

УДК 677.11.022.35.94/017.31

**ВЛИЯНИЕ ПРОЧНОСТИ ЛЬНЯНОЙ РОВНИЦЫ
НА СТРУКТУРНУЮ НЕРОВНОТУ ЧИСТОЛЬНЯНОЙ ПРЯЖИ**

Е.А. ПЕСТОВСКАЯ

(Костромской государственный технологический университет,
Научно-внедренческий центр "Блеск" (г. Кострома))

Прочность льняной ровницы является одним из важнейших факторов, влияющих на структурную неровноту получаемой чистольняной пряжи и обрывность в мокром прядении льна. Прочность ровницы зависит от качества смеси льняных волокон и крутки. Она изменяется в процессе химической обработки ровницы и определяет характер дробления технических комплексов льняных волокон и релаксационные характеристики процесса вытягивания ровницы. В данной статье исследован механизм влияния изменения прочности льняной ровницы на параметры структурной неровноты пряжи.

Льняную ровницу следует рассматривать как однонаправленный волокнистый композит, состоящий из технических комплексов волокон, помещенных в пластичную матрицу из нецеллюлозных компонентов. Процесс утонения льняной ровницы в мокром прядении происходит, главным образом, в результате продольного перемещения комплексов волокон относительно друг друга по срединным пластинкам, где нецеллюлозные полимерные компоненты находятся в вязкотекучем состоянии. Сдвиг комплексов волокон сопровождается их поперечным разрывом. В нагруженном вдоль волокон композите нагрузка передается волокнам за счет касательных напряжений на поверхности раздела волокно–матрица. В момент сдвига комплекса волокон касательные силы со-

противления достигают значения, равного разрывной нагрузке комплекса, при этом минимальная длина, на которой волокна склеиваются друг с другом в момент отрыва $l_{скл}$, зависит от прочности матрицы, а толщина разрывающихся комплексов волокон зависит от прочности клеточных стенок волокон.

Предел прочности волокнистого композита при растяжении вдоль волокон равен сумме напряжений, приходящихся на матрицу и волокна, при условии, что прочность связи на границе раздела волокно – матрица достаточна для того, чтобы обеспечить совместную деформацию компонентов вплоть до разрушения:

$$(\sigma_B)_K = (\sigma_B)_B V_B + \sigma_M (1 - V_B), \quad (1)$$

где $(\sigma_B)_B$ – среднее значение предела прочности волокон при растяжении; σ_M – напряжение в матрице в момент разрыва волокон; V_B – объемная доля волокон в композите.

В процессе вытягивания льняной ровницы в мокром прядении льна объемная доля волокон изменяется незначительно, поэтому выражение (1) можно упростить:

$$(\sigma_B)_K = (\sigma_B)_B + \sigma_M. \quad (2)$$

На основании вышеизложенного следует полагать, что отношение диаметра ком-

плексов волокон при сдвиге к длине склеивания волокон друг с другом $d/\ell_{\text{скл}}$ зависит от прочности волокнистого композита, соотношения прочности матрицы к прочности волокон, а также от скорости сдвига комплексов, которая характеризуется релаксационной характеристикой t/τ (отношением времени действия силы к времени релаксации деформации). Как показано нами в [1], диаметр комплекса волокон пропорционален $\sqrt{T_{\text{эйи}}}$ (где $T_{\text{компл}}$ – линейная плотность комплекса). Экспериментально установлена линейная зависимость $\sqrt{T_{\text{эйи}}}$ от $\ell_{\text{скл}}$.

Согласно теории вязкого течения полимеров [2] напряжение в матрице, возникающее при сдвиге комплекса волокон под действием силы F , равно соотношению:

$$\sigma_i = \frac{Fd}{Av}, \quad (3)$$

где F – сила сдвига комплекса; A – площадь поверхности комплекса; d – толщина срединных пластинок между волокнами; v – скорость сдвига комплексов, $v = t/\tau$. Допуская $d = \text{const}$:

$$F = \sigma_i Av = \sigma_i \pi D_{\text{эйи}} \ell_{\text{нэе}} \frac{t}{\tau}. \quad (4)$$

В момент сдвига комплексов волокон сила сдвига F равна разрывной нагрузке сдвигаемых комплексов:

$$P_{\text{разр.эйи}} = \sigma_{\text{афэ}} S = \sigma_{\text{афэ}} \frac{\pi D_{\text{эйи}}^2}{4}, \quad (5)$$

$$F = P_{\text{разр.компл}}. \quad (6)$$

Подставляя выражения (4) и (5) в (6), получаем:

$$\sigma_i \pi D_{\text{эйи}} \ell_{\text{нэе}} \frac{t}{\tau} = \sigma_{\text{афэ}} \frac{\pi D_{\text{эйи}}^2}{4}. \quad (7)$$

Сокращая $\pi D_{\text{эйи}}$ в левой и правой частях уравнения (7) и заменяя $D_{\text{компл}}$ на $\sqrt{T_{\text{эйи}}}$, находим функциональную зависимость

$\frac{\sqrt{T_{\text{эйи}}}}{\ell_{\text{нэе}}}$ от прочностных характеристик волокнистого композита (льняной ровницы) σ_i и $\sigma_{\text{афэ}}$ и скорости сдвига t/τ :

$$\frac{\sqrt{T_{\text{эйи}}}}{\ell_{\text{нэе}}} = \hat{e} \frac{\sigma_i}{\sigma_{\text{афэ}}} \frac{t}{\tau}. \quad (8)$$

Процесс химической обработки суровой льняной ровницы перед прядением направлен на уменьшение прочности нецеллюлозной матрицы σ_m . Нами разработан и внедрен в производство режим сульфитной варки льняной ровницы, при котором эффективно удаляются нецеллюлозные компоненты матрицы – пектиновые вещества и лигнин, при этом клеточные стенки волокон практически не затрагиваются [3]. В процессе сульфитной варки льняной ровницы прочность ровницы снижается за счет уменьшения прочности матрицы σ_m , при этом $\sigma_{\text{вол}}$ остается постоянной. Ослабление матрицы приводит к значительному возрастанию (в 2,5 раза) параметра t/τ , характеризующего скорость сдвига. Уменьшение прочности ровницы за счет уменьшения прочности матрицы в процессе сульфитной варки приводит к суммарному эффекту увеличения отношения $\frac{\sqrt{T_{\text{эйи}}}}{\ell_{\text{нэе}}}$ в соответствии с зависимостью (8).

Это подтверждается экспериментальными данными. В работах [1...4] нами были исследованы изменения прочности ровницы, параметров структурной неровноты пряжи ($T_{\text{компл}}$, $\ell_{\text{эйи}}$, параметра неровноты \tilde{N}_V^2) и релаксационного параметра процесса вытягивания t/τ в зависимости от продолжительности сульфитной варки ровницы. Результаты данных исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели	Время варки, мин					
	0	10	30	60	90	120
Ровница:						
Линейная плотность, текс	666	633	600	580	560	550
Степень одревеснения S, %	34	30	25	20	15	10
Прочность Н	24,0	20,0	17,5	16,0	14,0	12,5
Удельная разрывная нагрузка (УРН), сН/текс	3,60	3,16	2,92	2,76	2,50	2,27
УРН матрицы $\sigma_{\text{матр}}$, сН/текс	1,775	1,335	1,095	0,935	0,675	0,445
УРН волокна $\sigma_{\text{вол}}$, сН/текс	1,825	1,825	1,825	1,825	1,825	1,825
Обрывность, обр/100 вер.ч	250	80	60	40	20	2
Пряжа:						
Линейная плотность, текс	54,6	51,9	49,2	47,2	46,0	45,1
$\bar{O}_{\text{компл}}$ в пряже, текс	4,0	3,5	3,2	3,0	2,8	2,6
$\bar{l}_{\text{компл}}$ в пряже, мм	40	30	26	22	20	17,5
$l_{\text{скл}}$, мм	28,2	21,7	19,2	16,4	15,1	13,3
$\frac{\sqrt{T_{\text{эф}}}}{l_{\text{пее}}}$	0,0709	0,0861	0,0935	0,1057	0,1117	0,1208
\tilde{N}_V^2 , параметр неровноты	1273	1117	1017	960	892	827
Время релаксации τ , с	10,67	7,79	6,58	5,48	4,89	4,25
Время действия силы t , с	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
t/τ	0,9198	1,259	1,491	1,793	2,006	2,313
Длина активной зоны вытягивания $L_{\text{акт.выт}}$, мм	152,5	111,2	93,2	78,1	69,8	60,5
Длина разводки цилиндров $L_{\text{разв}}$, мм	140	140	140	140	140	140

По экспериментальным данным, представленным в табл. 1 (первая серия экспериментов), были определены значения σ_i и $\sigma_{\text{аіё}}$ ($\sigma_{\text{аіё}} = 1,825$ сН/текс, а σ_i изменяется от 1,335 до 0,445 сН/текс, в зависимости от продолжительности варки). Рассчитано значение коэффициента $k = 1,367$ в уравнении (8). Построена зависимость отношения $\frac{\sqrt{T_{\text{эф}}}}{l_{\text{пее}}}$ от уменьшения

удельной разрывной нагрузки мокрой льняной ровницы после химической обработки при разной продолжительности сульфитной варки (рис.1).

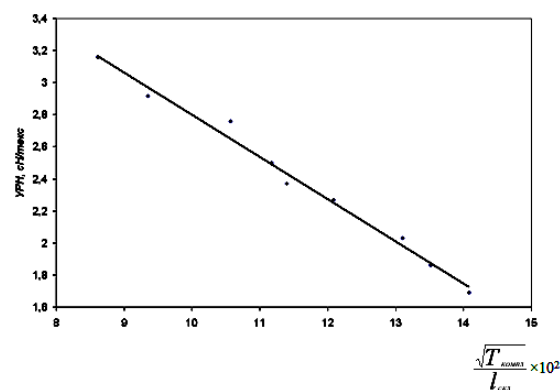


Рис. 1

Как следует из рис.1, эта зависимость носит линейный характер.

Прочность суровой льняной ровницы зависит от качества чесаных льняных волокон. Нарушения агротехники возделывания льна и технологии приготовления льнотресты, неблагоприятные погодные условия приводят к снижению прочности длинных трепаных и чесаных льняных волокон вследствие уменьшения прочности полимерного вещества клеточных стенок элементарных волокон льна. При этом в прочности полимерного волокнистого композита (льняной ровницы) уменьшает-

ся вклад доли прочности армирующих волокон $\sigma_{\text{аиё}}$.

С целью исследования влияния уменьшения прочности суровой льняной ровницы за счет снижения $\sigma_{\text{аиё}}$ в производственных условиях Яковлевского комбината (Ивановская обл.) методом пассивного эксперимента была подобрана вторая серия из четырех партий суровой льняной ровницы линейной прочности 730 текс с практически одинаковой степенью одревеснения срединных пластинок $S=33-35\%$, но с разной прочностью. При постоянном режиме сульфитной варки с продолжительностью 90 мин степень одревеснения была снижена до оптимального значения – 15%. Из этих

партий химически обработанной ровницы была выработана на прядильных машинах ПМ-88-Л5 чистольняная пряжа линейной плотностью 50 текс (вытяжка $E=11,82$; скорость питающих цилиндров вытяжного прибора $V_{\text{пит}}=14,9$ мм/с; скорость вытяжных цилиндров $V_{\text{выт}}=176$ мм/с). В лаборатории НВЦ "Блеск" с помощью комплекса КЛА-2 были определены параметры структурной неровности полученной пряжи и рассчитаны релаксационные характеристики процесса вытягивания ровницы в мокром прядении льна. Результаты исследования влияния прочности суровой льняной ровницы на эти параметры пряжи и химически обработанной ровницы приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Показатели	Образцы ровницы, №			
	1	2	3	4
Ровница суровая:				
Линейная плотность, текс	730	730	730	730
Прочность Н	23	21	20	19
Степень одревеснения S, %	35	35	35	35
Ровница вареная:				
Линейная плотность, текс	591	591	591	591
Прочность Н	14	12	11	10
Удельная разрывная нагрузка (УРН), сН/текс	2,37	2,03	1,86	1,69
УРН матрицы $\sigma_{\text{матр}}$, сН/текс	0,545	0,545	0,545	0,545
УРН волокна $\sigma_{\text{вол}}$, сН/текс	1,825	1,485	1,316	1,145
Степень одревеснения S, %	15	15	15	15
Обрывность, обр/100 вер.ч	20	40	60	80
Пряжа 50 текс:				
$\bar{O}_{\text{компл}}$ в пряже, текс	2,75	3,08	3,14	3,20
$\bar{l}_{\text{компл}}$ в пряже, мм	19,0	18,0	17,5	17,0
$l_{\text{скл}}$, мм	14,5	13,4	13,1	12,7
$\frac{\sqrt{T_{\text{еиіі}}}}{l_{\text{неё}}}$	0,1140	0,1310	0,1352	0,1408
\tilde{N}_V^2 , параметр неровности	820	1000	1100	1200
Время релаксации τ , с	4,38	4,15	4,03	3,93
Время действия силы t , с	9,39	9,39	9,39	9,39
t/τ	2,14	2,26	2,33	2,39
Длина активной зоны вытягивания $L_{\text{акт.выт}}$, мм	65,4	61,9	60,1	58,6
Длина разводки цилиндров $L_{\text{разв}}$, мм	140	140	140	140

По данным табл. 2 для второй серии экспериментов (где в волокнистом композите уменьшается $\sigma_{\text{аиё}}$ при постоянной σ_1) была также построена зависимость

отношения $\frac{\sqrt{T_{\text{еиіі}}}}{l_{\text{неё}}}$ от прочности льняной ровницы после ее химической обработки. Эта зависимость носит такой же, как и в первой серии экспериментов, линейный характер и подчиняется общей закономер-

ности – увеличению отношения $\frac{\sqrt{T_{\text{éííí}}}}{\ell_{\text{пéë}}}$ с уменьшением прочности ровницы после химической обработки.

На основании полученных результатов следует отметить, что уменьшение прочности отваренной льняной ровницы независимо от вызвавших ее причин приводит к увеличению скорости сдвига комплексов волокон при вытягивании ровницы (величины $\frac{t}{\tau}$) и уменьшению длины склеивания комплексов в момент сдвига $\ell_{\text{пéë}}$, однако изменение параметра толщины комплексов $\sqrt{T_{\text{éííí}}}$ носит разный характер. При уменьшении прочности матрицы σ_i толщина комплексов $\sqrt{T_{\text{éííí}}}$ уменьшается, а при уменьшении прочности клеточных стенок волокон $\sigma_{\text{áië}}$ – увеличивается.

Изменение параметров структуры комплексов в пряже толщины $T_{\text{комп}}$ и длины $\ell_{\text{комп}}$ в зависимости от прочности химически обработанной ровницы приведены на рис. 2.

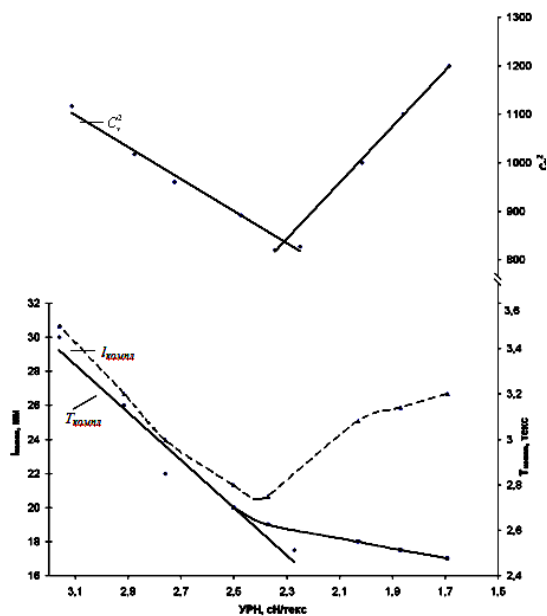


Рис. 2

Из данных рис. 2 следует, что зависимость $T_{\text{комп}}$ от удельной разрывной нагрузки вареной ровницы носит экстремальный

характер. Наименьшее значение линейной плотности комплексов в пряже $T_{\text{комп}}$ достигается при УРН ровницы 2,4 сН/текс; при этом длина комплексов $\ell_{\text{комп}}$ также имеет оптимальное значение 19...20 мм. Параметр структурной неровноты льняной пряжи \tilde{N}_V^2 зависит от числа комплексов волокон в поперечном сечении пряжи [5], поэтому зависимость \tilde{N}_V^2 от УРН ровницы также имеет экстремальный характер с минимумом $\tilde{N}_V^2 = 820-850$ при УРН ровницы 2,3...2,4 сН/текс.

ВЫВОДЫ

1. Проведено исследование механизма влияния изменения прочности льняной ровницы на параметры структурной неровноты пряжи. Рассматривая льняную ровницу как однонаправленный волокнистый композит, состоящий из технических комплексов волокон, помещенных в пластичную матрицу из нецеллюлозных компонентов, на основании полученных экспериментальных данных определены напряжение в матрице в момент разрыва волокон при сдвиге σ_i и предел прочности волокон при растяжении $\sigma_{\text{áië}}$ в процессе вытягивания ровницы.

2. Исходя из равенства сил сдвига F в матрице и разрывной нагрузки комплексов в момент сдвига теоретически обоснована функциональная зависимость параметра дробления технических комплексов волокон в процессе вытягивания ровницы $\frac{\sqrt{T_{\text{éííí}}}}{\ell_{\text{пéë}}}$ от прочностных характеристик волокнистого композита (льняной ровницы) σ_i и $\sigma_{\text{áië}}$ и скорости сдвига $\frac{t}{\tau}$.

3. Экспериментально показана зависимость отношения $\frac{\sqrt{T_{\text{éííí}}}}{\ell_{\text{пéë}}}$, толщины комплексов $T_{\text{комп}}$, длины комплексов $\ell_{\text{комп}}$ и параметра структурной неровноты пряжи \tilde{N}_V^2 от изменения удельной разрывной нагрузки мокрой ровницы после ее хими-

ческой обработки за счет изменения прочностных характеристик волокнистого композита (льняной ровницы) σ_1 и $\sigma_{ат\epsilon}$. Эта зависимость имеет экстремальный характер. Наименьшая структурная неровнота чистольняной пряжи достигается при значении УРН ровницы 2,3...2,5 сН/текс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пестовская Е.А., Иванов А.Н. //Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, №1. С. 44...48.

2. Кулезнев В.Н., Шеринев В.А. Химия и физика полимеров: Учебник для вузов.– М.: Высшая школа, 1988.

3. Пестовская Е.А., Иванов А.Н. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, №3С. С.55...58.

4. Пестовская Е.А., Иванов А.Н. //Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, №3. С. 23...27.

5. Пестовская Е.А., Иванов А.Н. Оптимальные параметры структурной неровноты чистольняной пряжи //Вестник КГТУ. – 2007, №15. С.8...13.

Рекомендована кафедрой механической технологии волокнистых материалов КГТУ. Поступила 24.06.09.