

**ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ЗАЖИМА ПУЧКА
ЛУБЯНЫХ ВОЛОКОН ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ИХ РАЗРЫВНОГО УСИЛИЯ
ПО СТАНДАРТНОМУ МЕТОДУ ИСПЫТАНИЯ***

**JUSTIFICATION OF RATIONAL CONDITIONS FOR SAMPLE CLAMPING BAST
FIBERS DURING STANDARDIZED TENSILE STRENGTH TESTING**

С.Н. РАЗИН¹, Е.Л. ПАШИН¹, А.В. ОРЛОВ², А.С. ОБЧАРЕНКО¹

S.N. RAZIN¹, E.L. PASHIN¹, A.V. ORLOV², A.S. OVCHARENKO¹

(¹Костромская государственная сельскохозяйственная академия,

²Костромской государственной университет)

(¹Kostroma State Agricultural Academy,

²Kostroma State University)

E-mail: razin1954@list.ru

По результатам исследования установлено, что при определении разрывного усилия льняного волокна в виде пучка прядей при оценке его качества с использованием разрывной машины РМП-1 необходима замена зажимов волокна. Улиточные зажимы предложено заменить на тисковые с рифлеными губками. Кроме этого необходим предварительный натяг волокон в пучке для обеспечения равенства их последующих натяжений. Однако в этом случае процесс закрепления волокон сопровождается ростом натяжения волокон в межзажимной зоне. Величина натяжения зависит от количества выступов на губках, глубины захождения их друг относительно друга, шага рифлей и коэффициента трения волокна о поверхность губок. Формируемое натяжение в межзажимной зоне может возрасти более чем в 1000 раз по отношению к силе преднапряга T_0 . При таких условиях вероятность разрушения отдельных волокнистых прядей в пучке может достигать 30 %, что снижает точность определения разрывного усилия волокна. С целью исключения повреждений волокон и одновременно надежного их закрепления в зажимах на основном этапе испытания предложен улучшенный вариант конструкции зажима, предусматривающий сближение плоскостей зажимных губок под углом друг к другу. Это обеспечивает надежный зажим и существенно снижает вероятность разрыва отдельных волокнистых комплексов перед основным этапом одноосного разрыва.

During tensile strength testing of flax fiber using testing machine RMP-1 it has been determined that default 'snail' clamps used to hold the sample perform unsatisfactorily. Authors suggest using corrugated vise clamps instead. Additionally, pre-tension to equalize the tension in different parts of the sample is needed. However, in this case the clamping process increases pre-tension. While the exact amount depends on the configuration of the clamp parts, the tension can increase by two to three orders of magnitude. There is an up to 30% chance that the sample will be partially destroyed, which will result in measurement error. To prevent this

*Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 23-26-00147).

while still maintaining a solid hold on the sample, authors suggest moving the clamp halves at an angle to each other during the clamping process. This allows secure clamping while reducing the chances of damaging the sample before the actual test.

Ключевые слова: разрыв, пучок волокон, тисковый зажим, усилие, вероятность разрыва, рифли, захождение, наклон, зажимные губки.

Keywords: tearing, fiber sample, clamp vise, force, probability, corrugated clamp, overlap, inclination.

При изучении методов определения разрывного усилия лубяных волокон в виде проб, состоящих из непараллелизованных волокнистых комплексов по действующим стандартам [1, 2], выявлена причина снижения точности измерения данной характеристики с применением разрывной машины РМП-1 [3]. Она связана с конструкцией зажимов, использование которых у части волокнистых комплексов пробы вызывает прослабления [3], что снижает коэффициент использования прочности волокон при испытании в виде пучка [4].

Для минимизации возникновения указанных прослаблений проведены испытания с использованием тисковых зажимов с рифлеными губками [5] при предварительном (перед сближением губок) выравнивании натяжений отдельных волокнистых комплексов в пучке путем их преднатяга усилием T_0 по способу [6] (рис. 1).

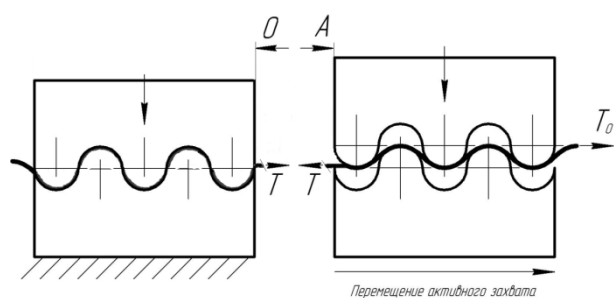


Рис. 1

При использовании предложенного способа зажима волокон были выявлены недостатки. При малом количестве рифлей наблюдалась недостаточная фиксация в зажиме всех волокон, составляющих пучок. Однако с увеличением числа рифлей выявлен рост натяжения волокон в межзажим-

ном пространстве О-А, приводящий к разрыву отдельных волокнистых комплексов.

Так сформировалась задача выявления рациональной конструкции зажима для обеспечения надежной фиксации волокон и исключения их опасных натяжений в межзажимном пространстве.

Исследуем особенности формирования растягивающих усилий пряди при параллельном сближении планок зажима в условиях наличия её преднатяга силой T_0 . Будем рассматривать ситуацию, когда в левом зажиме прядь надежно зафиксирована путем прижатия верхней планки к нижней. Поэтому все явления, связанные с формированием натяжений волокон, рассмотрим применительно к процессу сближения прижимных планок правого зажима.

Очевидно, что возникающие усилия натяжения волокон будут зависеть от количества выступов (рифлей) на каждой из планок, коэффициента трения пряди о выступы, силы натяжения ведомой ветви T_0 и глубины захождения выступов верхней планки в нижнюю. Глубина захождения будет определять величину угла обхвата прядью каждого выступа.

Если пренебречь изгибной жесткостью пряди, то силу натяжения в ведущей ветви можно определить по формуле Эйлера:

$$T = T_0 e^{f \sum_{i=1}^n \varphi_i}, \quad (1)$$

где T_0 – сила натяжения в ведомой ветви пряди; f – коэффициент трения скольжения пряди по выступу; φ_i – угол обхвата прядью выступа с номером i ; n – количество выступов, огибаемых прядью.

Определим зависимость суммарного угла обхвата ($\sum_1^n \varphi_i$) от глубины захождения h выступов верхней планки в нижнюю (рис. 2).

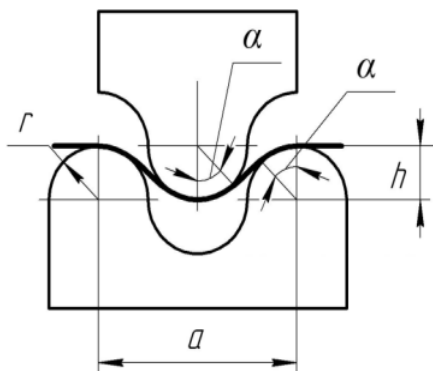


Рис. 2

Допустим, что прядь между точками касания с выступами имеет прямолинейную форму. Тогда при рассматриваемых условиях:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(2r + \Delta) \cos \alpha - (2r - h)}{0,5a - (2r + \Delta) \sin \alpha}, \quad (2)$$

где Δ – толщина пряди.

Приведя к общему знаменателю и сгруппировав общие члены, преобразуем (2), получив следующее уравнение:

$$0,5 \arcsin \alpha + (2r - h) \cos \alpha = 2r + \Delta. \quad (3)$$

Решение уравнения (3) имеет вид:

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{2r + \Delta}{\sqrt{(0,5a)^2 + (2r - h)^2}} \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{2(2r - h)}{a} \right) \quad (4)$$

Из схемы, представленной на рис. 3, следует, что угол обхвата внутренних выступов равен 2α , а у крайних – α . Суммарный угол обхвата для зажимного устройства с k выступами на верхней планке можно найти по формуле: $\sum_1^n \varphi_i = 4\alpha k$. Например, при варианте, представленном на рис. 3, число выступов на нижней планке – 4, на верхней – 3 (то есть $k = 3$). Тогда суммарный угол будет 12α .

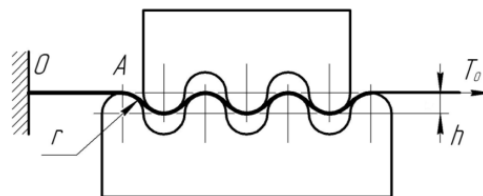


Рис. 3

Задачу по определению отношения силы натяжения пряди на участке ОА к силе натяжения T_0 решали с помощью программы Mathcad. Расчет проводили при следующих значениях параметров: коэффициент трения $f = 0,55$ [7]; шаг выступов $a = 8$ мм; радиус закругления вершины выступа $r = 2$ мм; глубина захождения h изменялась от 0 до $h_{\max} = H$. H – максимальная глубина захождения первого верхнего выступа, находится из условия равенства нулю длины прямолинейного участка между точками касания пряди с нижним и верхним выступами.

Тогда $H = 2r - \sqrt{(2r + \Delta)^2 - 0,25a^2}$, мм (примем $H = 2$ мм); толщина пряди $\Delta = 0,5$ мм.

Результаты представлены в виде графиков на рис. 4 для трех случаев, когда количество выступов k соответственно равно 2, 3, 4. По оси абсцисс отложена величина захождения – h в мм, а по оси ординат по логарифмической шкале – отношение силы натяжения T на участке ОА к силе натяжения в ведомой ветви T_0 .

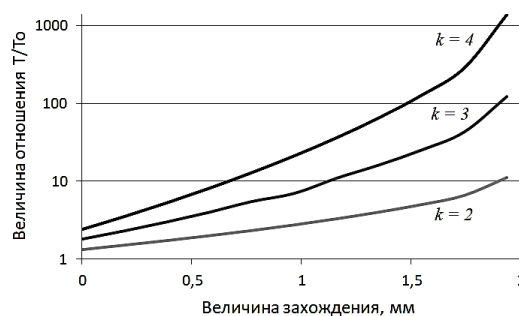


Рис. 4

Из анализа графических зависимостей следует, что сила натяжения T в межзажимной зоне О-А для зажима с 4 выступами на нижней планке будет более чем в 1300 раз больше силы натяжения T_0 . При

использовании трех или двух выступов на нижней планке величина этого отношения соответственно будет равна 123 и 11.

Снижение величины отношения T/T_0 при использовании малого количества выступов будет являться причиной плохой фиксации всех волокон в зажиме при растяжении. Однако количество выступов 4 и более приводит при полном захождении выступов при фактически формируемых значениях T_0 к разрыву отдельных волокнистых комплексов в межзажимной зоне О-А.

В подтверждение этого проведем приближенную оценку вероятности P возникновения таких разрывов с помощью модели разрушения конструкций, основанной на допущении распределения прочности и возникающих нагрузок в соответствии с законом нормального распределения [8]:

$$P = 0,5 - \Phi \left(\frac{PR_i - T_i}{\sqrt{D_{пр} - D_T}} \right), \quad (5)$$

где $\Phi(\dots)$ – функция Лапласа; PR_i – среднее разрывное усилие единичного волокнистого комплекса, составляющего пробу волокна; $D_{пр}$ – дисперсия разрывной прочности единичных комплексов; T_i – среднее значение натяжения единичного комплекса, равное T/n (n – кол-во волокнистых комплексов в пробе, определяемое отношением массы пробы M к массе единичного волокнистого комплекса m_i); D_T – дисперсия растягивающих усилий, действующих в расчете на один единичный комплекс.

На примере экспериментальных данных, полученных с использованием партий волокна с различным разрывным усилием и указанных в [9], оказалось возможным оценить изменение вероятности разрушения волокнистых комплексов в зоне А под действием возникающего при зажиме пробы максимального усилия T . При этом по результатам экспериментального определения величину T_0 приняли равной 0,4...0,7 Н. Изменение вероятности разрушения при различном количестве выступов на нижней планке проиллюстрировано в виде графических зависимостей на рис. 5.

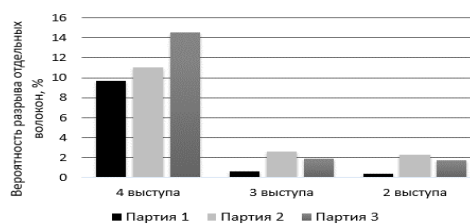


Рис. 5

Из анализа полученных зависимостей следует необходимость снижения натяжений волокон в зоне А в целях сохранения их целостности. При этом, как это отмечено выше, должен быть обеспечен надежный зажим всех волокон в момент возникновения максимального растягивающего усилия.

Отыскание необходимых условий зажима позволило предложить вариант, при котором перед зажатием пряжи верхняя или нижняя планка находится по отношению к противоположной планке под углом β . При такой схеме выступы верхней планки опускаются одновременно, но планка расположена под углом β к нижней, как показано на рис. 6.

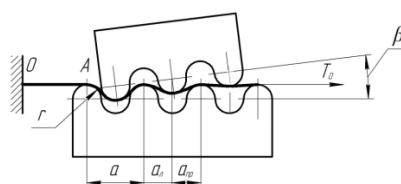


Рис. 6

В процессе сближения каждый из выступов верхней планки будет погружен в нижнюю на различную глубину. Разница по глубине будет зависеть от шага выступов и угла β . Глубина захождения верхних выступов в предельном случае, когда первый опустился на максимальную глубину H , определяется по формуле:

$$h_i = H - a \sin \beta(i - 1), \quad (6)$$

где i – номер выступа верхней планки, начиная с 1 ближайшего к участку ОА.

Как следует из (4), угол обхвата тем меньше, чем меньше глубина захождения. Таким образом, суммарный угол обхвата в

этот момент будет значительно меньше найденного в случае, когда планки, опускаясь, расположены параллельно друг другу. Разница суммарных углов обхвата будет тем существенней, чем больше будут величины α и β , а также количество выступов. Из рис. 4 следует, что в этом случае расстояния от нижней точки второго вы-

$$\begin{aligned} a_n &= a(\cos \beta - 0,5); \quad a_{np} = a(1,5 - \cos \beta); \\ a2_n &= \arcsin \left(\frac{2r + \Delta}{\sqrt{a_n^2 + (2r - h_2)^2}} \right) - \arctg \left(\frac{2r - h_2}{a_n} \right); \\ a2_{np} &= \arcsin \left(\frac{2r + \Delta}{\sqrt{a_{np}^2 + (2r - h_2)^2}} \right) - \arctg \left(\frac{2r - h_2}{a_{np}} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Аналогично находим углы обхвата для третьего выступа. При этом, если искомые углы оказываются отрицательные (это происходит, если высота погружения выступа меньше 0), то их принимаем равными 0. Суммарный угол обхвата для изображенного на рис. 4 случая находим по формуле:

$$\sum_{i=1}^n \varphi_i = 4\alpha + 2(a2_n + a2_{np}) + 2(a3_n + a3_{np}). \quad (8)$$

Результаты расчета отношения сил натяжения T/T_0 на участке OA в зависимости от угла наклона β и числа выступов на нижней планке представлены на рис. 7.

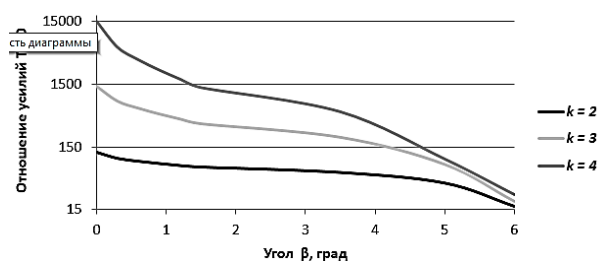


Рис. 7

Такое соотношение усилий T и T_0 возникает в момент, когда первый выступ опустится на предельную глубину и в этом положении останется неизменным. Тогда опускание следующих за ним выступов не приводит к движению пряжи по этому первому выступу. Однако последующее захождение остальных выступов будет (при неиз-

стуга верхней планки до осей симметрии выступов нижней планки будут различными. Это приведет к различию углов обхвата волокном этих выступов.

Эти параметры для второго выступа верхней планки найдем по системе формул:

менности натяжения волокон в зоне O-A) обеспечивать надежную фиксацию волокон в зажиме в условиях смещения ведомого конца пряжи, нагруженного усилием T_0 .

Результаты исследования и технические решения по улучшению конструкции зажимов пробы при определении разрывного усилия лубяного волокна в виде пучка использованы при создании новой разрывной машины [10], рекомендованной для практического применения как средство контроля по ГОСТ Р 53484-2022.

ВЫВОДЫ

1. При определении разрывного усилия льняного волокна в виде пучка пряжей для стандартной оценки его качества с использованием разрывной машины РМП-1 необходима замена зажимов волокна. Улиточные зажимы предложено заменить на тисковые с рифлеными губками. Кроме этого необходим предварительный натяг волокон в пучке для обеспечения равенства их последующих натяжений. Однако это требует обоснования условий зажима и количества выступов для обеспечения надежной фиксации волокон и исключения разрыва отдельных волокнистых комплексов перед основным этапом испытания путем одноосного растяжения.

2. Процесс закрепления волокон с применением тисковых зажимов с рифлеными губками при наличии преднатяга сопровождается ростом натяжения волокон в межзажимной зоне. Величина натяжения зависит от количества выступов на губках, глубины захождения их друг относительно друга, шага рифлей и коэффициента трения волокна о поверхность губок.

3. Формируемое натяжение в межзажимной зоне может возрастать более чем в 1000 раз по отношению к силе преднатяга

T_0 . При таких условиях вероятность разрушения отдельных волокнистых прядей в пучке может достигать 30 %, что снижает точность определения разрывного усилия волокна.

Для исключения повреждений волокон и одновременно надежного их закрепления в зажимах на основном этапе испытания предложен улучшенный вариант конструкции тискового зажима. При его использовании сближение плоскостей зажимных губок осуществляется под углом, а именно: перед зажатием пряди верхняя или нижняя планка находится по отношению к противоположной планке под углом β . При значении угла β более 6 градусов формируемое натяжение в зоне зажима возрастает при числе выступов от 2 до 4 на нижней планке не более чем в 20...30 раз по отношению к силе преднатяга T_0 . Это обеспечивает надежный зажим и снижает до минимума вероятность разрыва отдельных волокнистых комплексов перед основным этапом одноосного разрыва.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 53484-2009. Лен трепаный. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2010.
2. ГОСТ Р 56560-2015. Пенька трепаная. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2016.
3. Пашин Е.Л., Орлов А.В. Направления модернизации разрывной машины РМП-1 для стандартных испытаний льняного волокна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 5. С. 186...191.
4. Пашин Е.Л., Орлов А.В., Овчаренко А.С. Особенности процесса разрыва льняных волокон на машине РМП-1 по стандартному методу испытания // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. 2022. № 2 (56). С. 75...80.
5. Каталог оборудования фирмы ООО "ГОСТ": Оснастка и приспособления [Электронный ресурс] – URL: <https://gost-lab.ru/osnastka> (дата обращения 21.02.2023).
6. Патент РФ № 2780433. Способ определения разрывной нагрузки лубяного волокна при одноосном растяжении / авторы Пашин Е.Л., Орлов А.В.; патентообладатель Костромская ГСХА; опубл. 23.09.2022, Бюл. 27.
7. Ипатов А.М. Теоретические основы механической обработки стеблей лубяных культур. М.: Легпромбытиздат, 1989.
8. Болотин В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах конструкций. М.: Стройиздат, 1971.

9. Овчаренко А.С., Орлов А.В., Пашин Е.Л. Определение разрывных характеристик волокнистых комплексов трепаного льноволокна для моделирования процесса его разрыва на машине РМП-1 // Матер. 55-й междунар. науч.-практ. конф. Витебск: ВГТУ, 2022. Т. 2. С. 284...286.

10. Орлов А.В., Пашин Е.Л. Совершенствование систем квалиметрии лубоволокнистых материалов. Определение разрывных характеристик волокна. Кострома: КГУ, 2023.

REFERENCES

1. GOSTR 53484-2009. Scutched flax fibre. Specifications. M.: Standartinform, 2009.
2. GOSTR 56560-2015. Scutched hemp. Specifications. M.: Standartinform, 2018.
3. Pashin E.L., Orlov A.V. 'Ways to modernize RMP-1 tensile strength testing machine used in standardized testing of flax fiber' // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstilnoi Promyshlennosti. 2021. No. 5. Pp. 186...191.
4. Pashin E.L., Orlov A.V., Ovcharenko A.S. 'Details of flax fiber tearing process using standardized testing method with RMP-1 machine' // Izvestia vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. 2022. No. 2(56). Pp. 75...80.
5. Catalogue of GOST Ltd.: Devices and components [website], 2023. <https://gost-lab.ru/osnastka> (accessed 21.02.2023).
6. Pashin E.L., Orlov A.V. Russian Federation patent No. 2780433. Method of determining tensile strength of flax fiber during linear stretching published 23.09.2022.
7. Ipatov A.M. Theoretical basis of mechanical processing of stalks of bast cultures: a university textbook. M.: Legprombytizdat, 1989.
8. Bolotin A.V. Usage of methods of probability and reliability theory in construction design. M.: Stroyizdat, 1971.
9. Ovcharenko A.S., Orlov A.V., Pashin E.L. 'Determining tensile properties of fibrous complexes of scotched flax fiber for use in tensile testing models based on RMP-1' // Materials of 55th international theoretical and applied sciences conference. Vitebsk: Vitebsk State Technological University, 2022. Vol. 2. Pp. 284...286.
10. Orlov A.V., Pashin E.L. Improving bast fiber qualimetry systems. Determining tensile properties of the fibers: a monograph. Kostroma: Kostroma State University, 2023.

Рекомендована кафедрой технических систем в агропромышленном комплексе Костромской ГСХА. Поступила 13.03.23.