

УДК 677.017

DOI 10.47367/0021-3497_2023_4_122

ИНЖЕНЕРНЫЙ РАСЧЕТ РАВНОВЕСНОСТИ КРУЧЕНОЙ ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ ПРЯЖИ

ENGINEERING CALCULATION OF THE EQUILIBRIUM OF TWISTED COTTON YARN

И.В. ОЛЕНИНА¹, Ю.С. ШУСТОВ², В.П. ЗИНОВЬЕВ¹, В.И. РУБЦОВ¹, А.Н. ТИМОШЕНКО¹,
О.В. ИСАЕВ¹, А.Г. СЕИТОВА¹

I.V. OLENINA, Yu.S. SHUSTOV, V.P. ZINOVYEV, V.I. RUBTSOV, A.N. TIMOSHENKO,
O.V. ISAEV, A.G. SEITOVA

(Государственный научный центр Федеральный медицинский
биофизический центр им. А.И. Бурназяна

²Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(¹Federal State Budgetary Institution "State Scientific Center of the Russian Federation –
A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center"

²The Kosygin State University of Russia)

e-mail: 1. zvp.2013@yandex.ru, 2. 6145293@mail.ru

Проведен краткий обзор литературных источников, содержащих информацию об общих свойствах крученой пряжи и, в частности, о технологических условиях получения равновесной структуры крученых продуктов. В статье рассмотрены теоретические аспекты влияния упругих свойств пряжи и волокон на равновесное состояние крученой пряжи. Использовано условие равенства нулю крутящего и раскручивающего моментов, возникающих в пряже вследствие крутки. На основе анализа крутящих моментов выведено соотношение равновесности крученого продукта с использованием коэффициентов первичной и вторичной крутки. Предложена рабочая формула определения соотношения первичной и вторичной круток для достижения равновесности крученой пряжи. Расчет может быть использован при проектировании ткани и трикотажа.

A brief review of literature sources containing information on the general properties of twisted yarn and, in particular, on the technological conditions for obtaining the equilibrium structure of twisted products is carried out. The article examines the theoretical aspects of the influence of elastic properties of yarn and fibers on the equilibrium state of twisted yarn. The condition of equality to zero of the torsional and untwisting moments arising in the yarn due to twisting is used. Based on the analysis of torques, the ratio of the equivalence of the twisted product

is derived using the coefficients of primary and secondary torsion. A working formula for determining the ratio of primary and secondary twists to achieve the equilibrium of the twisted yarn is proposed. The calculation can be used in the design of fabric and knitwear.

Ключевые слова: пряжа, диаметр пряжи, волокна, линейная плотность, сечение пряжи, равновесность, момент кручения, крутка, коэффициент крутки.

Keywords: yarn, yarn diameter, fibers, linear density, yarn cross-section, equilibrium, torsion moment, twist, twist coefficient.

В работе [1] авторы провели глубокий и тщательный силовой анализ факторов, определяющих равновесную структуру крученой нити. Однако не даны конкретные и простые рекомендации для производителей: как спроектировать и сделать крученую пряжу равновесной.

Работа [2] также посвящена вопросам равновесности крученого продукта. Приведено аналитическое решение для сил, действующих в равновесном продукте, но так же, как и в [1], авторы не дают конкретных инженерных рекомендаций по подбору первичной и вторичной круток для достижения равновесности нитей.

Известна формула, связывающая первичную и вторичную крутки для достижения равновесности [3]:

$$\alpha_k = \alpha_0 \sqrt{m} / (m+1), \quad (1)$$

Эта формула была предложена К.И. Корицким, однако в более ранней публикации монографии К.И. Корицкого [4] формула для уравнивающего коэффициента крутки выглядит иначе:

$$\alpha_y = \alpha_0 \sqrt{m} / (\sqrt{m} + 0,9). \quad (2)$$

В работе [5] авторы исследуют коэффициент упрочнения в крученой пряже при использовании одиночной пряжи разных способов прядения и определение укрутки, удлинения, неровноты по ее свойствам, не затрагивая вопросов равновесности.

В работе [6], ссылаясь также на формулу К.И. Корицкого, дают еще один вариант

для достижения равновесности крученой нити:

$$\alpha_k = \alpha_0 \sqrt{m} / (\sqrt{m} + 1). \quad (3)$$

Однако фактически ни одна из этих формул (1-3) не дает какого-либо объяснения физической картины равновесности с точки зрения анализа сил и моментов, действующих в крученом продукте.

Состоянию равновесности крученого продукта, в частности крученой пряжи, в свое время уделялось много внимания. Так, значительная часть монографии [4] посвящена вопросам равновесности пряжи и канатов, а также применению неравновесных структур для специальных целей различных технических крученых изделий: канатов, шинных кордов, рыболовных снастей, веревок и прочих изделий.

Равновесность имеет большое значение для дальнейшей переработки крученой пряжи и ниток в других текстильных производствах. Например, для уменьшения сукрутин и снижения обрывности в ткачестве при сходе уточной пряжи с бобин уточную пряжу подвергают иногда вылеживанию, замачиванию или запариванию для снятия внутренних напряжений. В швейном производстве сукрутины у ниток также явление вредное, так как это может влиять на правильность образования стежка. Недопустимы сукрутины и в трикотажном производстве. Достаточно сказать, что использование неравновесной пряжи в ткацком или трикотажном производстве приводит к перекоосу полотен и их произвольной закручиваемости.

Угол наклона волокон в нитях, как видно из рис. 1, в зависимости от их удаленности от оси нити меняется по линейному закону от 0 на оси нити до β_0 на ее поверхности. Геометрическое рассмотрение рис. 1 приводит к выводам о том, что если $OD=DA$, то средний угол наклона волокон в компонентных нитях β'_0 и угол наклона поверхностных волокон β_0 связаны между собой следующим соотношением:

$$\beta'_0 = 0,5 \cdot \beta_0. \quad (9)$$

Учитывая малость углов наклона волокон в рассматриваемом диапазоне круток (угол наклона 30° соответствует креповой крутке, а обычная пряжа имеет крутку, существенно меньшую, – 12° - 15°), а также приблизительное равенство в этом диапазоне функции tg и самого угла (ошибка менее 2-3%), можно, руководствуясь выражениями (8) и (9), записать для уравновешенной крученой нити следующее:

$$\text{tg}\beta_1 = 0,5 \sin \frac{\pi}{n} \text{tg}\beta_0, \quad (10)$$

где n – количество составляющих (стренг) в крученом продукте; β_1 – угол наклона оси стренги к оси крученого продукта OO_1 ; β_0 – угол наклона поверхностных волокон АВ к оси компонентной составляющей (стренги) (рис. 2).

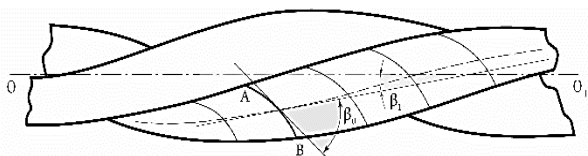


Рис. 2

В случае, когда число сложений крученой пряжи $n=2$, для равновесной пряжи имеем [4]:

$$\text{tg}\beta_1 = 0,5 \text{tg}\beta_0. \quad (11)$$

Однако для практических расчетов тангенс угла наклона волокон неудобен и его

измерение сопряжено с трудностями. Для преодоления этого затруднения авторы предлагают следующий выход. Поскольку коэффициент крутки пропорционален тангенсу угла наклона волокон в одиночной пряже или углу наклона составляющих в крученом продукте, то можно обоснованно записать вместо (11)

$$\alpha_1 = 0,5\alpha_0, \quad (12)$$

где α_1 – коэффициент крутки крученой пряжи; α_0 – коэффициент крутки одиночной составляющей.

Этот факт можно объяснить тем, что при формировании крученой пряжи структуры ZS одиночные стренги при своем раскручивании стремятся занять положение и объем, обеспечивающие минимум потенциальной энергии системы. То есть при параллельном соединении одиночных стренг они взаимно обвивают сами себя, теряя при этом половину своего коэффициента крутки, переходящего в крутку крученого продукта, и в случае равновесности крученой пряжи коэффициент крутки крученого продукта равен остаточному коэффициенту крутки одиночной пряжи.

Подставляя в выражение (12) значения для α_1 и α_0 по известной формуле:

$$\alpha = 0,0316K\sqrt{T} \quad (13)$$

для случая одинаковых одиночных составляющих, использованных для получения крученого в n сложений продукта, имеем:

$$K_{II} \sqrt{nT} = 0,5 \sin \frac{\pi}{n} K_I \sqrt{T}, \quad (14)$$

откуда можно определить значение вторичной крутки K_{II} , при которой достигается равновесность крученой пряжи, например в два сложения, в зависимости от величины первичной крутки K_I :

$$K_{II} = \frac{K_I}{2\sqrt{2}} \sin \frac{\pi}{2} = 0,354K_I. \quad (15)$$

Для случая крученой пряжи в три сложения при $n=3$:

$$K_{II} \sqrt{nT} = 0,5K_I \sqrt{T} \sin \frac{\pi}{3}, \quad (16)$$

$$K_{II} = \frac{K_I}{2\sqrt{3}} \sin \frac{\pi}{3} = 0,25K_I. \quad (17)$$

Ряд экспериментальных исследований, проведенных авторами, позволяет с уверенностью сказать, что для достижения равновесности крученой пряжи достаточно иметь вторичную крутку в зависимости от числа сложений в пределах $1/4-1/3$ от первичной, что вполне согласуется с вышеприведенными теоретическими выводами. Однако это относится к упругой пряже, т.е. такой, где до процесса кручения еще не успели проявиться реологические особенности волокон. В действительности из-за процессов релаксации, протекающих практически во всех текстильных волокнах, значения соотношения между вторичной и первичной крутками на 10-12% меньше расчетных.

Выражение (12) для определения равновесности крученого продукта можно применять не для произвольного значения n , а только для $n=2$ и $n=3$, поскольку для большего числа сложений структура крученого продукта начинает в значительной степени отличаться от структуры в 2 и 3 сложения. Появляются пустоты (трубчатая структура для $n=4,5,6$), или структура приобретает стержневой характер с сотовым расположением компонентов ($n>6$), где может местами нарушаться регулярность расположения составляющих.

ВЫВОДЫ

1. Предложена научно обоснованная математическая модель для инженерных расчетов соотношения первичной и вторичной круток для достижения равновесности крученой пряжи.

2. Установлено, что для достижения равновесности крученой пряжи достаточно иметь вторичную крутку в зависимости от

числа сложений в пределах $1/4-1/3$ от первичной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щербаков В.П., Цыганов И.Б., Полякова Т.И., Скуланова Н.С., Попова Е.Р. Теория и расчет силовых факторов, определяющих равновесную структуру крученой нити // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2012. № 6. С. 166...171.

2. Щербаков В.П., Цыганов И.Б., Заваруев В.А. Контактное взаимодействие скрученных нитей // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2003. №3. С. 91...94.

3. Теория процессов, технология и оборудование для приготовления крученой, фасонной пряжи и ниток: учебник / Ю.В. Павлов и др. Иваново: ИГТА, 1999. 380 с.

4. Корицкий К.И. Инженерное проектирование текстильных материалов. М.: Легкая индустрия, 1971. 352 с.

5. Юлдашев А.Т., Матисмаилов С.Л., Гафуров К.Г., Плеханов А.Ф., Периукова С.А., Кузякова С.В. Исследование крученой пряжи при изготовлении стренг разными способами прядения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 3 (393). С. 81...84.

6. Эркинов З.Э., Гафуров А.Б., Эргашев М.М. Определение и анализ свойств крученой нити, выработанной из разноструктурной одиночной пряжи // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. 2018. № 6(51). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/6049>.

7. Мигушов И.И. Механика текстильной нити и ткани. М.: Легкая индустрия, 1980. 160 с.

8. Щербаков В.П. Прикладная и структурная механика волокнистых материалов. М.: Тико Принт, 2013. 304 с.

9. Шустов Ю.С., Кирюхин С.М. Текстильное материаловедение и управление качеством. М.: ИНФРА-М, 2022. 386 с.

10. Щербаков В.П., Скуланова Н.С. Основы теории деформирования и прочности текстильных материалов. М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2008. 268 с.

11. Кузнецов А.А., Ольшанский В.И. Оценка и прогнозирование механических свойств текстильных нитей. Витебск: ВГТУ, 2004. 226 с.

12. Севостьянов П.А. Динамика и модели основных процессов прядения: рыхление, очистка, смешивание, кардо- и гребнечесание, вытягивание, кручение, намотка, перемотка: монография. М.: Клуб печати, 2021. 592 с.

REFERENCES

1. Shcherbakov V.P., Tsyganov I.B., Polyakova T.I., Skulanova N.S., Popov E.R. Theory and calculation of force factors that determine the equilibrium structure of a twisted thread // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh

Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2012. No. 6. Pp. 166...171.

2. *Shcherbakov V.P., Tsyganov I.B., Zavaruev V.A.* Contact interaction of twisted threads // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2003. No. 3. Pp. 91...94.

3. Theory of processes, technology and equipment for the preparation of twisted, fancy yarn and threads: Textbook / Pavlov Yu.V. etc. Ivanovo: IGTA, 1999. 380 p.

4. *Koritsky K.I.* Engineering design of textile materials. Moscow: Light Industry, 1971. 352 p.

5. *Yuldashev A.T., Matismailov S.L., Gafurov K.G., Plekhanov A.F., Pershukov S.A., Kuzyakova S.V.* Study of twisted yarn in the manufacture of strands by different spinning methods // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2021. No. 3 (393). P. 81...84.

6. *Erkinov Z.E., Gafurov A.B., Ergashev M.M.* Determination and analysis of the properties of a twisted thread produced from a single yarn of different structure // *Universum: Engineering sciences: electron.sci. magazine* 2018. No. 6(51). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/6049>.

7. *Migushov I.I.* Mechanics of textile thread and fabric. M.: Light industry, 1980. 160 p.

8. *Shcherbakov V.P.* Applied and structural mechanics of fibrous materials. M.: Tiko Print, 2013. 304 p.

9. *Shustov Yu.S., Kiryukhin S.M.* Textile materials science and quality management. M.: INFRA-M, 2022. 386 p.

10. *Shcherbakov V.P., Skulanova N.S.* Fundamentals of the theory of deformation and strength of textile materials. Moscow: MSTU im. A.N. Kosygina, 2008. 268 p.

11. *Kuznetsov A.A., Olshansky V.I.* Evaluation and prediction of mechanical properties of textile threads. Vitebsk: VGTU, 2004. 226 p.

12. *Sevostyanov P.A.* Dynamics and models of the main spinning processes: Loosening, cleaning, mixing, carding and combing, drawing, twisting, winding, re-winding. Monograph. M.: CLUB-PRINT, 2021. 592 p.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товарной экспертизы Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство). Поступила 25.01.23 .