インターレース糸の交絡角度

葛 明橋, 家元 良幸, 田上 秀一

Tangling Angle of Interlaced Yarns

Mingqiao Ge, Yoshiyuki Iemoto, Shuichi Tanoue

Abstract

Tangling angles are the angles between filaments in the tangling parts of interlaced yarns and yarn axes. They are one of the constructive factors which determine the characteristics of interlaced yarns. Filaments in the tangling parts, however, display such complex configurations that the measurement of tangling angles by using traditional methods requires considerable time and labor. The present paper proposes a new simple method to determine tangling angles and clarifies the relation between tangling angles and interlacing conditions. Results obtained are as follows:

(1) A model of interlaced yarns was made in order to determine the tangling angles. These tangling angles were calculated by measuring apparent easily-quantifiable characteristics of interlaced yarns including: the lengths of tangling and non-tangling parts, the apparent diameters of non-tangling parts and so on. These calculations were in excellent agreement with values measured with a microscope. Except for large feed ratios, they also agreed well with the measured values even though the apparent diameters of non-tangling parts were not taken into account.

(2) It took about 50 hours to obtain the measured tangling angle. On the other hand, the times required to obtain the calculated and simplified tangling angles by the present method were 1/7 and 1/14 times shorter than that to measure the tangling angle, respectively.

(3) The present method makes possible "on-line" measurement of the tangling angle because the apparent characteristics used to calculate the tangling angle can be obtained by "on-line" measurement.

(4) When supplied air pressures and feed ratios are large and yarn speeds are small, tangling angles take high values. The feed ratio has especially a great effect on the tangling angle.

(Received Sept. 13, 1997)

(Accepted for Publication July 7, 1998)

1. 緒 言

マルチフィラメント糸に対するインターレース加工は、解じょ性・巻取性・製編織性を向上させる目的で無撚糸・無糊糸に集束性を与える工程や、編織布の質を向上させる目的で複数の糸を混ぜ合わせた複合混織糸を製造する工程で用いられる。そこで、インターレース糸の評価は、単位長さ当たりの交絡部の数（交絡数）、交絡部の長さ、交絡部と交絡部の間隔（交絡間隔）の均一度、交絡強度、交絡角度、フィラメントの混合の程度、などで行われる。このうち、交絡数、交絡部の長さ、交絡間隔の均一度な

ど、糸の外観に関する量は、糸質を損なうことなく、非接触オンライン法により測定・評価できる¹⁾。一方、糸が内部的に持つ品質評価量のうち交絡強度に関しては、その測定・評価法がすでに提案されている²⁾。

さて、インターレース糸の交絡部の繊維が糸軸となす角度である交絡角度は、従来、顕微鏡³⁾や糸切片法⁴⁾で測定されている。顕微鏡測定法では、糸交絡部表面の繊維を直接観察し、交絡角度を測定する。糸切片法では、糸を糸軸方向に垂直にミクロトームで切断して交絡部の内部と表面の繊維の位置を糸軸方向に追跡し、交絡角度を求める。しかし、交絡部の

繊維の位置は複雑に分布し、繊維の交絡角度も複雑に分布しているので、これら従来の方法は多くの時間と労力を要する。このため、交絡角度を用いてインターレース糸の品質を評価するのに必要十分な数のデータを得ることが困難なだけでなく、インターレース加工条件が交絡角度に及ぼす影響も明らかにされていない。もし、交絡角度を糸の外観量から算出する簡易な方法が開発されれば、これらの問題は容易に解決されるだけでなく、糸の様々な評価量の関係を明らかにし、さらに糸の総合的な品質をオンライン計測によりリアルタイムに評価し制御することについても、可能性を提供する。

本報告では、インターレース糸の構造モデルを作り、交絡角度の計算式を導出することにより、交絡角度を求める新しい簡易な方法を提案する。この方法により、測定容易な外観量（交絡部や非交絡部の長さ、非交絡部の見掛直径など）から算出した交絡角度を、顕微鏡による実測値と比較検討する。さらに、インターレース加工条件（作動空気圧、糸速、フィード率）と交絡角度の関係を明らかにする。

2. 実験装置および方法

2.1 試料糸および実験装置

試料糸は、ポリエステル原糸（150d/48f）を、糸道管長さ14.7mm、直径2.8mm、空気噴射ノズル直径1.4mmのインターレーサを用いてインターレース加工⁹⁾したものをを用いる。加工時の初期張力は0.50mN/dである。インターレース加工条件は、作動空気圧、糸速、フィード率である。

交絡部・非交絡部の判別は、無張力状態で目視により行う。原糸は長さ6mについて、インターレース糸は200対の交絡部・非交絡部を含む長さについて着目する。交絡部の長さや糸の見掛直径の測定は、顕微鏡により行う。ただし、糸の長さや見掛直径を測定するときの糸張力として、糸が伸長せずに真っ直ぐな姿勢になる張力0.33mN/dを用いる⁹⁾。

2.2 顕微鏡による交絡角度の測定

本報告で提案する方法により求めた交絡角度を検証するため、図1(a)に示すように、0.33mN/dの張力下にある試料糸の交絡部表面の繊維と着目した交絡部の両隣りの交絡部の中心を結ぶ直線から定めた糸軸のなす角度を、顕微鏡を用いて実測する。この角度を局所顕微鏡交絡角度と名付け、 α_{ml} により表

Fig. 1 Local tangling angle α_{ml}

す。図1(b)に、 α_{ml} の走査電子顕微鏡写真の例を示す。200個の交絡部について、各交絡部の100か所における局所顕微鏡交絡角度を測定する。局所顕微鏡交絡角度の各交絡部における平均値を交絡部顕微鏡交絡角度と名付けて α_m で表し、これを糸全体にわたって平均した値を糸の顕微鏡交絡角度と名付け、 $\bar{\alpha}_m$ により表す。

3. インターレース糸のモデルおよび計算交絡角度

3.1 インターレース糸のモデルと計算交絡角度の定義

図2は、糸切片法により得られた糸の投影図⁹⁾から、交絡角度を算出するために作成したインターレース糸のモデルである。 N_s (=200) 対の交絡部・非交絡部を含む長さ l_{ys} の部分に着目し、その中の1本の繊維を図2(a)に示す。本研究では、インターレース加工前によりのない糸を扱うので、インターレース加工後でも、よりの糸軸方向に関する和は当然0である。交絡部では、繊維の糸軸からの距離は小さく、局所交絡角度 α_l は糸軸方向に頻繁に変化する。非交絡部では、繊維の糸軸からの距離が大きいものも小さいものもある（図には大きいものを表示）が、いずれにしても、繊維の曲率は比較的小さ

Fig. 2 Model of interlaced yarn

い。このような糸構造は、2.1節で述べたインターレースにより加工されたインターレース糸だけに見られるものでなく、すべてのインターレース糸に共通して見られる。本研究では、繊維毎や交絡部毎に異なる局所交絡角度 α_i を考えずにすべての繊維の交絡部における平均交絡角度を考えるので、図2(b)のように、交絡部と非交絡部をそれぞれ分離して配置する。図中の l_{yt} は糸の交絡部全長、 l_{yn} は非交絡部全長、 l_n は交絡部の繊維全長、 l_n は非交絡部の繊維全長である。

次に図2(c)に示すように、図2(b)の交絡部の繊維から長さ $l_n/2$ を2辺とし、 l_{yt} を底辺とする二等辺三角形を作り、図中の角度 α を計算交絡角度と定義する。ただし、インターレース加工中の糸変形は弾性

Fig. 3 Model of non-tangling part

範囲内にあるので、加工前後の各繊維長さは同じであることを利用して、繊維全長から非交絡部の繊維全長 l_n を差し引くことにより、交絡部の繊維全長 l_n を算出する。非交絡部の繊維全長 l_n を、図3に示す非交絡部のモデルを用いて求める。図3(a)は、着目している糸の j 番目の非交絡部における繊維位置を表す模式図である。 f_{1j} と f_{2j} はこの非交絡部の外周に位置する繊維であり、 f_{3j} はその他の繊維である。 l_{ynj} は j 番目の非交絡部の長さで、 d_{ynj} を j 番目の非交絡部の見掛け直径とする。図3(b)に示すように、1個の非交絡部の平均長さを $\bar{l}_{yn}$ 、非交絡部の平均見掛け直径を $\bar{d}_{yn}$ 、原糸の平均見掛け直径を $\bar{d}_y$ により表す。 $(\bar{d}_{yn} - \bar{d}_y)/2$ を高さとし、 $\bar{l}_{yn}$ を底辺とする二等辺三角形ABCを作り、2辺の長さ $(\overline{AB} + \overline{AC})$ を1個の非交絡部における繊維の平均長さとする。この長さに非交絡部の数 N_n を乗ずることにより、 l_n を求める。

図2(d)のように、非交絡部の繊維が0.33mN/dの張力下で糸軸に平行なときの交絡角度を簡易計算交絡角度と名付け、記号 α_s により表す。

3.2 計算交絡角度の算出式

図2(c)に示したモデルから、計算交絡角度 α を求める。図より、

$$\cos \alpha = \frac{l_{yt}}{l_n} \quad (1)$$

の関係がある。さて、長さ l_n の原糸をインターレース加工した後の長さを l_y とすると、 $l_{yt}/l_y = (l_n + l_n)/l_y$ の関係があるから、繊維過剰率 F' を

$$F' = \frac{l_{fu} - l_y}{l_y} = \frac{(l_{ft} + l_{fn}) - l_{yu}}{l_{yu}} \quad (2)$$

により定義する。交絡部長さ割合 R_i を

$$R_i = \frac{l_{yt}}{l_{yu}} \quad (3)$$

により、非交絡部の繊維全長 l_{fn} と非交絡部の糸全長 l_{yn} の差から非交絡部繊維過剰率 F_n' を

$$F_n' = \frac{l_{fn} - l_{yn}}{l_{yn}} \quad (4)$$

により定義する。非交絡部の繊維全長 l_{fn} は交絡数 N ($=N_n/l_{yn}$)、非交絡部の平均見掛直径 $\bar{d}_{yn}$ 、原糸の平均見掛直径 $\bar{d}_{yr}$ を測定することにより求められ、非交絡部繊維過剰率 F_n' は

$$F_n' = \sqrt{1 + \left(\frac{\bar{d}_{yn} - \bar{d}_{yr}}{1 - R_i} N \right)^2} - 1$$

のように表される。このとき、(1)式は

$$\cos \alpha = 1 / \left[1 + \frac{F'}{R_i} + \left(1 - \frac{1}{R_i} \right) F_n' \right] \quad (5)$$

のように表される。(5)式により、測定困難な交絡角度を、測定容易な交絡数、交絡部の長さや非交絡部の見掛直径などの外観量 N 、 l_{fu} 、 l_y 、 l_{yu} 、 l_{yt} 、 $\bar{d}_{yn}$ 、 $\bar{d}_{yr}$ から算出することができる。これらの外観量はオンライン計測できるので、交絡角度のオンライン測定が可能となる。

(5)式によれば、繊維過剰率 F' が大きく、交絡部長さ割合 R_i と非交絡部繊維過剰率 F_n' が小さい場合、計算交絡角度 α は大きい。

図2(d)のように非交絡部の繊維が互いに平行なとき、 $l_{fn} = l_{yn}$ であるから、 $F_n' = 0$ が成り立ち、(5)式は

$$\cos \alpha_s = 1 / \left[1 + \frac{F'}{R_i} \right] \quad (6)$$

のようにさらに簡単になる。(6)式により、4つの長さ l_{fu} 、 l_y 、 l_{yu} 、 l_{yt} から簡易計算交絡角度 α_s を求めることができる。

4. 結果および考察

4.1 原糸の平均見掛直径および非交絡部見掛直径の測定回数

マルチフィラメント糸の見掛直径は、観測する方向や、張力により異なるので、多数の計測を繰返しに行い、その平均により求める必要がある。図4に、張力0.33mN/dの下で測定した原糸の平均見掛直径 $\bar{d}_{yr}$ および非交絡部の平均見掛直径 $\bar{d}_{yn}$ と試料数 N_s の関係を示す。 $\bar{d}_{yn}$ は、加工条件が作動空気圧 p

$=0.4\text{MPa}$ 、糸速 $v=200\text{m/min}$ 、フィード率 $F=3$ 、5%の場合に得られたものを例として示した。図より、 $N_s=200$ 程度で、平均値のばらつきが小さくなり、それぞれある一定値に収束していることがわかる。そこで本研究では、 $\bar{d}_{yr}$ と $\bar{d}_{yn}$ の値として、充分に収束した $N_s=200$ における値を用いた。このとき、原糸の平均見掛直径は $\bar{d}_{yr}=0.32\text{mm}$ である。

4.2 局所および交絡部顕微鏡交絡角度

図5は、1個の交絡部に関する局所顕微鏡交絡角度 α_{mi} の相対度数 f_{ami} の分布の例である。級間隔は 2° 、階級値は1, 3, 5, ..., 標本数は100である。加工条件は、 $p=0.4\text{MPa}$ 、 $v=200\text{m/min}$ 、 $F=3$ 、8%である。測定した200個の交絡部のうち、交絡部顕微鏡交絡角度 α_m が糸の顕微鏡交絡角度 $\bar{\alpha}_m$ にはほぼ等しい交絡部について描いた。 α_{mi} はばらついていることがわかる。特に、フィード率の大きい $F=8\%$ の場合に顕著である。

図6は、交絡部顕微鏡交絡角度 α_m の相対度数 f_{am} の分布の例である。級間隔は 2° 、階級値は1, 3, 5, ..., 標本数は200である。加工条件は、 $p=0.4\text{MPa}$ 、 $v=200\text{m/min}$ 、 $F=3\%$ を基準とし、 p 、 v 、 F をそれぞれ変えた4種類である。図より、 p が小さくなると α_m は小さい方にシフトする。 v が大きくなると α_m は小さくなり、相対度数分布はやや広がる。 F が大きくなると α_m は大きくなり、相対度数分布は対称形に近くなる。

このように、局所顕微鏡交絡角度や交絡部顕微鏡

Fig. 4 Average apparent diameter $\bar{d}_{yr}$ of raw yarn and average apparent diameters $\bar{d}_{yn}$ of non-tangling parts ($p=0.4\text{MPa}$, $v=200\text{m/min}$)

Fig. 5 Relative frequency distribution of local tangling angle α_{mi} measured with microscope ($p=0.4\text{MPa}$, $v=200\text{m/min}$)

Fig. 6 Relative frequency distribution of average tangling angle α_m of α_{mi} in a tangling part

交絡角度は広い範囲に分布し、分布形状も様々である。以下では、局所顕微鏡交絡角度を1本の糸全体にわたって平均した顕微鏡交絡角度を、計算交絡角度の比較の対象にする。

4.3 交絡角度と作動空気圧の関係

図7に、計算交絡角度 α 、簡易計算交絡角度 α_s および顕微鏡交絡角度 $\overline{\alpha_m}$ と p の関係を示す。併せて、繊維過剰率 F' 、非交絡部繊維過剰率 F_n' 、交絡部長さ割合 R_t 、交絡数 N および非交絡部平均見掛直径 $\overline{d_m}$ を示す。加工条件は、 $v=200\text{m/min}$ 、 $F=3\%$ で

Fig. 7 Tangling angles α , α_s , $\overline{\alpha_m}$ and other evaluation quantities F' , F_n' , R_t , N , $\overline{d_m}$, as a function of supplied air pressure p ($v=200\text{m/min}$, $F=3\%$)

ある。

図より、 p の増加に従って、 α 、 α_s 、 $\overline{\alpha_m}$ はいずれも増加している。空気噴流が糸に作用する力の増加に伴う絡みの増加の様子は圧力域により異なり、低圧域($p \leq 0.3\text{MPa}$)では F' が増加し、高圧域($p \geq 0.4\text{MPa}$)では R_t がわずかに減少する。したがって、高圧域における α の増加量は少ないが、いずれにしても p とともに α は増加する。

高圧域で R_t と N が減少するのは、インターレーサ内で一旦生成した交絡部が空気噴射ノズルから噴出する高速の空気流を受けて破壊されたためであるが、破壊されなければ、 F' はさらに増加すると思われる。なお、高圧域において、 N の減少よりも R_t の減少が小さいことから、1個の交絡部は長くなることがわかる。

α 、 α_s と $\overline{\alpha_m}$ を比較すると、常に $\alpha_s > \alpha > \overline{\alpha_m}$ である。 α の $\overline{\alpha_m}$ に対する差は、低圧域でやや大きく約8%であるが、高圧域では約3%である。 p が増加しても、 $\overline{d_m}$ は $\overline{d_m}$ ($=0.32\text{mm}$)に比較的近い一定値を

とり、 N の変化にかかわらず F_n' はほぼ0であるから、 α_s の $\bar{\alpha}_m$ に対する差は α の場合より1%大きいだけで、 α_s は α にほとんど等しい。したがって、簡易計算法を含め、本方法により求めた計算交絡角度は実際の交絡角度の平均値を十分な精度で表すことができ、本方法は有用であると判断できる。

α は $\bar{\alpha}_m$ よりやや大きい原因を次に考察する。実際の繊維位置の分布は空間的に広がっているから、交絡角度も空間的である。しかし、顕微鏡交絡角度は糸の表面における繊維の交絡角度、すなわち、交絡角度の平面投影値である。一方、計算交絡角度は、繊維長さの測定値から求めるものであり、得られた交絡角度は、空間的に広がった繊維の交絡角度の平均値である。空間的に広がった繊維の交絡角度はその平面投影値より大きいので、計算交絡角度 α は顕微鏡交絡角度 $\bar{\alpha}_m$ より大きい。この考察は、4.4、4.5節においても適用できる。

4.4 交絡角度と糸速の関係

図8に、 α 、 α_s 、 $\bar{\alpha}_m$ と v の関係を示し、 F' 、 F_n' 、 R_t 、 N 、 $\bar{d}_m$ を併記する。加工条件は、 $p=0.4\text{MPa}$ 、 $F=3\%$ である。図より、 v の増加に従って、 α 、 α_s と $\bar{\alpha}_m$ はいずれも減少している。 v の増加に対して R_t はほぼ一定であるが、空気噴流が単位長さの糸に作用する時間が減少するため、糸道管内の繊維の運動時間も減少し、繊維の相対的な移動量も減少するので、 F' は減少して、交絡角度は減少する。

α の $\bar{\alpha}_m$ に対する差は平均で約4%である。 v が増加しても、 $\bar{d}_m$ は $\bar{d}_y$ に比較的近い一定値をとり、 F_n' はほぼ0であるから、 α_s の $\bar{\alpha}_m$ に対する差は α の場合より1%大きいだけで、 α_s は α にほとんど等しい。したがって、計算交絡角度は、実際の交絡角度の平均値を十分な精度で表すことができる。

4.5 交絡角度とフィード率の関係

図9に、 α 、 α_s 、 $\bar{\alpha}_m$ と F の関係を示し、 F' 、 F_n' 、 R_t 、 N 、 $\bar{d}_m$ を併記する。加工条件は、 $p=0.4\text{MPa}$ 、 $v=200\text{m/min}$ である。

図より、 F の増加に従って、 α 、 α_s と $\bar{\alpha}_m$ はいずれも増加している。この理由を考察する。初期張力 0.50mN/d でフィードローラからインターレースに供給された原糸長さを l_f とし、加工後、同一時間にデリベリローラから送出されるインターレース糸長さを l_{yd} とすると、フィード率 F の定義式

Fig. 8 Tangling angles α , α_s , $\bar{\alpha}_m$ and other evaluation quantities F' , F_n' , R_t , N , $\bar{d}_m$, as a function of yarn speed v ($p=0.4\text{MPa}$, $F=3\%$)

$$F = \frac{l_f - l_{yd}}{l_{yd}} \quad (7)$$

を得る。(5)式中の F' は(7)式で表される F に酷似している。加工前の原糸長さ l_f と l_{yd} 、および加工中のインターレース糸長さ l_{yd} と加工後に測定したインターレース糸長さ l_y は張力が異なるので等しくないが、 F の増加はインターレース加工に多くの原糸を供給するので、交絡部に含まれる繊維量が増加して交絡角度が増加する。 F が4%以下では、 F の増加に伴って R_t は増加するが、その程度は F' の増加割合より緩やかで、交絡角度を減少させることはない。

α の $\bar{\alpha}_m$ に対する差は、 F の値にかかわらず約3%と小さいので、本方法で求めた計算交絡角度 α は実際の交絡角度の平均値 $\bar{\alpha}_m$ をいずれのフィード率の場合にも十分な精度で表示できることがわかる。

一方、 α_s の $\bar{\alpha}_m$ に対する差は、 F が3%以下の場合に小さく、 α の場合より1%大きいだけであるが、 F が3%を越えると急激に大きくなる。この原因を考察する。 F の増加により、交絡部に含まれる繊維量

Fig. 9 Tangling angles α , α_s , α_m and other evaluation quantities F' , F_n' , R_t , N , $\bar{d}_{yn}$, as a function of feed ratio F ($p=0.4\text{MPa}$, $v=200\text{m/min}$)

が増加して交絡角度が増加するだけでなく、図5 ($F=8\%$ の場合)に示したように交絡角度の分布も広がる。すなわち、交絡部に含まれる繊維量の繊維毎の差が顕在化し、非交絡部における繊維毎の長さの差も顕著になる。そこで、非交絡部における短い繊維は糸軸近傍に、長い繊維は糸外周に位置し、 $\bar{d}_{yn}$ は $F>3\%$ で急増して、 F_n' は急増する。したがって、 $F>3\%$ において、 F の増加に伴い、 α_s と α_m の差は大きくなる。しかし、実用的なインターレース加工のフィード率の範囲は一般に3%以下なので、実用的な立場でいえば、本方法による簡易計算交絡角度 α_s で実際の交絡角度の平均値を表示することができる。

なお、 $F=8\%$ では、 F の増加に対する F' の増加量は減少し、 F がさらに大きな $F=9\%$ では、糸は過剰に供給された繊維を含有することができず、インターレース前方に溜まり、ついには切断する。

4.6 顕微鏡交絡角度と計算交絡角度の測定所要時間

顕微鏡交絡角度と計算交絡角度の測定所要時間を

比較する。以下の値は厳密ではないが、参考に提示する。本研究では1種類の糸について、1人の測定者が α_m の測定に約50時間を要した。これに対し、 α を算出するための長さの測定に約7時間、 α_s に3.5時間を要した。所要時間の割合で表すと、計算交絡角度 α の算出所要時間は、顕微鏡交絡角度 α_m の測定所要時間の約1/7で済み、簡易計算交絡角度 α_s の算出所要時間は、 α_m の測定所要時間のわずか1/14であった。このことから、本研究で提案した方法を用いて、従来の方法より短時間内に精度よい平均交絡角度を得ることができる。

5. 結 言

交絡角度を求めるインターレース糸の構造モデルを作り、交絡角度の計算式を導出することにより、新しい簡易な交絡角度測定法を提案した。さらに、インターレース加工条件と交絡角度の関係を明らかにした。得られた結果を要約して以下に示す。

- (1) 交絡角度を求めるインターレース糸のモデルを用いて、インターレース糸の測定容易な外観量(交絡部や非交絡部の長さ、非交絡部の見掛け直径など)から算出した交絡角度は、顕微鏡で実測した交絡角度と充分な精度で一致する。また、フィード率が大きい場合を除けば、非交絡部の見掛け直径を考慮に入れなくても、実測値との一致は良好である。
- (2) 1種類の糸の顕微鏡交絡角度の測定所要時間は約50時間であった。これに対して、計算交絡角度および簡易計算交絡角度は、それぞれ顕微鏡交絡角度の約1/7および1/14の短時間で得られた。
- (3) 上述の外観量はオンライン計測できるので、交絡角度はオンライン計測できることを示唆した。
- (4) 作動空気圧とフィード率が大きいほど、糸速が小さいほど、交絡角度は大きい。特に、フィード率が交絡角度に及ぼす影響は顕著である。

参考文献

- 1) 家元, 蝶野, 葛; 繊維誌, 46, T107 (1993)
- 2) 葛, 家元, 田上; 繊維誌, 50, T209 (1997)
- 3) 王 善元 (編); 変形紗, 上海科学技术出版社, 364~368 (1992)
- 4) 家元, 蝶野, 寺地; 繊維誌, 42, T114 (1989)
- 5) 家元, 蝶野, 笠松, 楼; 繊維誌, 45, T111 (1992)
- 6) 日本工業規格 (JIS), 3, L1013-1992