インターレーサの寸法効果

(第3報) 交絡数の定式化

福井大学工学部	楼	煒	春 (会員)
福井大学工学部	家	元 良	幸 (会員)
福井大学工学部	蝶	野 成	臣 (会員)

Size Effect of Interlacer

Part 3: Formulation of Number of tangles

Weichun Lou, Yoshiyuki Iemoto and Shigeomi Chono

Faculty of Engineering, Fukui University, Fukui

Abstract

In order to clarify the size effect of interlacers and choose easily conditions under which interlaced yarn with the desired number of tangles is produced, we make 16 interlacers with various diameters of both yarn duct d and air jet nozzle d_n , measure the number of tangles of interlaced yarn of raw yarn, and then formulate it as a function of the interlacer sizes, the air pressure p and the feed ratio F . Results obtained are as follows:

(1) The polynomial combined with a Heaviside's step function expresses satisfactorily the distribution of the number of tangles having maximum values against p , F , d and d_n . It shows very well the maximum number of tangles and both pressure and feed ratio which give the maximum number.

(2) The maximum number of tangles does not vary monotonically with d and d_n , but the optimum values of d and d_n exist. Both air pressure and feed ratio giving the maximum number of tangles vary monotonically with d and d_n , and are large when d is large and d_n is small.

(3) The number of tangles varies rapidly from the maximum to zero with increasing F in the case of raw yarn while a limit value of F for processing is not significantly noticed in the case of false-twist textured yarn. The maximum number of tangles of raw yarn is smaller than that of false-twist textured yarn, and the interlacing process of raw yarn is more difficult than that of false-twist textured yarn.

(Received September 8, 1994)

(Accepted for Publication December 7, 1994)

摘 要

目的 インターレーサの寸法効果を明らかにし、所定の交絡数を有するインターレース糸を得るための加工条件の選定を容易にする目的で、種々の糸道管直径 d と空気噴射ノズル直径 d_n を持つインターレーサを製作し、原糸のインターレース糸の交絡数を測定する。次いで、この交絡数をインターレーサの寸法、空気圧 p 、フィード率 F の関数として定式化する。

成果 (1) 多項式と階段関数を組み合わせた交絡数の実験式は、 p , F , d , d_n の変化に対して最大値を取る交絡数の分布を良好に表すことができる。また、最大交絡数および最大交絡数を与える p と F の分布を極めて良好に表すことができる。

(2) 最大交絡数は d と d_n の変化に対して単調に変化せず、 d と d_n に最適値が存在する。最大交絡数を与える空気圧とフィード率は、 d と d_n に対して単調に変化し、 d が大きいほど、 d_n が小さいほど大きい。

(3) 原糸と仮撚加工糸を比較すると、原糸では F の増加とともにほぼ最大交絡状態から急激に加工不能になるが、仮撚加工糸では、 F に関する限界値は顕著に見られない。原糸の最大交絡数は仮撚加工糸の最大交絡数に比べると小さく、原糸は仮撚加工糸に比べてインターレース加工が困難である。

(平成6年9月8日 受理)

(平成6年12月7日 審査終了)

1. 緒 言

マルチフィラメント糸にインターレース加工を施すとき、所定の交絡数、交絡強度などを有するインターレース糸を得るために、加工される糸の材質、太さ、フィラメント数、フィラメント断面形状、表面状態などに応じて、加工条件を適切に選定する必要がある。加工条件には、インターレーサの形状、寸法や、糸速、空気圧、フィード率などが挙げられる。これら多数の条件の組み合わせと加工されたインターレース糸の性状を定量的に対応づけることが重要である。

しかしながら、条件は多数にあるのですべてを網羅することは容易でない。そこで、既報では、糸道管および空気噴射ノズルがともに円形断面で、1個の空気噴射ノズルが糸道管軸に垂直に糸道管中央に位置する最も基本的な形状のインターレーサを採用し、寸法効果について考察した。すなわち、種々の寸法のインターレーサを製作し、第1報¹⁾では、交絡数、開繊部の生成間隔、および糸の運動を調べ、加工される糸に適したインターレーサの寸法について言及した。また、第2報²⁾では、糸道管内壁面における空気圧力を測定し、糸道管内の空気流について考察した。

本報告では、インターレーサの寸法効果について考察し、所定の交絡数を持つインターレース糸を得るための加工条件の選定を容易にするために、上述の基本形状のインターレーサを用い、糸道管直径、空気噴射ノズル直径、空気圧およびフィード率を種々に変えてインターレース加工を行い、交絡数を定式化した結果について述べる。

2. 実験装置および方法

試料糸は、ポリエステルマルチフィラメントの原糸 (150d/48f) である。

図1に、本実験で使用したインターレーサを示す。 d は糸道管直径、 l_d は糸道管長さ、 d_n は空気噴射ノズル直径、 l_g はガイド間距離である。空気噴射ノズルは、糸道管中央に糸道管軸に対して垂直に1個設けてある。インターレーサの両端にあるヤーンガイドは、糸が糸道管軸に位置するように設置してある。表1に、インターレーサの番号と寸法を示す。 l_d と l_g の大きさは d の値に比例させた。糸走行装置は前報³⁾と同じなので、記述を割愛する。

実験は、初期張力を150 mN (1mN=0.102 gf)、

Fig. 1 Interlacer

Table 1 Dimensions of interlacers (unit:mm)

$d \backslash d_n$	1.0	1.2	1.4	1.7	l_d	l_g
3.4	①	⑤	⑨	⑬	17.6	37.8
3.1	②	⑥	⑩	⑭	16.3	34.9
2.8	③	⑦	⑪	⑮	14.7	31.5
2.4	④	⑧	⑫	⑯	12.5	26.8

糸速を200 m/min に固定し、空気圧 p を0.1~0.7 MPa (1 MPa=10.2 kgf/cm²) の範囲で0.1 MPa ごと、フィード率 F を1~17%の範囲で1%ごとに变化させて行った。交絡数は、目視で測定した¹⁾。

3. 実験式

交絡数の実験値は、糸道管直径 d 、空気噴射ノズル直径 d_n 、空気圧 p 、フィード率 F の変化に対して、次節に示すように単調に変化せず、最大値を取る変化を示す。最大値を取る変化を示す関数形は無限にあるが、本報告では、数学的に最も平易な関数形である次の多項式を、交絡数を表すために用いることにする。

$$N^*(d, d_n, p, F) = \sum_{m_1=0}^M \sum_{m_2=0}^{m_1} \sum_{m_3=0}^{m_2} \sum_{m_4=0}^{m_3} C_k d^{m_1-m_2} \times d_n^{m_2-m_3} p^{m_3-m_4} F^{m_4} \tag{1}$$

ここで N^* は交絡数の計算値、 M は最高次数、 C_k は係数である。残差 R を

$$R = \sum_{j=1}^n (N_j^* - N_j)^2 \tag{2}$$

により定義する。ただし、 n は実験データの総数、 N

は交絡数の実験値で、添字 j は j 番目の実験データを表す。実験データとして、糸がインターレース加工される場合 ($N > 0$) のデータを用い、残差 R を最小にする(1)式の係数 C_k を決定する。

ところで、 F が大きくなると、糸が弛みインターレーサの入口に溜り、糸切れを起こす。そのため、ある F の値を境界に、有限の交絡数から突然 $N = 0$ に変化する。そこで、インターレース加工が可能なこの F の限界値を次の多項式で表す。

$$F^*(d, d_n, p) = \sum_{m_1=0}^M \sum_{m_2=0}^{m_1} \sum_{m_3=0}^{m_2} C_{Fk} d^{m_1-m_2} d_n^{m_2-m_3} p^{m_3} \tag{3}$$

ここで、 F^* は限界フィード率の計算値、 C_{Fk} は係数である。残差 R_F を

$$R_F = \sum_{j_F=1}^{n_F} (F_{j_F}^* - F_{j_F})^2 \tag{4}$$

により定義し、残差を最小にする係数 C_{Fk} を決定する。ただし n_F は F^* を計算するために用いるデータの総数、添字 j_F は j_F 番目のデータを表す。

以上のことから、(1)、(3)式を用いて、限界フィード率を考慮した交絡数の計算値 N_c を次のように表す。

$$N_c = N^* H(F^* - F) \tag{5}$$

ここに、 H は単位階段関数で、 $F^* - F \geq 0$ のとき $H = 1$ 、 $F^* - F < 0$ のとき $H = 0$ とする。

多項式の最高次数について述べる。インターレーサの寸法 d と d_n に関するデータ数は p と F に比して少ないので、 d と d_n の最高次数を p と F の最高次数より小さくし、 M^* で表す。 M と M^* を決定するために、各インターレーサにおける交絡数の計算値の最大値 N_{cm} と実験値の最大値 N_m の差の絶対値の平均値 μ_{Nm}

$$\mu_{Nm} = \frac{1}{n_i} \sum_{j_i=1}^{n_i} |N_{cmji} - N_{mji}|, \tag{6}$$

N_{cm} を与える空気圧 p_{cm} と N_m を与える空気圧 p_m の差の絶対値の平均値 μ_{pm}

$$\mu_{pm} = \frac{1}{n_i} \sum_{j_i=1}^{n_i} |p_{cmji} - p_{mji}|, \tag{7}$$

N_{cm} を与えるフィード率 F_{cm} と N_m を与えるフィード率 F_m の差の絶対値の平均値 μ_{Fm}

$$\mu_{Fm} = \frac{1}{n_i} \sum_{j_i=1}^{n_i} |F_{cmji} - F_{mji}|, \tag{8}$$

および、すべての計算値 N^* と実験値 N の差の絶対値の平均値 μ_N

$$\mu_N = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |N_j^* - N_j| \tag{9}$$

を導入する。ただし、 n_i は実験に使用したインターレーサの総数 16 である。 $M = 3 \sim 5$ 、 $M^* = 1 \sim 3$ に対する平均値を表 2~5 に示す。表 2~4 より、各インターレーサの最大交絡数に関する平均値 μ_{Nm} 、 μ_{pm} 、 μ_{Fm} は、 M と M^* が小さいときに大きく、 M と M^* を増しても単調に減少せず、 $M = 4$ 、 $M^* = 2$ のとき最小値を取る。一方、表 5 より、最高次数が大きいほど測定点における計算値は実験値に一致することが分かる。最高次数が大きいほど、測定点と測定点の中間点において多項式の計算値は振動し計算値と実験値の一致の程度は悪くなるため、測定点と測定点の中間点において最大となる交絡数の計算値と実験値の一致の程度は、表 2~4 にみられるように

Table 2 Values of μ_{Nm} (unit : m^{-1})

$M \backslash M^*$	3	4	5
1	7.6	5.1	4.3
2	3.6	1.6	3.1
3	3.6	3.0	1.9

Table 3 Values of μ_{pm} (unit : MPa)

$M \backslash M^*$	3	4	5
1	0.05	0.05	0.05
2	0.05	0.02	0.04
3	0.05	0.04	0.03

Table 4 Values of μ_{Fm} (unit : %)

$M \backslash M^*$	3	4	5
1	2.3	2.1	2.1
2	1.4	0.3	1.1
3	1.4	0.9	1.1

Table 5 Values of μ_N (unit : m^{-1})

$M \backslash M^*$	3	4	5
1	7.2	6.4	6.1
2	5.4	4.1	3.7
3	5.4	3.8	2.8

悪くなる。逆に、最高次数を小さくすると、計算値は測定点と測定点の間で振動しないが、実験値との一致の程度が測定点で低くなる。以上のことから本報告では、実験式が実験値を実験の全領域で良好に表すことよりも、むしろ交絡数が多い領域で良好に表すことを目指し、実験式の最高次数として $M=4$, $M^*=2$ を採用する。付録に、このときの(5)式を具体的に示す。

4. 結果および考察

4.1 交絡数

図2に、種々の寸法を有する16個のインターレーサについて、空気圧 p とフィード率 F を変化させて得られた交絡数の等値線を、110~70 m^{-1} の範囲では5 m^{-1} ごと、70~40 m^{-1} の範囲では10 m^{-1} ごと、および20 m^{-1} について示す。図中の数字は交絡数 [m^{-1}] である。左図が実験値 N である。実験は $F=1\%$, $p=0.1 \text{ MPa}$ ごとに行ったので、測定値を内挿して等値線を描いてある。 F の限界値の実験は、 p の変化に対して滑らかに変化するように定め、記号○により図示した。右図が(5)式から得られた計算値 N_c である。

計算値を実験値と比較すると、 p と F の変化に対し一致しない部分もあるが、全体的には一致しているといえる。従って、数学的に最も平易な関数である(1), (3)式の多項式を単位階段関数と組み合わせた(5)式は、 p と F の変化に対して最大値を取る交絡数の分布を良好に表すことが分かる。

インターレース糸の生成範囲は、一見すると、 d が大きいほど、 d_n が小さいほど、 F の大きい値まで広がっている。このときほど、糸道管軸方向の空気流速が小さく、糸に作用する糸軸方向の空気摩擦力が小さいために、糸はインターレーサ入口に溜まらないからである。しかし、 $d=3.1 \text{ mm}$ のインターレーサの結果を詳細にみると、 d_n の変化に対して例外がみられる。インターレーサ⑥ ($d_n=1.2 \text{ mm}$) は、インターレーサ② ($d_n=1.0 \text{ mm}$) よりも大きな F まで生成している。本研究で用いたインターレーサの中では、インターレーサ⑥が最大の交絡数を生成し、交絡数が多いときには糸張力が大きくなる³⁾ ため、糸がインターレーサ入口に溜まりにくく、比較的大きな F まで、糸加工ができるためである。

インターレース糸を生成する F の範囲は、 p の変化に対して最大値を取る。 d_n の増加とともに、生成

範囲の最大値を与える p の値は減少する。

原糸と仮撚加工糸⁹⁾を比較すると、原糸では、 F の増加とともにほぼ最大交絡状態から急激に加工不能になるが、仮撚加工糸では、糸軸方向の伸びが大きいために、 F に関する限界値は顕著にみられない。

各インターレーサに対する(5)式の一致の程度を調べるために、各インターレーサにおける計算値 N_c と実験値 N の差の絶対値の平均値 μ_i

$$\mu_i = \frac{1}{n_{it}} \sum_{j=1}^{n_{it}} |N_{cjt} - N_{jt}| \quad (10)$$

を表6に示す。 n_{it} は各インターレーサにおけるデータの総数である。 μ_i と d と d_n の変化に対して、単調あるいは極値を取るなどの顕著な傾向は示さないもので、(5)式の d と d_n の変化に対する優劣を論じることとはできない。

Table 6 Values of μ_i (unit : m^{-1})

$d_n \text{ mm} \backslash d \text{ mm}$	1.0	1.2	1.4	1.7
3.4	3.2	3.5	2.8	1.9
3.1	6.2	4.5	3.5	4.4
2.8	5.4	6.4	5.6	3.5
2.4	3.7	3.9	4.5	3.5

4.2 最大交絡数

図3に、種々の d と d_n を持つインターレーサについて、 p と F を変化させて得られた交絡数の最大値の等値線を示す。図中の数字は最大交絡数 [m^{-1}] である。左図は実験値 N_m である。右図は、インターレーサごとに(5)式から得られた計算値の最大値 N_{cm} の等直線である。右図は左図と同じであるから、(5)式は最大交絡数の分布を良好に表すことができる。

最大交絡数は d と d_n の変化に対して単調に変化せず、 d と d_n に最適値が存在する。本研究で使用した16個のインターレーサの中ではインターレーサ⑥ ($d_n=1.2 \text{ mm}$, $d=3.1 \text{ mm}$) が、114.5 m^{-1} の最大実測値を示した。原糸で得られたこの最大交絡数は、 $d_n=1.4 \text{ mm}$, $d=2.8 \text{ mm}$ のときに得られた仮撚加工糸⁹⁾の最大交絡数126.5 m^{-1} に比べると小さく、原糸は仮撚加工糸に比べてインターレース加工が困難である。

図4に、個々のインターレーサの最大交絡数を与える空気圧の等値線を示す。図中の数字は空気圧 [MPa] である。左図は実験値 p_m , 右図は計算値 p_{cm}

(a) Interlacer ① ($d_n=1.0\text{mm}$, $d=3.4\text{mm}$)

(b) Interlacer ② ($d_n=1.0\text{mm}$, $d=3.1\text{mm}$)

(c) Interlacer ③ ($d_n=1.0\text{mm}$, $d=2.8\text{mm}$)

(d) Interlacer ④ ($d_n=1.0\text{mm}$, $d=2.4\text{mm}$)

Fig. 2 Number of tangles

(e) Interlacer ⑤ ($d_n=1.2\text{mm}$, $d=3.4\text{mm}$)

(f) Interlacer ⑥ ($d_n=1.2\text{mm}$, $d=3.1\text{mm}$)

(g) Interlacer ⑦ ($d_n=1.2\text{mm}$, $d=2.8\text{mm}$)

(h) Interlacer ⑧ ($d_n=1.2\text{mm}$, $d=2.4\text{mm}$)

Fig. 2 (continued) Number of tangles

(i) Interlacer ⑨ ($d_n=1.4\text{mm}$, $d=3.4\text{mm}$)

(j) Interlacer ⑩ ($d_n=1.4\text{mm}$, $d=3.1\text{mm}$)

(k) Interlacer ⑪ ($d_n=1.4\text{mm}$, $d=2.8\text{mm}$)

(l) Interlacer ⑫ ($d_n=1.4\text{mm}$, $d=2.4\text{mm}$)

Fig. 2 (continued) Number of tangles

(m) Interlacer ⑬ ($d_n=1.7\text{mm}$, $d=3.4\text{mm}$)

(n) Interlacer ⑭ ($d_n=1.7\text{mm}$, $d=3.1\text{mm}$)

(o) Interlacer ⑮ ($d_n=1.7\text{mm}$, $d=2.8\text{mm}$)

(p) Interlacer ⑯ ($d_n=1.7\text{mm}$, $d=2.4\text{mm}$)

Fig. 2 (continued) Number of tangles

である。右図は左図と同じであるから、(5)式は個々のインターレーサの最大交絡数を与える空気圧の分布も良好に表すことができる。

最大交絡数を与える空気圧は、 d と d_n に対して単調に変化し、 d が大きいほど、 d_n が小さいほど大きい。

図4と図3より、多くの交絡数を生成する空気圧は、0.35～0.5 MPaの範囲にある。

図5に、個々のインターレーサの最大交絡数を与えるフィード率の等値線を示す。図中の数字はフィード率 [%] である。左図は実験値 F_m 、右図は計算

値 F_{cm} の等値線である。右図は左図と同じであるから、(5)式は個々のインターレーサの最大交絡数を与えるフィード率の分布も良好に表すことができる。

最大交絡数を与えるフィード率は、 d が大きいほど、 d_n が小さいほど大きい。

図5と図3より、多くの交絡数を生成するフィード率は、7～11%の範囲にある。

以上のことから、交絡数を良好に表す実験式を用いることにより、所定の交絡数を持つインターレース糸を得るための加工条件の選定が容易であることが確認できる。

Fig. 3 Maximum number of tangles

Fig. 4 Pressure giving maximum number of tangles

Fig. 5 Feed ratio giving maximum number of tangles

4. 結 言

インターレースの寸法効果を明らかにし、所定の交絡数を有するインターレース糸を得るための加工条件の選定を容易にするために、種々の糸道管直径 d と空気噴射ノズル直径 d_n を持つインターレースを製作し、原糸のインターレース糸の交絡数を測定した。次いで、この交絡数をインターレースの寸法、空気圧 p 、フィード率 F の関数として定式化した。得られた結果を要約して以下に示す。

(1) d と d_n に関して最高次数 2、 p と F に関して最高次数 4 の多項式と階段関数を組み合わせた(5)式は、 p 、 F 、 d 、 d_n の変化に対して最大値を取る交絡数の分布を良好に表すことができる。また、最大交絡数および最大交絡数を与える p と F の分布を極めて良好に表すことができる。

(2) 最大交絡数は d と d_n の変化に対して単調に変化せず、 d と d_n に最適値が存在する。最大交絡数を与える空気圧とフィード率は、 d と d_n に対して単調に変化し、 d が大きいほど、 d_n が小さいほど大きい。

(3) 原糸と仮撚加工糸を比較すると、原糸では、 F の増加とともにほぼ最大交絡状態から急激に加工不能になるが、仮撚加工糸では、 F に関する限界値は顕著に見られない。原糸の最大交絡数は、仮撚加工糸の最大交絡数に比べると小さく、原糸は仮撚加工糸に比べてインターレース加工が困難である。

終わりに、本研究は社団法人福井人絹倶楽部、財団法人繊維工業研究協会の助成を受けたことを記し、感謝の意を表す。また、本研究を遂行するに当たり、福井大学技術部技官 山内憲一氏には多大の援助を賜った。併せて感謝の意を表す。

参考文献

1) 家元, 蝶野, 笠松, 榎; 繊維誌, 45, T1 (1992)
2) 家元, 蝶野, 秦, 榎; 繊維誌, 47, T151 (1994)
3) 家元, 蝶野, 澤寄; 繊維誌, 39, T115 (1986)
4) 家元, 蝶野, 澤寄; 繊維誌, 39, T07 (1986)

付 録

最高次数が $M=4$ 、 $M^*=2$ のとき、(5)式は次のように表される。

$$\begin{aligned} N_c = & (349.525 + 396.765d - 1808.72d_n \\ & - 829.738p + 921.313F - 143.253d^2 \\ & + 193.726dd_n + 41.5966dp - 597.517dF \\ & + 1041.53d_n^2 + 1363.87d_n p - 162.595d_n F \\ & + 296.854p^2 - 214.049pF - 67.8624F^2 \\ & + 100.255d^2 d_n + 14.8389d^2 p + 71.8730d^2 F \\ & - 338.455dd_n^2 - 173.035dd_n p + 406.400dd_n F \\ & - 18.7278dp^2 + 147.484dpF + 5.28278dF^2 \\ & - 532.895d_n^2 p - 185.749d_n^2 F - 253.794d_n p^2 \\ & - 23.6585d_n pF - 132.398d_n F^2 - 53.0035p^3 \\ & + 18.1074p^2 F - 15.2897pF^2 + 45.9255F^3 \\ & + 7.18228d^2 d_n^2 - 15.2908d^2 d_n p - 68.6139d^2 d_n F \\ & + 7.37548d^2 p^2 - 14.3306d^2 pF + 8.71547d^2 F^2 \\ & + 116.179dd_n^2 p + 22.0555dd_n^2 F - 24.2820dd_n p^2 \\ & - 16.2024dd_n pF + 3.05906dd_n F^2 + 2.77024dp^3 \\ & - 7.06829dp^2 F - 5.60827dpF^2 - 8.66923dF^3 \\ & + 69.4402d_n^2 p^2 + 1.88579d_n^2 pF + 26.7988d_n^2 F^2 \\ & + 28.2460d_n p^3 + 3.47461d_n p^2 F + 16.9740d_n pF^2 \\ & + 4.05057d_n F^3 + 1.50419p^4 - 1.24697p^3 F \\ & + 1.42008p^2 F^2 + 1.69299pF^3 - 2.79535F^4) \\ & \times H(465.814 - 237.745d - 700.119d_n \\ & - 43.4575p + 22.6969d^2 + 352.418dd_n \\ & + 10.9420dp + 249.654d_n^2 + 75.7422d_n p \\ & + 2.23877p^2 - 33.9487d^2 d_n + 2.16348d^2 p \\ & - 124.309dd_n^2 - 20.0883dd_n p - 0.457720dp^2 \\ & - 29.3613d_n^2 p - 3.93111d_n p^2 + 0.0378472p^3 \\ & + 11.9167d^2 d_n^2 - 0.815589d^2 d_n p - 0.108985d^2 p^2 \\ & + 8.21887dd_n^2 p - 0.0683897dd_n p^2 + 0.0660530dp^3 \\ & + 1.44509d_n^2 p^2 + 0.0834314d_n p^3 - 0.0174045p^4 \\ & - F) \end{aligned}$$

ただし、 N_c 、 d 、 d_n 、 p 、 F の単位は、それぞれ m^{-1} 、 mm 、 mm 、 MPa 、 $\%$ である。