

УДК 677.486.6

## АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ТЕКСТУРИРОВАННОЙ НИТИ

И.П. КОРНЮХИН, Т.А. КОРНЮХИНА

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

Ранее в [1] описан метод малоуглового рассеяния, использовавшийся для исследования структурных свойств текстурированной нити, и обоснован введенный показатель распушенности, определяемый при помощи этого метода. В настоящей работе осуществлен более углубленный анализ информации, даваемой этим методом, на основе предложенной приближенной ма-

тематической модели ориентации извитков в текстурированной нити.

Нами были проведены исследования на 6 текстурированных нитях с величиной ложной крутки 4000 и 5000 кр/м и числом элементарных нитей 3, 5 и 7. Образцы крепились на рамке под натяжением, равным весу 10 м исследуемой комплексной нити.

Для одной нити индикатриса рассеяния снималась на разных ее участках.

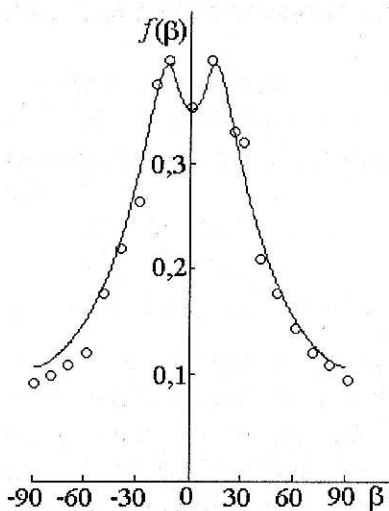


Рис. 1

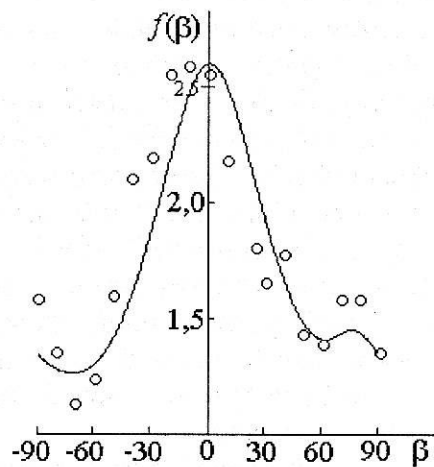


Рис. 2

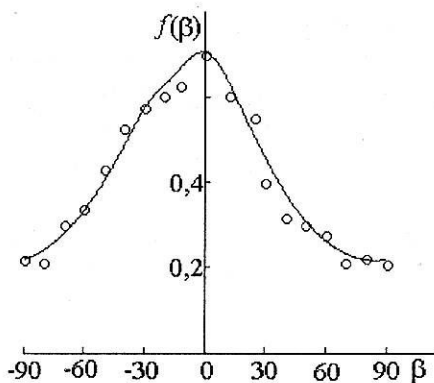


Рис. 3

На рис. 1...3 приведены 3 характерных индикатрисы рассеяния, полученные на различных участках нити. Вид индикатрисы рассеяния существенно зависит от расположения участков элементарной нити относительно оси комплексной нити и от их распрямленности.

На графиках точками показаны полученные опытным путем значения величины интенсивности, зарегистрированные под различными углами к оси текстурированной нити. Эти графики существенно различаются по своему характеру.

Для анализа хода кривых была предложена следующая упрощенная модель. Ось элементарной нити рассматривается как винтовая линия. Предполагается, что ее отдельные участки отклоняются от оси по тому же самому статистическому закону, что и волокна в рассмотренных ранее волокнистых структурах, подчиняясь функции плотности углового распределения для осесимметричной волокнистой структуры. Кроме того, предполагается, что может существовать и некоторая доля филаментов, подчиняющихся тому же закону, но не связанная с осью элементарной нити, а частично ориентированная в направлении комплексной нити как целого при ее распрямлении без натяжения.

Регистрируемый приемником излучения световой поток пропорционален величине проекции участка волокна на плоскость экрана, перпендикулярного падающему лучу. В этом случае нормированное распределение длин проекций мало отличается от распределения длин проекций для тонкого плоского образца [2] и, учиты-

вая приближенный характер анализа, может быть представлено формулой [2]:

$$\ell(\beta) = \frac{1}{\pi} \frac{\lambda}{\lambda^2 \sin^2 \beta + \cos^2 \beta}, \quad (1)$$

где  $\beta$  – угол ориентации;  $\lambda$  – параметр функции распределения, принимающий значения  $\lambda = 1$  для полностью хаотичной волокнистой структуры;  $\lambda > 1$  – для вытянутой в одном направлении, принимаемом за осевое, и  $\lambda < 1$  – для сжатой.

Уравнение винтовой линии в параметрической форме имеет вид

$$x = a \cos t, \quad y = a \sin t, \quad z = bt, \quad (2)$$

где  $a$  – радиус винтовой линии;  $b = h/2\pi$ ;  $h$  – шаг винтовой линии.

Угол  $\alpha$  наклона проекции винтовой линии на плоскость  $yz$  к оси  $z$ , принимаемой за ось нити, определяется при помощи уравнений (2) по тангенсу угла наклона  $\operatorname{tg} \alpha = dy/dz$  и равен

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{a^2 - y^2}}{b}. \quad (3)$$

Введем безразмерные переменные:

$$V = b/a, \quad Y = y/a. \quad (4)$$

При этом (2) преобразуется к виду

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{1 - Y^2}}{V}. \quad (5)$$

Как уже отмечалось, направление винтовой линии рассматривается как ось образца, относительно которой отрезки волокон ориентированы в соответствии с плотностью осесимметричного распределения, а их проекции на плоскость  $yz$  – в соответствии с формулой (1). В этом случае ось образца смещена относительно положения  $\beta = 0$ , и тогда для бесконечно малого участка винтовой линии, проекция которого наклонена под некоторым углом  $\alpha$ , ненормированная плотность углового распреде-

ления в соответствии с формулой (1) запишется как

$$d\ell_1(\beta, \alpha) = \frac{1}{\pi} \frac{\lambda_1}{\lambda_1^2 \sin^2(\beta - \alpha) + \cos^2(\beta - \alpha)} d\alpha. \quad (6)$$

Правый винт (сама линия и ее проекция) имеют фронтальный участок, обращенный к источнику излучения и идущий снизу слева вверх направо, а также тыльный участок, обращенный к приемнику излучения, идущий снизу справа вверх налево.

Для этого второго участка получим аналогичное соотношение:

$$f_1(\beta) = \frac{2\lambda_1}{\pi} \int_0^1 \frac{2BY dY}{(\lambda_1^2 + 1)(1 + B^2 - Y^2) - (\lambda_1^2 - 1) \left[ (B^2 + Y^2 - 1) \cos 2\beta + 2B\sqrt{1 - Y^2} \sin 2\beta \right]}, \quad (8)$$

$$f_2(\beta) = \frac{2\lambda_1}{\pi} \int_0^1 \frac{2BY dY}{(\lambda_2^2 + 1)(1 + B^2 - Y^2) - (\lambda_2^2 - 1) \left[ (B^2 + Y^2 - 1) \cos 2\beta + 2B\sqrt{1 - Y^2} \sin 2\beta \right]}. \quad (9)$$

Операция интегрирования была принята, чтобы учесть ориентацию всех участков филаментов, связанных с осью винтовой линии. Интегрирование выполнялось численно в пакете программ Mathcad.

Поскольку оптическая плотность текстурированной нити не превышала 1, допустимо суммирование ненормированных плотностей распределения с соответствующими весовыми коэффициентами:

$$f(\beta) = k_1 f_1(\beta) + k_2 f_2(\beta) + k_3 f_3(\beta), \quad (10)$$

где  $k_1, k_2, k_3$  – весовые коэффициенты.

Функции  $f_1(\beta)$  и  $f_2(\beta)$  определены уравнениями (8) и (9); функция  $f_3(\beta)$  учитывает ту фракцию участков филаментов, которая не связана непосредственно с винтовой линией и может быть представлена функцией, аналогичной (1), что отмечалось выше при исходном обсуждении модели. Эта функция воспроизводится здесь в форме

$$d\ell_2(\beta, \alpha) = \frac{1}{\pi} \frac{\lambda_2}{\lambda_2^2 \sin^2(\beta + \alpha) + \cos^2(\beta + \alpha)} d\alpha. \quad (7)$$

Такие же участки будет иметь и левый винт, так что предлагаемый подход не позволит различить правые и левые винты.

Несложная, но громоздкая замена переменных в уравнениях (6) и (7) при помощи формулы (5) с учетом величины производной  $d\alpha/dY$  и последующим интегрированием приводят к соответствующим выражениям для ненормированной плотности распределения длин участков филаментов, связанных с винтовой линией:

$$f_3(\beta) = \frac{1}{\pi} \frac{\lambda}{\lambda^2 \sin^2 \beta + \cos^2 \beta}. \quad (11)$$

Выше отмечалось, что опытные данные на рис. 1...3 получены для отдельных участков комплексной текстурированной нити, которые при дальнейшем анализе будем именовать соответственно первым, вторым и третьим участками.

Представленные на этих графиках теоретические кривые рассчитаны при помощи уравнений (8...11) путем подбора свободных коэффициентов  $\lambda, \lambda_1, \lambda_2, k_1, k_2, k_3, B$ . При этом для всех трех кривых параметры распределения для фракций непосредственно связанных с винтовой линией, равны между собой:  $\lambda_1 = \lambda_2$ , причем для первого участка их значения равны 0,12, для второго – равны 0,3, а для последнего – 0,25. Напомним, что для полностью хаотического состояния участков филаментов параметр распределения  $\lambda = 1$ , для вытянутых вдоль оси  $\lambda > 1$ , а для сжатых  $\lambda < 1$ .

Приведенные выше значения параметров распределения демонстрируют довольно значительную степень сжатия, причем наибольшая густота извитков, соответствующая наименьшему значению  $\lambda$ , характерна для данных, представленных на рис. 1.

В соответствии с введенным формулой (4) определением отношение шага винтовой линии к ее диаметру  $d$  можно представить как

$$h/d = \pi B. \quad (12)$$

Для первого и третьего участков значения параметра  $B$  меньше 1, и значения  $h$  и  $d$  близки между собой, в то время как для второго участка  $B = 3$ , что свидетельствует о том, что винтовая линия в рассматриваемом случае сильно растянута.

Для первого участка комплексной нити  $k_1 = k_2$  и кривая симметрична, а для второго и третьего участков  $k_1 \neq k_2$ , кривая асимметрична, что свидетельствует о различном вкладе ветвей (фронтальной и тыльной) винтовой линии. Что касается частично ориентированной фракции, не связанной с винтовой линией и характеризующейся коэффициентами  $\lambda$  и  $k_3$ , во всех трех случаях значения  $\lambda > 1$ , что свидетельствует о частичном вытягивании этой фракции в направлении оси комплексной нити. Значение  $k_3$  максимально для второго участка, что характеризует заметный вклад рассматриваемой фракции участков филаментов в общие показатели ориентации в комплексной нити.

Проведенный анализ ориентации на трех наиболее характерных участках показывает, что структура комплексной нити неоднородна по длине. В связи с этим целесообразно охарактеризовать ориентацию извитков в комплексной нити в целом.

С этой целью была предпринята следующая обработка опытных данных, полученных на восьми участках комплексной нити. Все 8 экспериментальных зависимостей  $f(\beta)$  были отнормированы на 1. Операция интегрирования при этом производилась численно, методом трапеций. Далее значения отнормированных функций ус-

реднялись при каждом значении угла  $\beta$ . После этого зависимость отнормированной и осредненной для всей нити плотности распределения длин проекций приобрела вид, представленный на рис. 4.

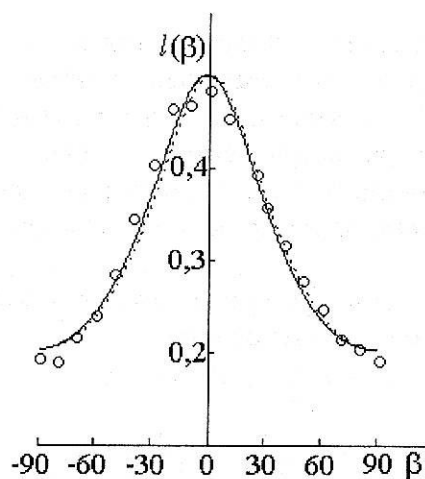


Рис. 4

Пунктирная кривая на этом графике построена по уравнению (1), полученному для случая ориентации волокон в частично ориентированной структуре. Попытка учесть некоторый перекося данных в соответствии с плотностью распределения, приведенной в [2] (сплошная кривая на рис. 4), дала такое значение параметра перекося  $\omega$ , которое соответствует углу смещения от оси в  $1,5^\circ$ , что лежит в пределах точности фиксации положения максимума, так что таким незначительным перекося можно пренебречь.

Итак, угловое распределение извитков в комплексной нити в целом описывается тем же уравнением, что и угловое распределение в волокнистых структурах. Но для комплексной нити важны другие свойства – ее рыхлость, распушенность, близость ее состояния к полностью хаотическому.

В связи с этим для комплексной нити целесообразно ввести другой показатель – величину распушенности  $R$ , определяемую отношением минимума плотности распределения к максимуму:

$$R = \ell(\pi/2)/\ell(0). \quad (13)$$

Проведенный анализ дает основание для использования экспресс-метода определения показателя распушенности. Не снимая всей индикатрисы рассеяния, определяют значения интенсивностей  $I$  регистрируемого сигнала в точках  $\beta = 0$  и  $\beta = \pi/2$  и после осреднения по различным участкам нити рассчитывают показатель распушенности по формуле

$$R = I(\pi/2)/I(0).$$

При полностью хаотичном расположении отдельных извитков элементарных нитей  $R$  стремится к единице. Реальные значения коэффициентов  $R$  находятся между 0 и 1. Чем ближе величина  $R$  к единице, тем рыхлее и пушистее нить.

С использованием такого подхода были исследованы свойства 6 комплексных нитей с разной круткой и разным числом элементарных нитей. Основные показатели для них приведены в табл. 1 из [1].

Анализ представленных в этой таблице данных показал, что между параметром распушенности и параметром устойчивости извитости наблюдается статистическая связь. Соответствующий коэффициент корреляции довольно высок и равен 0,92. Значительно слабее связь между парамет-

ром распушенности и степенью восстановления нити после растяжения. Она характеризуется коэффициентом корреляции, приблизительно равным 0,7. И практически отсутствует связь степени распушенности  $R$  с растяжимостью нити от распрямления извитков, характеризующаяся коэффициентом корреляции, равным - 0,3.

## ВЫВОДЫ

На основе предложенной математической модели комплексной нити дан анализ ее структурных особенностей, с помощью которого могут анализироваться условия выработки нити, обеспечивающие повышение степени ее однородности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лалькина К.М., Корнюхина Т.А. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1978, № 4. С.30...33.
2. Корнюхин И.П., Корнюхина Т.А. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2004, №3. С.14...18.

Рекомендована кафедрой физики. Поступила 12.05.05.