エアジェットスピニングの糸構造と力学的性質

京都工芸繊維大学地域共同研究センター 西 村 太 良 (会員)
 京都工芸繊維大学繊維学部 重 山 昌 澄
 京都工芸繊維大学繊維学部 T. M. VENKATAPATHI

Structure and Mechanical Properties of Air-Jet Spun Yarn

Taro Nishimura, Masazumi Shigeyama and T. M. Venkatapathi

Kyoto Institute of Technology, Matsugasaki, Sakyo-ku, Kyoto

Abstract

The effect of yarn structure of air-jet spinning on mechanical properties has been investigated. The yarns are spun by MJS 802 and the conditions of 25 spinning parameters are varied to give 5 delivery speeds $\times$ 5 first nozzle pressures. Tensile properties of the single yarn are measured as mechanical properties, and numbers of the wrapping fibers and pitch of the wrapping are measured as the yarn structure. The mechanical properties of the air-jet spun yarn are contributed from the numbers of wrapping fibers and the pitch of the wrapping. This result is also improved by the model of H. W. Krause. The properties are also contributed, however, from the first nozzle pressure and the delivery speed. Thereby another structure is implied. The increases of hairiness and nubs cause the decrease of breaking strength at high delivery speed.

(Received April 14, 1993)

(Accepted for Publication October 5, 1993)

摘 要

目的 エアジェットスピニングの力学的性質に及ぼす糸の構造要因を明らかにし、糸の構造と力学的性質との関係を実験的に解明する。さらに H. W. Krause らの切断強度に関する理論の適応性について検討する。

結果 力学的性質には巻付繊維の量および巻付ピッチが大きく寄与することが分かった。しかし、製造条件によって毛羽が多く発生している糸では、さらに他の構造要因を考慮する必要があることが示され、H. W. Krause らの理論との定量的な相違も他の要因の存在を示唆している。

(平成 5 年 4 月 14 日受理)

(平成 5 年 10 月 5 日審査終了)

1. 緒 言

リング精紡機が紡績糸のほとんどを生産しているが、機構上の制約から飛躍的な生産性の向上が困難であることから多くの革新紡績法が考案され、そのうちいくつかが実用化されてきている。その中でエアジェットスピニング(結束紡績)機はリング精紡機に比べて、他の革新精紡機と同様、またはそれ以上の利点も持っており¹⁾、特に、紡出番手の範囲の広さや生産性は他の革新精紡機より優れている。糸質

においてはリング糸より優る点もあるが、強力はリング糸より 10~20%劣るといわれている。結束糸の糸構造は他の精紡糸とは大きく違っており、糸質の違いはこの糸構造の違いによるものである。他の精紡法では糸強力は撚りによって発現するが、結束糸では中心の平行繊維束に一部の繊維を巻き付けることによって発現する。従って結束糸の強力はその巻付繊維の巻付き状態が直接寄与すると考えられ、この糸構造と力学的性質の関係を明らかにすることにより糸強力を改善することができる。R. J. Chasm-

awala らは少量の染色した繊維をトレーサとして結束糸中の繊維の形態を5種類に分類し、形態と紡出条件および切断強度の関係を報告している²⁾。また、C. A. Lawrence らは表面を観察し、その形態を3種類に分類し、繊維形態と紡出条件および切断強度の関係を報告している³⁾。しかし一般的に糸構造と力学的性質を検討するには、巻付繊維本数やピッチ等の基本的な構造からの考察が必要と考えられる。H. W. Krause らは巻付繊維の本数、ピッチ、角度などと切断強度との関係を理論的に検討している^{4,5)}。そこで我々は、結束糸の力学的性質に大きく寄与している巻付繊維量および巻き付きのピッチと、糸の力学的性質との関係を実験的に検討し、さらに Krause らの考察に基づき解析した結果について報告する。

2. 実験装置および方法

結束精紡機は村田機械製 MJS No.802 の2 錘モデルを使用した。図1に本精紡機の主要部の概略図を示す。フロントローラから出た繊維は一部が後に巻付繊維となるフリーファイバとなる。N₂ ノズルで中心繊維束に仮撚りが掛けられ、N₁ ノズルでは撚りの伝播を調節している。N₁ ノズルとデリベリローラ間での解撚時に巻付繊維によって中心繊維が結束される。

紡出条件を紡出速度 100~200m/min まで5種

Fig. 1 Schematic diagram of air-jet spinning system

Fig. 2 Micro photograph of vertical cross section of the air-jet yarn

類、加熱部の二つのノズルのうち N₁ ノズルの空気圧力 P_1 を 2.0~5.0kg/cm² まで5種類それぞれ変化させ、25種類の糸を紡出し測定に用いた。なお、N₂ ノズルの圧力 P_2 は 4.0kg/cm² で固定、トータルドラフトは144で固定し 40s の糸を紡出した。試料には E/C 混率が65/35で太さが 30g/yd のスライバを用いた。

糸構造として巻付繊維の割合と巻付ピッチを測定した。平行繊維束を構成する繊維本数は、糸を樹脂で包埋し、糸軸に垂直方向に薄く切断した横断面の顕微鏡写真から計数した。巻付繊維の本数は、同じく糸を樹脂で包埋し、長さ 5cm 程度糸の縦断面を切り出し、連続撮影した顕微鏡写真から計数した。縦断面の顕微鏡写真を図2に示す。巻付ピッチ長および巻付角度は、糸表面を長さ 5cm 程度連続撮影した顕微鏡写真から得た。すなわち、図1に a-a で示したような巻付繊維群の両端の位置をディジタイザを用いコンピュータに入力し、計算して得た。

力学的性質は米倉製作所製電子式万能試験機、糸むらおよびネップ数の測定は Zellweger Uster 製 Uster Tester3、毛羽の測定には敷島紡績製 F-Index Tester を使用した。

3. 紡出条件と力学的性質

図3~5に紡出速度が糸の切断強度、伸度およびヤング率に及ぼす影響について示す。切断強度は紡出速度が 170m/min 近辺までは紡出速度が増加するとともに高くなり、さらに紡出速度が増すと低くなる。これは N₁ ノズル圧力の値に関係なく同じ傾向であった。N₁ ノズル圧力については、全般的に 3.5kg/cm² のときに糸の強度は高く、最大強度を示す紡出速度 160~170m/min では 3.0 または 3.5kg/cm² のときの強度が高かった。

伸度は紡出速度 160m/min 程度までは紡出速度

Fig. 3 Spinning speed dependency of breaking strength of single yarn

Fig. 4 Spinning speed dependency of breaking elongation of single yarn

Fig. 5 Spinning speed dependency of Young modulus of single yarn

の増加とともに高くなり 200m/min で少し低くなる。N₁ノズル圧力に関しては、2.0kg/cm²の場合がどの速度でも伸度は低いが、圧力がより大きくなると圧力の差と伸度との関係は特に認められなかった。ヤング率は紡出速度 170m/min までは高くなるが、変化は小さい。紡出速度 200m/min では他の物性値と同程度に低くなった。

4. 紡出条件と糸構造

結束糸の強力は平行繊維の切断強力、巻付繊維の切断強力、および、平行繊維束のすり抜けるときに生じる摩擦力（巻付繊維の締付力）などの寄与からなる。それゆえ、切断強力は巻付繊維量、巻付ピッチに大きく依存すると考えられる。強度と巻付ピッチの関係をj知るため、紡出速度とN₁ノズル圧力を種々変化させ紡出した糸の巻付繊維のピッチを測定した。表1に約5cmにわたって測定した結果の平均値を示す。その値はほぼ0.6mmから0.3mm程度の間であり、おおよそ巻付繊維のピッチはN₁ノズル圧力の増加とともに、また紡出速度が大きくなるに従って小さくなっている。巻付角度はピッチから計算されるものにほぼ一致した。このことから、前項の力学的性質が紡出速度の増加とともに良くなり（200m/minを除く）、N₁ノズル圧力では2.0kg/cm²の場合に悪かったことが理解できる。

巻付断面繊維本数の全断面繊維本数に対する比率を表2に示す。巻付繊維本数比率はほぼ5%から10%程度である。巻付繊維量も先の巻付ピッチと紡出条件の関係と同様、紡出速度およびN₁ノズル圧力の増加とともに単調に増加し、この面からも力学的性質の変化が説明できる。

図6に巻付ピッチと巻付繊維比率の関係を示す。図のように実験範囲内ではかなり高い負の相関を示した。巻付ピッチP（mm）と巻付繊維本数比率F（%）との関係は、

$$P = -0.48 \times F + 8.5$$

Table 1 Pitch of Wrapping Fiber(mm)

P ₁ kg/cm ²	spinning speed m/min				
	100	140	160	170	200
2.0	0.59	0.48	0.46	0.45	0.44
3.0	0.50	0.49	0.45	0.41	0.38
3.5	0.52	0.45	0.42	0.41	0.38
4.0	0.48	0.44	0.42	0.40	0.34
5.0	0.47	0.43	0.40	0.38	0.32

Table 2 Portion of Wrapping Fiber(%)

P_1 kg/cm ²	spinning speed m/min				
	100	140	160	170	200
2.0	5.7	6.8	7.2	7.5	7.8
3.0	6.6	7.3	7.8	8.2	8.9
3.5	6.9	7.7	8.3	8.8	9.2
4.0	7.3	8.3	8.8	9.2	10.0
5.0	7.9	8.5	9.3	9.8	10.8

Fig. 6 Relation between portion of wrapping fiber and pitch of wrapping

Fig. 7 Effect of wrapping fiber portion on breaking strength at several pressures of first nozzle

となり、相関係数は-0.96であった。

5. 力学的性質と糸構造

前述のことから結束糸の力学的性質は結束繊維の巻付繊維量および巻付ピッチに関係があることが明

Fig. 8 Effect of wrapping pitch on breaking strength

らかである。図7に巻付繊維比率と切断強度の関係を示す。N₁ノズル圧力P₁によって異なった曲線を描き、重なってはいないが曲線の形は上に凸になっている。すなわち巻付繊維量の増加とともに切断強度は増すが、さらに巻付量の多いところでは強度は低下している。また、そのピーク位置はN₁ノズルの圧力が高いと巻付繊維比率が大きき方に移動する。実験データとしては1点だけが下がっているのであるが、この点は紡出速度200m/minの試料から得たデータである。ピークの高いP₁が3.0kgまたは3.5kg付近での巻付繊維比率は8%から9%程度であった。

図8には巻付ピッチと切断強度の関係を示す。巻付繊維量との関係のようにN₁ノズル圧力の相違による違いは見られないが、全体として切断強度は巻付ピッチが小さくなるほど高くなっている。さらに小さいところで低くなっており、ピッチが0.4mm程度で最も高い。この強度の低下は巻付繊維量の場合と同様200m/minでの試料の測定データであることから、200m/minの紡出速度の場合に強力を低下させる糸構造の違いがあると考えられる。

H. W. Krauseらは結束糸が完全平行配向した中心繊維束とそれを結束する巻付繊維からなるとし、繊維の摩擦係数が比較的高い場合については、切断強力に対して中心繊維束の切断の寄与、巻付繊維の切断の寄与、および中心繊維束のすり抜けによる摩擦力の寄与からなるとして、巻付繊維の分布および巻付圧力の分布は一定で、すべての巻付繊維は同時に切断するとモデル化し次式を導いた⁵⁾。

$$\phi = (1 - AB) + AB \cos \theta \frac{(1 + e_y)}{(1 + e_f)}$$
$$- \frac{\pi(1 + e_f)(1 - AB)^2}{4\mu AB \cos \theta \tan^2 \theta (1 - e_y)^2}$$

ここで ϕ = 切断強力比
= 結束糸の切断強度 ÷ (断面繊維本数 × 繊維の切断強度)
 A = 巻付繊維の比率
 B = 巻付繊維の平均巻付長さ ÷ 繊維長
 θ = 巻付繊維の巻付角度
 e_y = 結束糸の切断歪
 e_f = 結束糸を構成している繊維の切断歪み
 μ = 中心繊維の摩擦係数
 y = 繊維長 ÷ 繊維の直径

$A \times B$ は巻付繊維本数の比率, $1 - A \times B$ は中心繊維本数の比率になる。

図 9 に、巻付ピッチが 0.45mm の場合について、この式で計算される切断強力比 ϕ と巻付繊維量との関係を実線で示す。摩擦係数は Krause が用いた 0.1 で計算した。白丸で示したのは実験から得られた巻付ピッチがおおよそ 0.4mm の場合の値であるが、理論式から得られる強度に対して 3~4 割程度の強度しか出ていない。傾向は右上がりではほぼ一致していると考えられる。図 10 に切断強力比と巻付ピッチとの関係を巻付繊維比率 7.5% の場合について示す。白丸は実験から得られた巻付繊維比率がおおよそ 7.5% の場合の値である。巻付繊維量との関係と同様実験値は 3~4 割程度の強度しか出ていない。

Fig. 9 Theoretical curve from Krause and experimental plots of strength ratio (ϕ) to wrapping fiber portion at 0.45mm wrapping pitch

Fig. 10 Theoretical curve from Krause and experimental plots of strength ratio (ϕ) to wrapping pitch at 7.5% wrapping fiber portion

定性的には右下がりの傾向はほぼ一致していると考えられる。

5. まとめ

MJS 機を用いて結束紡績糸の力学的性質と製造条件および糸構造の関係について検討した。巻付繊維のピッチは N_1 ノズル圧力の増加とともに、また紡出速度が大きくなるとともに小さくなっている。また巻付繊維量は紡出速度および N_1 ノズル圧力の増加とともに単調に増加した。

結束糸の力学的性質は、主として巻付繊維の量および巻付ピッチで表された。しかしそれだけでは説明できなかった。紡出速度が 200m/min では巻付繊維量や巻付ピッチで示される糸構造に関係なく強度の低下がみられ、 N_1 ノズルの圧力によっても強度の違いが観測された。また紡出糸の強度は理論値よりかなり小さい。これらのことは実際に紡出した結束糸と Krause のモデルとの違いが大きいためと思われる。例えば実際の糸には毛羽が存在する。図 11 に 2mm 以上の毛羽個数の測定結果を示す。毛羽は紡出速度が 200m/min で急に多くなっている。200%以上のネップも同様であった。巻付繊維量、ピッチや、U%で示される糸むらのデータと比較すると、図 2 で示した 200mm/min の強力の低下は毛羽の量の多さおよびそれから考えられる巻付力の小ささなど等によるものと考えられる。このような結束糸モデルと実際の糸との構造の違いが、理論より小さい強力しか得られない原因であり、この点を解決することにより糸強力を増す可能性は大きいと考え

Fig. 11 Spinning speed dependency of hairiness, count over 2.0mm in length of nap

られる。
本研究の一部は平成3年度日本繊維機械学会第44回年次大会において発表した。

参考文献

- 1) 森橋俊文; 繊維機械学会誌, 42, P88 (1989)
- 2) R. J. Chasmawala, S. M. Hansen and S. Jayaraman; Text. Res. J., 60, 61 (1990)
- 3) C. A. Lawrence and M. A. Baqui; Text. Res. J., 61, 123 (1991)
- 4) H. W. Krause and H. A. Soliman; Text. Res. J., 59, 546 (1989)
- 5) H. W. Krause and H. A. Soliman; Text. Res. J., 60, 309 (1990)