

УДК 677.024.1

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ
СИСТЕМЫ ЗАПРАВКИ НИТЕЙ
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТРЕХМЕРНОГО ОРТОГОНАЛЬНОГО
ТКАНОГО ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА***

**DETERMINATION OF RATIONAL PARAMETERS
OF THE SYSTEM OF FILLING YARNS
IN THE FORMATION OF THREE-DIMENSIONAL ORTHOGONAL
WOVEN FIBROUS MATERIAL**

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

(Костромской государственной университет,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана)
(Kostroma State University,
Bauman Moscow State Technical University)
E-mail: niskstu@yandex.ru, palnigs@mail.ru

В статье изложены результаты исследования по определению рациональных параметров системы заправки нитей при формировании трехмерных ортогональных тканей с переменным профилем. Показано, что при формировании таких тканей установка механизма прокладывания утка целесообразна в зоне "бердо – опушка ткани". Предложена расчетная методика определения рациональных параметров системы заправки с учетом обоснованного выбора положения механизма прокладывания вертикальных уточных нитей.

The article presents the results of a study to determine the rational parameters of the threading system in the formation of three-dimensional orthogonal fabric with a variable profile. It is shown that in the formation of such fabrics, the installation of the weft laying mechanism is advisable in the beating-up mechanism zone - fabric formation zone. A calculation method for determining the rational parameters of the filling system is proposed, taking into account the reasonable choice of the position of the mechanism of laying vertical weft threads.

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

* Работа выполнена в рамках реализации проекта 11.9627.2017/8.9.

Keywords: three-dimensional orthogonal fabric, weft threads, threading mechanism, the angle of the warp threads, the parameters of the filling system.

Композиционные материалы на базе трехмерных ортогональных тканей имеют широкое распространение в современных бронезиловых и других средствах специальной защиты, так как отличаются повышенной способностью поглощения (демпфирования) энергии ударных нагрузок, действующих вдоль основных, уточных и дополнительных систем нитей из-за отсутствия изгиба нитей в слоях ткани. Это связано с тем, что особенности строения таких материалов способствуют высокой скорости распространения в них ударной волны [1] и, следовательно, распределению энергии удара на большой объем материала [2]. Кроме того, наличие дополнительных систем нитей позволяет снизить расслаивание композита [1], [3]. В связи с этим настоящее исследование, направленное на практическую реализацию нового, предложенного специалистами КГУ, способа формирования трехмерных ортогональных тканей, позволяющего вырабатывать изделия с переменным профилем в нескольких направлениях и возможностью более плотной укладки вертикальных слоев нитей [4...6], является актуальным и практически значимым.

Реализация на практике этого способа требует создания системы заправки нитей основы, утка и кромки, позволяющих подавать нити в зону формирования, а также механизма отвода наработанного материала из зоны формирования.

Анализ системы заправки нитей известных ранее способов формирования трехмерной ортогональной ткани показал, что расположение механизма прокладывания вертикальных уточных нитей в зоне "бердо – устройство для сматывания нитей основы" [7], [8] может привести к "растаскиванию" нитей и отходу их от зоны формирования, что, в свою очередь, приведет к большим усилиям, которые потребуются берду для создания необходимой плотности слоев. При этом требуемая плотность слоев может быть не достигнута. Такой факт может стать решающим ограничением при формировании изделий сложного про-

филя. Поэтому установка механизма прокладывания в зоне "бердо – опушка ткани" [9] имеет определенные преимущества и является рациональной для разрабатываемой системы заправки нитей. При этом крайне важно определить параметры этой зоны, обеспечивающие не только компактность механизма, но и возможность прокладывания горизонтальных нитей утка.

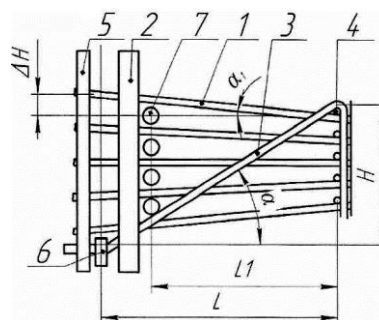


Рис. 1

Оценим влияние угла α_1 наклона нитей основы к горизонтали на расположение в указанной зоне механизма прокладывания вертикальных нитей утка, которое характеризуется расстоянием L по горизонтали от верхней нити вертикального утка до галева (рис. 1 – схема системы 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). При этом механизм прокладывания горизонтального утка находится на расстоянии L_1 от опушки ткани. Зная угол α_1 и задавая величину смещения ΔH нитей основы от горизонтали в зоне ремиз, можно рассчитать рациональное значение расстояния L . Кроме того, параметр ΔH , величина которого зависит от поперечных размеров прокладчика нити горизонтального утка, позволяет определить степень перегиба нитей основы в технологической оснастке.

Расчет проводим для случая, когда механизм перемещения нитей горизонтального утка в указанной зоне расположен за бердом со стороны ткани.

Сначала рассмотрим систему сил, действующих на фрагмент вертикальной уточной нити в месте контакта с нитями горизонтального утка, которая представлена на рис. 2 (схема сил, действующих на фрагмент вертикальной уточной нити).

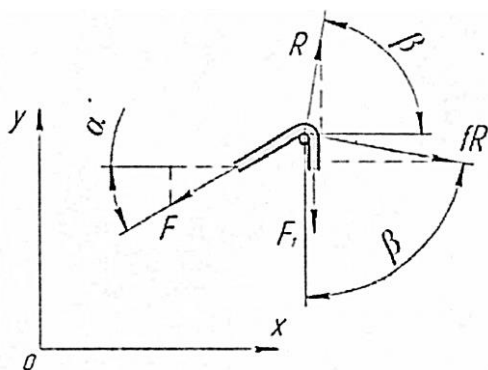


Рис. 2

Силу натяжения F_1 в вертикальной системе нитей утка после контакта с горизонтальной нитью утка можно определить в первом приближении, используя формулу Эйлера:

$$F_1 = \frac{F}{e^{f(\alpha+0,5\pi)}}, \quad (1)$$

где F – сила натяжения до контакта; $\alpha = \arctg(H/L)$ – угол наклона нитей вертикального утка к горизонтали; H – расстояние по вертикали от верхней нити вертикального утка до галева; f – коэффициент трения между нитями.

Реакцию R со стороны горизонтальной уточной нити и угол β наклона реакции R к горизонтали можно рассчитать, решив с учетом (1) систему уравнений (2) и (3):

$$-F\cos\alpha + R\cos\beta + fR\sin\beta = 0, \quad (2)$$

$$R\sin\beta - F_1 - F\sin\alpha - fR\sin\alpha = 0. \quad (3)$$

$$L = \frac{\Delta H}{\operatorname{tg}\alpha_1} = \Delta H \operatorname{tg}\beta = \Delta H \frac{(\sin\alpha + f\cos\alpha)e^{f(\alpha+0,5\pi)} + 1}{(\cos\alpha - f\sin\alpha)e^{f(\alpha+0,5\pi)} - f}. \quad (10)$$

Анализ результатов предварительно выполненных расчетов показал, что при значениях угла $\alpha_1 \geq 20^\circ$ возникают технологи-

В результате имеем:

$$R = \frac{F\cos\alpha}{\cos\beta + f\sin\beta}, \quad (4)$$

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{(\sin\alpha + f\cos\alpha)e^{f(\alpha+0,5\pi)} + 1}{(\cos\alpha - f\sin\alpha)e^{f(\alpha+0,5\pi)} - f}. \quad (5)$$

Далее переходим к силам, действующим на нить горизонтального утка (схема показана на рис. 3).

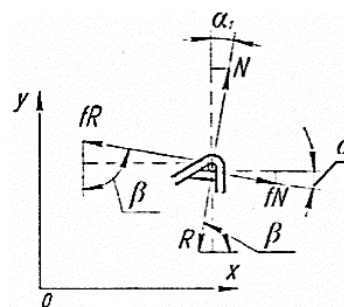


Рис. 3

Реакцию N со стороны нити вертикального утка и угол α_1 наклона нитей основы к горизонтали можно рассчитать в случае отсутствия смещения верхней нити вертикального утка к берду, решив с учетом (4) и (5) систему уравнений (6) и (7):

$$-R\cos\beta - fR\sin\beta + fN\cos\alpha_1 + N\sin\alpha_1 = 0, \quad (6)$$

$$-R\sin\beta - fN\sin\alpha_1 + fR\cos\beta + N\cos\alpha_1 = 0. \quad (7)$$

В результате получаем:

$$N = R \frac{\cos\beta + f\sin\beta}{\sin\alpha_1 + f\cos\alpha_1} = \frac{F\cos\alpha}{\sin\alpha_1 + f\cos\alpha_1}, \quad (8)$$

$$\alpha_1 = \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{\operatorname{tg}\beta} \right) \operatorname{arctg} \frac{(\cos\alpha - f\sin\alpha)e^{f(\alpha+0,5\pi)} - f}{(\sin\alpha + f\cos\alpha)e^{f(\alpha+0,5\pi)} + 1}. \quad (9)$$

При известном из (9) значении угла α_1 можно определить искомое расстояние:

ческие сложности в процессе формирования полотна, связанные с тем, что вновь проложенные нити вертикального утка бу-

дуг иметь в зоне перемещения берда на расстоянии L_1 от сформированной ткани (в зоне прокладывания горизонтального утка) значительно большую длину по сравнению с шириной ткани. Это вызовет необходимость убирать излишек длины нити, который образуется при перегибе вертикальных уточных нитей через проложенные нити горизонтального утка. Для выбора излишней длины нити механизм для перемещения вертикальных уточных нитей должен будет обеспечить дополнительное натяжение для обеспечения возможности "протаскивания" через нити горизонтального утка, что может привести к повышенному их истиранию. Возникающий при этом значительный перегиб нитей в распределительной решетке может привести к их повреждению.

С целью устранения этих неблагоприятных явлений необходимо выбрать рациональное значение угла α_1 и определяемое им сочетание значений параметров системы заправки для того, чтобы расстояние между нитями основы соответствовало бы толщине прокладчика уточной нити.

Для этого можно использовать графические зависимости $L = L(\alpha, \Delta H)$, рассчитанные на базе формулы (10) и приведенные на рис. 4 (зависимость расстояния L от угла α и смещения ΔH).

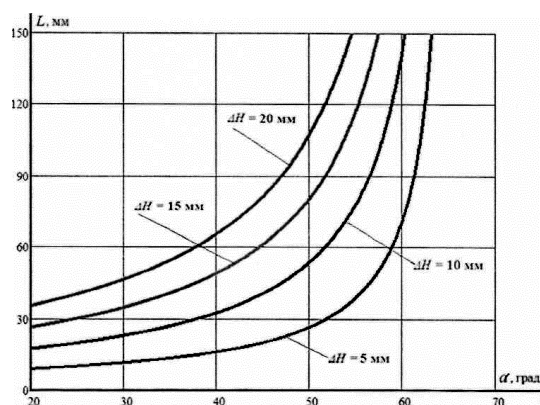


Рис. 4

Для реализации предложенного способа [4...6] целесообразно использовать прокладку утка рапирами с диаметром около 5 мм. В этом случае для свободного прохождения рапиры необходимо, чтобы смещения нитей основы от горизонтали в зоне ремиз $\Delta H \approx 15$ мм. Из опыта эксплуатации ткацкого

оборудования для обеспечения эффективного прибора уточной нити расстояние от берда до опушки ткани должно составлять $L_1 \approx 70$ мм. Тогда можно принять расстояние $L = 90$ мм. Согласно графику на рис. 4 угол $\alpha = 52^\circ$. Следовательно, в соответствии с рис. 1 имеем расстояние $H = L \operatorname{tg} \alpha = 90 \operatorname{tg} 52^\circ = 115$ мм, а рассчитанный по (9) угол $\alpha_1 = 9,3^\circ$.

Полученные параметры системы заправки нитей приняты за основу при разработке экспериментальной установки.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что при формировании трехмерных ортогональных тканей с переменным профилем установка механизма прокладывания утка целесообразна в зоне "бердо – опушка ткани".

2. На основе анализа процесса формирования трехмерных ортогональных тканей установлено, что расположение по горизонтали механизма прокладывания вертикальных уточных нитей существенно влияет на углы перегиба нитей в технологической оснастке.

3. Предложена расчетная методика определения рациональных параметров системы заправки нитей с учетом обоснованного выбора положения механизма прокладывания вертикальных уточных нитей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Huang G., Zhong Z.L. Tensile behavior of 3D-woven composites by using different fabric structures // Mater Des. – 2002; 23(7). P. 671...674.
2. Рудовский П.Н., Нехорошкина М.С., Палочкин С.В. Теоретический анализ рассеяния энергии при сжатии ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 5. С. 236...242.
3. Xiwen Jia., Baozhong Sun, Bohong Gu. Ballistic penetration of conically cylindrical steel projectile into 3D orthogonal woven composite: a finite element study at microstructure level // Journal of Composite Materials. – 45(9), 2010. P. 965...987. DOI: 10.1177/0021998310381150.
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., Ушаков С.Н., Зайцев Д.В., Тихомиров Л.А. Способ формирования 3D-ортогонального тканого волокнистого материала // Изв. вузов.

Технология текстильной промышленности. – 2016, № 6. С.118...122.

6. Гречухин А.П., Зайцев Д.В., Ушаков С.Н. Разработка технологических решений для производства 3D-ортогональных тканей // Сб. научн. тр. Междунар. научн.-технич. симпозиума: Современные инженерные проблемы промышленности товаров народного потребления ("Первые международные Косыгинские чтения") 11-12 октября 2017 года. – Том 1. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2017. С.312...315.

7. US Patent № US5085252. Method of forming variable cross-sectional shaped three-dimensional fabrics / Mohamed Mansour H. [US], Zhang Zhong-Huai[CN] - 04.02.1992.

8. Patent WO2013179037. Method and apparatus for weaving a three-dimensional fabric / Poultry [GB]; Prasad [GB]; Jetavat Dhavalsinh [GB] Sharma Sandeep - 2013-12-05.

9. US Patent № US3834424. Three-dimensional fabric, and method and loom construction for the production thereof/ Fukuta K.; Miyashita R.; Sekiguti J.; Nagatsuka Y.; Tsuburaya S.; Aoki E.; Sasahara M. - 10.09.1974.

REFERENCES

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

2. Rudovskij P.N., Nehoroshkina M.S., Palochkin S.V. Теоретический анализ расщепления энергии при сжатии ткани // Изв. вузов. Технологическая текстильной промышленности. – 2017, № 5. С. 236...242.

3. Xiwen Jia., Baozhong Sun, Bohong Gu. Ballistic penetration of conically cylindrical steel projectile into 3D orthogonal woven composite: a finite element study at microstructure level // Journal of Composite Materials. – 45(9), 2010. P. 965...987. DOI: 10.1177/0021998310381150.

4. Patent RF № 2643659, 02.02.18. Grechuhin A.P., Ushakov S.N., Tihomirov L.A., Zajcev D.V., Starinec I.V., Seliverstov V.Ju. Sposob formirovaniya trehmernoj ortogonal'noj tkani // Patent Rossii № 2016133672 ot 16.08.2016.

5. Grechuhin A.P., Ushakov S.N., Zajcev D.V., Tihomirov L.A. Sposob formirovaniya 3D-ortogonal'nogo tkanogo voloknistogo materiala // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2016, № 6. S.118...122.

6. Grechuhin A.P., Zajcev D.V., Ushakov S.N. Razrabotka tehnologicheskikh reshenij dlja proizvodstva 3D-ortogonal'nyh tkanej // Sb. nauchn. tr. Mezhdunar. nauchn.-tehnic. simpoziuma: Sovremennye inzhenernye problemy promyshlennosti tovarov narodnogo potreblenija ("Pervye mezhdunarodnye Kosyginские чтения") 11-12 oktjabrja 2017 goda. – Том 1. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2017. С.312...315.

7. US Patent № US5085252. Method of forming variable cross-sectional shaped three-dimensional fabrics / Mohamed Mansour H. [US], Zhang Zhong-Huai[CN] - 04.02.1992.

8. Patent WO2013179037. Method and apparatus for weaving a three-dimensional fabric / Poultry [GB]; Prasad [GB]; Jetavat Dhavalsinh [GB] Sharma Sandeep - 2013-12-05.

9. US Patent № US3834424. Three-dimensional fabric, and method and loom construction for the production thereof/ Fukuta K.; Miyashita R.; Sekiguti J.; Nagatsuka Y.; Tsuburaya S.; Aoki E.; Sasahara M. - 10.09.1974.

Рекомендована кафедрой технологии проектирования ткани и трикотажа КГУ. Поступила 08.10.18.