

ВЛИЯНИЕ ПРОЧНОСТИ ЛЬНЯНОЙ РОВНИЦЫ НА ОБРЫВНОСТЬ В МОКРОМ ПРЯДЕНИИ ЛЬНА

Е.А. ПЕСТОВСКАЯ

(Костромской государственной технологической университет,
Научно-внедренческий центр "Блеск" (г. Кострома))

Прочность льняной ровницы является одним из важнейших факторов, влияющих на обрывность в мокром прядении льна. Этот показатель качества льняной ровницы используется в технологическом контроле прядильного производства льнокомбинатов для регулирования технологических процессов прядения.

В предыдущей публикации [1] льняная ровница была рассмотрена как однонаправленный волокнистый композит, состоящий из технических комплексов волокон, помещенных в пластичную матрицу из нецеллюлозных компонентов. На основании полученных экспериментальных данных были определены напряжение в матрице в момент разрыва волокон при сдвиге σ_1 и предел прочности волокон при растяжении $\sigma_{\text{ат}\epsilon}$ в процессе вытягивания ровницы, которые в сумме определяют разрывное напряжение мокрой льняной ровницы при продольном растяжении.

На основе молекулярно-кинетических представлений о деформации льняной ровницы и экспериментального исследовании релаксации деформации и напряжения в процессе вытягивания в вытяжном приборе прядильной машины [1...4] в данной работе уточнены и более четко сформулированы наши представления о физической природе обрывности в мокром прядении льна, которые позволили исследовать механизм влияния прочностных характеристик льняной ровницы на этот процесс.

Причиной обрывов в вытяжном приборе являются напряжения, возникающие в вытягиваемом продукте при развитии деформации вязкого течения полимерного вещества срединных пластинок технических комплексов льняных волокон (матрицы). В работе [2] показано, что уровень

обрывности в процессе вытягивания мокрой льняной ровницы определяется скоростью релаксации напряжения, возникающего в начальный момент деформации σ_0 у вытяжной пары. Чем быстрее релаксирует система, тем меньше обрывность. Обрывность не возникает (равна 0) тогда, когда за время действия силы в вытяжном приборе возникающее напряжение релаксирует полностью.

Релаксация напряжения в растягиваемом продукте при деформации на заданную величину ($\epsilon_{\text{выт}}$) определяется уравнением Максвелла (1) [5]:

$$\sigma = \sigma_0 e^{-t/\tau}, \quad (1)$$

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - t/\tau, \quad (2)$$

$$\ln \sigma_0/\sigma = t/\tau. \quad (3)$$

Обрывность приближается к нулю при $t/\tau = 2,31$; при этом $\sigma/\sigma_0 = 0,10$. В этом случае 90% возникающего напряжения релаксирует за время действия растягивающей нагрузки, что соответствует полной релаксации напряжения, вызываемого деформацией вязкого течения полимерного вещества срединных пластинок (матрицы) в процессе вытягивания ровницы [2].

Скорость релаксации τ/t напряжений в твердых телах называют критерием Деборы (D). Нами экспериментально установлено, что у льняной ровницы в мокром виде этот параметр связан линейной зависимостью с прочностью матрицы σ_1 , которая зависит от содержания в ней лигнина (степени одревеснения срединных пластинок льняных волокон) [3]:

$$1/D = t/\tau = f \left(\frac{1}{\sigma_1} \right). \quad (4)$$

На обрывность в процессе вытягивания ровницы также оказывает влияние устойчивость комплексов волокон к разрыву при растяжении за время действия силы в вытяжном приборе. Процесс вытягивания ровницы проходит стабильно при долговечности комплексов, превышающей время действия силы в вытяжном приборе. Чем больше долговечность комплексов при вытягивании τ_R , тем меньше вероятность возникновения обрыва в вытяжном приборе прядильной машины.

Долговечность твердых полимерных материалов при растяжении описывается известным уравнением Журкова [6]. Применяя этот подход к льняной ровнице при вытягивании, выражаем зависимость долговечности технических комплексов волокон до разрыва при сдвиге τ_R от величины предела прочности волокон при растяжении $\sigma_{\text{áië}}$ и напряжений, возникающих в волокнах в процессе вытягивания $\sigma_{\text{áüð}$, уравнением:

$$\tau_R = \text{Be}^{\frac{\sigma_{\text{áië}} - \gamma \sigma_{\text{áüð}}}{E_0}}, \quad (5)$$

где γ – коэффициент концентрации напряжений в волокнах в очагах разрушения; $\sigma_{\text{áüð}$ – напряжение, возникающее в волокнах ровницы в начальный момент действия растягивающей силы у выпускной пары цилиндров вытяжного прибора; $\sigma_{\text{áüð}$ зависит от величины деформации ровницы (вытяжки).

Используя уравнения (4) и (5), получаем выражение функциональной зависимости обрывности от релаксационных свойств льняной ровницы, которые, в свою очередь, зависят от прочности матрицы и прочности волокон технических комплексов:

$$n_{\text{íáð}} = f\left(\frac{\tau}{t\tau_R}\right) = f\left(\frac{\sigma_1}{e^{\frac{\sigma_{\text{áië}} - \gamma \sigma_{\text{áüð}}}{KT}}}\right), \quad (6)$$

где $n_{\text{обр}}$ – число обрывов на 100 веретен в час.

Уравнение (6) показывает, что при уменьшении прочности льняной ровницы за счет снижения прочности матрицы и прочности волокон изменение обрывности должно носить экстремальный характер, достигая минимума при определенном соотношении релаксационных свойств матрицы и волокна в ровнице.

Для исследования влияния прочности льняной ровницы на обрывность в мокром прядении льна были использованы экспериментальные данные, представленные в предыдущей публикации [1], об изменении прочности ровницы, напряжения в матрице в момент разрыва волокон при сдвиге σ_1 и предела прочности волокон при растяжении $\sigma_{\text{áië}}$ в процессе вытягивания ровницы, параметров структурной неровноты пряжи ($T_{\text{комп}}$, $\ell_{\text{éííí}}$, параметра неровноты \tilde{N}_V^2) и релаксационного параметра процесса вытягивания t/τ в зависимости от продолжительности сульфитной варки ровницы (первая серия экспериментов). В процессе сульфитной варки ровницы уменьшается прочность матрицы σ_1 в результате удаления лигнина из срединных пластинок комплексов волокон, при этом клеточные стенки льняных волокон практически не затрагиваются, поэтому предел прочности волокон при растяжении $\sigma_{\text{áië}}$ не изменяется.

Во второй серии экспериментов в [1] были исследованы в прядении четыре партии льняной ровницы с практически одинаковой степенью одревеснения срединных пластинок волокон $S=33-35\%$, но с разной прочностью. При постоянном режиме сульфитной варки с продолжительностью 90 мин степень одревеснения была снижена до оптимального значения – 15%. В результате этого партии отваренной ровницы характеризуются практически одинаковой прочностью матрицы σ_1 и отличаются по величине $\sigma_{\text{áië}}$. При одинаковой величине деформации вытягивания ровницы (вытяжке) напряжение $\sigma_{\text{áüð}$, возникающее в волокнах в начальный момент

действия силы, имеет постоянное значение.

Используя полученные в работе [1] данные двух серий эксперимента, была построена зависимость обрывности в мокром прядении льна от удельной разрывной нагрузки мокрой льняной ровницы после ее химической обработки, представленная на рис. 1 (зависимость обрывности в мокром прядении льна от удельной разрывной нагрузки мокрой льняной ровницы после ее химической обработки: 1 – изменение степени одревеснения (S , %) ровницы от 30 до 10 % в процессе варки, $P_{\text{сур. ров}} = \text{const}$; 2 – изменение прочности ровницы при $S = \text{const} = 15\%$).

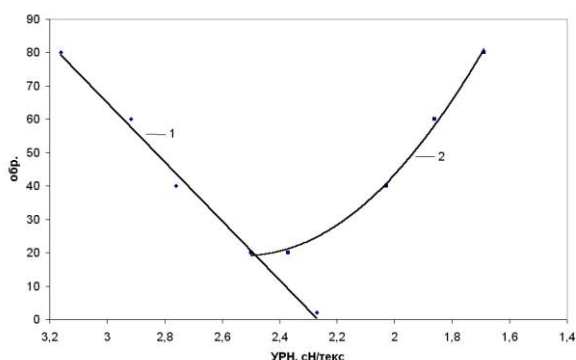


Рис. 1

Как следует из рис.1, зависимость обрывности от УРН мокрой отваренной ровницы имеет сложный экстремальный характер с минимумом при $УРН=2,3-2,5$ сН/текс. В левой части графика от экстремума эта зависимость имеет линейный характер и соответствует первой серии экспериментов, где проявляется влияние уменьшения прочности матрицы σ_1 в процессе сульфитной варки ровницы при постоянной $\sigma_{\text{аиэ}}=1,825$ сН/текс. На этом участке обрывность снижается при уменьшении прочности ровницы.

В правой части графика от экстремума зависимость обрывности от УРН мокрой отваренной ровницы носит экспоненциальный характер и соответствует второй серии экспериментов, где проявляется влияние уменьшения прочности волокон при растяжении $\sigma_{\text{аиэ}}$ при постоянной

прочности матрицы $\sigma_1=0,545$ сН/текс. Логарифмическая анаморфоза этого участка кривой в координатах $\lg n_{\text{обр}} - УРН$ ровницы имеет линейный характер.

Таким образом, проведенное экспериментальное исследование зависимости обрывности в мокром прядении льна от УРН ровницы подтверждает достоверность теоретически обоснованного уравнения (6), выражающего функциональную зависимость обрывности от прочностных и релаксационных свойств льняной ровницы в процессе вытягивания.

Для получения чистольняных пряж средней линейной плотности 56...33 текс были найдены условия, при которых минимум обрывности в прядении (20 обрывов на 100 веретен в час) соответствует минимальной структурной неровноте получаемой льняной пряжи (параметр неровноты $\tilde{N}_v^2=850$):

- удельная разрывная нагрузка мокрой льняной ровницы после химической обработки $УРН=2,30-2,50$ сН/текс;
- УРН нецеллюлозной матрицы ровницы $\sigma_1=0,60$ сН/текс;
- УРН целлюлозных волокон ровницы $\sigma_{\text{аиэ}}=1,80$ сН/текс.

В производственных условиях, как правило, очень трудно одновременно соблюдать эти условия при подготовке льняной ровницы к прядению. Об этом говорит большой опыт работы научно-внедренческого центра "Блеск" (г. Кострома), который в течение многих лет (с 1992 по 2006 годы) проводил наладку и постоянный технологический контроль прядильного производства на всех крупных льнокомбинатах страны. Только на основе применения спектральных методов анализа с помощью автоматизированного комплекса КЛА-2 и компаратора цвета КЦ-3 можно точно определять параметры структурной неровноты ровницы и пряжи и степень одревеснения льняных волокон и правильно подбирать смеси волокон и режимы химической обработки льняной ровницы перед прядением. Используя параметры структурной неровноты и прочностные характеристики ровницы и пряжи,

по разработанной нами методике рассчитываются релаксационные характеристики процесса вытягивания льняной ровницы в прядении и определяются оптимальные режимы работы вытяжного прибора прядильной машины, обеспечивающие низкий уровень обрывности в прядении и низкую структурную неровноту вырабатываемой чистольняной пряжи. Разработанная нами система технологического контроля прядильного льняного производства на основе спектральных методов анализа представлена ранее в [7].

ВЫВОДЫ

1. На основе молекулярно-кинетических представлений о деформации льняной ровницы и экспериментальных исследований релаксации деформации и напряжения в процессе вытягивания в вытяжном приборе прядильной машины сформулированы представления о физической природе обрывности в мокром прядении льна, и обоснована функциональная зависимость обрывности от скорости релаксации напряжений и долговечности комплексов волокон в процессе вытягивания ровницы.

2. Исследован механизм влияния изменения прочности льняной ровницы на обрывность в мокром прядении льна. Рассматривая льняную ровницу как однонаправленный волокнистый композит, состоящий из технических комплексов волокон, помещенных в пластичную матрицу из нецеллюлозных компонентов, на основе проведенных экспериментов показан сложный экстремальный характер зависимости обрывности в мокром прядении льна от изменения напряжения в матрице в момент разрыва волокон при сдвиге σ_1 и предела прочности волокон при растяжении $\sigma_{\text{атэ}}$ в процессе вытягивания ровницы, который подтверждает теоретически обос-

нованную функциональную зависимость обрывности от релаксационных свойств ровницы.

3. Определены оптимальные значения удельной разрывной нагрузки мокрой льняной ровницы σ_1 и $\sigma_{\text{атэ}}$, при которых достигается низкий уровень обрывности в прядении и низкая структурная неровнота льняной пряжи средней линейной плотности 56...33 текс, которая в настоящее время в основном производится на льнокомбинатах страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пестовская Е.А. Влияние прочности льняной ровницы на структурную неровноту чистольняной пряжи // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, №5. С. 35...40.

2. Пестовская Е.А., Иванов А.Н. Влияние релаксационных свойств льняных волокон на обрывность в мокром прядении льна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, №2С. С. 28...30.

3. Пестовская Е.А., Иванов А.Н. Релаксационный характер процесса вытягивания льняной ровницы в мокром прядении льна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, №3. С. 23...28.

4. Пестовская Е.А. Влияние скоростных режимов работы однозонного вытяжного прибора прядильной машины ПМ-88-Л15 на релаксационные свойства и характер дробления льняных волокон в процессе мокрого прядения льна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, №4. С. 39...44.

5. Аскадский А.А. Деформации полимеров. – М.: Химия, 1973.

6. Регель В.В., Слуцкер А.И., Томашевский Э.И. Кинетическая природа прочности твердых тел. – М.: Наука, 1974.

7. Пестовская Е.А., Иванов А.Н. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, №2. С. 43...46.

Рекомендована кафедрой механической технологии волокнистых материалов КГТУ. Поступила 25.05.09.