

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУЧКА ТЕКСТИЛЬНЫХ НИТЕЙ

**А.А. Кузнецов, И.М. Тхорева**

Для практически всех видов текстильных нитей характерно наличие гетерогенности (продольной или поперечной) показателей механических свойств на различных уровнях, которые возникают в процессах их получения и переработки [1-3].

Наличие поперечной гетерогенности показателей механических свойств химических нитей обусловлено неоднородностью физических полей в зоне формования и последующих обработок нитей (температурных, концентрационных, аэрогидродинамических, реологических) [2]. Отмечается увеличение степени поперечной гетерогенности при увеличении количества элементарных нитей в комплексной [2]. Это связано с тем, что в пучке текстильной нити возможно проявление разнородности ее компонентов [3]. Однако существующие методы исследования влияния поперечной неравномерности свойств на особенности процессов деформирования и разрушения пучка нитей весьма трудоёмки, и как отмечается в исследованиях, представленных в работах [1-3], довольно часто не дают количественную информацию о степени влияния каждой из них на механические свойства. Вместе с тем методы, позволяющие осуществлять прогноз степени гетерогенности, практически отсутствуют. Следовательно, проведение исследований, направленных на изучение степени влияния поперечной гетерогенности показателей механических свойств текстильных нитей на особенности механизма их деформирования и разрушения, с разработкой соответствующих экспресс методов прогнозирования, является актуальной научно-технической задачей.

В данных исследованиях, основанных на использовании метода статистической имитации полуциклового испытания на растяжение [4,5], производится анализ самого общего случая испытания на растяжение слабосвязанного пучка текстильных нитей. Это характерно для процесса деформирования и разрушения комплексных химических нитей при зажимном расстоянии меньше критического.

В данном случае для каждой  $i$ -той нити в пучке из  $m$  элементов случайными величинами являются не только характеристики диаграммы растяжения, но и степень их разнородности. В качестве структурного элемента деформирования нити пучка в координатах «нагрузка - абсолютное удлинение» предлагается использовать математическую модель следующего вида [3]:

$$P_j = \frac{I_j}{C_{0i} + C_{ii}I_j} + C_{2i}I_j^2; \quad (1)$$

$$C_{0i} = \frac{I_{pi} \cdot \gamma}{\sigma_{yi} \cdot T_i \cdot 10^3}; \quad C_{ii} = \left( \frac{1}{\sigma_{ni}} - \frac{1}{\sigma_{yi}} \right) \cdot \frac{\gamma}{T_i \cdot 10^3}; \quad C_{2i} = \frac{(\sigma_{pi} - \sigma_{ni}) \cdot T_i \cdot 10^3}{I_{pi}^2 \cdot \gamma}$$

где  $P_j$  - текущее значение растягивающей силы, Н;  $I_j$  - текущее значение абсолютного удлинения нити, м;  $I_{pi}$  - абсолютное разрывное удлинение  $i$ -той нити пучка, м;  $\gamma$  - плотность материала нити, кг/м<sup>3</sup>;  $T_i$  - линейная плотность  $i$ -той нити пучка, текс;  $\sigma_{ni}$  - условный предел пластичности  $i$ -той нити пучка, Па;  $\sigma_{yi}$  - условный предел упругости  $i$ -той нити пучка, Па;  $\sigma_{pi}$  - разрывное напряжение  $i$ -той нити пучка, Па;

Переменными случайными величинами для каждого  $i$ -ой нити пучка будут являться значения  $I_{pi}$ ,  $T_i$ ,  $\sigma_{ni}$ ,  $\sigma_{yi}$ ,  $\sigma_{pi}$  и  $\Delta L_i$ . На начальном этапе имитационного

моделирования генератор случайных чисел, в соответствии с задаваемым законом распределения (нормальный либо Вейбулла), генерирует  $m$  (по числу нитей в пучке) случайных значений  $l_{pi}$ ,  $T_i$ ,  $(\sigma_p - \sigma_n)$ ,  $\sigma_{yi}$  и  $L_i$ . Затем определяются параметры математической модели (1)  $C_{0i}$ ,  $C_{1i}$ ,  $C_{2i}$  и  $P_{pi}$ . Из всех нитей выбирается нить, обладающая минимальной длиной  $L_{min}$ , тогда каждой из остальных нитей будет соответствовать излишек длины  $\Delta L_i$ , который определяется как  $\Delta L_i = L_i - L_{min}$ . Полученные значения параметров запоминаются.

Имитационное моделирование эксперимента состоит в том, что нижнему зажиму разрывной машины последовательно сообщается постоянное на каждом шаге перемещение, что вызывает удлинение  $\Delta l$ . Тогда удлинение на  $j$ -том шаге моделирования  $l_j$  будет, соответственно, определяться как  $l_j = j \cdot \Delta l$ . На каждом  $j$ -том шаге для каждой  $i$ -той нити вычисляются абсолютное удлинение  $l_{ij}$  и приложенная к данной нити, нагрузка  $P_{ij}$ :

$$l_{ij} = l_j - \Delta L_i = j \cdot \Delta l - \Delta L_i; P_{ij} = \frac{l_{ij}}{C_{0i} + C_{1i} \cdot l_{ij}} + C_{2i} \cdot l_{ij}^2 \quad (2)$$

При выполнении одного из условий:  $l_{ij} \leq 0$  (когда  $\Delta L_i \leq j \cdot \Delta l$ ) либо  $l_{ij} \geq l_{pi}$  или  $P_{ij} > P_{pi}$ , соответствующая  $i$ -я нить считается разорванной и далее текущее значение нагрузки, приложенной к  $i$ -той нити,  $P_{ij}$  принимается равной нулю. Результаты имитационного моделирования представляются в виде диаграмм растяжения пучка нитей в координатах «нагрузка - абсолютное удлинение».

При определении объекта исследования было введено понятие «синтезированной» нить. Под понятием «синтезированной» в дальнейшем будет пониматься нить, при полцикловом испытании на растяжение для которой характерно проявление наиболее общих свойств, определяемых параметрами математической модели (1).

Некоторые результаты проведённого моделирования представлены на рисунке 1.

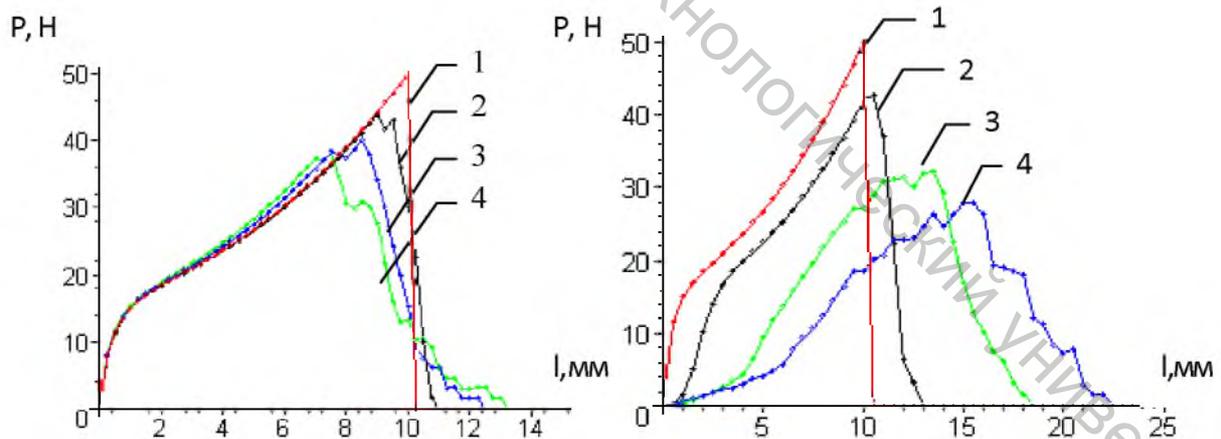


Рисунок 1 - Диаграммы растяжения «нагрузка - абсолютное удлинение» нитей пучка, полученные при: а) различных значениях коэффициента вариации абсолютного разрывного удлинения нитей пучка 1 -  $C_{1p}=0\%$ ; 2 -  $C_{1p}=5\%$ ; 3 -  $C_{1p}=10\%$ ; 4 -  $C_{1p}=15\%$ ; б) различных значениях степени разноразности нитей пучка 1 -  $C_L=0\%$ ; 2 -  $C_L=5\%$ ; 3 -  $C_L=10\%$ ; 4 -  $C_L=15\%$ .

Анализ зависимостей, представленных на рисунке 1, позволяет отметить, что наибольшее влияние на форму диаграммы растяжения, приведенной к одной нити, оказывают поперечные вариации разрывного удлинения  $C_{1p}$  и степени разноразности  $C_L$  нитей пучка. С увеличением коэффициента вариации этих показателей между нитями пучка изменяется не только форма диаграммы

растяжения, но и значение, и положение ее максимума, а также полное удлинение при разрыве. Следовательно, в качестве причины возникновения правой части диаграммы растяжения можно считать существование поперечной гетерогенности механических свойств, что подтверждается результатами экспериментальных исследований [1-3].

На основе комплексного анализа полученных результатов [4,5] для количественной оценки влияния поперечной гетерогенности структуры и показателей механических свойств на разрывную нагрузку нитей пучка предлагается использовать следующую обобщенную модель:

$$\bar{P}_p(C_j) = \bar{P}_{p0} \cdot \exp[-K_{pp} \cdot C_j], \quad (3)$$

где  $\bar{P}_p(C_j)$  - среднее значение разрывной нагрузки пучка нити, Н;  $\bar{P}_p(C_j \rightarrow 0) = \bar{P}_{p0}$  - среднее значение разрывной нагрузки пучка нити при отсутствии поперечной гетерогенности механических свойств, Н;  $K_{pp}$  - параметр модели, характеризующий темп изменения исследуемого показателя прочности при увеличении коэффициента вариации по исследуемому свойству, 1/%.

Использование модели (3) позволит не только достоверно описать влияние различных вариаций на разрывную нагрузку и сопоставить результаты данного влияния, но и классифицировать различные поперечные вариации свойств по степени оказываемого влияния на прочностные характеристики пучка нитей на количественном уровне.

В результате проведенного комплекса аналитических исследований установлено, что увеличение показателя поперечной вариации степени разнородности  $C_L$  и абсолютного разрывного удлинения  $C_{1p}$  нитей пучка приводит к закономерному снижению разрывной нагрузки  $P_p$ , приходящейся на одну нить. Случайное совместное влияние данных вариаций не вызывает изменения характера зависимости среднего значения разрывной нагрузки  $P_p$  от параметров вариации. Ассиметрия закона распределения исходных параметров модели (1) практически не оказывает влияния на закономерность уменьшения среднего значения разрывной нагрузки  $P_p$  пучка нити. Смещение моды закона распределения в сторону больших значений (закон распределения Вейбулла) не приводит к существенному изменению темпового параметра  $K_{pp}$  модели (3).

Довольно часто на практике для оценки использования прочности филаментов в комплексной нити используется понятие коэффициента реализации прочности  $K_p$ . Анализ результатов имитационного моделирования процесса деформирования и разрушения пучка нитей указывает на то, что численное значение коэффициента реализации прочности определяется гетерогенностью показателей свойств составляющих пучок компонентов и не зависит от их прочностных характеристик:

$$K_p = \frac{\bar{P}_p(C_j)}{\bar{P}_{p0}} = \exp[-K_{pp} \cdot C_j] \quad (4)$$

На рисунке 2 представлены зависимости коэффициента реализации средней прочности  $K_p$  слабосвязанного пучка нитей от коэффициентов поперечных вариаций  $C_j$  наиболее значимых свойств. При этом наблюдается, что степень разнородности пучка нитей оказывает наибольшее влияние на значение коэффициента реализации прочности (при значении темпового показателя  $K_{pp} = 3,2 \cdot 10^{-2}$ , 1/%) относительно вариации по абсолютному разрывному удлинению  $C_{1p}$  нитей пучка (при значении темпового показателя  $K_{pp} = 1,8 \cdot 10^{-2}$ , 1/%).

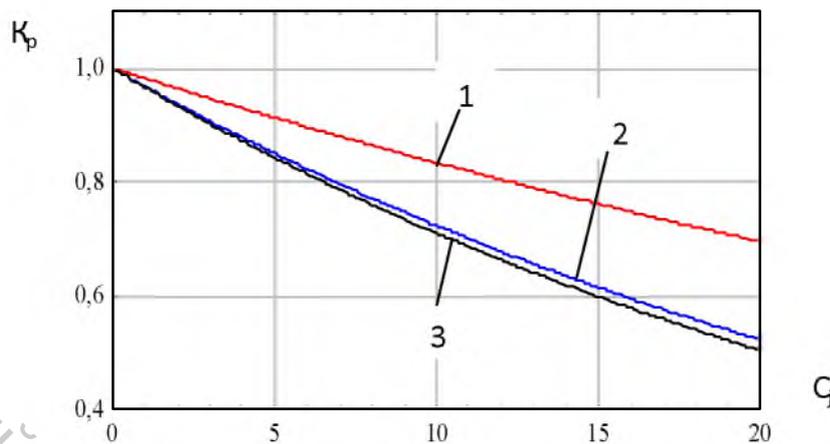


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента реализации средней прочности  $K_p$  слабосвязанного пучка нитей от коэффициентов вариаций: 1 – абсолютного разрывного удлинения  $C_p$ , 2 – степени разнородности  $C_L$ , 3 - абсолютного разрывного удлинения  $C_p$  и степени разнородности  $C_L$

Следовательно, осуществив прогноз степени разнородности нитей пучка  $C_L$  появляется реальная возможность прогноза численного значения коэффициента реализации прочности  $K_p$ , что является важным при комплексной оценке качества нити.

В результате комплекса аналитических исследований:

- разработан алгоритм статистической имитационной модели процесса деформирования и разрушения текстильной нити, обладающей поперечной гетерогенностью показателей механических свойств, при полуцикловом испытании на растяжение;
- произведена классификация показателей механических свойств по степени влияния их поперечных вариаций на разрывную нагрузку пучка текстильных нитей с разработкой соответствующей модели прогноза;
- установлена взаимосвязь коэффициента реализации прочности и различных поперечных вариаций механических свойств.

#### Список использованных источников

1. Перепёлкин, К. Е. Комплексная оценка качества и работоспособности нитей в процессах получения и переработки / К. Е. Перепёлкин // Химические волокна. – 1991. – №2. – С.45-56.
2. Перепёлкин, К. Е. Полимерные волокнистые композиты, их основные виды, принципы получения и свойства. Часть 1. Основные компоненты волокнистых композитов, их взаимодействие и взаимовлияние / К. Е. Перепёлкин // Химические волокна. – 2005. – № 4. – С.7-22.
3. Перепёлкин, К. Е. Дефектность и гетерогенность микроструктуры химических нитей и их влияние на свойства / К. Е. Перепёлкин [и др.]. – Москва, 1989. – 48 с.
4. Кузнецов, А. А. Исследование влияния продольной гетерогенности показателей механических свойств и структуры на прочностные характеристики текстильных нитей / А. А. Кузнецов // Вестник УО «ВГТУ». Вып. 12. – Витебск: УО ВГТУ, 2007. – С. 69-73.
5. Кузнецов, А. А. Прогнозирование степени поперечной гетерогенности разнородности нитей (волокон) пучка / А. А. Кузнецов // Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006. – № 6. – С.17-21.

## SUMMARY

The analyses of the most common case of an experiment on stretching of loosely coupled fibers of a textile yarn are given in this research. The research is based on the method of statistical simulation of semi-cycle yarn stretching experiment. The «synthesized» yarn is used as an object of the research. It is characteristic of the yarn to show the most common properties under semi-cycle stretching experiment. It is characteristic of the deformation process and of breaking of the core-spun chemical yarns under the less than critical tightening distance.

УДК 677.024.072

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ УПРУГОПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Е.Л. Кулаженко*

Основополагающей в теории механического резания продолжает оставаться задача наиболее полного описания процессов взаимодействия режущих кромок (лезвий) с обрабатываемыми материалами в аналитической форме, в которую непосредственным образом входили бы показатели физико-механических свойств этих материалов и основные технологические параметры управления процессом.

Аналитическое описание процесса резания текстильных материалов в виде отходов химических нитей возможно лишь при выявлении взаимосвязи между следующими группами факторов, влияющих на ход процесса и определяющих его результаты: технологическими требованиями к процессу; деформационно-прочностными свойствами материала; типом и характеристиками режущего инструмента (оснастки) и оборудования; характером и параметрами деформационно-разрушающего воздействия; особенностями силового взаимодействия лезвия с объектом обработки.

Важной задачей является исследование силовых факторов процесса резания, определение влияния основных технологических и конструктивных параметров оборудования на качество обработанной режущим инструментом поверхности (или поверхности реза) и стабильность выполнения технологических операций механического резания.

Разделению материала на части под воздействием лезвийного инструмента предшествует процесс предварительного сжатия до возникновения на кромке ножа разрушающего контактного напряжения  $G_p$  [1].

Момент возникновения  $G_p$  контактного напряжения определяется значением усилия  $P$ , прикладываемого к ножу. При резании упругопластических материалов усилие  $P$ , при котором завершается процесс сжатия и начинается резание, является максимальным или критическим.

Рассмотрим взаимодействие ножа с односторонней заточкой с разрезаемой нитью (рисунок 1). При углублении ножа в нить диаметром  $d_n$  на некоторую величину  $h_{сж}$  на режущей кромке ножа возникает разрушающее контактное напряжение и начинается процесс разрушения нити. На нож действуют следующие силы:  $P_{рез}$  – сила сопротивления разрушению материала под кромкой лезвия;  $P_{обж}$  – сила обжатия материалом, имеющая горизонтальное направление и действующая на боковую грань лезвия.

На наклонную грань ножа действует сила нормального давления  $N$  и силы трения  $T_1$  и  $T_2$ .