

**ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ СМЕЩЕНИЯ СЛОЯ
ГОРИЗОНТАЛЬНОГО УТКА
НА ПЛОТНОСТЬ РАСПОЛОЖЕНИЯ
ВЕРТИКАЛЬНЫХ СЛОЕВ НИТЕЙ
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТРЕХМЕРНЫХ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ***

**INFLUENCE OF THE VALUE OF DISPLACEMENT
OF THE LAYER OF THE HORIZONTAL DUCK
ON THE DENSITY OF THE ORIENTATION OF VERTICAL LAYERS
OF THREADS DURING FORMATION OF 3-D ORTHOGONAL TISSUES**

С.Н. УШАКОВ, А.П. ГРЕЧУХИН, П.Н. РУДОВСКИЙ, С.В. ПАЛОЧКИН
S.N. USHAKOV, A.P. GRECHUKHIN, P.N. RUDOVSKII, S.V. PALOCHKIN

(Костромской государственный университет,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана)
(Kostroma State University,
Moscow State Technical University named after N.E. Bauman)
E-mail: niskstu@vandex.ru; palnigs@mail.ru

В статье изложены новые результаты исследования предложенного способа формирования трехмерных ортогональных тканей, позволяющего выработывать изделия с переменным профилем в нескольких направлениях и возможностью более плотной укладки вертикальных слоев нитей. Представлен расчет величины смещения горизонтальной системы уточных нитей под действием натяжения нитей вертикального утка при фиксированном значении угла наклона крайних нитей основы к горизонтали. Анализ полученных результатов позволяет оценить влияние местоположения механизма прокладывания вертикального утка на степень подвижности его слоев и плотность их расположения в ткани.

The article presents the new results of the study of the proposed method of forming three-dimensional orthogonal fabrics, allowing to produce products with a variable profile in several directions and the possibility of more dense styling of vertical layers of threads. The calculation of the displacement of the horizontal system of weft threads under the action of the tension of the vertical weft yarns at a fixed value of the angle of inclination of the extreme warp threads to the horizontal is presented. An analysis of the results obtained allows us to estimate the influence of the location of the mechanism for laying a vertical weft on the degree of mobility of its layers and the density of their location in the fabric.

Ключевые слова: трехмерная ортогональная ткань, нити утка, механизм прокладывания нитей, угол наклона нитей основы.

Keywords: three-dimensional orthogonal fabric, weft threads, the mechanism of laying the threads, the angle of the warp threads.

Использование трехмерных ортогональных тканей в качестве армирующей основы современных композиционных материалов

является одним из самых технологически сложных, но в то же время перспективных направлений их производства. Преимуществ

* Работа выполнена в рамках реализации проекта 11.9627.2017/8.9.

во таких материалов по сравнению со слоистыми композитами и прочими композитами на базе трехмерных волокнистых материалов заключаются в том, что они имеют лучшую стойкость к механическим воздействиям вдоль основных, уточных и дополнительных систем нитей из-за отсутствия изгиба нитей в слоях ткани [1] в отличие от традиционных трехмерных тканей [2], [3].

В статье представлены новые результаты исследования предложенного способа формирования трехмерных ортогональных тканей, позволяющего вырабатывать изделия с переменным профилем в нескольких направлениях с возможностью более плотной укладки вертикальных слоев нитей [4], [5].

Для реализации предложенного способа необходимо определить возможное смещение слоев уточных нитей в зависимости от расположения механизма прокладывания вертикального утка и угла наклона крайних нитей основы к горизонтали. При этом существуют два варианта решения этой задачи.

Первый вариант исключает смещение нитей утка, для чего необходимо обеспечить определенный угол наклона крайних нитей основы к горизонтали. Однако это приводит к тому, что длина нитей в зоне прокладывания вертикального утка будет больше, чем толщина ткани, что может привести к повышенной истираемости и повреждаемости нитей [6]. Такой вариант целесообразно использовать в случае выработки ткани большой толщины, когда требуется рапира с большим поперечным сечением для обеспечения сопротивления изгибу от действия натяжения уточных нитей. В случае выработки ткани небольшой ширины необходимо использовать рапиры с малым поперечным сечением.

Второй, более предпочтительный, вариант, рассматриваемый в настоящей работе, предполагает обеспечить минимальные (или нулевые) значения угла наклона крайних нитей основы к горизонтали. Это позволит добиться одинаковых размеров длины нити в зоне прокладывания и толщины ткани.

Для решения этой задачи представлен расчет смещения ΔL нити горизонтального утка в зависимости от значений размеров

конструктивно-заправочной линии станка, схема которой дана на рис. 1 (схема заправки при формировании трехмерной ортогональной ткани: 1 – нити основы, 2 – бердо, 3 – нити вертикального утка, 4 – нити горизонтального утка, 5 – распределительная решетка, 6 – галево, 7 – прокладчик горизонтального утка). Положение нитей соответствует моменту, когда бердо отошло от опушки ткани после прибоя слоев утка.

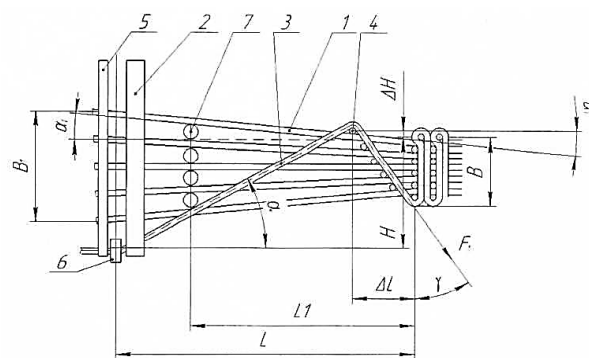


Рис. 1

Из анализа схемы заправки имеем следующие соотношения между ее параметрами:

$$\Delta H = \Delta L \operatorname{tg}(\alpha_1), \quad (1)$$

$$\alpha_1 = \operatorname{arctg} \left(\frac{B + B_1}{2L} \right), \quad (2)$$

$$\gamma = \operatorname{arctg} \left(\frac{\Delta L}{B + \Delta H} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{\Delta L}{B + \Delta L \operatorname{tg}(\alpha_1)} \right), \quad (3)$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{H + \Delta H}{L - \Delta L} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{H + \Delta L \operatorname{tg}(\alpha_1)}{L - \Delta L} \right), \quad (4)$$

где ΔH – расстояние между положениями нити горизонтального утка до и после прибоя; α_1 – угол наклона нитей основы к горизонтали; B – толщина ткани в зоне формирования; B_1 – высота проборки нитей в распределительной решетке; L – расстояние по горизонтали от верхней нити вертикального утка до галева; H – расстояние по вертикали от положения верхней нити вертикального утка после прибоя до галева; γ – угол наклона нитей вертикального утка к вертикали; α – угол наклона нитей вертикального утка к горизонтали.

Теперь рассмотрим систему сил, действующих на фрагмент вертикальной уточной нити в месте контакта с нитями горизонтального утка, которая представлена на

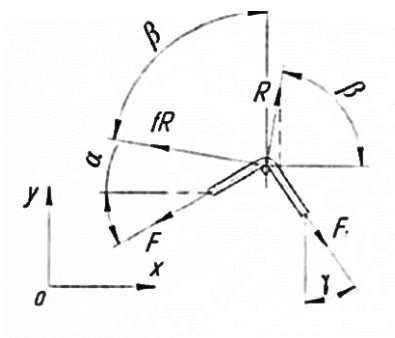


Рис. 2

Уравнения равновесия основной нити

$$-F \cos(\alpha) + R \cos(\beta) - fR \sin(\beta) + F_1 \sin(\gamma) = 0, \quad (5)$$

$$-F \sin(\alpha) + R \sin(\beta) + fR \cos(\beta) - F_1 \cos(\gamma) = 0, \quad (6)$$

где F – сила натяжения вертикальных уточных нитей; F_1 – сила натяжения в вертикальной системе нитей утка после контакта с горизонтальной нитью утка; R – реакция

рис. 2, и систему сил, действующих на нить горизонтального утка, которая представлена на рис. 3.

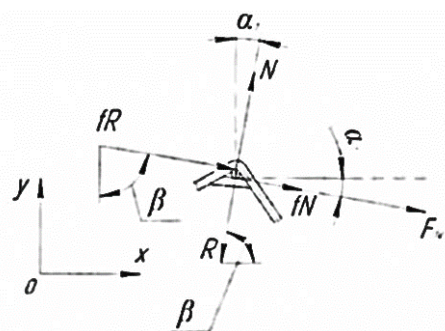


Рис. 3

(рис. 2) имеют вид:

со стороны горизонтальной уточной нити; f – коэффициент трения между нитями.

Уравнения равновесия для нити горизонтального утка (рис. 3) имеют вид:

$$fR \sin(\beta) - R \cos(\beta) + N \sin(\alpha_1) + fN \cos(\alpha_1) + F_{dv} \cos(\alpha_1) = 0, \quad (7)$$

$$-fR \cos(\beta) - R \sin(\beta) + N \cos(\alpha_1) - fN \sin(\alpha_1) - F_{dv} \sin(\alpha_1) = 0, \quad (8)$$

где F_{dv} – сила, сдвигающая горизонтальный уток; F_1 – реакция от нити вертикального утка; β – угол наклона реакции R к горизонтали.

Подставив в полученную систему уравнений (5)...(8) выражения (1)...(4), а также выражение для определения силы натяжения нитей основы:

$$F_1 = Fe^{f\left(\frac{\pi}{2} + \alpha - \gamma\right)} = Fe^{f\left[\frac{\pi}{2} + \arctg\left(\frac{H + \Delta L \operatorname{tg}(\alpha_1)}{L - \Delta L}\right) - \arctg\left(\frac{\Delta L}{B + \Delta L \operatorname{tg}(\alpha_1)}\right)\right]},$$

можно рассчитать искомое значение смещения ΔL нити горизонтального утка.

Однако трудность получения аналитического решения связана не только с взаимным влиянием друг на друга искомого смещения ΔL и параметров ΔH , α и γ , но и с тем, что после указанных подстановок получаются очень громоздкие уравнения.

Поэтому система уравнений (5)...(8) была решена численными методами расчета в вычислительной среде Mathcad при задаваемых параметрах системы заправки: F , f , L , H , B и B_1 . В результате расчета определяли искомую величину ΔL , а также значения параметров: R , N и β при $F_{dv} = 0$, когда слой горизонтального утка будет находиться в состоянии равновесия.

Анализ результатов выполненных численных расчетов позволяет утверждать следующее.

1. Перемещение слоя вертикального утка на величину ΔL произойдет, если нити горизонтального утка отойдут вслед за верхней нитью. На данные нити будут действовать намного меньшие силы давления и трения из-за малого угла огибания противоположной системы нитей. При этом движение всех нитей горизонтального утка будет проходить до тех пор, пока вертикальный уток не выпрямится.

2. Значения H и L будут определять величину смещения ΔL . Чем больше значение H и меньше значение L , тем больше угол α и тем сильнее будет трение между нитями горизонтального и вертикального утка, и смещение ΔL будет падать. Смещение ΔL снижается и при увеличении угла α_1 и коэффициента трения f между нитями.

3. Величина ΔL должна быть минимизирована. Однако свести ее значение к нулю невозможно из-за наличия перемещающихся механизмов прокладывания вертикального и горизонтального утков в зоне бердо – опушка ткани. Данная величина не сможет быть компенсирована при следующих воздействиях берда на последующий прибываемый слой, как это происходит при выработке однослойных тканей из-за излишка длины нитей вертикального утка. Таким образом, значение ΔL будет влиять на плотность расположения слоев нитей и на геометрию изделия.

4. При проектировании нового оборудования следует учитывать, что величина H будет влиять на производительность, так как необходимо время на перемещение нитей, и чем больше H , тем больше времени уйдет на прокладывание слоя.

5. При прочих равных параметрах наибольшее смещение ΔL будет при $\alpha_1 = 0$, что технологически оправдано, так как минимизирует величину ширины протаскивания систем нитей друг относительно друга.

Приведем пример расчета ΔL в зависимости от L и фиксированных значениях H при значениях исходных параметров, характерных для проектирования технологии

выработки трехмерной ортогональной ткани из углеродных нитей. В основе и утке нити 800 текс. При этом: $F = 1$ Н; $f = 0,3$ [7]; $V = 10$ мм, $V_1 = 10$ мм. Результаты расчета даны на рис. 4 (зависимости $\Delta L = \Delta L(L, H)$).

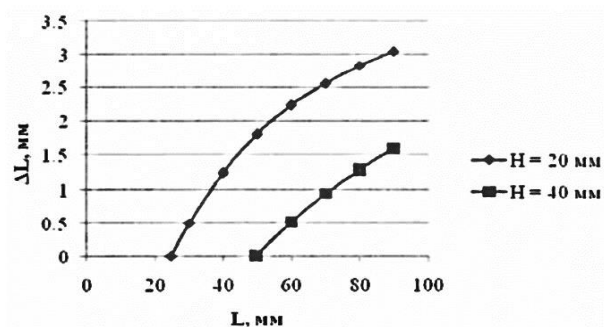


Рис. 4

Из рис. 4 видно, что смещение ΔL будет отсутствовать при $H = 20$ мм и $L = 24,7$ мм и менее, а также при $H = 40$ мм и $L = 49,5$ мм и менее. То есть если увеличивать вывод нитей из зоны формирования (H), то возможно увеличивать расстояние L . Следует учитывать, что коэффициент трения оказывает существенное влияние на ΔL . В случае, когда механизм прокладывания вертикальных уточных нитей находится в зоне между бердом (поз.2 на рис. 1) и распределительной решеткой (поз.5 на рис. 1), расстояние L будет не менее 90 мм. В этом случае в зависимости от различных значений H величина ΔL при $f = 0,3$ будет находиться в диапазоне 1,5...3 мм. При использовании нитей с более низким коэффициентом трения, например, нитей Русар, для которых $f = 0,25$ [6], величина ΔL существенно возрастет и будет находиться в диапазоне 3...4,7 мм. Это вызывает существенное растаскивание всей системы заправки. Для того чтобы избежать этого, потребуется устанавливать значение H более 70 мм, что в 7 раз превышает толщину ткани, но даже в этом случае перемещение вертикальной системы нитей будет затруднено из-за наличия горизонтальной составляющей силы F . Поэтому для достижения плотной укладки слоев и чтобы избежать растаскивания сформированной ткани, механизм прокладывания вертикальных нитей утка целесообразно располагать в зоне бердо – опушка ткани.

ВЫВОДЫ

1. Величина смещения ΔL слоя горизонтального утка оказывает существенное влияние на плотность расположения вертикальных слоев нитей и геометрию изделия.

2. Величина смещения ΔL , на которую отходит слой вертикальных уточных нитей от опушки ткани после прибора, существенно зависит от расположения механизма прокладывания вертикальных уточных нитей, определяемого расстоянием L , расстояния H от положения верхней нити вертикального утка после прибора до галева и коэффициента трения f между нитями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Huang G., Zhong Z.L. Tensile behavior of 3D-woven composites by using different fabric structures // MaterDes. – 23(7), 2002. P.671...674.

2. Селиверстов В.Ю. Перспективные объемные текстильные изделия // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 5. С. 105...108.

3. Селиверстов В.Ю., Петров И.И., Черкасов К.С. Механизм прокладывания утка для получения трехмерных текстильных изделий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 1. С.66...70.

4. Патент РФ № 2643659,02.02.18. Гречухин А.П., Ушаков С.Н., Тихомиров Л.А., Зайцев Д.В., Старинец И.В., Селиверстов В.Ю. / Способ формирования трехмерной ортогональной ткани. Патент России № 2016133672 от 16.08.2016.

5. Гречухин А.П., Зайцев Д.В., Ушаков С.Н. Разработка технологических решений для производства 3D-ортогональных тканей // Сб. научн. тр.: Современные задачи инженерных наук симпозиума: Современные инженерные проблемы промышленности товаров народного потребления Международного научно-технического Форума "Первые международные Косыгинские чтения" (11-12 октября 2017 года). – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2017. С.312...315.

6. Гречухин А.П., Ушаков С.Н., Рудовский П.Н., Палочкин С.В. Определение рациональных параметров системы заправки нитей при формировании трехмерного ортогонального тканого волокнистого материала // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, №5.

7. Котомин С.В. Трение высокопрочных арамидных нитей и методика его изучения // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2017, № 8. С. 1...7.

REFERENCES

1. Huang G., Zhong Z.L. Tensile behavior of 3D-woven composites by using different fabric structures // MaterDes. – 23(7), 2002. P.671...674.

2. Seliverstov V.Yu. Perspektivnye ob'emnye tekstil'nye izdeliya // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti. – 2015, № 5. S. 105...108.

3. Seliverstov V.Yu., Petrov I.I., Cherkasov K.S. Mekhanizm prokladyvaniya utka dlya polucheniya trekhmernykh tekstil'nykh izdelii // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti. – 2013, № 1. S. 66...70.

4. Patent RF № 2643659,02.02.18. Grechukhin A.P., Ushakov S.N., Tikhomirov L.A., Zaitsev D.V., Starinets I.V., Seliverstov V.Yu. / Sposob formirovaniya trekhmernoii ortogonal'noi tkani. Patent Rossii № 2016133672 ot 16.08.2016.

5. Grechukhin A.P., Zaitsev D.V., Ushakov S.N. Razrabotka tekhnologicheskikh reshenii dlya proizvodstva 3D-ortogonal'nykh tkanei // Sb. nauchn. tr.: Sovremennye zadachi inzhenernykh nauk simpoziuma: Sovremennye inzhenernye problemy promyshlennosti tovarov narodnogo potrebleniya Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo Foruma "Pervye mezhdunarodnye Kosyginские чтения" (11-12 oktyabrya 2017 goda). – M.: RGU im. A.N. Kosygina, 2017. S.312...315.

6. Grechukhin A.P., Ushakov S.N., Rudovskii P.N., Palochkin S.V. Opredelenie ratsional'nykh parametrov sistemy zapravki nitei pri formirovanii trekhmernogo ortogonal'nogo tkanogo voloknistogo materiala // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti. – 2018, №5.

7. Kotomin S.V. Trenie vysokoprochnykh aramidnykh nitei i metodika ego izucheniya // Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii. – 2017, № 8. S. 1...7.

Рекомендована кафедрой технологии проектирования ткани и трикотажа КГУ. Поступила 23.10.18.