

УДК 677.024

DOI 10.47367/0021-3497_2022_5_223

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗ СТРОЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ ТКАНОЙ СТРУКТУРЫ
И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УПРУГИЕ СВОЙСТВА
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ЕЕ ОСНОВЕ***

**SIMULATION OF THE STRUCTURE PHASES
OF A VOLUME WOVEN STRUCTURE
AND THEIR INFLUENCE ON THE ELASTIC PROPERTIES
OF THE COMPOSITE MATERIAL BASED ON**

Д.А. ПИРОГОВ, Л.Б. МАСЛОВ, И.А. ТИМОФЕЕВ, Е.А. ПОЛЯНИЧКО

D.A. PIROGOV, L.B. MASLOV, I.A. TIMOFEEV, E.A. POLYANICHKO

(Ивановский государственный политехнический университет,
ООО "Текмал",
Ивановский государственный энергетический университет,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
АО "Композит")

(Ivanovo State Polytechnical University,
LLC "Tekmal",
Ivanovo State Power Engineering University,
Peter the Great St.Petersburg Polytechnical University,
JSC "Kompozit")

E-mail: pirogov81@mail.ru

В работе показана взаимосвязь технологии и параметров 3D-ткачества и эффективных упругих характеристик композиционного материала. Приведены основные характеристики ткацкого процесса и объемной тканой структуры, оказывающих наибольшее влияние. Проведены моделирование и расчет эффективных упругих характеристик композиционного материала различных фаз строения и структуры объемной ткани. Проведен анализ полученных результатов и сделаны выводы.

The paper shows the relationship between the technology and parameters of 3D weaving and the effective elastic characteristics of the composite material. The main characteristics of the weaving process and the volumetric woven structure, which have the greatest influence, are given. The modeling and calculation of effective elastic characteristics of composite material of different structure phases and the structure of volumetric fabric are carried out. The results are analyzed and conclusions are drawn.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ивановской области в рамках научного проекта № 20-41-370002.

Ключевые слова: 3D-ткачество, технология 3D-ткачества, технологические параметры 3D-ткачества, объемная тканая структура, эффективные упругие характеристики.

Keywords: 3D weaving, 3D weaving technology, technological parameters of 3D weaving, volumetric woven structure, effective elastic characteristics.

Введение

В настоящее время к основным текстильным технологиям, производящим основу для трехмерных композитных материалов, относят ткачество, плетение, вязание. Одним из наиболее перспективных подходов для создания сложных пространственных конструкций как единого композитного материала (КМ) является технология ткачества, обеспечивающая формирование трехмерной тканой заготовки (преформы) требуемого вида, структуры, толщины и обладающей рядом преимуществ, таких как стабильность структуры, естественная локализация места разрушения, необходимая плотность, использование технических нитей, что существенно расширяет область ее применения [1].

Заказчиками изделий из КМ на основе объемных тканых структур (ОТС) предъявляются повышенные требования по прочности и жесткости для их использования в различных областях высокотехнологичного машиностроения, в частности, в авиационной и ракетной технике.

Цель и задачи исследования

В основе проектирования физико-механических свойств композита на основе ОТС лежит понимание того, что его конечные упругие и прочностные свойства зависят от параметров процесса ткачества, существенно влияющих на структуру преформы и упругие свойства композита в целом [1]. Поэтому перед началом проектирования ОТС или преформы детали, назначения параметров и режимов процесса ткачества технолог должен понимать назначение, условия эксплуатации, используемые материалы для производства КМ и деталей из него изготовленных.

Параметры 3D-ткачества можно разделить на 3 основные группы, в которых можно выделить несколько основных.

1. Параметры технологического процесса ткачества:

- последовательность и продолжительность фаз формирования объемного тканого элемента;
- заправочное натяжение нитей;
- материалы нитей.

2. Параметры структуры объемного тканого элемента 3D-ткани:

- фаза строения ткани;
- угол ориентации армирующей нити;
- количество слоев и ширина ткани (преформы).

3. Параметры технологического оборудования:

- величина зева и ход крючков жаккардовой машины;
- параметры работы батанного механизма и вытяжного стола.

При выработке многослойных тканей их строение может быть весьма разнообразным. Все это многообразие можно описать 9 фазами строения:

1 фаза – изогнутая основа и прямолинейный уток – распространенная в 3D-ткачестве;

9 фаза – изогнутый уток и прямолинейная основа;

2-8 фаза – изогнутые основа и уток – в различной степени изгибаются основа и уток, от чего и зависит номер фазы.

Современные ткацкие машины, реализующие технологию 3D-ткачества, например, 3D-ткацкий станок компании "Mageba" [2] с жаккардовой машиной фирмы "Stäubli", более чем на 6700 крючков, в базовом варианте [3], в тандеме дают очень многообещающий технологический комплекс. Или, например, продукция отечественного текстильного машиностроения специального назначения 3D-ткацкие станки Л-300 ГИС и Л-200 от ООО "Текмал", г.Шуя, Ивановской области [4], предназна-

ченные для выработки многослойных технических тканей.

Такие ткацкие машины предназначены для производства текстильных тканых изделий различного назначения: тканых изделий со сложными узорами (ковров, портьер и др.), сложнейших по структуре многокомпонентных и многослойных тканей, преформ деталей. В частности, на таких машинах возможна реализация выработки многослойных тканей и преформ по 3 способам ткачества (рис. 1 – способы ткачества для выработки объемных тканых структур различных фаз строения), так как они обладают следующими конструктивными особенностями: устройство прокладки утка расположено на батане и имеет перемещение относительно толщины ткани, бердо батана веерного типа, вытяжной стол и т.п.



Рис. 1

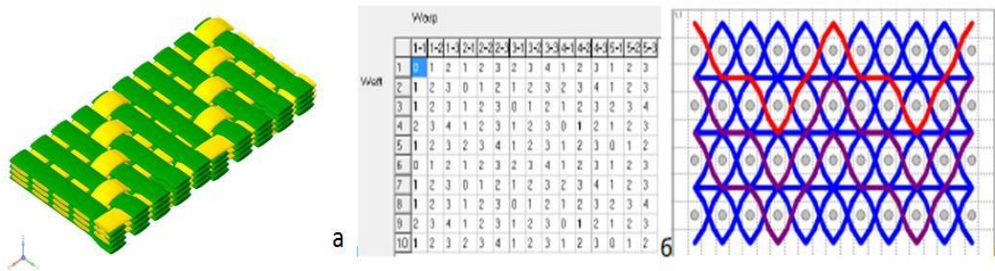


Рис. 2

На рис. 2 представлены 3D-компьютерная модель переплетения (а), WiseTex кодировка переплетения (б), схема переплетения в сечении по основе (в).

Разработаем 3D-модели ячейки периодичности (ЯП) КМ на основе предложенной ОТС 1-й, 5-й и 9-й фаз строения, при-

Методика исследования

Для выработки объемной тканой структуры 1 фазы строения необходимо, чтобы уток оставался прямолинейным, для чего необходимо его держать натянутым до окончания формирования тканого элемента. Для выработки объемной тканой структуры 9 фазы строения необходимо, чтобы нити основы оставались прямолинейными, для чего необходимо создавать их избыточное предварительное натяжение, либо перед прибором утка задавать их фиксацию, чтобы во время приборя утка они, за счет сил трения и уменьшенной длины, приобретали дополнительное натяжение аналогично предложениям авторов в [5], [6].

Поэтому, по нашему мнению, в тканой структуре должны быть нити, обеспечивающие сопротивление внешним усилиям и деформациям, и нити, которые отвечают за целостность преформы – связующие (угловые, ортогональные и др.).

Например, если вырабатывается преформа протяженная, то в ней должно быть больше прямолинейных нитей основы, если же вырабатывается преформа широкая, то в ней должны быть прямолинейные нити утка. В соответствии с этим и выбирается способ ткачества.

В качестве объекта исследования примем КМ на основе ОТС принятой рассматриваемой в [7].

чем примем во внимание структурный элемент ЯП – "полуслой", как это сделано в [8].

Произведем расчет эффективных модулей упругости (ЭМУ) моделей базовых (табл.1) и моделей модифицированных (табл.1), используя методику, предложенную в [9]. В модифицированных моделях 2-я

и 4-я нити основы в каждом слое прямо-линейны. В качестве исходных данных для расчетов взяты данные из [8].

Расчетные модели и результаты расчетов приведены в табл.1

Таблица 1

БАЗОВАЯ ОБЪЕМНАЯ ТКАНАЯ СТРУКТУРА								
Фазы строения								
1 фаза			5 фаза			9 фаза		
Модули упругости								
E_{xx} , ГПа	E_{yy} , ГПа	E_{zz} , ГПа	E_{xx} , ГПа	E_{yy} , ГПа	E_{zz} , ГПа	E_{xx} , ГПа	E_{yy} , ГПа	E_{zz} , ГПа
40,3	105,9	17,5	54,7	94,1	18,3	79,4	54,1	17,7
МОДИФИЦИРОВАННАЯ ОБЪЕМНАЯ ТКАНАЯ СТРУКТУРА								
Фазы строения								
1 фаза			5 фаза			9 фаза		
Модули упругости								
E_{xx} , ГПа	E_{yy} , ГПа	E_{zz} , ГПа	E_{xx} , ГПа	E_{yy} , ГПа	E_{zz} , ГПа	E_{xx} , ГПа	E_{yy} , ГПа	E_{zz} , ГПа
54,6	105,9	17,4	73,2	97,1	18,1	79,4	62,3	17,6

Результаты и обсуждения

Как мы и предполагали, увеличение упругости происходит с изменением фазы строения ОТС. У 1 фазы строения – максимум (105,9 ГПа) вдоль нитей утка, у 9 фазы строения – максимум (79,4 ГПа) вдоль нитей основы. Наибольшее увеличение упругости происходит в направлении нитей утка, что связано с их большим количеством в ЯП рассматриваемого КМ. Результаты расчетов показывают, что наличие в нити изгиба добавляет ей податливости и уменьшает ЭМУ КМ. При этом, если матрице КМ не хватает упругости, то полезная энергия нити будет рассеиваться на преодоление сил межслойного взаимодействия, вследствие чего может произойти саморазрушение композита. Поэтому подбор матрицы для КМ должен осуществляться не только с учетом требуемых свойств будущего изделия, но и с учетом материала наполнителя и его структуры.

Также изменение структуры путем замены нитей, имеющих изгиб, на прямолинейные приводит к повышению ЭМУ. Дополнительные две прямолинейные нити основы и утка в ОТС ЯП КМ дают увеличение ЭМУ до 10%. ЭМУ в трансверсальном направлении зависит от объемной доли величины матрицы, сопротивляющейся деформации, от жесткости и количества межслойных перевязок, т.е. нитей, соединяющих слои между собой. В результате полученные значения для различных моделей имеют близкие значения.

В работе [8] проведен расчет ЭМУ рассматриваемого КМ методом конечных элементов. В результате получены значения ЭМУ в различных направлениях ЯП КМ. Полученные результаты имеют некоторые различия с приведенными в табл. 1, которые можно частично объяснить особенностями методик их определения, используемыми моделями, принятыми допущениями

и приближениями. Приведенное сравнение полученных результатов могло бы существенно дополнить и внести ясность в результаты экспериментальных исследований НДС этого композиционного материала при простых видах деформации.

ВЫВОДЫ

1. В работе показана взаимосвязь технологии и некоторых параметров 3D-ткачества и упругих характеристик КМ.

2. Предпринята попытка формулирования технологического процесса формирования ОТС промежуточных фаз строения.

3. Проведено компьютерное моделирование структуры: разработаны базовые и модифицированные модели 1, 5 и 9 фаз строения 3D-ткани.

4. Аналитически определены ЭМУ для КМ на основе ОТС 1, 5 и 9 фаз строения, базовых и модифицированных моделей.

5. Установлено, что изменение упругих характеристик происходит с изменением фазы строения и структуры ОТС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пирогов Д.А., Маслов Л.Б., Клопова К.В. Композиционные материалы на основе трехмерных тканых многослойных армирующих структур - конструкционные материалы настоящего и будущего // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 6. С. 61...71. DOI 10.47367/0021-3497_2021_6_61. EDN LWUXUF.

2. Официальный сайт компании "Mageba" [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф., зв. дан.; URL: <https://www.mageba.com/en/textilemachines/looms.html?scrollto=nadelweben> (дата обращения: 29.09.2021).

3. Официальный сайт компании "Stäubli" [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф., зв. дан.; URL: <https://www.staubli.com/us/en/textile/products/jacquard-weaving/lx-2493.html> (дата обращения: 29.09.2021).

4. Интернет - портал "Чекко" [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф., зв. дан.; URL: <https://checko.ru/company/tekmal-1023701392879> (дата обращения: 29.09.2021).

5. Патент № 2404303 С2 Российская Федерация, МПК D03D 49/12. Способ регулирования натяжения основных нитей и устройства для его осуществления : № 2008132618/12 : заявл. 07.08.2008 : опубл. 20.11.2010 / Д. А. Пирогов, В. А. Суров; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ивановская

государственная текстильная академия" (ИГТА). – EDN VMXBAP.

6. Пирогов Д.А., Суров В.А. Регулирование натяжения основных нитей на металлоткацком станке СТР-100М-0,25 // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, № 2. С. 108...113. EDN ORLCLJ.

7. Маслов Л.Б. Отчет про гранту РФФИ 20-41-370002 за 2021 год.

8. Клопова К.В., Пирогов Д.А., Королев П.В. Компьютерное моделирование упругих характеристик композиционного материала // Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2022, № 1. С. 50...53. EDN ZBAFGC.

9. Пирогов Д.А., Маслов Л.Б., Королев П.В., Клопова К.В. Определение эффективных упругих характеристик композиционного материала при простых напряженных состояниях на основе понятия жесткости // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 6. С. 264...271. DOI 10.47367/0021-3497_2021_6_264. EDN OSJWCZ.

REFERENCES

1. Pirogov D.A., Maslov L.B., Klopova K.V. Composite materials based on three-dimensional woven multilayer reinforcing structures - structural materials of present and future // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, № 6. С. 61...71. DOI 10.47367/0021-3497_2021_6_61. EDN LWUXUF.

2. Official website of the company "Mageba" [Electronic resource]. - Electronic text, graph, link data; URL: <https://www.mageba.com/en/textilemachines/looms.html?scrollto=nadelweben> (access date: 29.09.2021).

3. Official site of the "Staubli" company [Electronic resource].- Electron-text,graph,link- data; URL: <https://www.staubli.com/us/en/textile/products/jacquard-weaving/lx-2493.html> (the date of access: 29.09.2021).

4. Internet-portal "Chekko" [Electronic resource], - Electronic text, graph, sound data; URL: <https://checko.ru/company/tekmal-1023701392879> (access date: 29.09.2021).

5. Patent № 2404303 С2 Russian Federation, МПК D03D 49/12. Method of main thread tension adjustment and device for its realization : № 2008132618/12 : application. 07.08.2008 : publ. 20.11.2010 / D.A. Pirogov, V.A. Surov; applicant State Educational Institution of Higher Professional Education "Ivanovo State Textile Academy" (ISTA). - EDN VMXBAP.

6. Pirogov D.A., Surov V.A. Regulation of the tension of the main threads on the metal-weaving machine STR-100M-0,25 // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2010, № 2. P. 108...113. EDN ORLCLJ.

7. Maslov L.B. Report on RFBR Grant 20-41-370002 for 2021.

8. *Klopova K.V., Pirogov D.A., Korolev P.V.* Computer simulation of elastic characteristics of composite material // Young Scientists - development of the National Technological Initiative (NITI). – 2022, №1. P.50...53. EDN ZBAFGC.

9. *Pirogov D.A., Maslov L.B., Korolev P.V., Klopova K.V.* Determination of effective elastic characteristics of composite material in simple stress states,

based on the concept of rigidity // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2021, № 6. P. 264...271. DOI 10.47367/0021-3497_2021 6 264. EDN OSJWCZ.

Рекомендована кафедрой мехатроники и радиоэлектроники ИВГПУ. Поступила 21.10.22.
