ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ КОМПЛЕКСНЫХ НИТЕЙ РАЗЛИЧНОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ

А.А. Кузнецов

УДК 677.021.12

РЕФЕРАТ

ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫЕ НИТИ, ПОКАЗАТЕЛИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НИТИ, КОЭФФИЦИЕНТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЧНОСТИ НИТИ, МЕТОД СТАТИЧЕСКОЙ ИМИТАЦИИ ПОЛУЦИКЛОВОГО ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Объектом исследования являются полипропиленовые нити различного способа получения.

Целью исследования являлось выявление особенностей деформирования и разрушения полипропиленовых нитей различного способа получения: BCF, Heat-set, Frise.

Установлено, что способ получения полипропиленовых нитей оказывает влияние на их разрывные характеристики. Наибольшую нагрузку до момента разрыва выдерживает нить Frize.

Сравнительный анализ значений коэффициента реализации прочности, полученных по двум совершенно различным методологическим подходам, наглядно свидетельствует о правомочности использования метода статистического имитационного моделирования испытания при изучении механических свойств текстильных нитей. Установлено, что наибольшим коэффициентом реализации прочности нити обладают полипропиленовые нити Heat-set и Frize.

ABSTRACT

POLYPROPYLENE THREADS, STRENGTH CHARACTERISTICS, COEFFICIENTS OF REALIZATION OF STRENGTH OF THE THREAD, METHOD OF STATIC IMITATION OF SEMICYCLIC TEST FOR THE STRETCHING

Results of research of mechanical properties polypropylene threads of a various way of reception are presented. Dependence strength characteristics polypropylene threads from a way of their manufacture is installed. The new methodological approach for definition of coefficients of realization of strength of polypropylene threads of a various way of reception is offered. The Comparative analysis of values of coefficients of realization of strength received on two absolutely various methodological approaches is carried out.

За последние годы в мировом балансе текстильного сырья наблюдается значительное увеличение темпов производства и потребления полипропиленовых (ПП) волокон и нитей, которые широко используются в сфере производства наиболее массового вида продукции – напольных ковровых покрытий. В настоящее время мировая тенденция такова, что суммарная доля ПП волокон и нитей в ворсовых коврах примерно в 5 раз выше, чем шерсти. За последние несколько лет существенно увеличился удельный вес ковров из ПП нитей и у белорусских производителей. По способу получения полипропиленовые нити подразделяются на BCF, Heat-set, Frize. BCF – нить, которая состоит из волокон, полученных из экструдера. Ей придают дополнительный объем и специально вытягивают при последующей перемотке на бобину. Heat-Set – самый распространённый вид нити для изготовления синтетических ковров нового поколения. Для получения нити Heat-Set нить BCF подвергают термической обработке, вытягивают и скручивают вокруг своей оси (чем больше крутка, тем лучше качество). Нить Heat-Set обладает лучшими антистатическими свойствами и более долгосрочна в эксплуатации, чем нить BCF. Frize – данный вид ППН получают из нитей Heat-Set, которые скручивают в два сло-

жения в направлении S и Z, обрабатывают при очень высокой температуре и влажности. Две скрученные нити и механическо-термическая обработка делают структуру пряжи еще более похожей на структуру шерсти, пряжа приобретает оригинальный эффект «извитости». Применяемые отечественными предприятиями ПП нити для ворсовой основы являются импортным сырьем, и указанные в контрактах показатели характеризуют в основном структуру нити и её прочностные свойства.

Целью исследования являлось выявление особенностей деформирования и разрушения полипропиленовых нитей различного способа получения.

Вследствие того, что полипропиленовых нити различных производителей относят к комплексным нитям, их прочностные характеристики, а также особенности их деформирования и разрушения определяются прочностными свойствами элементарных нитей, их количеством и неравномерностью их разрушения. Последнее обусловливается структурой и формой элементарной нити. Установлено, что видом поперечного сечения исследуемых полипропиленовых элементарных волокон является «трилобал» – трехлучевое сечение (рисунок 1).

Строение (структура) полипропиленовых нитей в значительной мере определяет их свойства и возможности использования. Обычно структура определяется размерами, формой элементов, из которых состоят полипропиленовые текстильные нити, взаимным расположением элементов и их свойствами. Характеристики структуры включают характеристики элементов, их взаимного расположения и связей. Из характеристик элемента наиболее важными являются показатели размеров, формы, его состояния и свойств. Применительно к комплексным нитям такими показателями являются количество элементарных нитей, толщина (тонина) элементарных нитей (филаментов), неравномерность по этим показателям, вид поперечного сечения элементарного волокна, показатели механических и других свойств. Число филаментов и линейная плотность исследуемых комплексных нитей было определено путем их непосредственного подсчета, результаты которого представлены в таблице 1.

У химических нитей отмечается наличие поперечной гетерогенности показателей структуры и механических свойств [1, 2, 3]. Наличие указанной гетерогенности обусловлено неоднородностью физических полей в зоне формования и последующих обработок нитей (температурных, концентрационных, аэрогидродинамических, реологических) [4]. Можно отметить, что увеличение количества элементарных нитей в комплексной приводит увеличению степени поперечной гетерогенности структуры и показателей механических свойств [4]. Это связано с тем, что в пучке нитей возможно проявление их разнодлинности [2]. Однако существующие методы исследования влияния поперечной неравномерности свойств на особенности процессов деформирования и разрушения пучка нитей

а *б* *в*

Рисунок 1 – Общий вид поперечных сечений исследуемых элементарных полипропиленовых нитей: а – BCF(Турция), б – Heat-Set (Турция), в – Frize (Франция)

Таблица 1 – Характеристики структуры полипропиленовых нитей

Вид нити	Наименование производителя	Число элементарных нитей	Линейная плотность, текс	
			Номинальная	Фактическая
BCF	Filartion, Франция	135	260	259
Heat-set	Tattextil, Турция	144	210	204
Frize	Arasta, Турция	135	260	277

весьма трудоёмки, и как отмечается в исследованиях, представленных в работах [4, 5], довольно часто не дают количественную информацию о степени влияния каждой из них на показатели механических свойств. Вместе с тем методы, позволяющие осуществлять прогноз степени гетерогенности в зависимости от формы и параметров диаграммы растяжения, практически отсутствуют.

Следовательно, проведение комплекса исследований, направленных на изучение степени влияния поперечной гетерогенности показателей механических свойств текстильных нитей на особенности механизма их деформирования и разрушения, является актуальной научно-технической задачей.

В работах [1, 4, 5] профессор К.Е. Перепёлкин отмечает несомненную практическую значимость такого показателя, как коэффициент реализации прочности для комплексных химических нитей, численное значение которого определяется следующим соотношением:

$$K_p = \frac{P_н}{nP_1}, \quad (1)$$

где $P_н$ – значение разрывной нагрузки комплексной нити, Н; P_1 – значение разрывной нагрузки элементарной нити, Н; n – число элементарных нитей в комплексной.

Однако, вследствие трудоемкости оценки данного показателя в работах [4, 5] предлагается производить его оценку на основе анализа диаграммы растяжения (не только левой, но и правой, нисходящей её части) с использованием следующего соотношения:

$$K_p = \xi\sqrt{\frac{W_{max}}{W_{полн}}}, \quad (2)$$

где W_{max} – работа деформации до точки максимума, Дж; $W_{полн}$ – работа деформации до точки полного разрыва, Дж; ξ – показатель, связанный с коэффициентом вариации прочности филаментов в комплексной нити, ξ = 1,02 [4].

В исследованиях, представленных в работах [6–8], автором на основании использования метода статической имитации полуциклового испытания на растяжение проводится анализ самого общего случая испытания на растяжение пучка слабосвязанных нитей, что характерно для процесса деформирования и разрушения полиэфирных комплексных нитей с пологой круткой либо при зажимном расстоянии меньше критического. Установлен закономерный характер уменьшения разрывной нагрузки комплексной нити при увеличении степени разнодлинности элементарных нитей пучка, а оценку коэффициента реализации прочности комплексных нитей предлагается производить на основании использования следующего соотношения:

$$K_p = \frac{P_p(C_L)}{P_{p0}} = exp[-\alpha C_L], \quad (3)$$

где $P_P(C_L)$ – значение разрывной нагрузки комплексной нити P_P как функции степени разнодлинности филаментов (коэффициента вариации) C_L, Н; P_{P0} – значение разрывной нагрузки нити при отсутствии поперечной разнодлинности филаментов, Н; α – параметр модели, характеризующий темп снижения разрывной нагрузки нити при увеличении степени разнодлинности филаментов, α = 3,3 10^{-2} 1 / %.

Для практического использования соотношения (3) возникает необходимость в оценке степени поперечной разнодлинности филаментов нити C_L. В исследованиях, представленных в работах [6, 7], методами статистического имитационного моделирования процессов дефор-

мирования и разрушения пучка текстильных нитей показана возможность оценки данного показателя на основе комплексного анализа диаграммы растяжения (не только восходящей, что является общепринятым подходом, но и нисходящей части диаграммы):

$$C_L = \frac{1}{K_L}\left[arctg\left(\frac{l_1}{P_1}\right) - arctg\left(\frac{\varepsilon_p}{\sigma_y}\right)\right], \quad (4)$$

где P_1 – текущее значение нагрузки, при котором в деформировании участвуют все нити пучка, Н; l_1 – абсолютное удлинение нитей пучка, при котором в деформировании участвуют все нити (волокна) пучка, мм; ε_p – относительное разрывное удлинение нити, %; σ_y – условный предел упругости нити, Па; K_L – параметр модели, характеризующий абсолютное изменение угла наклона касательной, проведенной к восходящей части диаграммы растяжения при увеличении степени разнодлинности филаментов нити на 1 % (K_L = 1,66 град / %), град / %.

Обоснование физического смысла параметров модели (4), а также методика их оценки по результатам комплексного анализа диаграмм растяжения довольно полно изложена в работах [7, 8].

Для проверки правомерности практического использования результатов, полученных в ходе проведённых исследований, в условиях специализированной лаборатории учреждения «Научно-исследовательский центр Витебского областного управления МЧС» на разрывной машине РМ – 50 К проведён комплекс экспериментальных исследований. При проведении испытаний зажимная длина составляла 500 мм, средняя продолжительность процесса деформирования до разрыва нити (20 ± 3) с, предварительное натяжение – 100 сН, количество испытаний для каждого образца равнялось 50. В качестве объектов исследований использовались полипропиленовые комплексные нити различных способов получения, характеристики структуры которых были представлены в таблице 1.

Экспериментальные диаграммы растяжения исследуемых нитей представлены на рисунке 2.

В таблице 2 представлены основные результаты экспериментальной оценки и прогнозные значения показателей механических свойств по

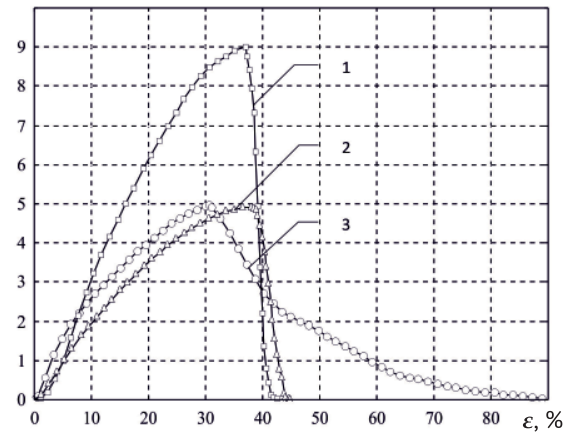

Рисунок 2 – Диаграмма растяжения «нагрузка – относительное удлинение» ПП нитей различного способа получения: 1 – Нить Frize «Tattekstil» (Турция); 2 – Нить Heat-Set «Arasta» (Турция); 3 – Нить BCF «Filarlois» (Франция)

двум методикам, приведенным в работах [5, 6] для исследуемых образцов полипропиленовых нитей.

Анализ результатов экспериментальной оценки показателей прочностных свойств полипропиленовых нитей позволяет отметить, что:

- различие способа получения полипропиленовых нитей (BCF, Heat-set, Frise) оказывает влияние на их разрывные характеристики;
- наибольшую нагрузку до момента разрыва выдерживает нить Frize, (P_P = 9,02 Н при относительном удлинении ε_p = 36,95 %). Значительно меньшую нагрузку выдерживают нити Heat-set (РР = 4,93 Н при относительном удлинении ε_p = 37,32 %) и BCF (P_P = 4,96 Н при относительном удлинении ε_p = 30,52 %).

Сравнительный анализ прогнозных значений показателей механических свойств полипропиленовых нитей показал, что:

- отклонения значений коэффициента реализации прочности, определенного по двум совершенно различным методологическим подходам, не превышает 5 %. Следовательно, метод статистической имитации полуциклового испытания на растяжение, применяемый при исследовании полиэфирных нитей [7, 8], правомочно использовать и при исследовании полипропиленовых нитей;
- установлено, что наибольшим коэффи-

Таблица 2 – Результаты экспериментальной оценки и прогнозные значения показателей механических свойств ПП нитей различного способа получения

Показатель	Нить BCF Filartion, Франция	Нить Heat-Set «Arasta», Турция	Нить Frize «Tattekstil», Турция
Значение разрывной нагрузки, P_p, Н	4,96	4,93	9,02
Относительное разрывное удлинение, соответствующее разрушению первого филамента нити, ε_p, %	30,52	37,32	36,95
Относительное полное разрывное удлинение, $\varepsilon_{рп}$, %	90,30	44,88	43,98
Условный предел упругости, σ_y, МПа	23,95	4,02	11,91
Нагрузка, при которой в деформировании участвуют все филаменты нити, P_1, Н	1,98	1,99	6,01
Абсолютное удлинение, при котором в деформировании участвуют все филаменты нити, l_1, мм	17,25	26,51	20,95
Степень разнодлинности филаментов, C_L, %	19,02	1,12	1,12
Работа деформации до точки максимума, W_{max}, Дж	95,97	112,48	179,89
Работа деформации до точки полного разрыва, $W_{полн}$, Дж	204,88	127,9	202,52
Коэффициент реализации прочности нити, K_P – по модели (2) – по модели (3)	 0,69 0,71	 0,95 0,98	 0,96 0,98

циентом реализации прочности нити обладают ПП нити Heat-set и Frize. У нити BCF K_P значительно ниже, что обусловлено особенностями их получения.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного комплекса исследований:

- установлены показатели механических свойств ПП нитей различного способа получения;
- предложен новый методологический подход для определения коэффициента реализации прочности ПП нитей различного способа получения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Перепёлкин, К.Е. (1991), Комплексная оценка качества и работоспособности нитей в процессах получения и переработки, *Химические волокна*, 1991, № 2, С. 45–56.

2. Перепёлкин, К.Е., Серков, А.Т., Иванцова, Т.М. (1989), *Дефектность и гетерогенность микроструктуры химических нитей и их влияние на свойства*, Москва, НИИТЭхим, 48 с.

3. Сорокин, Е.Я., Перепёлкин, К.Е. (1975), *Неравномерность свойств химических волокон*, Москва, НИИТЭхим, 32 с.

4. Перепёлкин, К.Е. (2005), Полимерные волокнистые композиты, их основные виды, принципы получения и свойства. Часть 1. Основные компоненты волокнистых композитов, их взаимодействие и взаимовлияние, *Химические волокна*, 2005, № 4, С. 7–22.

5. Перепёлкин, К.Е., Иванов, М.Н. (2008), Оценка механических свойств текстильных нитей с экспериментальными механическими характеристиками, *Сборник научных трудов по текстильному материаловедению, посвященный 100-летию со дня рождения А.Н. Соловьева*, Москва, МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2008, С. 17–31.

6. Кузнецов, А.А. (2006), Прогнозирование степени поперечной гетерогенности разнодлинности нитей (волокон) пучка, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2006, № 6, С. 17–21.

7. Кузнецов, А.А., Тхорева, И.М. (2009), Исследование влияния поперечной неравномерности показателей механических свойств на прочностные характеристики пучка текстильных нитей, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2009, № 16, С. 21-25.

REFERENCES

1. Perepjolkin, K.E. (1991), The Complex estimation of quality and working capacity of threads in manufacture and processing processes [Kompleksnaja ocenka kachestva i rabotosposobnosti nitej v processah poluchenija i pererabotki], *Himicheskie volokna – Fibre chemistry*, 1991, № 2, pp. 45–56

2. Perepjolkin, K.E., Serkov, A.T., Ivancova, T.M. (1989), *Defektnost' i geterogennost' mikrostruktury himicheskih nitej i ih vlijanie na svojstva*, [Presence of Defects and heterogeneity of a microstructure of chemical threads and their influence on properties], Moscow, Scientific research institute of technical and economic researches in a chemical complex, 48 p.

3. Sorokin, E.Ja., Perepjolkin, K.E. (1975), *Neravnomernost' svojstv himicheskih volokon*, [Non-uniformity of properties of chemical fibres]. Moscow, Scientific research institute of technical and economic researches in a chemical complex, 32 p.

4. Perepjolkin, K.E. (2005), Polymeric fibrous composites, their principal views, manufacturing and property . A part 1. The basic components of fibrous composites, their interaction and interference [Polimernye voloknistye kompozity, ih osnovnye vidy, principy poluchenija i svojstva. Chast' 1. Osnovnye komponenty voloknistyh kompozitov, ih vzaimodejstvie i vzaimovlijanie], *Himicheskie volokna – Fibre chemistry*, 2005, № 4, pp.7–22.

5. Perepjolkin, K.E., Ivanov, M.N. (2008), Estimation of mechanical properties of textile threads with experimental mechanical characteristics [Ocenka mehanicheskih svojstv tekstil'nyh nitej s jeksperimental'nymi mehanicheskimi harakteristikami], *Sbornik nauchnyh trudov po tekstil'nomu materialovedeniju, posvjashhennyj 100-letiju so dnja rozhdenija A.N. Solov'eva*, *The*

8. Кузнецов, А.А. (2010), Применение статической имитации испытания при изучении особенностей формирования и разрушения комплексных химических нитей, *Актуальные проблемы и направления развития материаловедения изделий сервиса, текстильной и легкой промышленности*, 2010, С. 100–111.

collection of proceedings on the textile materials technology, devoted to the 100 anniversary from the date of A.N.Soloveva's birth, Moscow, 2008, pp. 17–31.

6. Kuznetsov, A.A. (2006), Forecasting of degree of cross-section heterogeneity of threads (fibres) of a bunch [Prognozirovanie stepeni poperechnoj geterogennosti raznodlinnosti nitej (volokon) puchka], *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti – Proceedings of higher education institutions.* Textile industry technology, 2006, № 6, pp. 17–21.

7. Kuznetsov, A.A., Thoreva, I.M. (2009), Research of influence of cross-section non-uniformity of indicators of mechanical properties on strength characteristics of a bunch of textile threads [Issledovanie vlijanija poperechnoj neravnomernosti pokazatelej mehanicheskih svojstv na prochnostnye harakteristiki puchka tekstil'nyh nitej], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta* – Herald Vitebsk State Technological University, 2009, № 16, pp. 21–25.

8. Kuznetsov, A.A. (2010), Application of static imitation of test at studying of features of formation and destruction of complex chemical threads [Primenenie staticheskoj imitacii ispytanija pri izuchenii osobennostej formirovanija i razrushenija kompleksnyh himicheskih nitej], *Actual problems and directions of development of materials technology of products of service, textile and light industry*, 2010, pp. 100–111.

Статья поступила в редакцию 20. 11. 2014 г.