

УДК 677.038.2:004.9

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЯ ЗРЕЛОСТИ ХЛОПКОВЫХ ВОЛОКОН

А.Ю. МАТРОХИН, О.А. ШАЛОМИН, А.В. КРУГЛОВ, Б.Н. ГУСЕВ

(Ивановская государственная текстильная академия)

E-mail: info@igta.ru

Предложено выражение показателя зрелости хлопковых волокон с улучшенными метрологическими характеристиками.

Доказано снижение абсолютной и относительной погрешности предлагаемого показателя зрелости по сравнению с применяемым ранее.

Expression of cotton fibers maturity parameter with improved metrological characteristics is offered herein. Decrease of an absolute and relative error of the offered maturity parameter is proved in comparison with the one used earlier.

Ключевые слова: показатель зрелости хлопковых волокон, коэффициент зрелости, поперечное сечение волокна, метрологический анализ.

Разработка усовершенствованного показателя зрелости хлопковых волокон должна исходить из двух следующих условий. Первое состоит в том, что он должен быть оп-

ределяем на основе величин, полученных путем непосредственных измерений для волокон, имеющих любую степень зрелости. Второе условие связано с вычислени-

ем, которое не должно приводить к необоснованному увеличению косвенной погрешности. Поэтому при проектировании нового показателя зрелости предварительно провели анализ известных показателей зрелости волокон, таких как коэффициент зрелости, определяемый по соотношению видимой ширины канала к удвоенной толщине вторичной стенки [1], [2], и индекс зрелости "maturity ratio", применяемый в зарубежной практике [3], [4].

В итоге в качестве базовой величины, характеризующей зрелость волокон, использовали показатель "maturity ratio" M , который является наиболее адекватной оценкой содержания целлюлозы в стенках волокна. Величина M определяется по выражению

$$M = \frac{\Theta}{\Theta_s}, \quad (1)$$

где Θ – значение фактического заполнения площади поперечного сечения хлопкового волокна целлюлозой (в долях от единицы); Θ_s – "стандартный" уровень заполнения площади поперечного сечения хлопкового волокна целлюлозой, соответствующий оптимально зрелым волокнам египетских сортов (оценка в разных источниках колеблется от 0,577 до 0,590).

Согласно [3] вычисление фактического заполнения площади волокна целлюлозой сводится к выражению

$$\Theta = \frac{S}{S_{\max}} = \frac{4S}{\pi d_p^2} = \frac{4\pi S}{P^2}, \quad (2)$$

где S_{\max} – максимально возможная площадь поперечного сечения волокна, при условии, что оно имеет цилиндрическую форму без канала, мкм^2 ; S – площадь поперечного сечения волокна по внешнему контуру, мкм^2 ; d_p – диаметр круглого попереч-

ного сечения, имеющего тот же периметр, что и волокно, мкм ; P – наружный периметр поперечного сечения волокна, мкм .

Схема определения величины Θ представлена в виде рис. 1.

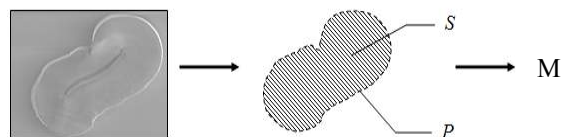


Рис. 1

Вместе с тем приведенная схема и выражение (2) имеют ряд недостатков. Во-первых, для расчета заполнения поперечного сечения волокна целлюлозой используется величина S , представляющая собой площадь поперечного сечения волокна по внешнему контуру. Однако подобная интерпретация той части площади сечения, которая занята целлюлозой, не соответствует действительности, так как она не учитывает наличия и размеров канала внутри хлопкового волокна. Как показывают исследования [4], форма и размеры канала индивидуальны (рис. 2). В частности, канал занимает максимальную долю площади поперечного сечения у совершенно незрелых волокон (рис. 2-а), а с увеличением толщины стенок доля канала последовательно уменьшается (рис. 2-б, г). В соответствии с выражением (2) этот фактор никак не учитывается, что может привести к искажению получаемого результата оценки относительно фактического содержания целлюлозы.

Таким образом, в итоговой формуле универсального показателя зрелости вместо площади поперечного сечения волокна, измеренной по внешнему контуру, необходимо использовать только часть площади поперечного сечения, занимаемую целлюлозой.

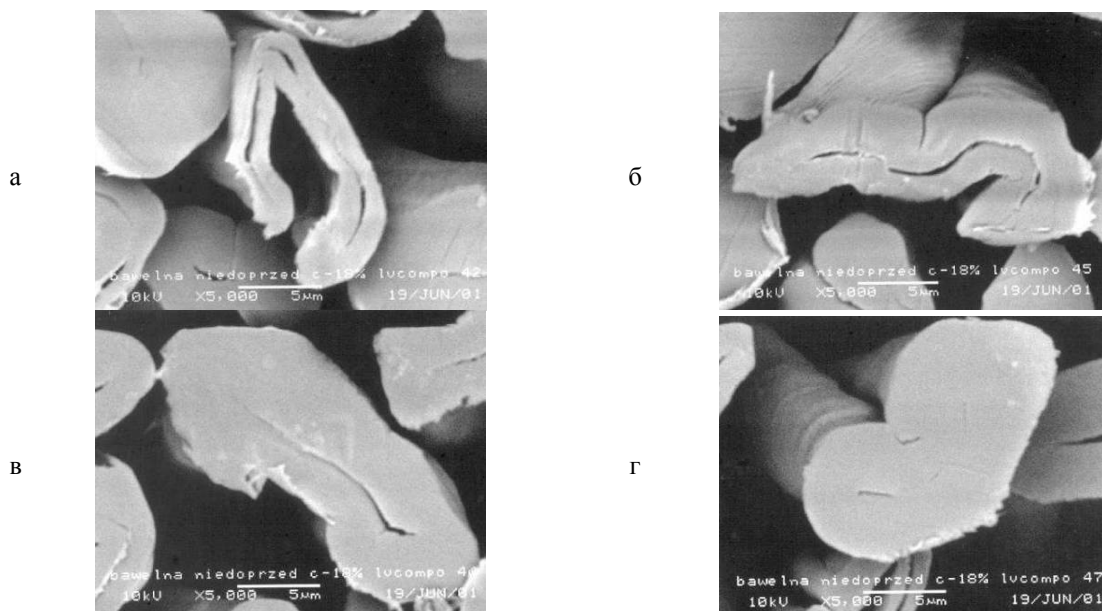


Рис. 2

Во-вторых, при определении фактического заполнения площади волокна целлюлозой Θ по выражению (2) показатель степени у величины наружного периметра поперечного сечения волокна P равен двум. Как известно из теории метрологического обеспечения, выражения, в которых используются степенные зависимости, приводят к увеличению итоговой косвенной погрешности. Поэтому необходимо снизить показатель степени у периметра до единицы и соответственно уменьшить показатель степени у других элементов выражения. С учетом корректировки показателя степени при прочих неизменных условиях выражение (2) примет вид:

$$\Theta^* = \sqrt{\Theta} = \frac{2\sqrt{\pi S}}{P}. \quad (3)$$

Для обоснования данного решения проведем сравнительный метрологический анализ выражения (2) и выражения (3). Основным критерием является абсолютная и относительная погрешность выражений. Пусть при исследовании поперечного сечения волокна получено значение площади поперечного сечения, равное $S=81,4 \text{ мкм}^2$, и значение наружного периметра поперечного сечения волокна $P = 42,5 \text{ мкм}$. Рассчитаем значение абсолютной и косвенной погрешности величины фактического за-

полнения площади волокна целлюлозой в соответствии с методикой [5]. Примем, что абсолютная погрешность измерения периметра составляет $\Delta_P = 0,5 \text{ мкм}$, а абсолютная погрешность измерения площади поперечного сечения – $\Delta_S = 0,2 \text{ мкм}^2$.

Согласно методике [5] для любой физической величины относительная погрешность δ_X определяется по выражению:

$$\delta_X = (\Delta_X/X)100, \quad (4)$$

где Δ_X – абсолютная погрешность произвольной физической величины X , ед. изм.; X – фактическое (измеренное) значение физической величины, ед. изм.

Таким образом, определяются относительные погрешности всех величин, входящих в расчетное выражение, а затем вычисляется итоговая относительная погрешность косвенной величины. Так, относительная погрешность выражения (2) может быть вычислена по формуле:

$$\delta_{\Theta} = \delta_S + \delta_{P^2} = \frac{\Delta_S}{S} + 2\frac{\Delta_P}{P}. \quad (5)$$

Формула для вычисления относительной погрешности выражения (3) примет вид:

$$\delta_{\Theta^*} = \delta_{\sqrt{S}} + \delta_P = \frac{\Delta_S}{2S} + \frac{\Delta_P}{P} = 0,5\delta_{\Theta}. \quad (6)$$

Таким образом, относительная погрешность предлагаемого выражения оказывается в два раза ниже, чем у исходной формулы только за счет корректировки показателя степени. При этом физический смысл выражения не искажается, а только масштабируется, поскольку величина Θ

является безразмерной. В конечном итоге качество выражения оценивается абсолютной погрешностью искомого показателя, которая определяется на основании выражения (4).

Чтобы не перегружать текст вычислениями, все результаты приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Величина и ее единица измерения	Измеренное (вычисленное) значение	Значение предельной погрешности	
			Δ	$\delta, \%$
1	P, мкм	42,5	0,5	1,18
2	S, мкм ²	81,4	0,2	0,246
3	Θ	0,566	0,0148	2,606
4	Θ^*	0,753	0,0098	1,303

Как видно из табл. 1, решение о корректировке показателя степени в выражении является оправданным, и в итоговом выражении показатели степени всех величин будут представлены согласно выражению (3).

С учетом сделанных выводов и обоснований предлагается следующее выражение для расчета фактического заполнения площади поперечного сечения волокна целлюлозой:

$$\Theta^* = \sqrt{\Theta} = 2 \frac{\sqrt{\pi S_w}}{P}, \quad (7)$$

где S_w – площадь части поперечного сечения хлопкового волокна, непосредственно занятая фибриллами целлюлозы, мкм².

Значение S_w определяется как разность между площадью поперечного сечения хлопкового волокна по внешнему контуру и частью этой площади, занимаемой каналом, то есть:

$$S_w = S - S_v, \quad (8)$$

где S_v – часть площади поперечного сечения хлопкового волокна, которую занимает канал, мкм².

Использование выражения (7) при подстановке в итоговое выражение (1) для вычисления показателя зрелости хлопковых волокон позволит получить более адекват-

ную оценку, обладающую меньшей погрешностью и учитывающую именно те участки волокон, которые заполнены молекулами целлюлозы.

ВЫВОДЫ

Предложено выражение показателя зрелости хлопковых волокон с улучшенными метрологическими характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Кобляков А.И. Текстильное материаловедение (волокна и нити). – М.: Легпромбытиздат, 1989.
2. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению: Учеб. пособие для вузов/ Кобляков А.И., Кукин Г.Н., Соловьев А.Н. и др. – М.: Легпромбытиздат, 1986.
3. Montalvo jr. J.G., Davidonis G., Von Hoven T. Relationships between micronaire, fineness and maturity // Materials of 28th International cotton conference. – Bremen, March 22 – 25, 2006. P. 45...56.
4. Sarna Ewa, Wlochowicz Andrzej. The influence of the spinning process on the supermolecular and morphological structure of cotton // Materials of 26th International cotton conference. – Bremen, March 13 – 16, 2002. P. 223...238.
5. Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология. – М.: ЛОГОС, 2000.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товароведения. Поступила 21.12.09.