上図の直線の傾きから計算されたモデルとしてのスパイラル織条の形態要素の計算結果である。A, B糸の形態要素の比較において, いずれの直線からも, B糸のクリンプループが粗く, 大きいことが推定されるが, r_3 から得た値の方が, 両糸の差を大きくクローズアップしている。

(第3表) 形態要素の計算結果

試料品種	A	B	A	B	A	B
伸長サイクル No.	e_1	e_1	e_3	e_3	r_3	r_3
伸長率 (%)	170	160	150	140	55	46
コイル定数 α (g)	5.9	4.0	1.7	1.1	4.0	2.1
コイル定数 β	1.65	1.40	2.06	2.04	2.02	1.79
コイル巻数 n/l (cm ⁻¹)	14.97	12.33	8.04	6.48	12.33	8.97
コイル半径 R (cm)	0.010	0.012	0.018	0.022	0.010	0.013

5. 結 論

ストレッチ ヤーンの形態伸び全域の伸長一回復サイクルの仕事量を測定した結果

1) ストレッチ ヤーンの形態伸び領域の伸長時, クリンプ織条の形態伸びによる仕事量をはるかに上まわる織条間の摩擦仕事が存在すること。

2) したがって, 糸のクリンプ形態に相関し, かつ変動の少ない測定値によって, ストレッチ ヤーンの伸長特性を評価するには, 上記の織条間の摩擦による仕事損失を除いた特性値によって評価することが好ましいこと。

3) そのためには, たとえば, 試料糸をまず wet relaxing した後, 少なくとも2回, 形態伸び全域にわたって伸長~回復 (mechanical conditioning) を行なった後の糸について伸長試験を行なうことが望ましいことがわかった。

なお, 実用上, 織条間の摩擦損失に関連し, メリヤス編成後, dimensional stability が大きく, かつかさ高な編地を作るには, wet relaxing, tumble drying が効果的であることが推論されるとともに, とくに糸の特性としては EXR, INR が小さいことが好ましいことはいうまでもない。

また糸の特性値の表示法として諸国で採用されていると伝えられている HATRA の Crimp Rigidity の測定は, かせ状試料糸の伸長率を水中に浸漬した状態で行なっているが, このことは本報の結果から考えて合理的であると考えられる。

付記; 本報について有益な助言と検討をいただいた群馬大学潤野教授に深謝するとともに, 実験を行なった当社研究室, 上村美代君に謝意を表します。

なお, 本報の一部は, 昭和37年6月, 繊維学会, 春期講演会で発表したものである。

(文献1を本報の第1報とする)

文 献

- 1) 川崎, 外; 本誌, 14, 752 (1961-10)
- 2) たとえば D. L. Munden et al.; J. Text. Inst., 52, 491 (1961)
- 3) たとえば Alfrey, JR; "Mechanical Behavior of High Polymers", p. 200 (1948)
- 4) J. Text. Inst., 51, T 435 (1960)
- 5) 未発表